



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR
DEL ALMIDÓN DE JUDÍAS VERDES Y AMARILLAS PARA SU
APLICACIÓN EN ENVASADO DE ALIMENTOS**

Trabajo de Titulación

Tipo: Trabajo Experimental

Presentado para optar al grado académico de:

BIOQUÍMICO FARMACÉUTICO

AUTOR: JEFFERSON ISAAC IZA LÓPEZ

DIRECTORA: Ing. VIOLETA MARICELA DALGO FLORES MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

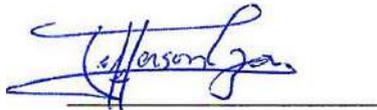
©2022, Jefferson Isaac Iza López

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, JEFFERSON ISAAC IZA LÓPEZ, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 12 de abril de 2022

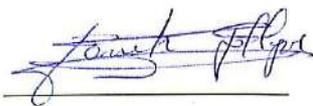
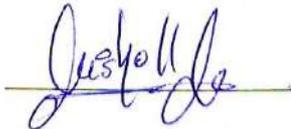


Jefferson Isaac Iza López

172284963-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA BIOQUÍMICA Y FARMACIA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Trabajo Experimental, **OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE JUDÍAS VERDES Y AMARILLAS PARA SU APLICACIÓN EN ENVASADO DE ALIMENTOS**, realizado por el señor: **JEFFERSON ISAAC IZA LÓPEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|--|--|--------------|
| Ing. Janneth María Gallegos Nuñez MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  | 2022-04-12 |
| Ing. Violeta Maricela Dalgo Flores MSc. DIRECTORA DE TRABAJO DE TITULACIÓN |  | 2022-04-12 |
| BQCL. Mishell Carolina Moreno Samaniego MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  | 2022-04-12 |

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios, que gracias a su misericordia me ha permitido tener los recursos para seguir avanzando. A mis padres, Martha López y Luis Iza, que con su templanza y buen ejemplo me han sabido guiar en toda mi vida hasta llegar a este momento; cada día de mi vida me han llenado de motivación para superar los retos. A mi hermano, Jacobo Iza, hemos observado cómo crecimos en todo aspecto de la vida, motivándonos en silencio y siguiendo ejemplo mutuo. También, a aquellas personas, docentes, compañeros y amigos de la vida universitaria, ya que cada persona no se conoce al azar, sino que siempre hay razón de ser.

Jefferson

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | x |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xii |
| RESUMEN..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|---|-----|
| 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL..... | 3 |
| 1.1. Plástico..... | 3 |
| 1.1.1. <i>Plástico de un solo uso</i> | 3 |
| 1.1.1.1. <i>Problemática del plástico de un solo uso</i> | 3 |
| 1.1.2. <i>Clasificación de los polímeros</i> | 3 |
| 1.1.3. <i>Origen del bioplástico</i> | 4 |
| 1.2. Materia vegetal..... | 5 |
| 1.3. Almidón..... | 6 |
| 1.3.1. <i>Generalidades</i> | 6 |
| 1.3.2. <i>Composición del almidón</i> | 7 |
| 1.3.3. <i>Características fisicoquímicas del almidón</i> | 8 |
| 1.3.4. <i>Características funcionales del almidón</i> | 8 |
| 1.3.5. <i>Extracción de almidón</i> | 10 |
| 1.4. Aditivos usados para la elaboración de láminas de bioplástico..... | 10 |
| 1.4.1. <i>Plastificante</i> | 10 |
| 1.4.2. <i>Glicerina</i> | 11 |
| 1.4.3. <i>Ácido acético</i> | 11 |
| 1.4.4. <i>Caracterización de los bioplásticos</i> | 11 |
| 1.4.4.1. <i>Propiedades físicas</i> | 11 |
| 1.4.4.2. <i>Propiedades mecánicas</i> | 112 |
| 1.4.4.3. <i>Biodegradabilidad</i> | 112 |

CAPÍTULO II

| | | |
|-----------|--|------------|
| 2. | MARCO METODOLÓGICO..... | 13 |
| 2.1. | Tipo de investigación..... | 13 |
| 2.1. | Diseño de investigación | 13 |
| 2.3. | Lugar de la investigación | 13 |
| 2.4. | Población de estudio | 13 |
| 2.5. | Tamaño de la muestra..... | 13 |
| 2.5.1. | <i>Selección de muestra</i> | <i>14</i> |
| 2.6. | Diseño experimental..... | 14 |
| 2.6.1. | <i>Identificación de variables.....</i> | <i>14</i> |
| 2.7. | Proceso de extracción del almidón | 14 |
| 2.7.1. | <i>Planteamiento de hipótesis</i> | <i>15</i> |
| 2.7.2. | <i>Diagrama del proceso de extracción de almidón</i> | <i>15</i> |
| 2.8. | Análisis físico químico y microbiológico del almidón extraído | 17 |
| 2.8.1. | <i>Análisis fisicoquímicos</i> | <i>17</i> |
| 2.8.2. | <i>Análisis microbiológico</i> | <i>22</i> |
| 2.9. | Proceso de obtención del bioplástico..... | 134 |
| 2.9.1. | <i>Desarrollo experimental para la obtención de láminas de bioplástico</i> | <i>224</i> |
| 2.9.2. | <i>Variables y parámetros tomados en cuenta para la experimentación</i> | <i>224</i> |
| 2.9.3. | <i>Diseño experimental para la obtención de láminas de bioplástico</i> | <i>224</i> |
| 2.9.4. | <i>Planteamiento de hipótesis</i> | <i>25</i> |
| 2.9.5. | <i>Diagrama del proceso de elaboración de los bioplásticos</i> | <i>25</i> |
| 2.9.6. | <i>Caracterización del bioplástico</i> | <i>137</i> |
| 2.10. | Evaluación del uso..... | 47 |

CAPÍTULO III

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3. | MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 48 |
| 3.1. | Rendimiento de extracción del almidón | 48 |
| 3.2. | Resultados de los análisis fisicoquímicos de los almidones obtenidos | 49 |
| 3.3. | Resultados del análisis microbiológico de los almidones obtenidos | 50 |
| 3.4. | Vista al microscopio y tamaño de partícula de los almidones JV y JA..... | 50 |
| 3.5. | Determinación de las formulaciones óptimas de láminas de bioplástico | 52 |
| 3.5.1. | <i>Formulaciones con almidón de JA</i> | <i>52</i> |
| 3.5.2. | <i>Formulaciones con almidón de JV.....</i> | <i>53</i> |
| 3.5.3. | <i>Formulaciones con la combinación de los almidones obtenidos</i> | <i>54</i> |
| 3.5.4. | <i>Desarrollo experimental de los tratamientos para la elaboración de bioplásticos....</i> | <i>55</i> |

| | |
|--|-----|
| 3.5.5. Resultados de las láminas de bioplástico de almidones de JA y JV | 566 |
| 3.5.5.1. Vista al microscopio óptico con lente 40X | 56 |
| 3.5.5.2. Resultados de espesor | 57 |
| 3.5.5.3. Resultados de humedad | 57 |
| 3.5.5.4. Resultados de solubilidad | 59 |
| 3.5.5.5. Resultados de permeabilidad al vapor de agua (PVA) | 59 |
| 3.5.5.6. Resultados de propiedades mecánicas | 60 |
| 3.5.5.7. Resultados del análisis de espectroscopia infrarroja (IR) | 61 |
| 3.5.5.8. Resultados de biodegradabilidad | 62 |
| 3.5.5.9. Aplicación y evaluación de uso | 66 |
| 3.5.6. Análisis de diseño factorial del rendimiento de extracción de almidón de judías | 68 |
| 3.5.6.1. Judías amarillas (JA) | 68 |
| 3.5.6.2. Judías verdes (JV) | 69 |
| 3.5.7. Diseño factorial 2² de formulaciones para la obtención de láminas de bioplástico .. | 71 |
| 3.5.7.1. Espesor | 71 |
| 3.5.7.2. Humedad | 72 |
| 3.5.7.3. Solubilidad | 74 |
| 3.5.7.4. Permeabilidad al vapor de agua (PVA) | 75 |
| 3.5.8. Comprobación de hipótesis | 76 |
| CONCLUSIONES | 78 |
| RECOMENDACIONES | 79 |
| BIBLIOGRAFÍA | |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|---|-----|
| Tabla 1-1: | Descripción taxonómica de frijol o judía..... | 5 |
| Tabla 2-1: | Composición nutricional del frijol (por cada 100g) | 6 |
| Tabla 3-1: | Características de gránulos de almidón | 9 |
| Tabla 1-2: | Variables tomadas en cuenta en el estudio | 14 |
| Tabla 2-2: | Factores y niveles del proceso de extracción de almidón..... | 15 |
| Tabla 3-2: | Resumen del diseño en Minitab 19 para el estudio 2 ² de extracción de almidón .. | 15 |
| Tabla 4-2: | Ensayos fisicoquímicos | 17 |
| Tabla 5-2: | Ensayos microbiológicos | 22 |
| Tabla 6-2: | Parámetros para la elaboración de bioplásticos finales | 224 |
| Tabla 7-2: | Factores y niveles para la elaboración de bioplásticos | 25 |
| Tabla 8-2: | Resumen del diseño en Minitab 19 para la elaboración de láminas de bioplástico | 25 |
| Tabla 9-2: | Ensayos de caracterización de los bioplásticos..... | 43 |
| Tabla 1-3: | Combinaciones en tiempo: velocidad (min:nivel) para la extracción de almidón . | 48 |
| Tabla 2-3: | Rendimiento de extracción de almidón de JA | 48 |
| Tabla 3-3: | Rendimiento de extracción de almidón de JV | 48 |
| Tabla 4-3: | Resultados de los análisis fisicoquímicos del almidón de JA y JV | 49 |
| Tabla 5-3: | Resultados de los análisis microbiológicos del almidón de JA y JV..... | 50 |
| Tabla 6-3: | Formulaciones de bioplástico con modificación de la variable almidón de JA | 52 |
| Tabla 7-3: | Formulaciones de bioplástico con modificación de la variable glicerina de JA | 52 |
| Tabla 8-3: | Formulaciones de bioplástico con modificación de la variable almidón de JV | 53 |
| Tabla 9-3: | Formulaciones de bioplástico con modificación de la variable glicerina de JV | 53 |
| Tabla 10-3: | Formulaciones tentativas de la combinación de almidones | 54 |
| Tabla 11-3: | Formulaciones óptimas para elaborar bioplásticos a partir del almidón de JA..... | 55 |
| Tabla 12-3: | Formulaciones óptimas para elaborar bioplásticos a partir del almidón de JV..... | 55 |
| Tabla 13-3: | Formulaciones óptimas de bioplásticos con combinación de los almidones | 55 |
| Tabla 14-3: | Combinaciones de almidón y glicerina para la elaborar láminas de bioplásticos .. | 55 |
| Tabla 15-3: | Resultados de espesor de las láminas de bioplásticos | 57 |
| Tabla 16-3: | Resultados del ensayo de humedad realizados a las láminas de bioplásticos | 58 |
| Tabla 17-3: | Resultados del ensayo de solubilidad realizados a las láminas de bioplásticos | 59 |
| Tabla 18-3: | Resultados de permeabilidad al vapor de agua en láminas de bioplásticos | 60 |
| Tabla 19-3: | Resultados de los ensayos mecánicos en láminas de bioplásticos | 61 |
| Tabla 20-3: | Lectura del análisis de espectroscopia infrarroja de la lámina..... | 62 |
| Tabla 21-3: | Coefficientes codificados del análisis de diseño de JA | 68 |

| | |
|--|----|
| Tabla 22-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de JV | 69 |
| Tabla 23-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño del espesor de láminas..... | 71 |
| Tabla 24-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de la humedad de láminas..... | 72 |
| Tabla 25-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de la solubilidad de láminas..... | 74 |
| Tabla 26-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de la obtención de láminas PVA..... | 75 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 1-1: | Esquema de la amilosa..... | 8 |
| Figura 2-1: | Esquema de la amilopectina..... | 9 |
| Figura 3-1: | Esquema de los cambios estructurales de los gránulos de almidón..... | 10 |
| Figura 1-3: | Vista de las partículas de almidón de JA con microscopio óptico, lente 40x..... | 51 |
| Figura 2-3: | Vista de las partículas de almidón de JV con microscopio óptico, lente 40x..... | 51 |
| Figura 3-3: | Vista al microscopio óptico con lente 40X de las láminas de bioplástico..... | 56 |
| Figura 4-3: | Biodegradabilidad de las láminas de los cuatro tratamientos en la superficie | 64 |
| Figura 5-3: | Biodegradabilidad de los cuatro tratamientos en el agua | 65 |
| Figura 6-3: | Biodegradabilidad de los cuatro tratamientos en la tierra | 66 |
| Figura 7-3: | Evaluación del uso de una lámina de bioplástico | 67 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|----------------------|---|----|
| Gráfico 1-2: | Clasificación de polímeros..... | 4 |
| Gráfico 2-2: | Diagrama de flujo de obtención de almidón de papa. | 10 |
| Gráfico 1-2: | Diagrama de flujo de extracción de almidón por vía húmeda. | 15 |
| Gráfico 2-2: | Diagrama de flujo de obtención de bioplástico. | 25 |
| Gráfico 1-3: | Gráfica de intervalos de los promedios de espesor (mm) de las formulaciones . | 57 |
| Gráfico 2-3: | Gráfica de intervalos de los promedios de humedad (%) de las formulaciones.. | 58 |
| Gráfico 3-3: | Gráfica de intervalos de promedios de solubilidad (%) de las formulaciones | 59 |
| Gráfico 4-3: | Gráfica de intervalos de promedios PVA ($\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{MPa}^{-1}$) de las formulaciones. | 60 |
| Gráfico 5-3: | Diagrama de Pareto del rendimiento vs. tiempo; velocidad. JA. | 62 |
| Gráfico 6-3: | Interacción para rendimiento vs. tiempo; velocidad. JA. | 68 |
| Gráfico 7-3: | Diagrama de Pareto del rendimiento vs. tiempo; velocidad. JV. | 69 |
| Gráfico 8-3: | Interacción para rendimiento vs. tiempo; velocidad. JV. | 70 |
| Gráfico 9-3: | Diagrama de Pareto del espesor vs. almidón; glicerina..... | 71 |
| Gráfico 10-3: | Efectos principales para espesor. | 72 |
| Gráfico 11-3: | Diagrama de Pareto de humedad vs. almidón; glicerina | 73 |
| Gráfico 12-3: | Efectos principales para humedad. | 73 |
| Gráfico 13-3: | Diagrama de Pareto de solubilidad vs. almidón; glicerina | 74 |
| Gráfico 14-3: | Efectos principales para solubilidad..... | 74 |
| Gráfico 15-3: | Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de PVA vs. almidón; glicerina .. | 75 |
| Gráfico 16-3: | Efectos principales para PVA. | 76 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE JUDÍAS VERDES Y AMARILLAS

ANEXO B: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LOS ALMIDONES OBTENIDOS

ANEXO C: FORMULACIÓN DE LÁMINAS DE BIOPLÁSTICOS

ANEXO D: ENSAYOS REALIZADOS A LAS LÁMINAS DE BIOPLÁSTICOS

ANEXO E: PORCENTAJE DE AMILOSA EN LAS MUESTRAS DE ALMIDÓN DE SEMILLA DE JUDÍA VERDE Y SEMILLA DE JUDÍA AMARILLA

ANEXO F: ANÁLISIS REALIZADOS EN LABORATORIO EXTERNO

ANEXO G: PRUEBAS MECÁNICAS DE LÁMINAS DE BIOPLÁSTICO OBTENIDAS DE LA COMBINACIÓN DE LOS ALMIDONES DE SJV Y SJA

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue la obtención de bioplásticos utilizando almidón extraído de judías (*Phaseolus vulgaris L*) verdes y amarillas. Para el desarrollo del trabajo se extrajo el almidón por método húmedo y decantación natural utilizando un diseño factorial, donde los factores fueron el tiempo y velocidad de trituración con niveles altos y bajos. Posteriormente, se analizaron la calidad de los almidones obtenidos. Para la elaboración de los bioplásticos, primero se elaboró formulaciones tentativas con cada almidón por separado y luego se combinaron con el objetivo de establecer parámetros de proceso. Después se elaboró un diseño factorial, teniendo como factores a las concentraciones de almidón (3,80g y 3,60g) y glicerina (3,50g y 3,00g) resultando en cuatro formulaciones (ácido acético y agua destilada constantes). Se realizaron ensayos de espesor, humedad, solubilidad, permeabilidad, propiedades mecánicas y ensayos de biodegradabilidad en agua, superficie y suelo a las láminas obtenidas. Se analizó la influencia de dichos factores sobre las características de las láminas con la ayuda del software estadístico MINITAB 19. Los rendimientos de extracción de almidón fueron deficientes (menos al 2,00%) para ambas leguminosas, su concentración de amilosa fue alta, 42,50% judías amarillas y 50,13% judías verdes. Se obtuvo como mejor formulación una lámina de bioplástico con 0,13mm de espesor, 16,65% de humedad, 37,94% de solubilidad, 0,0195gm-1h-1MPa-1 de permeabilidad, 17,34MPa de módulo de elasticidad, 4,04% de elongación y una biodegradabilidad en agua y suelo del 90% a partir del día 15. El bioplástico obtenido presentó hermeticidad idónea para envasado de alimentos, pero su manipulación fue muy compleja. Se concluyó, que el almidón de judías fue alto en amilosa e idóneo para estos estudios, el plastificante fue la variable más importante en las características físicas y mecánicas en la síntesis de estos productos biodegradables. Se recomienda la modificación del almidón y usar otro plastificante menos hidrofílicos.

Palabras clave: <BIOQUÍMICA Y FARMACIA>, <BIOPLÁSTICO>, <BIODEGRADABLE>, <ALMIDÓN>, <FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris L*) >.



ABSTRACT

The aim of this work was to obtain bioplastics using starch extracted from green and yellow beans (*Phaseolus vulgaris L.*). For the development of the work, the starch was extracted by the wet method and natural decanting using a factorial design, where the factors were time and grinding speed with high and low levels. Subsequently, the quality of the starches obtained was analyzed. For the elaboration of bioplastics, tentative formulations were first elaborated with each starch separately and then they were combined with the objective of establishing process parameters. Then, a factorial design was elaborated, having as factors the concentrations of starch (3.80g and 3.60g) and glycerin (3.50g and 3.00g), resulting in four formulations (constant acetic acid and distilled water). Thickness, humidity, solubility, permeability, mechanical properties and biodegradability tests in water, surface and soil were carried out on the sheets obtained. The influence of these factors on the characteristics of the sheets was analyzed with the help of the MINITAB 19 statistical software. The starch extraction yields were poor (less than 2.00%) for both legumes, their amylose concentration was high, 42.50% yellow beans and 50.13% green beans. A bioplastic sheet with 0.13mm thickness, 16.65% humidity, 37.94% solubility, 0.0195gm-1h-1MPa-1 permeability, 17.34MPa modulus of elasticity was obtained as the best formulation, 4.04% elongation and a biodegradability in water and soil of 90% from day 15. The bioplastic obtained presented an ideal hermeticity for food packaging, but its handling was very complex. It was concluded that bean starch was high in amylose and suitable for these studies, the plasticizer was the most important variable in the physical and mechanical characteristics in the synthesis of these biodegradable products. Modification of the starch and use of another less hydrophilic plasticizer is recommended.

Keywords: <BIOCHEMISTRY AND PHARMACY>, <BIOPLASTIC>, <BIODEGRADABLE>, <STARCH>, <COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris L.*)>.



Lic. Edison Hernan Salazar Calderon MSc.
0609184698

INTRODUCCIÓN

Según un informe de 2018 realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos, en el país se desecharon 12.739,01 toneladas de basura cada día, de la cual el 11,43% era plástico, siendo la mitad de esas toneladas material suave o de un solo uso: fundas, empaques de alimentos, envoltorios, etc. (Morán, 2020, p.2).

A nivel mundial, la problemática del plástico ha ido tomando fuerza. En los últimos cincuenta años, su producción se ha disparado y sólo en el año 2015 su producción total alcanzó 380 millones de toneladas (Green Peace, 2018, p.5).

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) también informa que sólo el 9% del plástico usado en el mundo se recicla y advierte que si los patrones de consumo y de gestión de residuos continúan, en 2050 habrá en torno a 12.000 millones de toneladas de basura plástica en vertederos y en el ambiente (Agencia EFE, 2018); por tanto se estima que en los próximos años se desencadenará importantes problemas de salud por dicha causa.

Una de las aplicaciones principales del plástico es el empaquetado, se comercializa una buena cantidad de polietileno de baja densidad en forma de rollos de plástico para envoltorios (Cristán et al., 2003, p.68). Dicha razón ha impulsado a la industria del empaque a encontrar disponibilidad en el mercado de empaque biodegradable y de bajo costo, debido a que la mayor demanda de plásticos procesados está en dicho sector, siendo el mayor consumidor final el empaquetado de alimentos (Ruiz, 2006, p.6).

Con dicha problemática resulta apremiante encontrar el equilibrio adecuado entre sostenibilidad y eficiencia en ese aspecto, siendo la exploración de materiales alternativos con un bajo impacto ambiental para la fabricación de plástico biodegradable una de las soluciones (Morán, 2020).

La industria plástica está buscando nuevos sustitutos para el material derivado del petróleo, enfocándose en la utilización de materia prima local, como los residuos orgánicos, almidón u otros biopolímeros, indagando procesos de producción eficientes para obtener los bioplásticos.

El almidón se ha convertido en una de las principales materias primas para la elaboración de estos productos, debido a que es un polisacárido con alta disponibilidad, bajo costo y su proceso de extracción no requiere de dificultad alguna (Ruiz, 2006, p.6).

Este estudio está enfocado en la fabricación de láminas de plástico biodegradable a partir del almidón de semillas de vainita o judías de color amarilla y de color verde como base del producto; beneficiando directamente a todos los seres vivos, ya que se pretende disminuir la contaminación del plástico en el ambiente, porque según (Castellón 2010, p.5) los desechos de plásticos biodegradables pueden ser tratados como desechos orgánicos y luego eliminados en los depósitos sanitarios, donde su degradación se realice en cortos períodos de tiempo.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

- Obtener plásticos biodegradables a partir del almidón de judías verdes y amarillas para su aplicación en envasado de alimentos.

Objetivos específicos

- Extraer el almidón de judías verdes y amarillas por métodos fisicoquímicos para su aplicación.
- Establecer al menos una formulación óptima para la elaboración de plásticos biodegradables con características sensoriales, físicas y mecánicas adecuadas.
- Evaluar la biodegradabilidad del bioplástico obtenido mediante ensayos descritos en normas técnicas para su aplicación en envasado de alimentos.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Plástico

Los plásticos son uno de los materiales más utilizados en el mundo desde el siglo XX, su crecimiento en la industria ha sido exponencial, contribuyendo a avances, innovaciones y funcionalidades en un sinnúmero de actividades humanas, convirtiéndose en un material de consumo a gran escala (Meneses et al, 2007, p.58).

Dicho material proviene en su mayoría de moléculas de hidrocarburo derivadas del petróleo que se repiten constantemente haciéndolas reaccionar (polimerización) para formar una cadena más larga, llamada polímero (molécula básica de los plásticos), por ejemplo, el plástico más comercializado es el polietileno y no es más que una molécula de etileno repetida un montón de veces (Montalvo, 2007, p.6).

1.1.1. Plástico de un solo uso

Plástico de un solo uso se considera a aquel material que tiene una vida funcional muy corta y se usa sólo una vez, para después ser desechado y al tener una descomposición muy lenta conforma un gran problema de contaminación en el ambiente, suelos y aguas. En orden de magnitud se encuentran: tapas y botellas plásticas, envoltorios para envasado de comida, bolsas y pajillas (ONU 2018, p.7).

1.1.1.1. Problemática del plástico de un solo uso

Los residuos plásticos han llegado al límite según la Organización de Naciones Unidas (2018, p.7), esta organización relata que los residuos plásticos son la causa de una infinidad de problemas para el ambiente y para la salud humana, además de causar un daño económico tremendo a sectores del turismo, pesca y transporte.

1.1.2. Clasificación de los polímeros

Los polímeros se pueden clasificar de distinta manera, según su origen, según su uso o según su estructura (Hermida, 2011, pp.16-18).

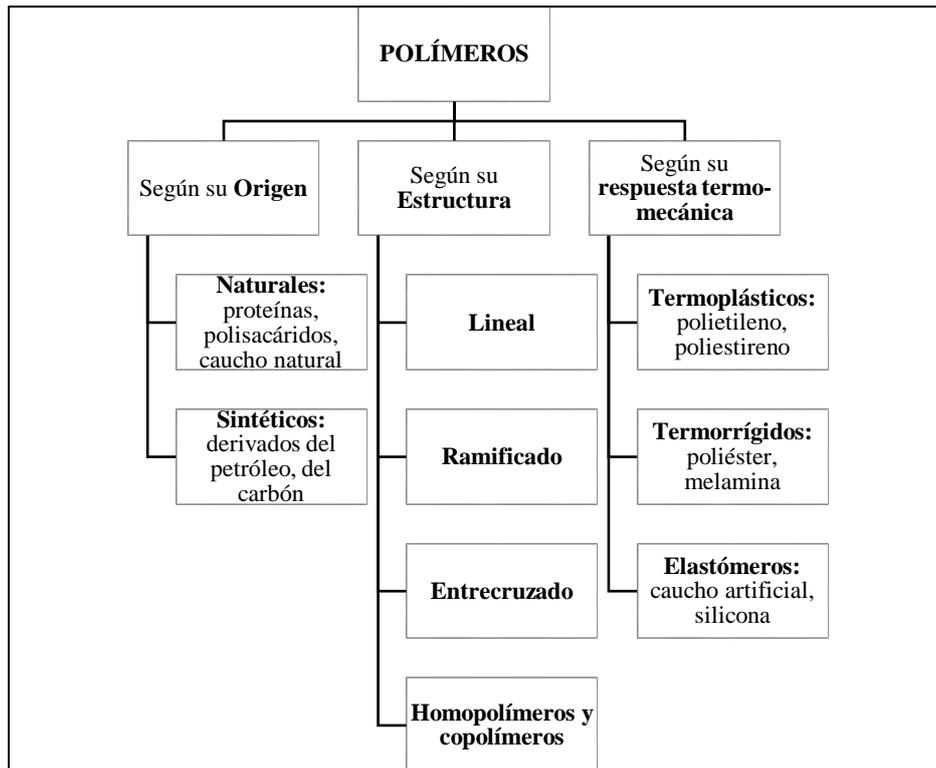


Gráfico 1-1. Clasificación de los polímeros

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

1.1.3. Origen del bioplástico

Los problemas al ambiente acarreados por la fabricación de millones de toneladas de materiales no degradables se hicieron muy notorios a la mitad del siglo XX, teniendo un punto de quiebre en la crisis petrolera de 1973, la cual dio a notar los severos problemas de dependencia al crudo (ZEAplast, 2012). A pesar de aquello, el plástico derivado del petróleo ha sido el material que, desde su creación, se ha utilizado en gran manera en todos los ámbitos del ser humano, debido a sus características idóneas para el uso, entre ellas la durabilidad de dicho producto que, si bien le aporta una gran característica para su uso, también es una gran amenaza para el ambiente, ya que puede permanecer en la naturaleza durante largo tiempo (Marjadi y Dharaiya, 2010, p.90).

A partir de esa problemática, se presentaron numerosas investigaciones implementando material orgánico para la obtención de biopelículas.

En 1976, en Reino Unido se presentó el primer producto bioplástico que años más tarde se llegó a comercializar como el primer plástico biodegradable, llamado Biopol® (ZEAplast, 2012).

En la actualidad, se llevan a cabo investigaciones enfocadas en la obtención de plásticos derivados de biopolímeros, siendo el almidón el biopolímero que más destaca al ser uno de los más estudiados y caracterizados.

1.2. Materia vegetal

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) es una de las leguminosas comestibles más importantes, se encuentra distribuida en todo el mundo y es parte fundamental de la dieta, especialmente en América latina, razón por la cual la selección a través de la historia ha producido un sinnúmero de formas y variedades diferentes, haciéndola acreedora de nombres diferentes, como frijol, judía, vainita, entre otros (Ulloa et al, 2011, p.5).

El frijol tiene diferentes formas, las más características son las formas de riñón, cilíndricas y redondas, aunque el color es su característica distintiva para nombrarlas, algunos granos son blancos, rojos, negros, verdes, amarillos, etc. (Ulloa et al, 2011, p.5).

Tabla 1-1: Descripción taxonómica de frijol o judía

| | |
|------------------------|---|
| Reino | Plantae |
| División | Magnoliophyta |
| Clase | Magnoliopsida |
| Subclase | Rosidae |
| Orden | Fabales |
| Familia | Fabaceae |
| Subfamilia | Faboideae |
| Tribu | Phaseolae |
| Subtribu | Phaseolinae |
| Género | <i>Phaseolus</i> |
| Sección | P. sect. Phaseolus |
| Especie | <i>P. vulgaris</i> |
| Nombre binomial | <i>P. vulgaris</i> L. |
| Nombres comunes | fréjol, fríjol, poroto, habichuela, judía, ejote, alubia, caraota |

Fuente: Valladares, 2010.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Dependiendo de la variedad del frijol, la composición química varía, pero siempre se caracteriza por su alto contenido en proteína, fibra alimenticia, minerales y vitaminas; el contenido proteico varía del 14% al 33%, el contenido de hidratos de carbono varía de 52% a 76%, el contenido lipídico varía entre 1,5% a 6,2% y el contenido de fibra varía entre 14% a 19% (Ulloa et al., 2011, p.6).

Tabla 2-1: Composición nutricional del frijol (por cada 100g)

| Componente | Cantidad |
|--------------------------|-----------------|
| Calorías | 312,00g |
| Proteínas | 0,50g |
| Carbohidratos | 86,00g |
| Grasas | 0,1g |
| Agua | 12,3g |
| Cenizas | 1,1g |
| Calcio | 80,00mg |
| Fósforo | 60,00mg |
| Hierro | 2,40mg |
| Vitamina B ₁ | 0,02mg |
| Vitamina B ₁₂ | 0,07mg |
| Vitamina C | 3,00mg |

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería – Sección Granos, 2012.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

En el Ecuador, la leguminosa es bastante consumida debido a su fácil adquisición y su gran valor nutricional, inclusive su valor proteico es comparado con el valor proteico de la carne roja (Garcés, 2013, p.198). Su gran predilección por parte de la población ecuatoriana la ha llevado a ocupar el primer lugar en producción y consumo entre las leguminosas, llegando a cultivarse más de 100mil hectáreas, representando un gran sustento en la economía familiar del agricultor de este producto (Torres et al, 2013, p.24).

En el país, gracias a su variabilidad en climas y regiones, se siembran más de cincuenta variedades de frijol, siendo el blanco panamito, canario, calima roja, boca negra las más deseadas y comercializadas en el mercado (Basantes, 2015, p.13).

La siembra de este grano se la realiza en las regiones costa y sierra, aunque casi el 90% de la siembra total se da en la región andina del país; cabe resaltar que un poco más del 50% de la siembra se da en asociación con el maíz (Voysest, 2000, p.74).

Los valles de la sierra comprenden las zonas ideales para la siembra de la semilla mientras que la siembra en la costa, se dio por introducción de la semilla (Voysest, 2000, p.77).

1.3. Almidón

1.3.1. Generalidades

El almidón es el polímero que está presente en mayor proporción en el reino vegetal y quizás el

más importante y estudiado que existe. Se encuentra como reserva energética en las semillas de cereales y leguminosas, en tubérculos y raíces, en todos los frutos e, inclusive en tallos y hojas (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.33).

El almidón está conformado por gránulos constituidos en estructuras ordenadas en formas de capas macromoleculares y cuya composición, cantidad y forma van a depender netamente de la fuente de obtención (Meneses et al, 2007, p.59).

1.3.2. Composición del almidón

La composición química del almidón contiene exclusivamente unidades de glucosa que se repiten formando una molécula de amilosa y otra de amilopectina, éstas a su vez conforman dos tipos de capas, externas e internas, las capas externas están formadas por amilopectina y las capas internas por amilosa (Meneses et al, 2007, p.59).

La proporción amilosa/amilopectina varía según el tipo de fuente y el contenido de amilosa es importante sobre las propiedades físicas, químicas y funcionales del polímero (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.33).

- Amilosa

Es una molécula polimérica lineal en forma de espiral, conformada generalmente por alrededor de mil unidades de glucosas unidas entre sí por enlaces glucosídicos α -D-(1 \rightarrow 4). La estructura de la amilosa tiene bastantes hidroxilos que, debido a su linealidad, tienden a formar grupos unidos por puentes de hidrógeno reduciendo su característica hidrofílica (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.34).

La estructura de la amilosa posee ramificaciones en un porcentaje muy bajo, dichas ramificaciones no son largas, ni cortas y están distanciadas considerablemente permitiendo a las moléculas ser lineales y favoreciendo a la formación de películas fuertes y estables (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.34).

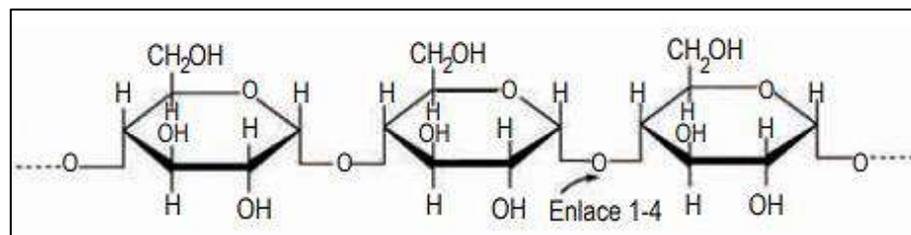


Figura 1-1. Esquema de la amilosa

Fuente: Aristizábal y Sánchez, 2007.

- Amilopectina

Es un polímero que presenta ramificaciones por enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) que unen a las cadenas lineales de glucosa α -D-(1 \rightarrow 4), tiene un gran tamaño que disminuye los enlaces de hidrógeno,

consecuente a ello disminuye la fuerza y flexibilidad a las láminas (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.34).

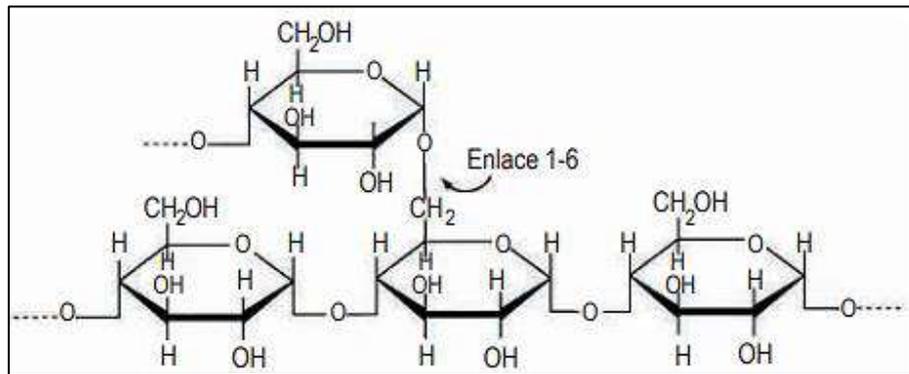


Figura 2-1. Esquema de la amilopectina

Fuente: Aristizábal y Sánchez, 2007.

La organización intramolecular entre los dos polímeros con enlaces hidrógenos entre los grupos -OH da como resultado la formación de zonas cristalinas y amorfas, siendo la amilopectina el componente primordial en otorgarle al almidón su característica semicristalina (Ruiz, 2006, p.8).

El vínculo entre la amilosa y la amilopectina es un factor determinante en la obtención de películas de plástico y tiene influencia en las propiedades físicas y mecánicas de éstas (Domínguez y Jimenez, 2012, p. 115).

1.3.3. Características fisicoquímicas del almidón

Entre las características fisicoquímicas más importantes del almidón se mencionan, el contenido proximal, las características del gránulo, el peso molecular y su porcentaje de amilosa; de estos análisis se precisa su uso, por ejemplo, la concentración de proteína puede afectar en el olor, sabor y la formación de espuma, por otro lado, los lípidos pueden llegar a formar un complejo con la amilosa y disminuir el hinchamiento y solubilidad de los gránulos del almidón (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.35).

1.3.4. Características funcionales del almidón

La proporción amilosa/amilopectina interfiere directamente en las características funcionales del almidón y cuando es sometido a un proceso hidrotérmico sufre cambios estructurales en tres fases: gelatinización, gelificación y retrogradación (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.37).

- Gelatinización

En esta fase los gránulos de almidón, en presencia de agua y temperatura, se hinchan debido al rompimiento interno de sus enlaces de hidrógeno, lo que aumenta la viscosidad de la solución y

disminuye su estructura cristalina. La temperatura alcanzada a dicho punto se la conoce como temperatura de gelatinización (Tg) y es característica de cada almidón (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.37).

- Gelificación y retrogradación

Estas dos últimas fases se dan en el proceso de enfriamiento. Durante la gelificación, los gránulos tienden a agregarse por la pérdida de la solubilidad y, posterior a ello, se da la fase de retrogradación, donde los gránulos retoman su estructura cristalina uniéndose entre moléculas y endureciendo el gel formado (Aristizábal y Sánchez, 2007, p.38).

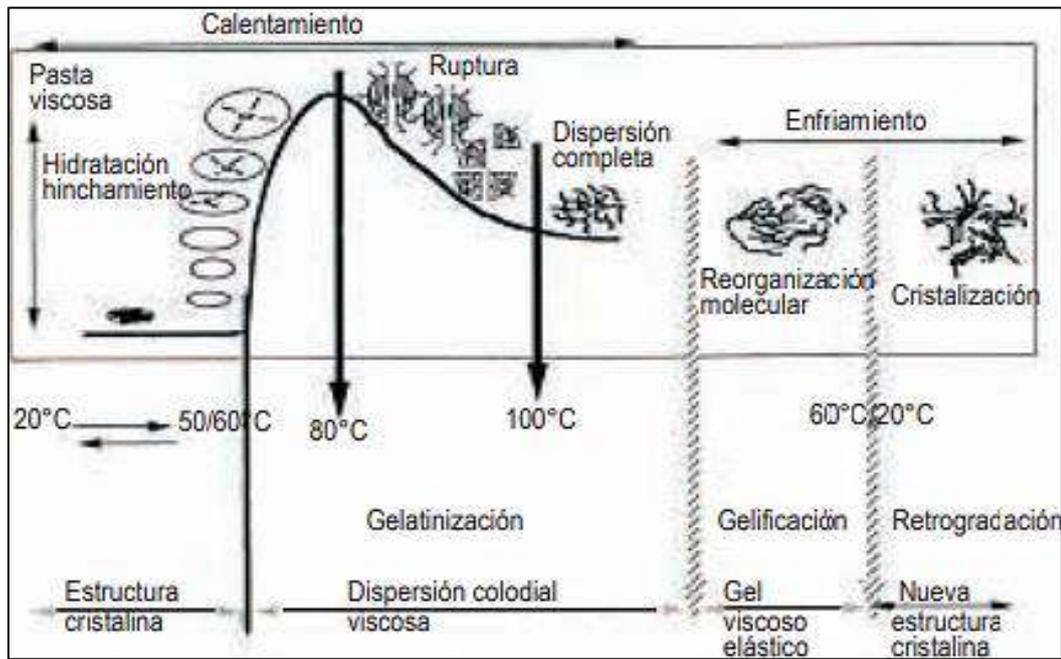


Figura 3-1. Cambios estructurales de gránulos de almidón en el proceso hidrotérmico

Fuente: López, J. 1994.

Tabla 3-1: Características de gránulos de almidón

| Almidón | Morfología | Diámetro (µm) | Contenido de amilosa (%) | Temperatura de gelatinización (°C) | Temperatura de gelificación (°C) | Propiedades de cocción |
|---------|-------------------|---------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--|
| Maíz | Redondo poligonal | 5-30 | 25 | 62-72 | 80 | Gel opaco |
| Yuca | Ovalado truncado | 4-35 | 17 | 62-73 | 63 | Gel claro, cohesivo, tendencia a gelificar |
| Papa | Ovalado esférico | 5-100 | 20 | 59-68 | 64 | Gel claro, cohesivo, |

| | | | | | | |
|-------|--------------------|------|----|-------|----|-----------------------|
| | | | | | | tendencia a gelificar |
| Trigo | Redondo lenticular | 1-45 | 25 | 58-64 | 77 | Gel opaco |

Fuente: Aristizábal y Sánchez, 2007.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

1.3.5. Extracción de almidón

En literatura existen diversos procesos para extraer los almidones, ya que va a depender de la fuente vegetal, pero en la mayoría de los casos el proceso está conformado por la misma base de operaciones.



Gráfico 2-1. Diagrama de flujo de la obtención de almidón de papa

Fuente: Charro, 2015.

1.4. Aditivos usados para la elaboración de láminas de bioplástico

Los plásticos son productos heterogéneos, es decir, que contienen aditivos que ayudan a formar el producto con una funcionalidad final, entre ellos están agentes estabilizantes, agentes colorantes, entre otros (LEIA, 2007, p.14).

En general, los polímeros biodegradables necesitan de otros componentes para que aporten humectación, lubricación, plasticidad, extensión y resistencia al producto final (Meneses et al, 2007, p.61).

1.4.1. Plastificante

Un plastificante es un componente que se utiliza en la obtención de plásticos con el objetivo de aumentar su flexibilidad y alargamiento, reduciendo los enlaces de hidrogeno internos a la vez que aumenta los espacios intermoleculares como acción lubricante (Parra, 2019, p.15).

En general, el agua es considerada el mejor plastificante, aunque no debe estar en proporciones altas con relación al almidón (Meneses et al, 2007, p.61).

1.4.2. Glicerina

La glicerina es un plastificante bastante utilizado en la elaboración de bioplásticos, ya que proporciona suavidad y humectación a la mezcla. Interviene en el proceso de retrogradación de los productos termoplastificados y brinda la movilidad suficiente a las cadenas poliméricas formadas (Charro, 2015, p.18).

1.4.3. Ácido acético

Es una sustancia que actúa como modificador químico; su acción se basa en la esterificación de los grupos hidroxilos libres del polímero, teniendo como resultado cambios significativos en las propiedades mecánicas del bioplástico (Peñaranda, 2008, p.49).

1.4.4. Caracterización de los bioplásticos

1.4.4.1. Propiedades físicas

- Espesor

El espesor es una medición importante para las láminas de plástico y se define como la distancia perpendicular entre dos superficies principales de un material. Es una característica que influye directamente en las propiedades de las láminas, mecánicas y de barrera (Trujillo, 2014, p.23).

- Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

La PVA se define como el flujo constante de vapor de agua que atraviesa un cuerpo en tiempo determinado, bajo condiciones específicas de temperatura y humedad, inducido por la diferencia de presión entre ambas caras (Norma Chilena Oficial, 2001, p.3).

Es una de las propiedades más importantes en las láminas plastificadas y es considerada “característica de barrera”, ya que su importancia radica en establecer un límite al paso del vapor de agua, reduciendo de manera considerable la pérdida de peso en frutos y vegetales (Trujillo, 2014, p.25).

- Solubilidad en agua

La solubilidad en agua se puede definir como el porcentaje de materia seca de la lámina que se solubiliza en veinticuatro horas sumergida en agua (Gontard et al, 1994, p.41).

1.4.4.2. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas que resultan de interés para la caracterización de un bioplástico son el módulo de elasticidad, la elongación y la resistencia a la tracción.

- **Módulo de elasticidad**

Este análisis se considera uno de los indicadores de rigidez de las láminas, la cual relaciona la tensión y la deformación y cuanto más alto es su valor más rígido será el material (Oliveira et al, 1996).

- **Elongación**

Según Vicentini (2003) la prueba de elongación facilita la derivación de otras tres propiedades: tensión, deformación y módulo de elasticidad. Dichas propiedades describen la resistencia de un material a la elongación y a la ruptura cuando es sometida a una tensión (Oliveira et al, 1996).

- **Resistencia a la tracción**

La resistencia a la tracción se define como el esfuerzo máximo que una lámina puede llegar a soportar antes de romperse; se obtiene dividiendo la fuerza aplicada entre el área transversal de la lámina (Wang et al, 2007, p.1130).

1.4.4.3. Biodegradabilidad

La biodegradabilidad se puede definir como un proceso mediante el cual los microorganismos, como las bacterias, hongos, levaduras degradan un material, usándolo como una fuente de alimento, desprendiendo dióxido de carbono, metano, agua, biomasa o compuestos inorgánicos (Meneses et al, 2007, p.12).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Tipo de investigación

La investigación propuesta es de tipo cuantitativa debido a que se midieron los valores de rendimiento de extracción de almidón de las judías verdes y judías amarillas y también se midieron los valores resultantes de las variables respuestas de las láminas de bioplástico (espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua) de las formulaciones planteadas.

2.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es de carácter experimental debido a que corresponde a estudios para cuyo desarrollo se requiere examinar el comportamiento de fenómenos, a partir de la manipulación de una o varias variables, en condiciones rigurosamente controladas. En este caso, la investigación se realizó en un laboratorio, donde para la extracción de almidón se manipularon las variables tiempo y velocidad de trituración y para la formulación de los tratamientos de obtención de láminas de bioplástico se manipularon la concentración de almidón y glicerina.

2.3. Lugar de la investigación

La investigación se realizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el Laboratorio de Investigación de la Facultad de Ciencias.

2.4. Población de estudio

La población de estudio constituye judías verdes y amarillas proporcionadas por el financiamiento del proyecto de investigación.

2.5. Tamaño de la muestra

La población de estudio corresponde a la muestra disponible, es decir, treinta kilogramos de judías verdes y treinta kilogramos de judías amarillas.

2.5.1. Selección de muestra

- CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Semillas en buen estado con características físicas propias de las judías que presentan color verde y amarillo con aspecto brillante.

- CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Aquellas semillas que presentan mal estado (golpeadas, aplastadas, rajadas, secas, podridas, etc.) y que no posean características físicas propias de las semillas, así también las que no presentaran el color verde y amarillo y aquellas muy maduras con la recubierta arrugada y arenosa.

2.6. Diseño experimental

Toda la investigación se desarrolló en base a un diseño factorial 2^k , tanto para la extracción de los almidones como para la formulación de los tratamientos de obtención de láminas de bioplástico. Dicho diseño consiste en que cada uno de los factores k cuenta con dos niveles, de esta manera se conoce simultáneamente qué efecto tienen k factores sobre una respuesta (Fernández, 2020, pp.19-20). El diseño se lo llevó a cabo utilizando el Software estadístico MINITAB 19.

2.6.1. Identificación de variables

Tabla 1-2: Variables tomadas en cuenta en el estudio

| Proceso | Variables Independientes | Variables Dependientes |
|---------------------------------------|--|---|
| Extracción de almidón | Tiempo de triturado (min.) Velocidad de triturado (nivel) | Rendimiento de extracción (%) |
| Elaboración de láminas de bioplástico | Cantidad de almidón (g) Cantidad de glicerina (g) | Espesor (mm) Humedad (%) Solubilidad (%) Permeabilidad al vapor de agua ($\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{MPa}^{-1}$) |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

2.7. Proceso de extracción de almidón

El proceso de extracción de almidón se basó en el método de (Aristizábal y Sánchez 2007) con algunas adaptaciones. Se tomó en cuenta el diseño factorial 2^2 , teniendo como factores la velocidad y el tiempo y como niveles el más bajo (-) y el más alto (+).

Tabla 2-2: Factores y niveles del proceso de extracción de almidón

| Factor | Nivel alto | Nivel bajo |
|--------------------------------|------------|------------|
| Velocidad (nivel de velocidad) | 4,00 | 1,00 |

| | | |
|-----------------|------|------|
| Tiempo (minuto) | 0,50 | 1,00 |
|-----------------|------|------|

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

El diseño factorial se realizó utilizando el software estadístico MINITAB 19.

Tabla 3-2: Resumen del diseño en Minitab 19 para el estudio 2² de extracción de almidón

| | |
|--------------|------------------------|
| Factores: 2 | Diseño de la base: 2;4 |
| Corridas: 16 | Réplicas: 4 |
| Bloques: 1 | Puntos centrales: 0 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

2.7.1. Planteamiento de hipótesis

Ho: Las variables tiempo y velocidad de triturado no afectan significativamente en el porcentaje de rendimiento de extracción de almidón.

H1: Las variables tiempo y velocidad de triturado afectan significativamente en el porcentaje de rendimiento de extracción de almidón.

2.7.2. Diagrama del proceso de extracción de almidón

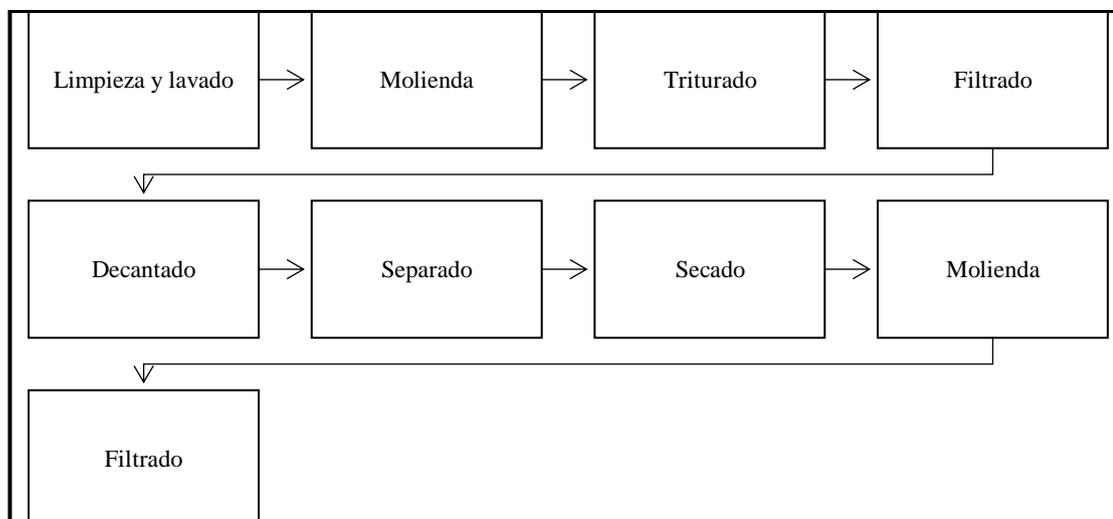


Gráfico 1-2. Diagrama de flujo de extracción de almidón por vía húmeda.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

- **Limpieza y lavado.** En primera instancia, se limpió el monto de judías y, a su vez, se seleccionó las judías según los criterios de inclusión y exclusión ya mencionados. Después se lavaron con agua de grifo.
- **Molienda.** Se realizó la molienda con un molino de acero a mano para liberar el almidón de

la estructura del grano. El tamaño de los trozos fue de 2 a 3 mm, ya que se tomó en cuenta lo dicho por (Bustamante 1988, p.12) de que, si se obtiene un material demasiado fino, es difícil separar el almidón del material fibroso, mientras si se obtienen trozos grandes, el almidón no se libera.

- **Triturado.** El triturado se llevó a cabo con 200 g de muestra molida en 500 ml de agua embotellada puestos para licuar en una licuadora marca forever de 4 velocidades.
- **Filtrado.** El filtrado se lo realizó con media nylon lo suficientemente poroso para dejar pasar sólo al almidón y retener la parte fibrosa.
- **Decantado.** La parte filtrada se la colocó en vasos de plástico de un litro y se lo dejó decantar de forma natural durante doce horas.
- **Separado.** Con la ayuda de jeringuillas con pico de 60 cc se separó la fase de almidón sedimentado de las otras fases formadas.
- **Secado.** Se dispersó el almidón sedimentado en unas láminas de papel aluminio y se dejó secar al ambiente durante 72 horas.
- **Molienda.** El almidón extraído ya seco se molió a mano con pistilo y mortero.
- **Filtrado.** El filtrado se lo realizó con un tamiz de acero inoxidable de 63 micras y se almacenó en fundas ziploc.

2.8. Análisis fisicoquímico y microbiológico de los almidones extraídos

2.8.1. Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos se llevaron a cabo por igual a ambos almidones extraídos.

Tabla 4-2: Ensayos fisicoquímicos

| N ^o | Análisis | Materiales y Equipos | Reactivos | Procedimiento | Fórmulas | Método de Ensayo |
|----------------|----------|--|---|--|--|---|
| 1 | Humedad | <ul style="list-style-type: none"> Balanza analítica Explorer Ohaus Estufa universal UF110 memmert Desecador Crisoles de porcelana | <ul style="list-style-type: none"> Almidones extraídos | <ol style="list-style-type: none"> Se pesó 5,00g de muestra de almidón en un crisol previamente tarado. Se llevó a la estufa a 130°C durante una hora y media. Después se colocó el crisol en el desecador hasta enfriar. Finalmente, se pesó en una balanza analítica Se repitió la desecación hasta conseguir un peso constante. Se calculó el porcentaje de humedad con la Ecuación 1-2 | $\% \text{Humedad} = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$ <p>Ecuación 1-2: Porcentaje de humedad</p> <p>Donde:</p> <p>P_o: peso inicial de la muestra (g)</p> <p>P_f: peso final de la muestra seca (g)</p> | NTE INEN-ISO 1666 |
| 2 | Cenizas | <ul style="list-style-type: none"> Balanza analítica Explorer Ohaus Desecador Crisoles de porcelana Mufla | <ul style="list-style-type: none"> Almidones extraídos | <ol style="list-style-type: none"> Se pesó 1,00g de almidón en un crisol previamente tarado. Luego se colocó el crisol en la mufla a 550°C por tres horas y media. Se colocó el crisol y las cenizas en un desecador hasta que enfriar. Se pesó el crisol con las cenizas. | $\% \text{Cenizas} = \frac{P_c}{P_o} \times 100$ <p>Ecuación 2-2: Porcentaje de cenizas</p> <p>Donde:</p> <p>P_c: peso de las cenizas (g)</p> <p>P_o: peso inicial de la muestra (g)</p> | AOAC – Association of Official Analytical Chemists, 2000. |

| | | | | | | |
|---|-------------------------------------|--|---|---|--|----------------------|
| | | | | 5. Se calculó el porcentaje de cenizas totales con la Ecuación 2-2 | | |
| 3 | Índice de Solubilidad en agua (ISA) | <ul style="list-style-type: none"> Balanza analítica Explorer Ohaus Baño de agua WNB 7 memmert Centrífuga Tubos para centrífuga Vasos de precipitación de 50 ml Estufa universal UF110 memmert | <ul style="list-style-type: none"> Almidones extraídos Agua destilada | <ol style="list-style-type: none"> Se pesó 1,25g de muestra en tubos (previamente pesados) y se agregó 30ml de agua destilada caliente a 60 °C y agitó. Se colocó en baño maría a 60 °C durante 30min. (se agitó a los 10min. de iniciar el baño maría). Se centrifugó durante 30min. a 4900 RPM. Se decantó el sobrenadante inmediatamente y se midió su volumen. Se tomó 10 ml del sobrenadante y se colocó en un vaso de precipitación previamente pesado. Se secó el sobrenadante a 70 °C. Se pesó el tubo de centrífuga con el gel. Se pesó el vaso de precipitación con los insolubles. | $ISA = \frac{Ps \times V \times 10}{Pm}$ <p>Ecuación 3-2: Índice de solubilidad en agua (%)</p> <p>Donde:</p> <p>ISA: Índice de Solubilidad en Agua (%)</p> <p>Ps: peso de los solubles (g)</p> <p>V: volumen de agua destilada (ml)</p> <p>Pm: peso inicial de la muestra (g)</p> | Anderson et al, 1969 |
| 4 | pH | <ul style="list-style-type: none"> Equipo de medición de pH Oakton 700 Vaso de precipitación de 50 ml Balanza analítica Explorer Ohaus | <ul style="list-style-type: none"> Almidones extraídos Agua destilada | <ol style="list-style-type: none"> Se calibró el equipo con una solución tampón pH 7,00 a temperatura de 25 °C. Se mezcló 2,00 g de la muestra en 5 ml de agua destilada. Se sumergió los electrodos del equipo en la solución (25 °C). Se leyó el pH <p>Lavar el electrodo con agua destilada y secarlos cuidadosamente.</p> <p>Sumergir el electrodo en la mezcla obtenida en el ensayo de solubilidad.</p> | Medición directa del equipo | NTE INEN 1456, 2012 |

| | | | | | | |
|---|-------------------------------|--|---|--|--|---|
| 5 | Temperatura de gelatinización | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica Explorer Ohaus • Vasos de precipitación de 100 y 250 ml • Varilla de agitación • Reverbero • Pinzas para crisoles • Termómetro de mercurio escala 0 – 100 °C | <ul style="list-style-type: none"> • Almidones extraídos • Agua destilada • Agua de grifo | <ol style="list-style-type: none"> 1. Se disolvió 10,00 g de muestra en agua destilada y, luego se completó a 100 ml. 2. Se calentó agua en un vaso de precipitado de 250mL a 85°C. 3. Se tomó 50 ml de la suspensión en un vaso de precipitado de 100 ml. 4. Se llevó el vaso de precipitado con la muestra al vaso con agua a 85°C. 5. Se agitó, constantemente, con el termómetro la suspensión hasta que se formó una pasta y la temperatura estuvo estable por unos segundos. 6. Se leyó la temperatura de gelatinización | <p>Medición directa en el termómetro</p> | <p>Técnica de Grace, 1977</p> |
| 6 | Viscosidad de Brookfield | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica Explorer Ohaus • Vasos de precipitación de 1000 y 500 ml • Reverbero • Pinzas para crisoles • Termómetro de mercurio escala 0 – 100 °C • Viscosímetro Brookfield modelo DV-II | <ul style="list-style-type: none"> • Almidones extraídos • Agua destilada • Agua de grifo • Hielo | <ol style="list-style-type: none"> 1. Se disolvió 25,00 g de muestra seca en agua destilada y, luego se completó hasta 500 ml. 2. Se llevó la suspensión a un vaso de precipitado de 1000mL y se calentó con agitación hasta ebullición (aprox. 15 min.). 3. Se enfrió el gel hasta 25 °C y se tomó una alícuota de 15mL 4. Se midió la viscosidad a 25°C, con una velocidad de 10 RPM. | <p>Medición directa en el equipo</p> | <p>ISI – International Starch Institute, 2002</p> |

| | | | | | | |
|---|---------------|--|---|---|---|---|
| 7 | Fibra (pulpa) | <ul style="list-style-type: none"> • Crisoles filtrantes • Papel filtro Whatman N° 1 • Estufa universal UF110 memmert • Reverbero | <ul style="list-style-type: none"> • Almidones extraídos • Agua destilada • Ácido clorhídrico 0.40 % (v/) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Se hirvió 2 g de muestra en 100mL de ácido clorhídrico 0,40% por una hora. 2. Se filtró el líquido en un crisol filtrante (previamente pesado). 3. Se lavó con agua destilada caliente. 4. Se secó el crisol a 105 °C en una estufa hasta que se obtuvo un peso constante. 5. Se calculó el contenido de fibra (%) | $\%Fibra = \frac{Pc - Pco}{Pm} \times 100$ <p>Ecuación 4-2: Contenido de fibra (%)</p> <p>Donde:</p> <p>Pc: peso de crisol después de secado (g)</p> <p>Pco: peso de crisol vacío (g)</p> <p>Pm: peso de la muestra (g)</p> | Técnica de Grace, 1977 |
| 8 | Proteína | <ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica Explorer Ohaus • Aparato de digestión y destilación micro-Kjeldahl • Frascos Erlenmeyer de 250 ml • Buretas • Pipetas de 2ml • Balón volumétrico de 100 y 1000 ml | <ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • Solución indicadora • Solución estandarizada de ácido clorhídrico 0.02N • Mezcla catalizadora • Ácido sulfúrico concentrado • Ácido bórico 4,00% • Hidróxido | <ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesó por duplicado 0,10 g de almidón en polvo en los tubos Kjeldahl (muestras + dos blancos). 2. Se agregó 2,00 g de la mezcla catalizadora y 4 ml de ácido sulfúrico concentrado. 3. Se calentó los tubos en el equipo Kjeldahl durante 45 minutos. 4. Se agregó 50ml de agua destilada a los tubos. 5. Se obtuvo el destilado en frascos Erlenmeyer de 250,00 ml con 100ml de la solución de ácido bórico 4,00%. 6. Se agregó con cuidado 25,00ml de hidróxido de sodio 40,00% (p/v) a cada tubo. 7. Se destiló 2/3 partes del contenido de los tubos. 8. Se tituló el amonio recogido con ácido clorhídrico estandarizado, hasta que se llegó a un color morado o que desaparezca del todo el color. 9. Hacer lo mismo para los dos blancos. | $\%Pc = \frac{(Mlm - Mlb) \times 1,4 \times NHCL}{Pm} \times 6,25$ <p>Ecuación 5-2: Proteína cruda (%)</p> <p>Donde:</p> <p>Mlm: ml ácido gastado en muestra</p> <p>Mlb: ml ácido gastado en blanco</p> <p>NHCL: Normalidad del ácido clorhídrico</p> <p>Pm: Peso inicial de la muestra</p> | AOAC – Association of Official Analytical Chemists, 2000. |

| | | | | | |
|---|---------------------|---|---|---|---------------------------|
| | | | de sodio 40% (p/v) | | |
| 9 | Amilosa* | | | El análisis de amilosa se realizó en el Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). | MO-LSAIA-04 – INIAP, 2021 |
| 1 | Amilopectina | | | Se realizó por cálculo diferencial del análisis proximal | |
| 1 | Tamaño de partícula | <ul style="list-style-type: none"> • Microscopio óptico • Computadora • Portaobjetos • Cubreobjetos | <ul style="list-style-type: none"> • Almidón | <ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar un poco de almidón en el portaobjeto 2. Cubrir con el cubreobjeto 3. Colocar en el microscopio 4. Observar con el lente 40x | Directo del equipo |

Nota: *Estos análisis se hicieron en laboratorios externos

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

2.8.2. Análisis microbiológico

Tabla 5-2: Ensayos microbiológicos

| N° | Análisis | Materiales y Equipos | Reactivos | Procedimiento | Método de Ensayo |
|----|---------------------|--|--|---|---|
| 1 | Hongos y levaduras* | <ul style="list-style-type: none"> • Autoclave • Mechero • Balanza analítica Explorer Ohaus • Tubos con tapa de rosca estériles • Gradillas para tubos • Cajas de Petri • Erlenmeyer de 250ml • Pipetas de 1 y 10ml estériles • Incubadora • Cámara de siembra estéril | <ul style="list-style-type: none"> • Almidones extraídos • Agua destilada estéril • Agar OGY (Agar oxitetraciclina glicosa extracto de levadura) • Agar extracto de levadura glucosa cloranfenicol • Agua peptonada | <ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesó 10 g de muestra en un Erlenmeyer con 90 ml de agua peptonada, obteniendo una dilución de 10^{-1}, se agitó y se dejó reposar 10 minutos. 2. Se traspasó 1 ml de la dilución 10^{-1} a un tubo con 9ml de agua peptonada estéril a simple concentración, de la cual se obtuvo una dilución 10^{-2}. 3. Se inoculó 1 ml de cada dilución en cajas Petri y se vertió 15 ml de agar OGY o agar extracto de levadura glucosa cloranfenicol (45°C). 4. Se mezcló por rotación en forma circular y se dejó solidificar el agar. 5. Se invirtió las cajas Petri y se dejó incubar a temperatura ambiente durante 5 días. 6. Tener una caja Petri control con el agar, otra con el agar y agua peptonada y dejar incubar | ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1997 |
| 2 | Coliformes totales* | <ul style="list-style-type: none"> • Autoclave • Incubadora • Mechero • Balanza analítica Explorer Ohaus • Baño de agua | <ul style="list-style-type: none"> • Almidones extraídos • Agua destilada estéril • Agua peptonada a simple | <p><u>Prueba Presuntiva</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Se pesó 10,00 g de muestra un tubo con tapa rosca (estéril) con 90,00 ml de agua peptonada simple concentración, de la cual se obtuvo una dilución 10^{-1}. 2. Se tomó y traspasó 1,00 ml de la dilución 10^{-1} a un tubo con 9,00 ml de agua peptonada estéril a simple concentración, obteniendo así una dilución 10^{-2}. 3. Se tomó y traspasó 1,00 ml de la dilución 10^{-2} a un tubo con 9,00 ml de agua peptonada | ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, |

| | | | |
|--|---|--|------|
| WNB 7 memmert | concentración | estéril a concentración simple, obteniendo así una dilución 10^{-3} . | 1997 |
| <ul style="list-style-type: none"> • Tubos con tapa rosca estériles • Gradilla para tubos • Cajas Petri • Pipetas de 1 y 10 ml • Erlenmeyer 250 ml • Gradillas para tubos • Erlenmeyer de 250ml • Pipetas de 1 y 10 ml | <ul style="list-style-type: none"> • Caldo lactosado bilis verde brillante al 2% • Agar eosina azul de metileno (EMB) | <p>4. Se inoculó 1,00 ml de cada dilución a tubos con 10,00 ml de caldo lactosado bilis verde brillante al 2%, (se realizó tres repeticiones por cada dilución).</p> <p>5. Se agitó suavemente los tubos e incubó los tubos a 35 ± 2 °C durante 24 horas.</p> <p><u>PRUEBA CONFIRMATIVA</u></p> <p>1. Se observó los tubos y se sembró por estría, aquellos tubos con producción de gas, en agar eosina azul de metileno en cajas Petri.</p> <p>2. Se incubó las placas invertidas a 35 °C durante 24 horas.</p> <p>3. Se leyó las colonias típicas de coliformes.</p> | |

Nota: *Estos análisis se hicieron en laboratorios externos

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

2.9. Proceso de obtención de los bioplásticos

2.9.1. Desarrollo experimental para la obtención de láminas de bioplástico

En primer lugar, se realizaron pruebas preliminares en cajas de Petri para determinar las concentraciones de las variables manipuladas (almidón y glicerina) y los parámetros considerados, mientras que la concentración de ácido acético y agua destilada se mantuvo constante. Este paso se lo realizó para cada almidón por separado y, posteriormente, se hizo mezclando los dos almidones obtenidos.

2.9.2. Variables y parámetros tomados en cuenta para la experimentación

Después de las pruebas preliminares, se establecieron los parámetros para la elaboración de los bioplásticos finales.

Tabla 6-2: Parámetros para la elaboración de bioplásticos finales

| Parámetros | Cantidad | Unidad |
|-----------------------------|-------------|--|
| Volumen de agua destilada | 45,00 | mililitros (ml) |
| Volumen de ácido acético | 2,00 | mililitros (ml) |
| Temperatura de la mezcla | 78,00 | centígrados (°C) |
| Tiempo de mezclado | 4,00 – 5,00 | minutos (min.) |
| Tiempo de Secado | 2,00 | horas (h) |
| Temperatura de Secado | 50,00 | °C |
| Ventilación | 85,00 | Porcentaje (%) |
| Área de placas de vidrio | 375,00 | centímetros cuadrados (cm ²) |
| Masa de la mezcla plaqueada | 42,00 | gramos (g) |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

2.9.3. Diseño experimental para la obtención de láminas de bioplástico

Las variables consideradas en la elaboración de bioplásticos fueron las concentraciones de almidón y glicerina. Dichas variables se sometieron a un diseño factorial 2^k , teniendo como k factores al almidón y glicerina y dos niveles, el más bajo (-) y el más alto (+), resultando un diseño 2^2 . De esta manera se pudo determinar formulaciones óptimas y analizar nivel de significancia en las variables repuestas (espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua).

Tabla 7-2: Factores y niveles para la elaboración de bioplásticos

| Factores | Nivel bajo | Nivel alto |
|---------------|------------|------------|
| Almidón (g) | 3,60 | 3,80 |
| Glicerina (g) | 3,00 | 3,50 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

El diseño factorial se lo realizó en el software estadístico MINITAB 19.

Tabla 8-2: Diseño en Minitab 19 para el estudio 2² de la elaboración de láminas de bioplástico

| | |
|--------------|------------------------|
| Factores: 2 | Diseño de la base: 2;4 |
| Corridas: 12 | Réplicas: 3 |
| Bloques: 1 | Puntos centrales: 0 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

2.9.4. Planteamiento de hipótesis

H₀: Las variables independientes almidón y glicerina no afectan significativamente a las características de barrera de las láminas de bioplástico (espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua).

H₁: Al menos una de las variables independientes almidón y glicerina afectan significativamente a las características de barrera de las láminas de bioplástico (espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua).

2.9.5. Diagrama del proceso de elaboración de los bioplásticos

El proceso para obtener láminas de bioplástico se basó en lo descrito por (Charro 2015, p.31) con algunas modificaciones.

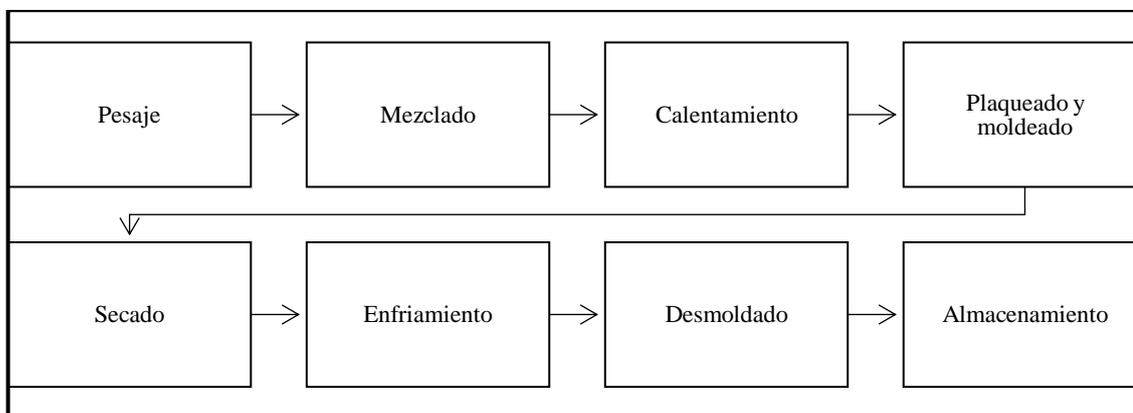


Gráfico 2-2. Diagrama de flujo de obtención de bioplástico.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

- Pesaje: se pesaron todos los componentes sólidos.
- Mezclado: primero se mezcló el almidón con el agua destilada en un vaso de precipitación y se agitó por un minuto. después se añadieron los aditivos, glicerina y ácido acético, y se agitó durante un minuto.
- Calentamiento: el vaso con la mezcla se puso a baño maría en otro vaso con agua temperada a 85,00 °C. con agitación constante de la mezcla, se la llevó a la temperatura de gelatinización y se la mantuvo durante un minuto.
- Plaqueado y moldeado: después del calentamiento, inmediatamente la mezcla fue trasladada a las placas de vidrio y se esparció sobre toda su superficie. se dejó reposar sobre una superficie plana durante treinta minutos.
- Secado: el secado de la mezcla se lo realizó en una estufa universal uf110 memmert a una temperatura de 50 °C, ventilación 80% durante dos horas.
- Enfriamiento: pasadas las dos horas, se sacó las placas a una superficie plana y se dejó enfriar durante seis horas.
- Desmoldado: pasado dicho tiempo, se desmoldó las láminas de las placas con cuidado.
- Almacenamiento: se almacenó cada lámina entre hojas de papel para su posterior caracterización.

2.9.6. Caracterización de los bioplásticos

La caracterización se la realizó a los bioplásticos resultantes de la combinación de los dos almidones.

Tabla 9-2: Ensayos de caracterización de los bioplásticos

| N° | Análisis | Materiales y Equipos | Reactivos | Procedimiento | Fórmula | Método de Ensayo |
|----|---------------------------|--|--|---|--------------------|-------------------------------|
| 1 | Espectroscopía Infrarroja | <ul style="list-style-type: none"> Espectrómetro infrarrojo Computadora | <ul style="list-style-type: none"> Láminas de bioplástico | <ol style="list-style-type: none"> Cortar láminas de bioplástico 2,00x2,00 cm. Colocar en la celda del equipo. Accionar el equipo Leer el espectro en la computadora. | Directo del equipo | |
| 2 | Vista al microscopio | <ul style="list-style-type: none"> Microscopio óptico Lente 40x Computadora Portaobjetos | <ul style="list-style-type: none"> Láminas de bioplástico | <ol style="list-style-type: none"> Cortar láminas de bioplástico 2,00x2,00 cm. Colocar en el portaobjetos. Enfocar con el lente 40x. Observar | Directo del equipo | |
| 3 | Espesor | <ul style="list-style-type: none"> Micrómetro digital Estilete | <ul style="list-style-type: none"> bioplásticos obtenidos | <ol style="list-style-type: none"> Se recortó 3 trozos de cada lámina de bioplástico en una dimensión de 2,00x2,00 cm. Se midió cada trozo con el micrómetro digital y se obtuvo el promedio de cada lámina | Directo del equipo | NTE-INEN 2542 |
| 4 | Humedad | <ul style="list-style-type: none"> Termobalanza sartorius MA37 | <ul style="list-style-type: none"> Bioplásticos obtenidos | <ol style="list-style-type: none"> Se tomó los trozos del ensayo de espesor y se colocó cada lámina en el equipo. | Directo del equipo | Método de ensayo gravimétrico |

| | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---|----|--|--|---|
| | | | | 2. | Se leyó el resultado lanzado por la termobalanza. | | |
| 5 | Solubilidad en agua | <ul style="list-style-type: none"> Shaker Orbicut IBS Papel filtro Frascos de plástico con tapa Estufa universal UF110 memmert Balanza analítica Explorerer Ohaus Probeta Papel aluminio | <ul style="list-style-type: none"> Agua destilada Bioplásticos obtenidos | 1. | Se tomaron los trozos ya secos y se colocaron inmediatamente en frascos de plástico con tapa | $\% \text{Solubilidad} = \frac{P_o - P_f}{P_o} \times 100$ | Laboratorio Tecnológico de Uruguay No 4-2009-INN TEC - 33 |
| | | | | 2. | Se llenó con 80,00 ml de agua destilada cada frasco y se tapó | Ecuación 6-2: Solubilidad en agua | |
| | | | | 3. | Se agitó durante 1 hora a 100 rpm en el shaker | Donde: | |
| | | | | 4. | Se filtró el agua con papel filtro. | Po: peso inicial de las láminas secas. | |
| | | | | 5. | Se colocó en la estufa a 40 °C y, posteriormente a 105 °C hasta peso constante. | Pf: peso de las láminas después el ensayo. | |
| 6 | Permeabilidad al vapor de agua (PVA) | <ul style="list-style-type: none"> Tubos de vidrio para extracción de sangre Desecador Gradilla para tubos Guantes de látex Balanza analítica Explorerer Ohaus Cinta adhesiva | <ul style="list-style-type: none"> Sílica gel Solución saturada de cloruro de sodio | 1. | Se activó el desecante (sílica gel) durante 24 horas a 105 °C. | $PVA = \frac{WTVR * z}{S' * (HR2 - HR1)}$ | Norma ASTM-E96 /96-M05 descrita y modificada por Charro, 2015 |
| | | | | 2. | Se recortó láminas de 2,00x2,00 cm. | Ecuación 7-2: PVA | |
| | | | | 3. | Se preparó la solución saturada de cloruro de sodio (60 g de sal común en 40 ml de agua de grifo) para proveer de un 75% de humedad relativa al desecador (HR ₂) | Donde: | |
| | | | | 4. | Se midió la altura y los diámetros, interno y externo, de los tubos. | WTVR: velocidad de transmisión de vapor de agua (gh ⁻¹ m ⁻²) | |
| | | | | 5. | Se rellenó las ¾ partes de los tubos con la sílica gel. | z: espesor de la lámina (m) | |
| | | | | | | S': presión de vapor de agua a la | |

| | | | | | | |
|---|------------------------|--|--|--|--------------------------------------|---|
| | | | | <ol style="list-style-type: none"> 6. Se recubrió la boca de los tubos con las láminas de bioplástico. 7. Se selló con cinta adhesiva para dar hermetismo y proveer un HR₁: humedad 0% de humedad relativa del tubo (HR₁). 8. Se colocaron todos los tubos en la gradilla, ésta se colocó dentro del desecador y se selló. HR₂: humedad relativa del desecador (75%) 9. Cada hora se pesaron los tubos en una balanza analítica, sin tener más de 30 segundos los tubos fuera del ambiente. 10. Se realizó el paso 9 hasta llegar a la 8^{va} hora. 11. Se calculó la PVA con la Ecuación 7-2. | temperatura del ensayo (0,00231 MPa) | |
| 7 | Propiedades mecánicas* | <ul style="list-style-type: none"> • Máquina Universal de Pruebas de Tracción | <ul style="list-style-type: none"> • Bioplásticos obtenidos | Ensayo realizado en el laboratorio LenMav | | NTE INEN 2635:012 Método de ensayo para las propiedades de Tracción de láminas plásticas delgadas |
| 8 | Biodegradabilidad | <ul style="list-style-type: none"> • Recipientes herméticos | <ul style="list-style-type: none"> • Tierra • Bioplásticos obtenidos | <ol style="list-style-type: none"> 1. Se cortó 3 trozos de 2,00x2,00 cm de cada bioplástico. 2. Se colocó en la tierra a una profundidad de 4 cm | Cualitativo | NTE INEN 2643: Especificaciones para plásticos compostables |

3. Se revisó cada siete días hasta completar un mes

• Vasos de plástico

- Agua normal
- Bioplásticos obtenidos

1. Se cortó trozos de bioplásticos de 2,00X2,00cm.
2. Se colocó en vasos llenos de agua.
3. Se revisó cada siete días hasta completar un mes

Cualitativo

NTE INEN 2643:
Especificaciones
para plásticos
compostables

Nota: *ensayos realizados en laboratorios externos

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

2.10. Evaluación de uso

Para la evaluación de uso se escogió solamente una lámina de las cuatro obtenidas; dicha elección se basó en aquella formulación que obtuvo menores valores en las propiedades de barrera (espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua). También se tomó importancia a las propiedades mecánicas, mayor porcentaje de elongación y menor módulo de elasticidad.

A todos los ensayos se le aplicó la prueba de Tukey en ANOVA para conocer la existencia de diferencias significativas entre las medias de cada formulación, si es que no existiesen diferencias significativas, cualquier formulación puede ser utilizada en este ensayo.

El ensayo consistió en recortar láminas de bioplástico de 15cmx10cm, cubrir un envase lleno de fresas y sellar con adhesivo los lados para dar hermeticidad, se hizo lo mismo con una lámina de plástico comercial y un envase sin cubierta. Se dejó durante cinco días y luego se comparó el aspecto del contenido de los envases.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Rendimiento de extracción de almidón de la materia prima por método húmedo

El proceso de extracción se llevó a cabo de la siguiente manera (considerando los niveles descritos en metodología):

Tabla 1-3: Combinación tiempo: velocidad para la extracción

| Combinaciones (min:nivel) | |
|------------------------------|------------------|
| Ex ₁ | 0,50:1,00 |
| Ex ₂ | 1,00:1,00 |
| Ex ₃ | 0,50:4,00 |
| Ex ₄ | 1,00:4,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Cada combinación se realizó con cuatro repeticiones. De esta manera, se obtuvo cuatro rendimientos de extracción descritos en la Tabla 2-3 y la Tabla 3-3.

Tabla 2-3: Rendimiento de extracción de almidón de JA

| Tratamiento | Rendimiento (%) | | | | Promedio* (%) |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | |
| Ex ₁ | 0,78 | 0,82 | 0,71 | 0,76 | 0,76 ^A |
| Ex ₂ | 1,22 | 1,19 | 1,27 | 1,28 | 1,24 ^B |
| Ex ₃ | 0,55 | 0,54 | 0,51 | 0,49 | 0,52 ^C |
| Ex ₄ | 0,69 | 0,67 | 0,60 | 0,64 | 0,65 ^D |

Nota: *Los promedios (%) que no comparten una letra son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Tabla 3-3: Rendimiento de extracción de almidón de JV

| Tratamiento | Rendimiento (%) | | | | Promedio* (%) |
|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | |
| Ex ₁ | 0,72 | 0,66 | 0,64 | 0,67 | 0,67 ^A |
| Ex ₂ | 0,99 | 1,07 | 1,03 | 1,06 | 1,03 ^B |
| Ex ₃ | 0,87 | 0,91 | 0,86 | 0,89 | 0,88 ^C |
| Ex ₄ | 1,44 | 1,49 | 1,39 | 1,39 | 1,42 ^D |

Nota: *Los promedios (%) que no comparten una letra son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$).

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Después de la extracción de los almidones de JA y JV, se llegó a la conclusión que para la JA el mejor tratamiento con un porcentaje de rendimiento de 1,24% fue el Ex₂, mientras que para la JV el mejor tratamiento con un porcentaje de rendimiento de 1,42%, fue el Ex₄.

En bibliografía no se encuentran datos comparables de las semillas en cuestión, pero al ser una leguminosa se estima que el contenido de almidón en las semillas debe estar entre 30% y 50% de su peso en seco. Los porcentajes de rendimiento de extracción de almidón que se obtuvieron fueron menor en comparación con otros estudios de leguminosas; en un estudio con semillas de Fríjol Zaragoza se obtuvo un 15,00% de rendimiento en la extracción (Miranda et al., 2013, p.23) y en otro estudio con frijol común se llegó a obtener un 31,00% de rendimiento en la extracción (Tovar et al, 2005, p.781), aunque no sean las mismas semillas, esto indica que el proceso de extracción de almidón llevado a cabo en el estudio fue muy deficiente, esto que pudo deberse a las revoluciones aplicadas, ya que a la hora de decantar fue difícil separar la parte fibrosa del almidón precipitado. Se realizó la prueba de Tukey, con un Intervalo de confianza del 95% y se determinó que todas las medias de cada tratamiento presentan diferencias significativas, tanto para las JV como para las JA. Por lo tanto, se reafirma la elección de los mejores tratamientos de extracción.

3.2. Resultados de los análisis fisicoquímicos de los almidones obtenidos

Los ensayos realizados para cada almidón obtenido se describen en la Tabla 4-3; cada ensayo se lo realizó con tres repeticiones.

Tabla 4-3: Resultados de los análisis fisicoquímicos del almidón de JA y JV

| No. | ENSAYOS | VALOR | | UNIDADES | REFERENCIA | NORMA/INSTITUCIÓN |
|-----|----------------|---------|---------|----------|-------------|---|
| | | JA | JV | | | |
| 1 | Humedad | 11,50 | 11,85 | % | 10,00-13,00 | FAO (2007) |
| 2 | Ceniza | 0,20 | 0,20 | % | ≤0,12 | AOAC (Association of Official Analytical Chemists) 942.05 |
| 3 | Ph | 5,02 | 5,40 | | 5,00-7,00 | INEN 1456 |
| 4 | Proteína cruda | 1,57 | 1,65 | % | 0,064 | FAO (2007) |
| 5 | Fibra cruda | 0,33 | 0,39 | % | 0,3 | FAO (2007) |
| 6 | Grasa | <0,01 | <0,01 | % | | |
| 7 | ELN | 86,39 | 85,90 | % | | |
| 8 | Amilosa* | 42,50 | 50,13 | % | | CINIAP |
| 9 | Amilopectina* | 43,89 | 35,77 | % | | CINIAP |
| 10 | Viscosidad | 1150,00 | 1050,00 | cP | 840-1500 cP | ISI 17-1 del International Starch Institute |
| 11 | Solubilidad | 5,60 | 6,85 | % | 0,27-12,52 | INEN 1456 |

| | | | | | | |
|----|-------------------------------|-------|-------|----|---------|-----------|
| 12 | Temperatura de gelatinización | 74,00 | 76,00 | °C | 57,5-70 | INEN 1456 |
|----|-------------------------------|-------|-------|----|---------|-----------|

Nota: *Estos ensayos se realizaron en laboratorios externos.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Los análisis fisicoquímicos realizados a los dos almidones detallaron que: el ensayo de ceniza está un poco fuera del rango de la FAO, ya que ésta relata que su contenido en el almidón, en general, no debe exceder de 0,12%, mientras que el porcentaje para cada almidón analizado fue de 0,20%, esto puede deberse a que las muestras tuvieron más componentes minerales o, también, según menciona la (FAO 2007, p.114) el contenido de cenizas alto es resultado del secado en un proceso de extracción artesanal.

El contenido de proteína está muy por encima de lo que describe la (FAO 2007, p.83), 0,064%, aunque no es de suma atención, ya que el contenido de proteína permitido en el almidón es por cuestión de factibilidad en el ámbito alimentario.

Con respecto al porcentaje de amilosa y amilopectina, en bibliografía no hay una referencia definida, ya que en varios estudios se han encontrado diferencias significativas entre leguminosas, por ejemplo, el porcentaje de amilosa del almidón de Frijol Zaragoza fue de 21,81% (Miranda et al., 2013, p.23), mientras que en un estudio realizado con guisantes obtuvieron el 48,80% de amilosa (Czuchajowska et al, 1998, p.468). Las variaciones en el contenido de amilosa se pueden dar por razones de cultivo, la zona de siembra, el almacenamiento y los tratamientos realizados durante la extracción del almidón (Miranda et al., 2013, p.23).

3.3. Resultados del análisis microbiológico de los almidones obtenidos

Tabla 5-3: Resultados de los análisis microbiológicos del almidón de JA y JV

| No. | ENSAYOS | VALOR | | UNIDADES | REFERENCIA | NORMA/INSTITUCIÓN |
|-----|--------------------|----------|----------|----------|---------------------|-------------------|
| | | SVDA | SVDV | | | |
| 1 | Hongos | Ausencia | Ausencia | UFC/g | 1000,00- 5000,00 | FAO |
| 2 | Levaduras y mohos | Ausencia | Ausencia | UFC/g | 1000,00- 5000,00 | FAO |
| 3 | Coliformes totales | Ausencia | Ausencia | UFC/g | Ausencia | FAO |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

En los análisis microbiológicos no hubo valores fuera de lo normal.

3.4. Vista al microscopio y tamaño de partícula de los almidones JV y JA

- Vista del almidón ja con microscopio óptico, lente 40X

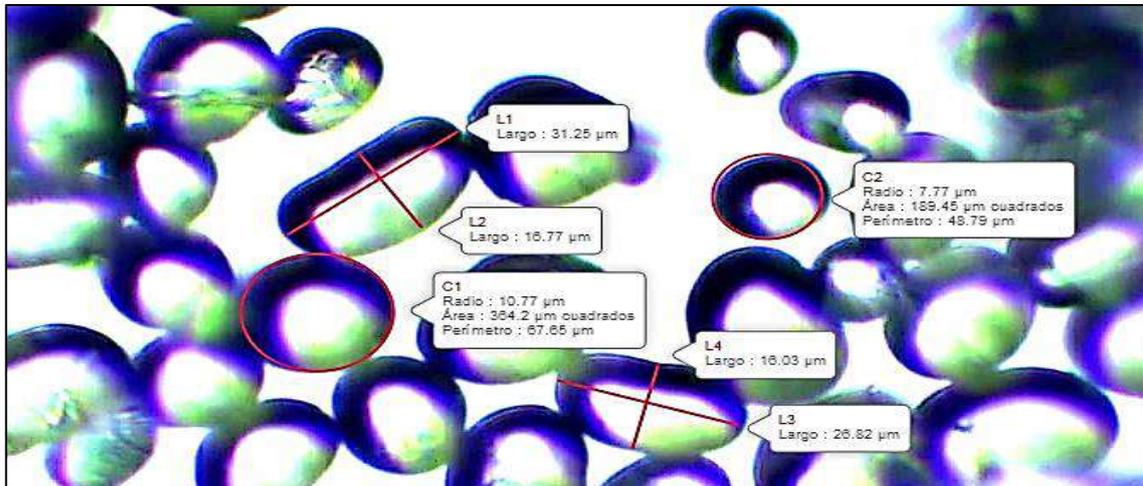


Figura 1-3. Vista de las partículas de almidón de JA con microscopio óptico, lente 40x

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Se observó las partículas de almidón de JA con el lente 40x de un microscopio óptico y se obtuvo que las formas de partículas varían entre una forma arriñonada, semejante a un frijol, y una forma circular plenamente definida; los tamaños de partículas en las formas circulares presentaron un radio entre 7,77 µm a 10,77 µm, mientras que las formas arriñonadas presentaron largos entre 31,25x16,77 µm a 26,82x16,03 µm.

- Vista del almidón de jy con microscopio óptico, lente 40x

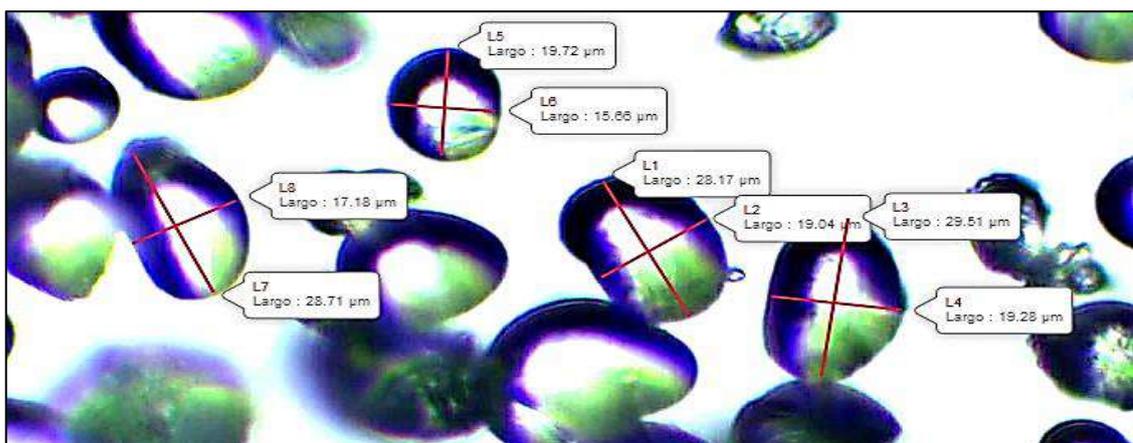


Figura 2-3. Vista de las partículas de almidón de JV con microscopio óptico, lente 40x

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Se observó las partículas de almidón de JV con el lente 40x de un microscopio óptico y se obtuvo que todas las partículas presentaron formas arriñonadas, semejante a un frejol; el tamaño de

partícula variaba entre 19,72x15,66 μm a 29,51x19,28 μm .

De acuerdo con el tamaño de las partículas de los almidones analizados, se puede decir que son gránulos grandes y medianos, ya que según (Linderboom et al 2004, p.87) los gránulos grandes tienen un tamaño de partícula mayor a 25 micras y los gránulos medianos son de 10 a 25 micras.

3.5. Determinación de las formulaciones óptimas de láminas de bioplástico

3.5.1. Formulaciones con almidón de JA

Primero se analizó la variable almidón, la cual se modificó su concentración manteniendo a las otras variables constantes con el objetivo de obtener la mejor formulación. Las formulaciones preliminares se las realizaron en cajas de Petri plásticas.

Tabla 6-3: Formulaciones de bioplástico a partir de modificación de la variable almidón de JA

| N° | Almidón (g) | Forma película | Transparencia | Estabilidad |
|----|-------------|----------------|---------------|-------------|
| 1 | 3,40 | Sí | Sí | No |
| 2 | 3,60 | Sí | Sí | Sí |
| 3 | 3,80 | Sí | Sí | Sí |
| 4 | 4,00 | Sí | No | No |
| 5 | 4,20 | Sí | No | No |

Nota: las variables glicerol y ácido acético se mantuvieron constantes, 3,00g y 2,00g, respectivamente; la cantidad de agua destilada fue 45,00g.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Al analizar la variable almidón de JA, se obtuvo que los valores 3,60g y 3,80g fueron óptimos, ya que presentaron características físicas deseables para un plástico biodegradable, mientras que para las formulaciones N°4 y N°5 las láminas se cuarteaban y las partes que salían estables estaban muy opacas. Después de analizar los mejores valores del almidón de JA, se procedió a analizar la variable glicerina con dichos valores.

Tabla 7-3: Formulaciones de bioplástico a partir de modificación de la variable glicerina de JA

| N° | Glicerina (g) | Almidón (g) | Forma película | Transparencia | Estabilidad |
|----|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|
| 1 | 3,00 | | Sí | Sí | Sí |
| 2 | 3,50 | | Sí | Sí | Sí |
| 3 | 4,00 | 3,60 | Sí | Sí | No |
| 4 | 4,50 | | Sí | Sí | No |
| 5 | 5,00 | | Sí | Sí | No |

| | | | | | |
|---|------|------|----|----|----|
| 1 | 3,00 | | Sí | Sí | Sí |
| 2 | 3,50 | | Sí | Sí | Sí |
| 3 | 4,00 | 3,80 | Sí | Sí | No |
| 4 | 4,50 | | Sí | Sí | No |
| 5 | 5,00 | | Sí | No | No |

Nota: la variable ácido acético se mantuvo constante, 2,00g y la cantidad de agua destilada fue 45,00g.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Al analizar la variable glicerina, se obtuvo que para ambos valores de almidón (3,60g y 3,80g) los valores óptimos de glicerina fueron de 3,00g y 3,50g, mientras que a partir de la formulación N°3 las láminas se formaban, pero salían muy chiclosas y pegajosas.

3.5.2. Formulaciones con almidón de JV

Primero se analizó la variable almidón, la cual se modificó su concentración manteniendo a las otras variables constantes con el objetivo de obtener la mejor formulación.

Tabla 8-3: Formulaciones de bioplástico a partir de modificación de la variable almidón de JV

| N° | Almidón (g) | Forma película | Transparencia | Estabilidad |
|----|-------------|----------------|---------------|-------------|
| 1 | 3,40 | Sí | Sí | No |
| 2 | 3,60 | Sí | Sí | Sí |
| 3 | 3,80 | Sí | Sí | Sí |
| 4 | 4,00 | Sí | No | Sí |
| 5 | 4,20 | Sí | No | No |

Nota: las variables glicerol y ácido acético se mantuvieron constantes, 3,00g y 2,00g, respectivamente; la cantidad de agua destilada fue 45,00g.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Al analizar la variable almidón de JV, se obtuvo que los valores 3,60g y 3,80g fueron óptimos, ya que presentaron características físicas deseables para un plástico biodegradable, mientras que la formulación N°4 formaba película con buena estabilidad, pero tenía opacidad y las formulaciones N°1 y N°5 no tenían estabilidad.

Después de analizar las mejores concentraciones del almidón de JV, se procedió a analizar la variable glicerina con dichas concentraciones.

Tabla 9-3: Formulaciones de bioplástico a partir de modificación de la variable glicerina de JV

| N° | Glicerina (g) | Almidón (g) | Forma película | Transparencia | Estabilidad |
|----|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|
|----|---------------|-------------|----------------|---------------|-------------|

| | | | | | |
|---|------|------|----|----|----|
| 1 | 3,00 | | Sí | Sí | Sí |
| 2 | 3,50 | | Sí | Sí | Sí |
| 3 | 4,00 | 3,60 | Sí | Sí | No |
| 4 | 4,50 | | Sí | Sí | No |
| 5 | 5,00 | | Sí | No | No |
| 1 | 3,00 | | Sí | Sí | Sí |
| 2 | 3,50 | | Sí | Sí | Sí |
| 3 | 4,00 | 3,80 | Sí | Sí | No |
| 4 | 4,50 | | Sí | No | No |
| 5 | 5,00 | | Sí | No | No |

Nota: la variable ácido acético se mantuvo constante, 2,00g y la cantidad de agua destilada fue 45,00g.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Al analizar la variable glicerina, se obtuvo que para ambos valores de almidón de JV (3,60g y 3,80g) lo valores óptimos de glicerina son 3,00g y 3,50g, mientras que a partir de la formulación N°3 las láminas salían chiclosas y pegajosas.

3.5.3. Formulaciones con la combinación de los almidones obtenidos

Ambos almidones tuvieron valores iguales en todas sus variables, por lo tanto, para la combinación se tuvo en cuenta cuál almidón tuvo más porcentaje de amilosa, ya que incide directamente en las características de los bioplásticos. Entonces, se probó las siguientes formulaciones con la concentración mayoritaria del almidón de JV:

Tabla 10-3: Formulaciones tentativas de la combinación de almidones

| COMBINACIÓN | JA (%) | JV (%) | TOTAL (g) | FORMA BIOPLÁSTICO |
|-----------------|--------|--------|--------------|----------------------|
| C ₁₁ | 40,00 | 60,00 | 3,60 | Sí |
| | | | 3,80 | Sí |
| C ₁₂ | 35,00 | 65,00 | 3,60 | Sí |
| | | | 3,80 | Sí |
| C ₁₃ | 30,00 | 70,00 | 3,60 | Sí |
| | | | 3,80 | Sí |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Todas las concentraciones obtuvieron bioplásticos con buenas características, pero se escogió la C₁₃ por la cantidad de amilosa del almidón de JV.

Luego del análisis de las variables independientes, almidón y glicerina, se pudo seleccionar las concentraciones óptimas, las cuales se describen en la Tabla 11-3 para el almidón de JA, en la

Tabla 12-3 para el almidón de JV y en la Tabla 13-3 para la combinación de ambos almidones.

Tabla 11-3: Formulaciones óptimas para elaboración de bioplásticos a partir del almidón de JA

| Nº | Almidón (g) | Glicerina (g) | Ácido acético (g) | Agua destilada (g) |
|-----------------|----------------|------------------|----------------------|--------------------|
| At ₁ | 3,60 | | | 45,00 |
| At ₂ | 3,80 | 3,00 | | 45,00 |
| At ₃ | 3,60 | | 2,00 | 45,00 |
| At ₄ | 3,80 | 3,50 | | 45,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Tabla 12-3: Formulaciones óptimas para elaboración de bioplásticos a partir del almidón de JV

| Nº | Almidón (g) | Glicerina (g) | Ácido acético (g) | Agua destilada (g) |
|-----------------|----------------|------------------|----------------------|--------------------|
| Vt ₁ | 3,60 | | | 45,00 |
| Vt ₂ | 3,80 | 3,00 | | 45,00 |
| Vt ₃ | 3,60 | | 2,00 | 45,00 |
| Vt ₄ | 3,80 | 3,50 | | 45,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Tabla 13-3: Formulaciones óptimas para la elaboración de bioplásticos combinando almidones

| Nº | Almidón (g) | Glicerina (g) | Ácido acético (g) | Agua destilada (ml) |
|-----------------|----------------|------------------|----------------------|------------------------|
| Ct ₁ | 3,60 | | | 45,00 |
| Ct ₂ | 3,80 | 3,00 | | 45,00 |
| Ct ₃ | 3,60 | | 2,00 | 45,00 |
| Ct ₄ | 3,80 | 3,50 | | 45,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

3.5.4. *Desarrollo experimental de tratamientos combinando almidones de JA y JV*

Por medio del diseño factorial 2² y los valores de las variables ya establecidas se obtuvieron los siguientes tratamientos:

Tabla 14-3: Combinación de almidón y glicerina

| Combinaciones |
|---------------|
|---------------|

| (almidón:glicerina) | |
|---------------------|-----------|
| C ₁ | 3,60:3,00 |
| C ₂ | 3,80:3,00 |
| C ₃ | 3,60:3,50 |
| C ₄ | 3,80:3,50 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

3.5.5. Caracterización de láminas de bioplástico de la combinación de almidones de JA y JV

3.5.5.1. Vista al microscopio óptico con lente 40X

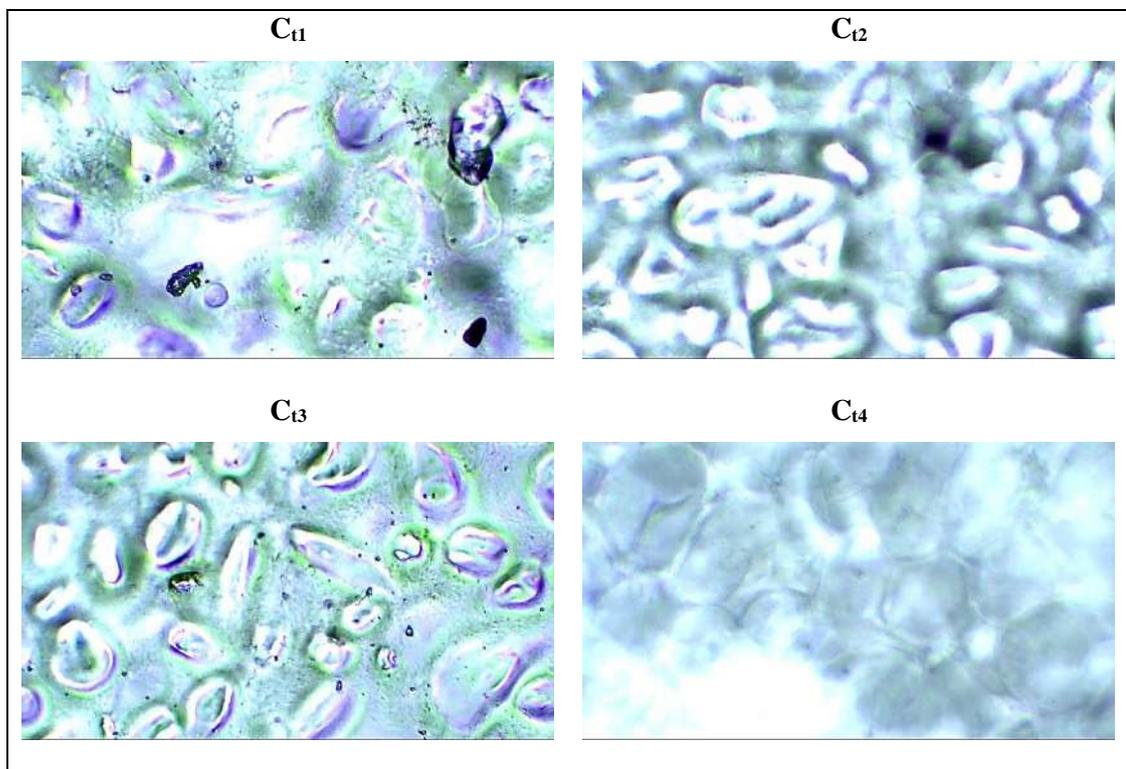


Figura 3-3. Vista al microscopio óptico con lente 40X de las láminas de bioplástico

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Al ser observadas las láminas de todos los tratamientos bajo el lente 40X de un microscopio óptico, se pudo observar el hinchamiento que tuvieron los almidones y las uniones que formaron entre ellos, se les puede comparar con las Figuras 2-3 y 3-3. Todas las láminas presentaron espacios vacíos y algunas partículas de almidón que no llegaron a hincharse, ni unirse con las demás, por ejemplo, en el C₁ se observó un espacio vacío (en blanco), por donde la luz del microscopio pasa, también en casi todas se lograron visualizar partículas que no se hincharon, ni se unieron con las otras, excepto en la C₄ donde se observó que todas las partículas pudieron hincharse, aun así, se presentó una parte donde pasa la luz.

El C₂ y el C₃ se escogieron como las mejores láminas, ya que no presentaron espacios en blanco, a pesar de que hay varias partículas que no lograron hincharse, ni unirse.

3.5.5.2. Resultados de espesor

Tabla 15-3: Resultados de espesor de las láminas de bioplásticos

| Tratamiento | Espesor (mm) | | | | Promedio* (mm) |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|
| | R ₁ | R ₂ | R ₃ | R ₄ | |
| C ₁₁ | 0,11 | 0,11 | 0,12 | 0,11 | 0,11 ^C |
| C ₁₂ | 0,14 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 ^B |
| C ₁₃ | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 ^B |
| C ₁₄ | 0,16 | 0,17 | 0,16 | 0,16 | 0,16 ^A |

Nota: *Los promedios (mm) que no comparten una letra son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

El análisis de espesor realizado a las láminas de bioplásticos está dentro de la NTE INEN 2 542:2010 (2010, p.3), ya que la norma describe que el espesor de las láminas de plástico debe tener una tolerancia de $\leq 0,2$ mm.

Al aplicar la prueba de Tukey a las medias, con un intervalo de confianza del 95%, se formaron 3 grupos: A, B Y C. Por lo tanto, los tratamientos son significativamente diferentes y a primera instancia, el mejor valor fue el del tratamiento C₁₁ al ser el menor.

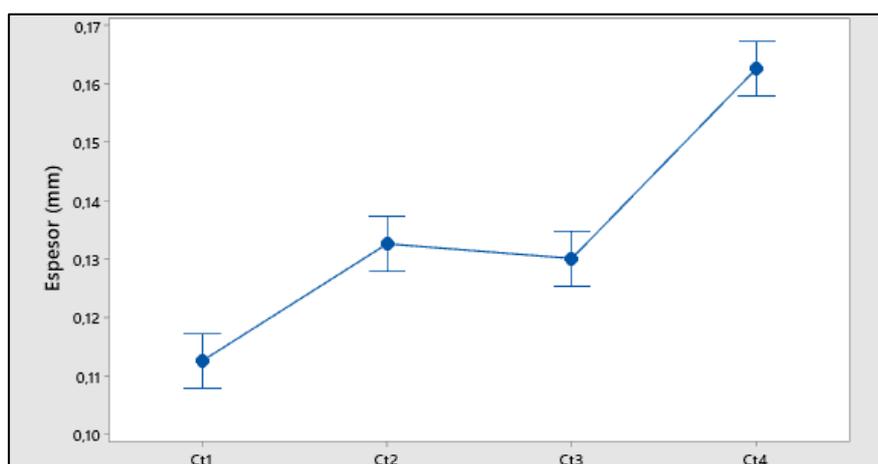


Gráfico 1-3. Intervalos de los promedios de espesor (mm) de las formulaciones

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

3.5.5.3. Resultados de humedad

Tabla 16-3: Humedad en las láminas de bioplásticos de la combinación de almidones JA y JV

| N° | Repeticiones (%) | | | Promedio* (%) |
|-----------------|------------------|----------------|----------------|---------------------|
| | R ₁ | R ₂ | R ₃ | |
| C ₁₁ | 17,44 | 16,97 | 16,97 | 17,13 ^B |
| C ₁₂ | 18,75 | 15,75 | 15,44 | 16,65 ^B |
| C ₁₃ | 18,25 | 18,60 | 17,48 | 18,11 ^{AB} |
| C ₁₄ | 21,08 | 21,52 | 18,79 | 20,46 ^A |

Nota: *Los promedios (%) que no compartan una letra son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%

Realizado por: Iza Jefferson, 2021

Se obtuvieron porcentajes de humedad comparables con otros estudios, por ejemplo, en un estudio de obtención de bioplásticos a partir de almidón de papa, la autora obtuvo rangos de porcentaje que van desde 19,55% hasta 22,75% (Guamán, 2019, p. 41), en otro estudio con el mismo objetivo, pero utilizando almidón de zanahoria blanca y de camote, la autora obtuvo rangos de porcentaje que van desde 15,49% hasta 31,08% (Parra, 2019, p.51).

Se aplicó la prueba de Tukey y se demostró que al menos una de las formulaciones obtuvo un porcentaje de humedad diferente al resto, los promedios de humedad se agruparon en dos grupos: C₁₄ y C₁₃ en un grupo (A) y, C₁₁, C₁₂ y C₁₃ en otro grupo (B). De esta manera, la elección de la lámina para el ensayo de uso, se la realizó entre los promedios que compartieron los valores más bajos, es decir, de los que tienen la letra B.

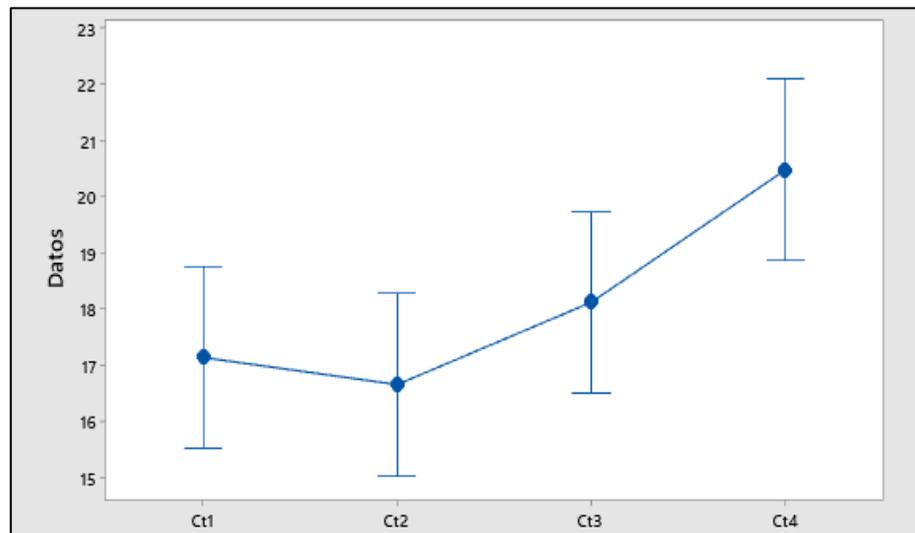


Gráfico 2-3. Intervalos de los promedios de humedad (%) de las formulaciones

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

3.5.5.4. Resultados de solubilidad

Tabla 17-3: Solubilidad realizados en láminas de bioplásticos de la combinación de almidones

| N° | Repeticiones (%) | | | Promedio* (%) |
|-----------------|------------------|----------------|----------------|---------------------|
| | R ₁ | R ₂ | R ₃ | |
| C ₁₁ | 35,57 | 40,65 | 39,44 | 38,55 ^B |
| C ₁₂ | 34,95 | 39,04 | 39,83 | 37,94 ^B |
| C ₁₃ | 47,18 | 45,58 | 45,58 | 46,11 ^A |
| C ₁₄ | 42,74 | 42,27 | 43,60 | 42,87 ^{AB} |

Nota: *Los promedios (%) que no comparten una letra son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

En el ensayo de solubilidad se obtuvieron resultados más bajos comparados con el estudio de (Parra 2019, p.51). Según (Trujillo 2014, p.75) las láminas que estén destinadas al recubrimiento de frutos y hortalizas deben presentar una solubilidad al agua baja, de esa manera se mantiene la integridad estructural de la lámina frente a un ambiente húmedo y se logra conservar los alimentos.

Se aplicó la prueba de Tukey y se demostró que al menos una de las formulaciones obtuvo un porcentaje de solubilidad diferente al resto, los promedios de humedad se agruparon en dos grupos: C₁₃ y C₁₄ en un grupo (A) y, C₁₁, C₁₂ y C₁₄ en otro grupo (B). De esta manera, la elección de la lámina se la realizó entre el grupo que tuvo menor solubilidad, el grupo B.

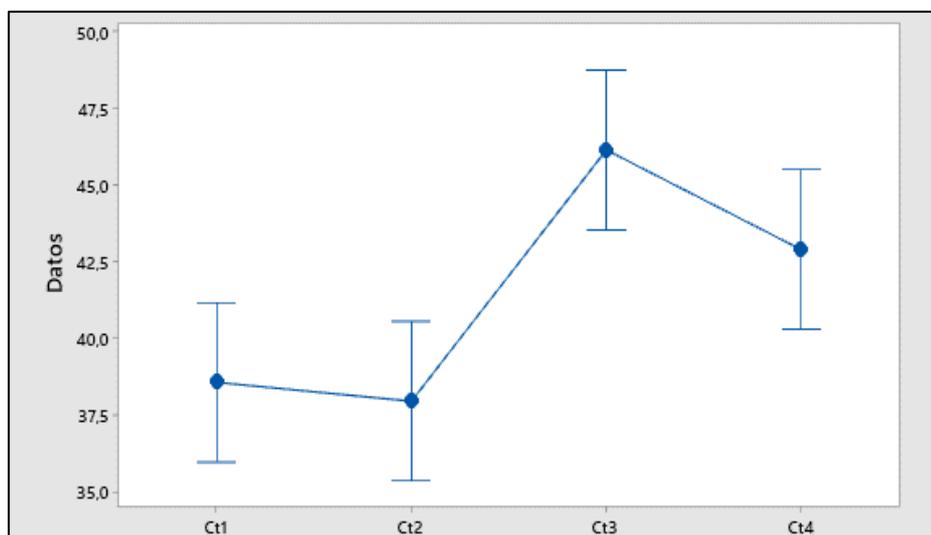


Gráfico 3-3. Gráfica de intervalos de promedios de solubilidad (%) de las formulaciones

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

3.5.5.5. Resultados de permeabilidad al vapor de agua (PVA)

Tabla 18-3: Permeabilidad al vapor de agua realizados a las láminas de bioplásticos

| N° | Repeticiones ($\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{MPa}^{-1}$) | | | Promedio* ($\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{MPa}^{-1}$) |
|-----------------|---|----------------|----------------|---|
| | R ₁ | R ₂ | R ₃ | |
| C ₁₁ | 2,4217E-02 | 2,2230E-02 | 2,3334E-02 | 2,3261E-02 ^A |
| C ₁₂ | 2,0169E-02 | 2,0316E-02 | 1,8255E-02 | 1,9580E-02 ^A |
| C ₁₃ | 2,3997E-02 | 2,0463E-02 | 2,0979E-02 | 2,1813E-02 ^A |
| C ₁₄ | 2,1788E-02 | 2,0022E-02 | 2,4217E-02 | 2,2009E-02 ^A |

Nota: *Los promedios ($\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{MPa}^{-1}$) que no comparten una letra son significativamente diferentes, según la prueba de Tukey ($\alpha=0,05$). Los promedios se muestran con el límite de confianza al 95%

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

De los resultados de PVA obtenidos, el más bajo fue el de la formulación C₁₂, 1,9580E-02. En general, los resultados en este ensayo estuvieron bajos, similares a los que obtuvo Núñez (2014, p.62) en su estudio, la cual obtuvo un valor mínimo de 0,02 ($\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{MPa}^{-1}$). Cabe destacar que mientras más bajo sea el valor de PVA, es menos permeable y forma una buena barrera entre el producto recubierto y el ambiente.

Se aplicó la prueba de Tukey y se demostró que no hay diferencia significativa entre formulaciones, por lo tanto, todos los promedios conformaron un solo grupo, A. De esta manera, la elección para el ensayo de uso se pudo escoger de cualquiera de las cuatro láminas obtenidas.

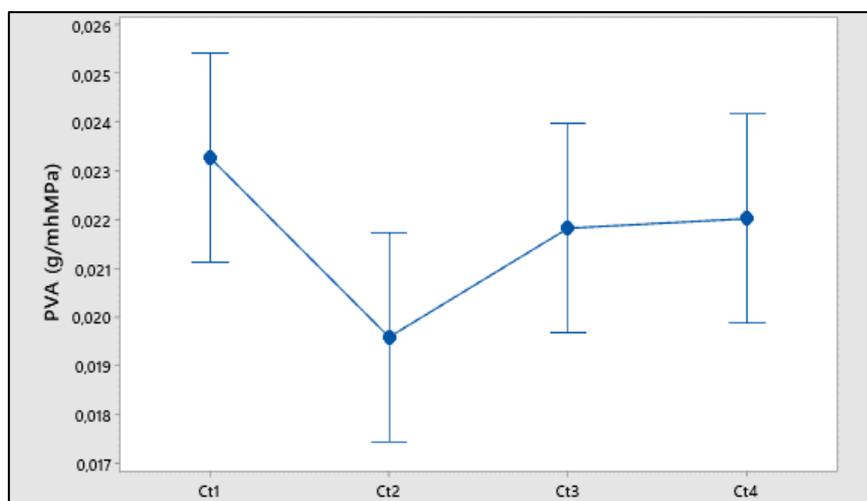


Gráfico 4-3. Gráfica de intervalos de los promedios de PVA ($\text{gm}^{-1}\text{h}^{-1}\text{MPa}^{-1}$)

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

3.5.5.6. Resultados de propiedades mecánicas

Tabla 19-3: Ensayos mecánicos realizados en láminas de bioplásticos de almidones JA y JV

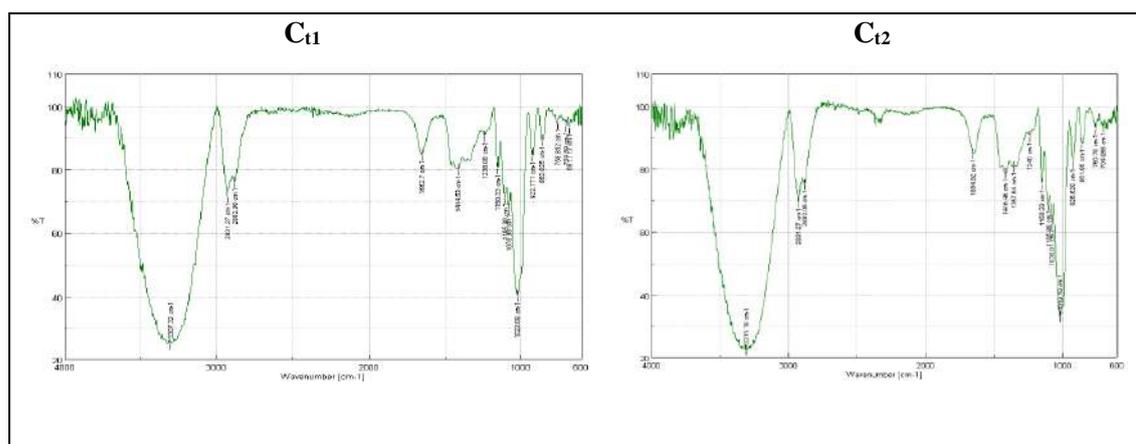
| Tratamiento | Módulo de elasticidad (MPa) | Esfuerzo Máximo (MPa) | Porcentaje de Elongación (%) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| C _{t1} | 9,5. E+00 | 1,71 | 4,08 |
| C _{t2} | 1,73. E+01 | 2,22 | 4,04 |
| C _{t3} | 2,08. E+01 | 2,81 | 3,08 |
| C _{t4} | 8,45. E+00 | 1,37 | 2,24 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Al analizar las propiedades mecánicas, se obtuvo que el módulo de elasticidad del C_{t1} es el menor comparado con los otros tratamientos, por lo que se deduce que dicho tratamiento obtiene láminas más resistentes, ya que cuanto mayor sea el módulo de elasticidad más rígida será la lámina, por lo tanto, menos resistente (Trujillo, 2014, p.29-30).

Con respecto al esfuerzo máximo el valor más alto fue de C_{t3} con 2,81 MPa y el mayor porcentaje de elongación fue de las combinaciones C_{t1} y C_{t2} con 4,08% y 4,04%, respectivamente. Los valores obtenidos fueron demasiado bajos en comparación con el estudio de (Guamán 2019, p.50), en el cual también utilizó almidón como base. Los valores fueron similares con los obtenidos por Parra (2019, p.54), la cual obtuvo módulos de elasticidad desde 1,005 MPa hasta 16,51 MPa y los de esfuerzo máximo fueron menores que los obtenidos en el estudio. Cabe destacar, que según la norma ASTM D 638 describe que los plásticos comerciales poseen una resistencia de 14 a 140 MPa, por lo tanto, los obtenidos en el estudio no cumplieron con el esfuerzo máximo requerido.

3.5.5.7. Resultados del análisis de espectroscopia infrarroja (IR)



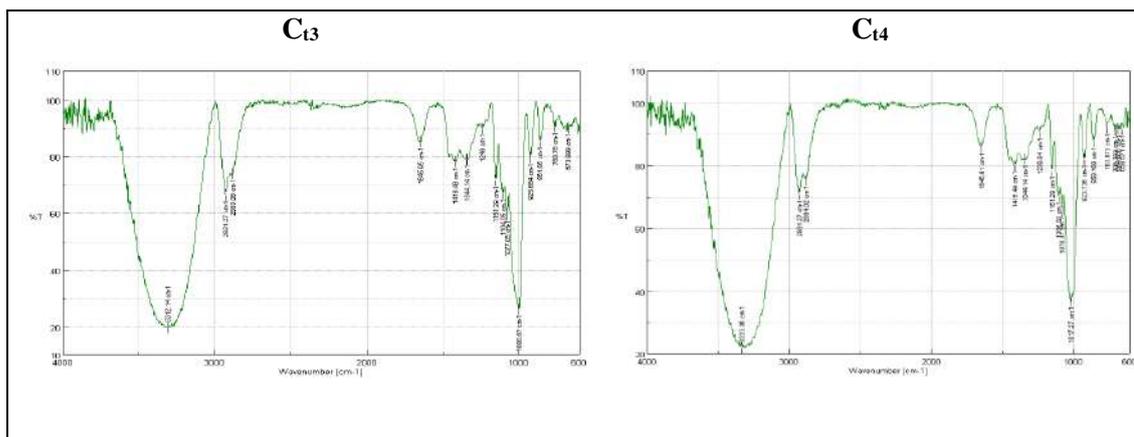


Gráfico 5-3. IR de las láminas de bioplástico de las cuatro formulaciones

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Tabla 20-3: Lectura del análisis de espectroscopia infrarroja de la lámina

| Wavenumber [cm-1] | % T | Grupo funcional |
|-------------------|---------|-------------------------|
| 3307,32 | 24,8964 | O-H (alcohol) |
| 2931,27 | 71,2251 | C-H (alcano) |
| 2883,06 | 75,8801 | C-H (alcano) |
| 1652,7 | 84,5086 | O-H (flexión) |
| 1414,53 | 79,8512 | O-H (ácido carboxílico) |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

En el análisis de espectroscopia infrarroja (IR) se obtuvieron las mismas imágenes para todos los tratamientos, como se puede observar en la figura 4-3, debido a que todas las combinaciones usaron los cuatro componentes básicos (almidón, glicerina, ácido acético y agua).

En todas las imágenes se describe una banda ancha entre las absorbancias 3000 y 3600 cm^{-1} relacionada con el grupo funcional alcohol y, en la lectura 1652,7 cm^{-1} se describe una flexión de dicho grupo funcional, insinuando higroscopia en el producto (Conley 2006, p.24).

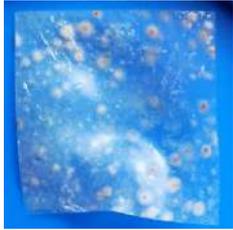
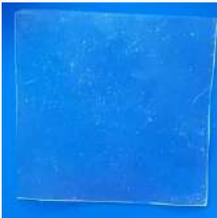
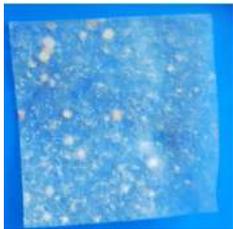
Las imágenes obtenidas son similares a las que obtuvo (Ruiz 2006, p.24) y también tienen similitud con un espectro IR de almidón, lo que quiere decir que la mezcla fue de carácter físico, sin provocar algún cambio en la estructura química del almidón.

3.5.5.8. Resultados de biodegradabilidad

- En la superficie

El ensayo de biodegradabilidad en la superficie se realizó bajo las siguientes condiciones:

- Lugar: Santo Domingo de los Colorados
- Temperatura: 28 °C
- Humedad: 70%

| Bioplástico | Día 1 | Día 7 | Día 15 | Día 22 |
|-----------------|---|---|--|---|
| Ct ₁ |  |  |  |  |
| | Día 30 |  | | |
| Ct ₂ |  |  |  |  |
| | Día 30 |  | | |
| Ct ₃ |  |  |  |  |
| | Día 30 | | | |

| | | | |
|-----------------|--|--|--|
| |  | | |
| Ct ₄ |  | | |
| | Día 30 |  | |

Figura 4-3. Biodegradabilidad de las láminas de los cuatro tratamientos en la superficie

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

- **En el agua**

El ensayo de biodegradabilidad en el agua se realizó bajo las siguientes condiciones:

- Lugar: Santo Domingo de los Colorados
- Temperatura del agua: 21 °C

| Bioplástico | Día 1 | Día 7 | Día 15 |
|-----------------|---|--|---|
| Ct ₁ |  |  |  |

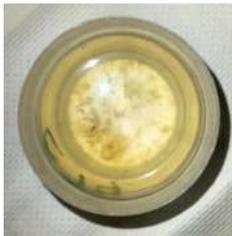
| | | | |
|-----------------------|--|---|--|
| Ct₂ |  |  |  |
| Ct₃ |  |  |  |
| Ct₄ |  |  |  |

Figura 5-3. Biodegradabilidad de los cuatro tratamientos en el agua

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

- **En tierra**

El ensayo de biodegradabilidad en la tierra se realizó bajo las siguientes condiciones:

- Lugar: Santo Domingo de los Colorados
- Temperatura: 28 °C
- Humedad del ambiente: 70%
- Precipitación: 20%

| Bioplástico | Día 1 | Día 7 | Día 15 | Día 22 |
|-----------------------|---|---|--|---|
| Ct₁ |  |  |  |  |

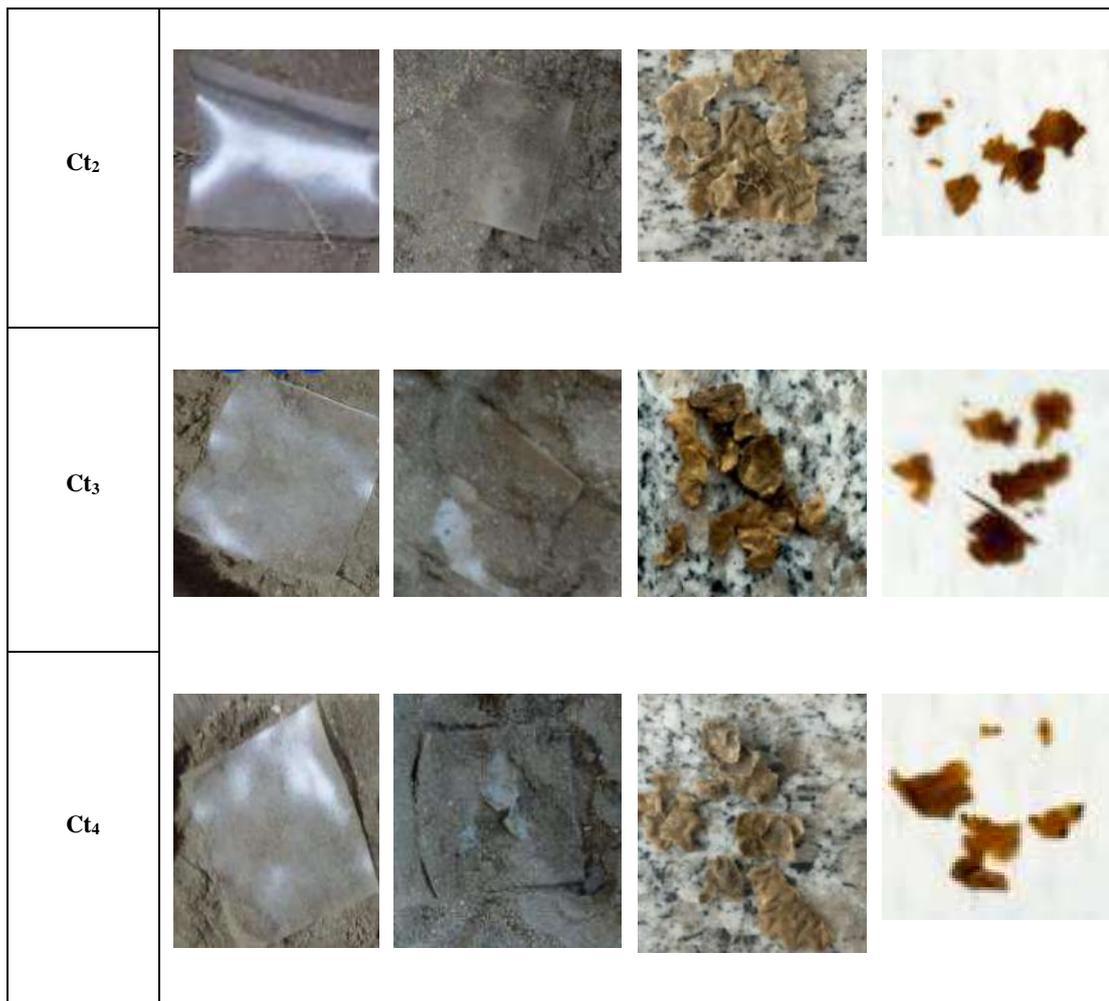


Figura 6-3. Biodegradabilidad de los cuatro tratamientos en la tierra

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Los ensayos de biodegradabilidad se analizaron cualitativamente y se obtuvo que: en el agua todas las láminas perdieron su estructura al día 15 dejando restos grumosos; las láminas enterradas en tierra y expuestas al sol y lluvia perdieron su estructura al día 15 dejando restos cafés y al día 22 presentaron muy pocos restos; en la superficie, presentaron crecimiento microbiano al día 22, su textura era áspera y no poseía la elasticidad, pero no hubo desintegración, al mes tampoco hubo desintegración de las láminas.

Por lo tanto, los ambientes que más favorecieron la biodegradación del material en más del 90% de su estructura fueron el ambiente acuoso y el ambiente bajo tierra, esto se pudo deber a que el material pierde su estructura rápidamente al estar en contacto con el agua y al ser un material higroscópico absorbe agua desestabilizando sus uniones.

3.5.5.9. Aplicación y evaluación de uso

La lámina que se utilizó para la evaluación de uso fue la lámina C₂, debido a que presentó los

valores más bajos en los ensayos de PVA, solubilidad y humedad; con respecto al espesor, todos los valores se encontraban dentro del rango de la NTE INEN 2 542:2010.

La lámina que presentó mejores propiedades mecánicas fue la C₁₃. Aun así, se dio prioridad a las propiedades de barrera para este análisis.

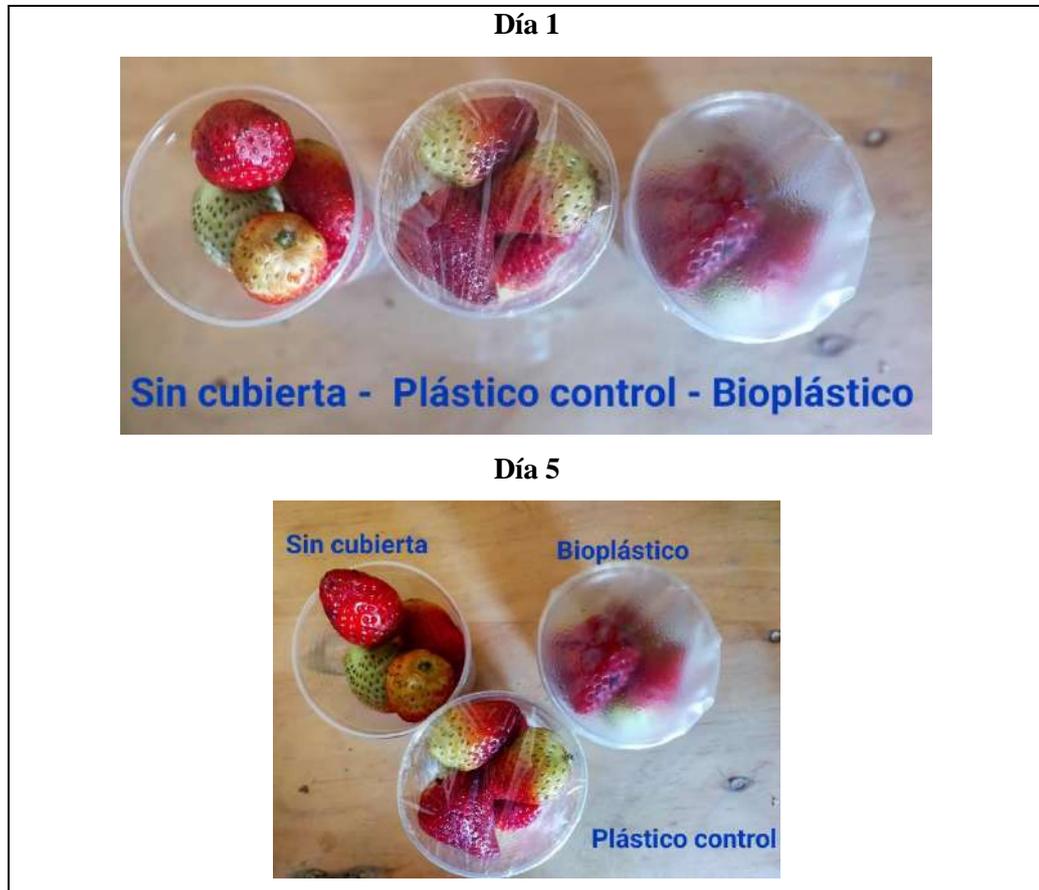


Figura 7-3. Evaluación del uso de una lámina de bioplástico

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Con respecto a la apariencia física del recubrimiento de las láminas, la lámina del bioplástico no presentó buena transparencia al contenido del recipiente; la adherencia tampoco fue la mejor, ya que el plástico control se pudo adherir al recipiente por sí solo, mientras que la del bioplástico necesitó de cinta adhesiva para poder adherirse al recipiente y dar hermeticidad; tuvieron un tacto similar, pero el plástico control se le pudo moldear y manipular mejor.

Con respecto al objetivo del ensayo, el bioplástico logró dar una hermeticidad a las frutas, ya que, al quinto día tanto las frutas contenidas por el plástico control como las contenidas por el bioplástico, presentaron características visuales similares.

3.5.6. Análisis del diseño factorial 2² del rendimiento de extracción de almidón de judías

3.5.6.1. Judías amarillas (JA)

- Rendimiento vs tiempo

Tabla 21-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de JA

| Término | Efecto | Coef | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV |
|------------------|----------|----------|--------------|---------|---------|------|
| Constante | | 0,79500 | 0,00983 | 80,88 | 0,000 | |
| Tiempo | 0,30000 | 0,15000 | 0,00983 | 15,26 | 0,000 | 1,00 |
| Velocidad | -0,41750 | -0,20875 | 0,00983 | -21,24 | 0,000 | 1,00 |
| Tiempo*Velocidad | -0,17250 | -0,08625 | 0,00983 | -8,77 | 0,000 | 1,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

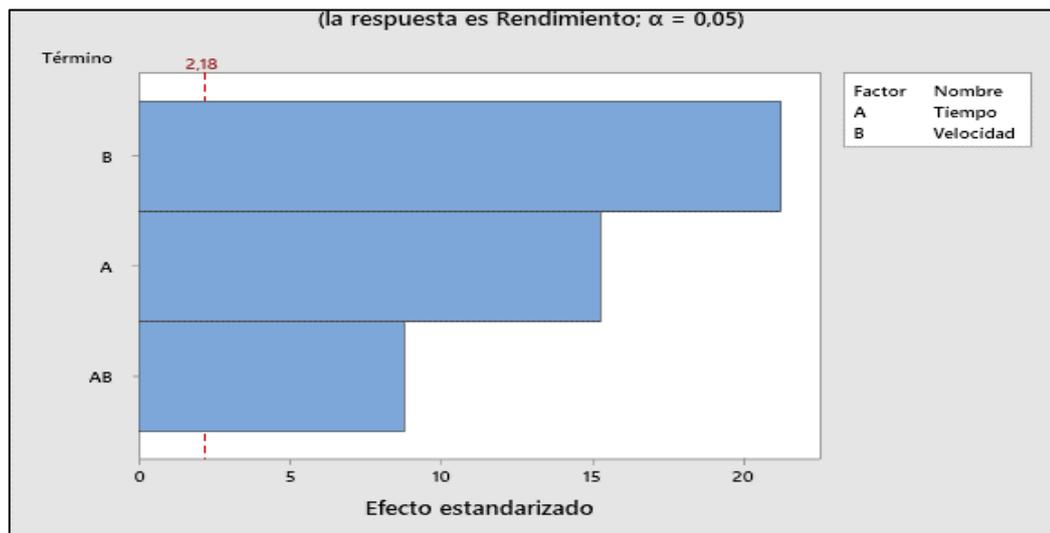


Gráfico 6-3. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del Rendimiento vs. Tiempo JA

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

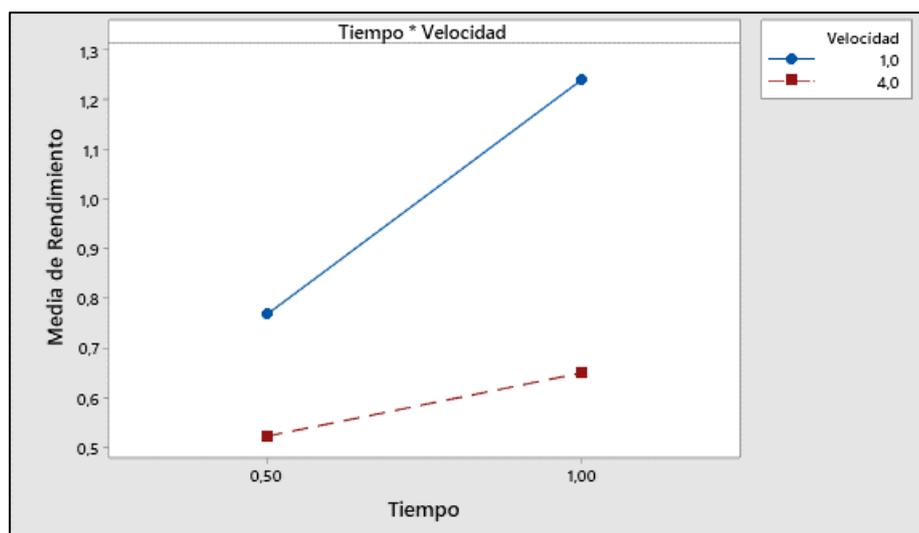


Gráfico 7-3. Interacción para Rendimiento vs. Tiempo; Velocidad. JA.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Con la ayuda de la Tabla 21-3, se pudo observar que los factores tiempo y velocidad fueron significativos frente al rendimiento (valor $p < 0,05$), por lo tanto, tuvieron una gran relevancia en la respuesta del rendimiento de la extracción, también se pudo observar que la interacción entre dichos factores fue significativa, confirmado por el Gráfico 5-3.

Para conocer la interacción entre factores, se realizó el Gráfico 6-3, donde se confirmó la interacción y se pudo observar que la velocidad a nivel 1 tuvo mayor porcentaje de rendimiento y, a su vez, al ser la pendiente más pronunciada, se concluye que ese nivel es el mejor para conseguir un mayor porcentaje de extracción; con respecto al tiempo, se demostró que mientras mayor tiempo de trituración, mayor porcentaje de rendimiento.

3.5.6.2. Judías verdes (JV)

- Rendimiento vs tiempo

Tabla 22-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de JV

| Término | Efecto | Coef | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV |
|------------------|---------|---------|--------------|---------|---------|------|
| Constante | | 1,00500 | 0,00904 | 111,14 | 0,000 | |
| Tiempo | 0,45500 | 0,22750 | 0,00904 | 25,16 | 0,000 | 1,00 |
| Velocidad | 0,30000 | 0,15000 | 0,00904 | 16,59 | 0,000 | 1,00 |
| Tiempo*Velocidad | 0,09000 | 0,04500 | 0,00904 | 4,98 | 0,000 | 1,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

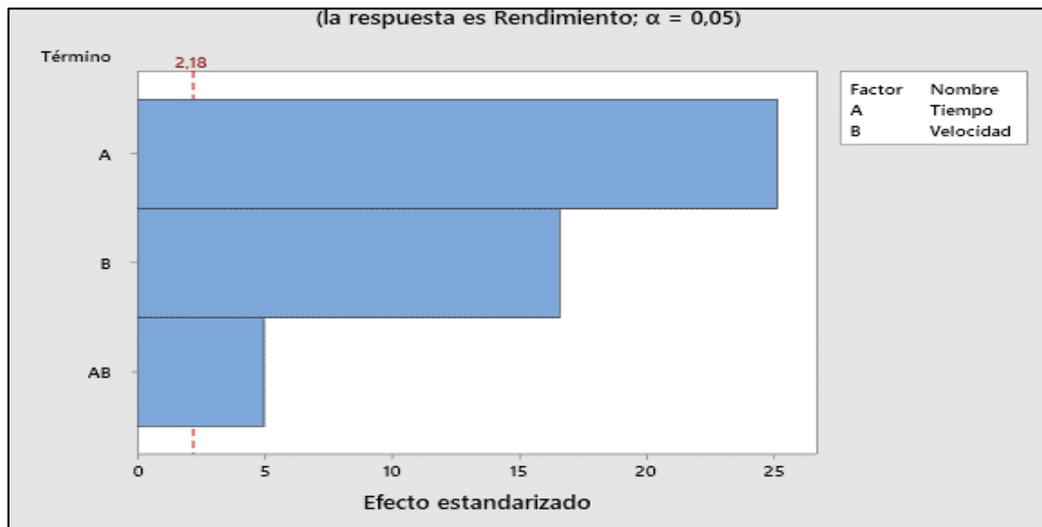


Gráfico 8-3. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados del Rendimiento vs. Tiempo JV.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

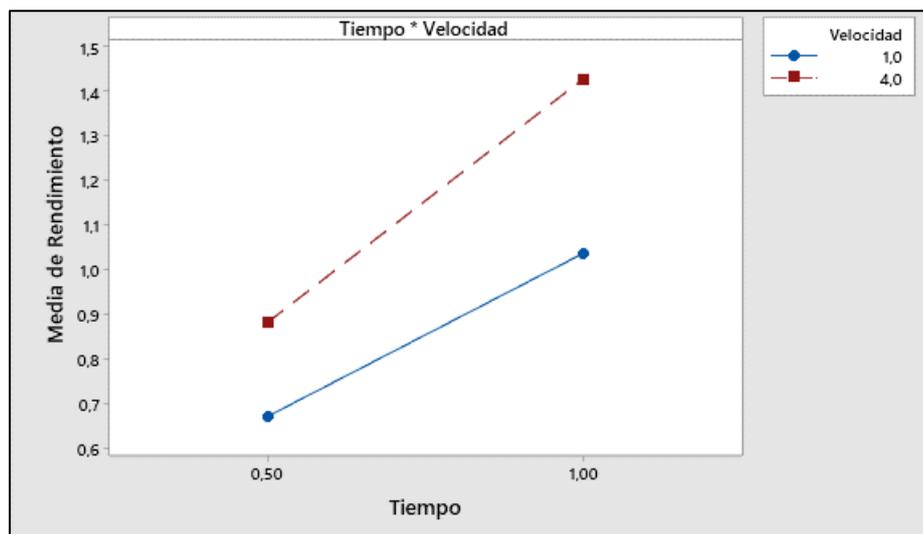


Gráfico 9-3. Interacción para Rendimiento vs. Tiempo; Velocidad. JV.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2021.

Con la ayuda de la Tabla 22-3, se pudo observar que los factores tiempo y velocidad fueron significativos frente al rendimiento (valor $p < 0,05$), por lo tanto, tuvieron una gran relevancia en la respuesta del rendimiento de la extracción, también se pudo observar que la interacción entre dichos factores fue significativa, confirmado por el Gráfico 7-3.

Para conocer la interacción entre factores, se realizó el Gráfico 8-3, donde se confirmó la interacción y se pudo observar que en este caso la velocidad 4 tuvo mayor porcentaje de rendimiento y su pendiente presentó más profundidad, siendo dicho nivel el mejor para el rendimiento; con respecto al tiempo, se demostró que mientras mayor tiempo de trituración, mayor porcentaje de rendimiento.

3.5.7. Diseño factorial 2² de las formulaciones para obtener láminas de bioplástico

3.5.7.1. Espesor

- Espesor vs almidón; glicerina

Tabla 23-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de obtención de láminas. Espesor

| Término | Efecto | Coef | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV |
|-----------|---------|---------|--------------|---------|---------|------|
| Constante | | 0,13375 | 0,00147 | 90,93 | 0,000 | |
| Almidón | 0,02750 | 0,01375 | 0,00147 | 9,35 | 0,000 | 1,00 |
| Glicerina | 0,02500 | 0,01250 | 0,00147 | 8,50 | 0,000 | 1,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

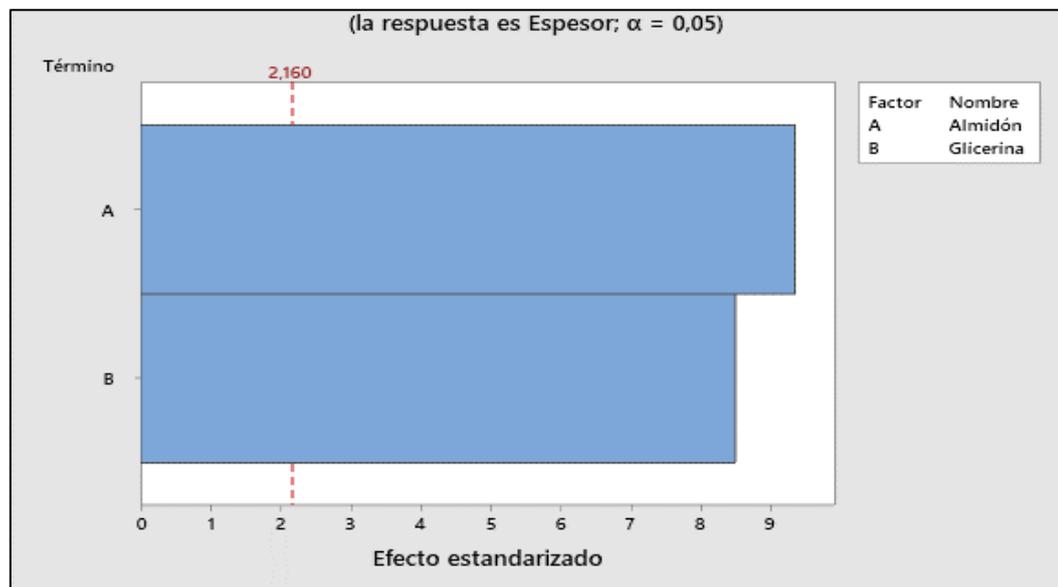


Gráfico 10-3. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados Espesor vs. Almidón; Glicerina

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

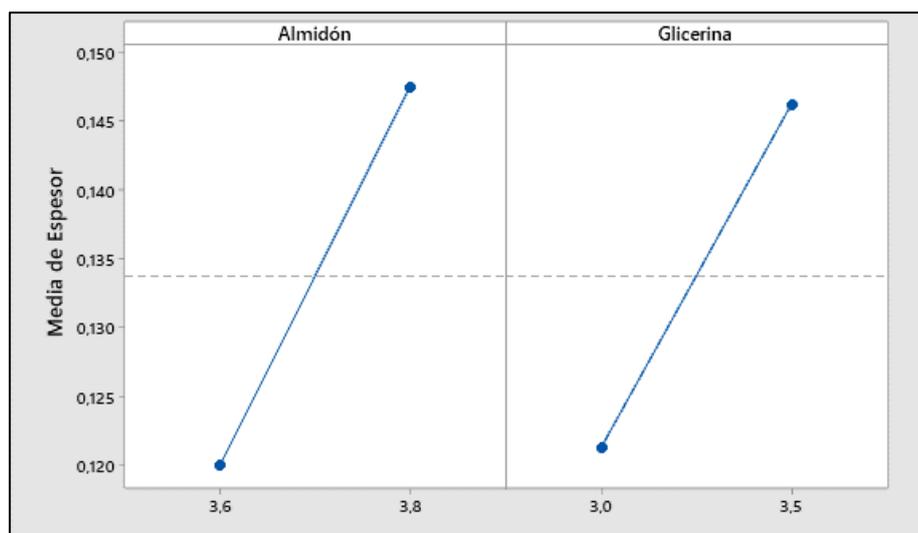


Gráfico 11-3. Efectos principales para Espesor.

Realizado por: Iza Jefferson, 2021

Con la ayuda de la Tabla 23-3, se pudo observar que los factores glicerina y almidón fueron significativos frente al espesor de las láminas (valor $p < 0,05$), por lo tanto, tuvieron una gran relevancia en dicha característica física. El modelo se ajustó, ya que no hubo interacción entre factores, por lo tanto, sólo se pudo obtener gráfica de efectos principales.

En base a la Gráfica 10-3 se pudo evidenciar que valores altos de almidón y glicerina, aumentaron el grosor de las láminas.

3.5.7.2. Humedad

- Humedad vs almidón; glicerina

Tabla 24-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de obtención de láminas. Humedad

| Término | Efecto | Coef | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV |
|-----------|--------|--------|--------------|---------|---------|------|
| Constante | | 18,087 | 0,406 | 44,54 | 0,000 | |
| Almidón | 0,937 | 0,468 | 0,406 | 1,15 | 0,278 | 1,00 |
| Glicerina | 2,400 | 1,200 | 0,406 | 2,96 | 0,016 | 1,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

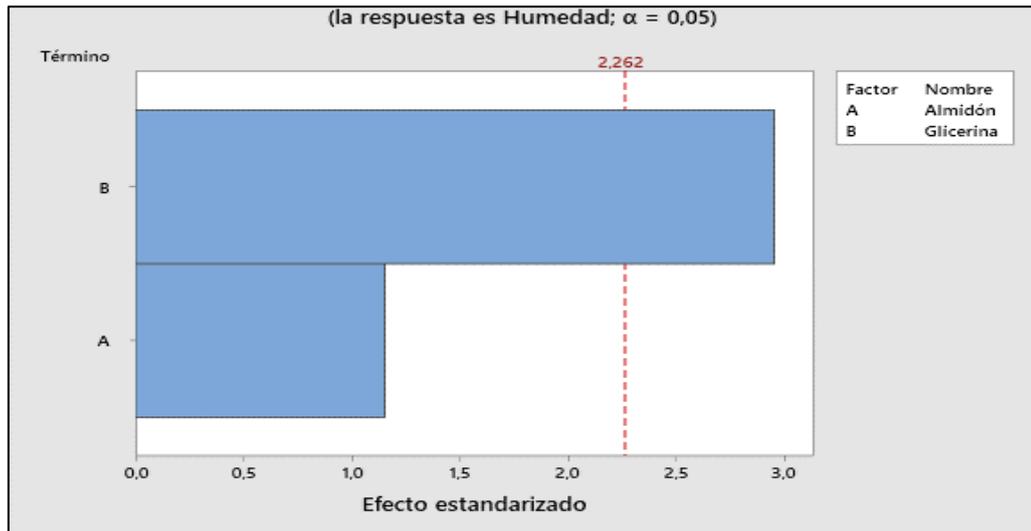


Gráfico 12-3. Diagrama de Pareto efectos estandarizados Humedad vs. Almidón; Glicerina

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

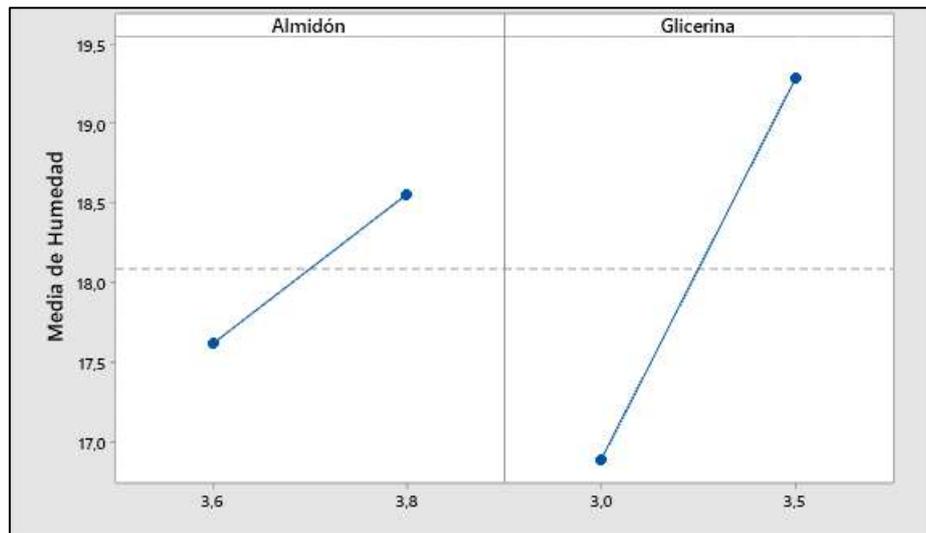


Gráfico 13-3. Efectos principales para Humedad.

Realizado por: Iza Jefferson, 2021

Con la ayuda de la Tabla 24-3, se pudo observar que solamente el factor glicerina presentó significancia frente a la humedad de las láminas (valor $p < 0,05$). El modelo se ajustó, ya que no hubo interacción entre factores, por lo tanto, sólo se pudo obtener gráfica de efectos principales. En base al Gráfico 12-3 se pudo evidenciar la falta de significancia del almidón, mientras que la glicerina describe una pendiente positiva, es decir, su valor alto (3,50g) aumentó la media humedad, al igual que el almidón (aunque no sea significativa), presentó una pendiente positiva. Esto es debido a que ambos componentes tienen carácter hidrofílico.

3.5.7.3. Solubilidad

- Solubilidad vs almidón; glicerina

Tabla 25-3: Coeficientes codificados del análisis de la obtención de láminas. Solubilidad

| Término | Efecto | Coef | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV |
|-----------|--------|--------|--------------|---------|---------|------|
| Constante | | 41,369 | 0,574 | 72,05 | 0,000 | |
| Almidón | -1,928 | -0,964 | 0,574 | -1,68 | 0,127 | 1,00 |
| Glicerina | 6,245 | 3,123 | 0,574 | 5,44 | 0,000 | 1,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

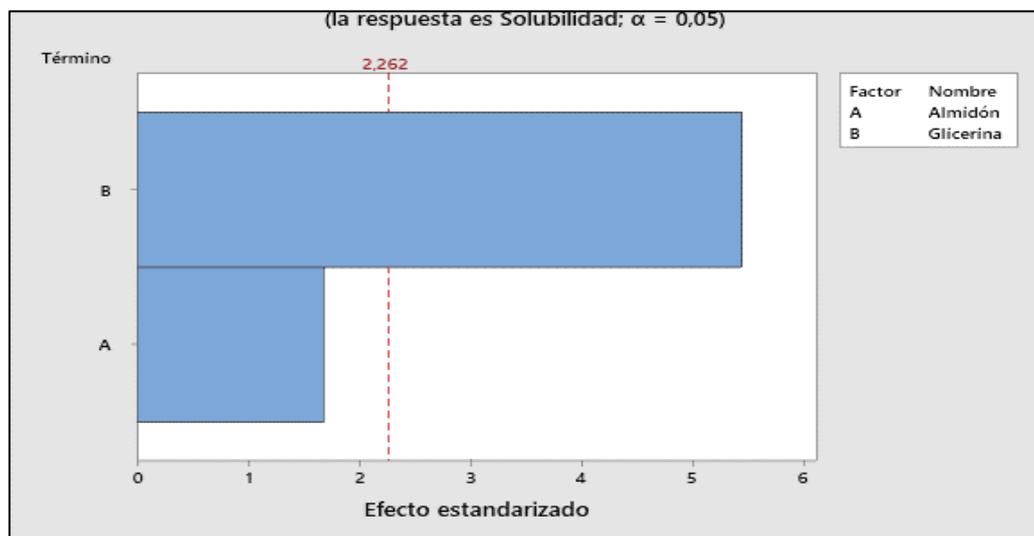


Gráfico 14-3. Diagrama de Pareto efectos estandarizados Solubilidad vs. Almidón

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

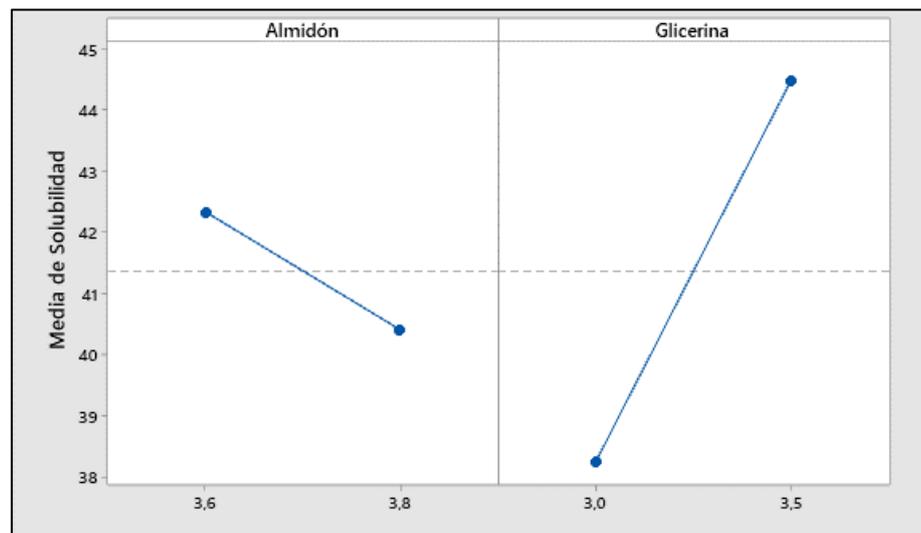


Gráfico 15-3. Efectos principales para Solubilidad.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

Con la ayuda de la Tabla 25-3, se pudo observar que solamente el factor glicerina presentó significancia frente a la solubilidad de las láminas (valor $p < 0,05$). El modelo se ajustó, ya que no hubo interacción entre factores, por lo tanto, sólo se pudo obtener gráfica de efectos principales. En base al Gráfico 14-3 se pudo evidenciar la falta de significancia del almidón, mientras que la glicerina describe una pendiente positiva, es decir, su valor alto (3,50g) aumentó la media solubilidad, mientras que el almidón presentó una pendiente negativa. Esto se debe a que la glicerina es una sustancia soluble en agua.

3.5.7.4. Permeabilidad al vapor de Agua (PVA)

- Espesor vs almidón; glicerina

Tabla 26-3: Coeficientes codificados del análisis de diseño de la obtención de láminas. PVA

| Término | Efecto | Coef | EE del coef. | Valor T | Valor p | FIV |
|-----------|-----------|-----------|--------------|---------|---------|------|
| Constante | | 0,021665 | 0,000544 | 39,79 | 0,000 | |
| Almidón | -0,001743 | -0,000872 | 0,000544 | -1,60 | 0,144 | 1,00 |
| Glicerina | 0,000490 | 0,000245 | 0,000544 | 0,45 | 0,664 | 1,00 |

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

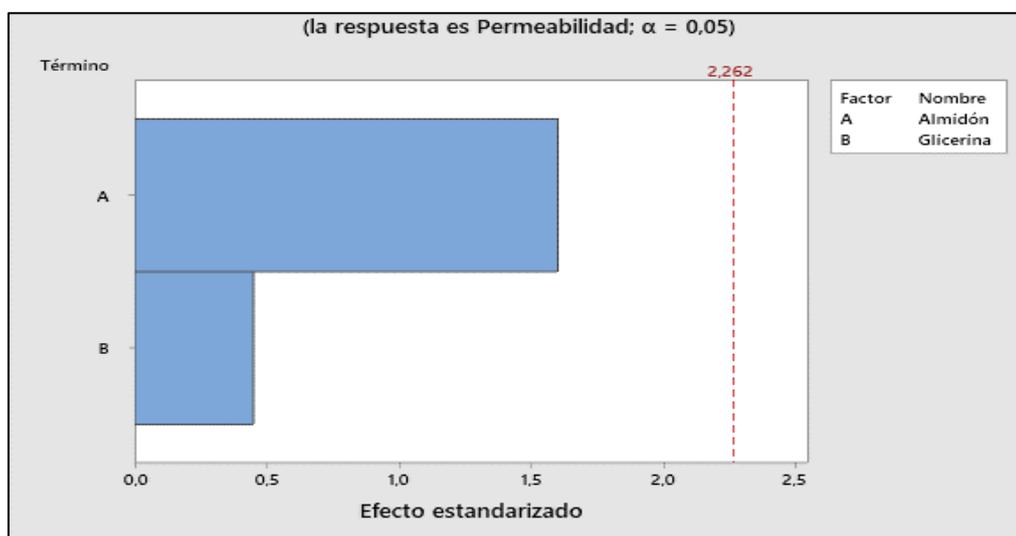


Gráfico 16-3 Diagrama de Pareto de efectos estandarizados de PVA vs. Almidón; Glicerina

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

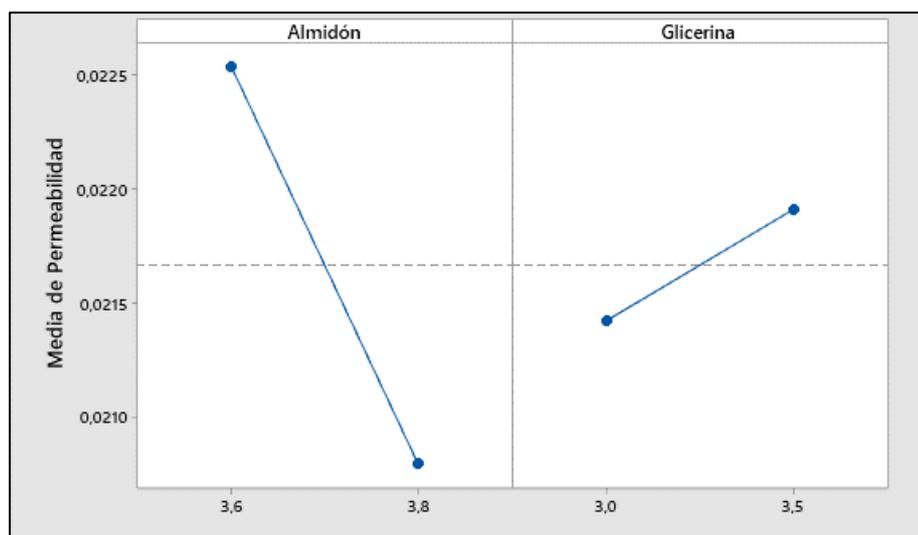


Gráfico 17-3. Efectos principales para PVA.

Realizado por: Iza, Jefferson, 2022.

En el análisis de PVA no hubo significancia alguna entre factores, ni interacción entre ellos (valor $p > 0,05$). Esto se debe a que los niveles tomados en cuenta para los factores almidón y glicerina no eran los más diferenciados entre sí. Se lo confirmó antes con la prueba Tukey en las medias de PVA, ya que ninguna fue significativamente diferente.

Con respecto al Gráfico 16-3 se pudo observar que el factor almidón presentó más relevancia frente a la glicerina, describe valores bajos de PVA cuando el almidón estuvo en su nivel alto (3,80g), justa razón a que las láminas basadas en almidón ejercen buenas características de barrera.

3.5.8. *Comprobación de hipótesis*

- **Extracción de almidón**

H₀: Las variables tiempo y velocidad de extracción no afectan significativamente en el porcentaje de rendimiento de extracción de almidón.

H₁: Las variables tiempo y velocidad de extracción afectan significativamente en el porcentaje de rendimiento de extracción de almidón.

Al analizar las variables tiempo y velocidad en el apartado 3.1.6. se demostró, con un nivel de confianza del 95%, que las variables afectan significativamente al porcentaje de rendimiento de extracción. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ($p < 0,05$) y se acepta la hipótesis alternativa (H₁).

- **Láminas de bioplástico**

H₀: Las variables independientes almidón y glicerina no afectan significativamente a las características de barrera de las láminas de bioplástico (espesor, humedad, solubilidad y

permeabilidad al vapor de agua).

H₁: Al menos una de las variables independientes almidón y glicerina afectan significativamente a las características de barrera de las láminas de bioplástico (espesor, humedad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua).

Al analizar las variables almidón y glicerina en el apartado 3.1.7. se demostró que el nivel de significancia va a depender intrínsecamente de la variable respuesta, por lo tanto, se llega a la conclusión de que dichas variables no afectan significativamente de la misma manera para todas las características. Para el espesor, ambas variables afectan significativamente; para la humedad y solubilidad, sólo la variable glicerina afecta significativamente; para la PVA ninguna variable fue significativa en el diseño factorial planteado. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa.

CONCLUSIONES

- Los plásticos biodegradables obtenidos presentan características organolépticas adecuadas, asemejadas a una lámina de plástico comercial, con propiedades físicas de barrera idóneas, solubilidad y pva bajos, permitiendo crear un ambiente de aislamiento para ser utilizado en envasado en alimentos, frutas y hortalizas; las propiedades mecánicas de todas las formulaciones son no deseadas, haciendo difícil la manipulación de las láminas, ya que no ofrecen una resistencia a la rotura, ni elongación buenas. aun así, los tratamientos presentados pueden ser utilizados como base para otras formulaciones.
- La extracción de almidón de judías, verdes y amarillas, por método húmedo presenta porcentajes de rendimientos bajos, haciendo no viable la utilización de las judías como fuente de almidón. Aun así, los almidones presentan contenidos de amilosa altos, convirtiendo a los almidones extraídos en uno de los mejores almidones para la elaboración de láminas en base a dicho producto. la velocidad y tiempo del proceso de trituración son significativos e interfieren directamente con los rendimientos; tiempo alto y velocidad baja aumentan los porcentajes de rendimiento, ya que al estar las semillas en estado de remojo provoca que se ablande la cubierta y de paso al almidón retenido, mientras que velocidad baja permite romper la parte fibrosa de la semilla sin llegar a hacerla muy diminuta y no sea difícil de separarla del almidón por decantación natural.
- Las cuatro formulaciones planteadas presentaron características físicas y de barrera deseadas, siendo la formulación c₂, con un porcentaje de 7% de almidón y 5,57% de glicerina la más idónea para crear un ambiente de aislamiento en el envasado; las propiedades mecánicas obtenidas no son ideales comparadas con los plásticos comerciales. la variable glicerina ejerce un efecto significativo en las variables repuesta de espesor, humedad y solubilidad, por lo tanto, el almidón ejerce la red polimérica, pero es el plastificante que limita las características de los bioplásticos.
- La biodegradación de los bioplásticos en el agua y bajo tierra son los métodos que presentan una biodegradabilidad eficiente y rápida, debido a que los bioplásticos son higroscópicos y al absorber agua desestabiliza las uniones, rompiendo su estructura; mientras que la biodegradabilidad en la superficie no presenta gran porcentaje de descomposición de las láminas, apenas al mes presenta cambios estructurales notorios.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda buscar un método de extracción de almidón más idóneo para las judías, ya que el método descrito para otros productos, como papa o yuca, no es eficiente en leguminosas; el tiempo que permanece en remojo puede interferir en la liberación del almidón de la parte fibrosa, a su vez, no aplicar muchos rpm para facilitar la separación de las capas que se forman.
- Se recomienda que el plaqueado se haga por otro método distinto al de casting, para indagar si a través de otros métodos las características mejoran, por ejemplo, se puede realizar por el método de moldeo por compresión.
- En el ensayo de permeabilidad al vapor de agua (PVA) se sugiere hacer en una cámara donde se pueda controlar la humedad relativa y temperatura fija, para que los resultados sean más confiables.
- Indagar otros plastificantes que sean menos hidrofílicos y a su vez no pierdan la biodegradabilidad de las láminas, así poder mejorar las características físicas de los bioplásticos.
- Tomar en consideración la modificación del almidón natural por medio de reacciones químicas para observar su efecto.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA EFE. *La ONU advierte de que sólo el 9% del plástico usado en el mundo se recicla* [blog]. España: 2018 [Consulta: 10 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.efe.com/efe/espana/sociedad/la-onu-advierte-de-que-solo-el-9-del-plastico-usado-en-mundo-se-recicla/10004-3638488>

ARISTAZÁBAL, J; & SÁNCHEZ, T. *Guía técnica producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO.* [en línea]. Roma: FAO, 2007. [Consulta: 12 de noviembre]. ISBN 978-92-5-305677-4. Disponible en: <https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>

BASANTES, E. *Manejo de Cultivos Andinos del Ecuador.* [en línea]. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2015. [Consulta: 15 de septiembre de 2021]. ISBN 978-9978-301-33-3. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>

BUSTAMANTE, M. *Extracción de almidón a partir del frijol Mungo (Vigna radiata).* [en línea] (*Trabajo de titulación*). (Grado) Universidad de Costa Rica. Ciudad Universitaria “Rodrigo Facio”, Costa Rica. 1988. pp. 01-90. [Consulta: 22 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/xmlui/handle/123456789/5369>

CASTELLÓN, H. *Plásticos oxo-biodegradables vs. Plásticos biodegradables: ¿cuál es el camino? Corporación Americana de Resinas.* [blog] [Consulta: 15 mayo 2021] Disponible en: <https://docplayer.es/13680345-Plasticos-oxo-biodegradables-vs-plasticos-biodegradables-cual-es-el-camino-introduccion.html>

CHARRO, M. *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata.* [en línea] (*Trabajo de titulación*). (Grado) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química. Quito, Ecuador. 2015. pp. 01-91. [Consulta: 12 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>

CRISTÁN, A. “*La situación de los envases de plástico en México*”. *Gaceta Ecológica* [en línea]. 2003, (69), pp. 67-82 [Consulta: 22 de mayo de 2021]. ISSN: 1405-2849. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906905>

GARCÉS, F. “*Cuantificación de enfermedades en líneas promisorias y variedades de fréjol en Quevedo, Ecuador*”. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea]. 2013, (Ecuador) 11(1), pp. 196-207 [Consulta en: 25 junio de 2021]. Disponible en: <https://www.virtualpro.co/biblioteca/bioplasticos-una-mejor-alternativa-para-un-futuro-sostenible>

DOMÍNGUEZ, M.; & JIMÉNEZ, M. “*Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones*”. [en línea], 2012, (México) 6(2), pp. 110-121. [Consulta: 03 noviembre de 2021]. Disponible en: <https://tsia.udlap.mx/peliculas-comestibles-formuladas-con-polisacaridos-propiedades-y-aplicaciones-2/>

FERNÁNDEZ BAO, S. *Diseño de Experimentos: Diseño Factorial*. [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela de Ingeniería. Barcelona, España. 2020. pp. 01-73. [Consulta: 22 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339723/TFM_Fernandez_Bao_Sheila.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GONTARD, N. “*Edible composite films of wheat gluten and lipids: water vapour permeability and other physical properties*”. *International Journal of Food Science and Technology* [en línea], 1994, (Francia), 29(1), pp. 39-50. [Consulta: 10 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb02045.x>

GREEN PEACE. *Datos sobre la producción de plásticos*. [blog]. España. [Consulta: 10 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

HERMIDA, É. *Polímeros. En: Guía Didáctica. Materiales y materias primas*. [en línea]. Buenos Aires: Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología – Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2011. [Consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf

LEIA. *Bioplásticos*. [en línea]. Observatorio Industrial del Sector Químico. 2007. [Consulta: 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257652567_BIOPLASTICOS

LÓPEZ, J. *Estudio del tratamiento térmico extrusión sobre las propiedades funcionales y reológicas del almidón de yuca (Manihot esculenta crantz)*. 1994, (Colombia), pp. 17-23. [Consulta: 03 de noviembre de 2021].

MARJADI, D. y DHARAIYA, N. “*Bioplastic: A better alternative for sustainable future*”. *Everyman’s Sciencie*. [en línea], 2010, (China), 45(2), pp. 90-92. [Consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: https://www.ugc-inno-nehu.com/isc99_kiit_2012/www.sciencecongress.nic.in/html/pdf/June-July-2010.pdf#page=22

MENESES, J. et al. “*Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca*”. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq* [en línea]. 2007, (Colombia) (8), pp. 57-67 [Consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo.ph200006>

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO. *Frijol Canario Camanejo*. Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria Del Perú - Inia, 2, 2014. [Consulta: 21 de junio de 2021]. Disponible en: https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/64/1/Trip-frijol_canario_camanejo.pdf

MONTALVO, L. *Plásticos industriales y su procesamiento*. [en línea], Buenos Aires: Monografías 2007. [Consulta: 15 de junio de 2021]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/34450>

MORÁN, S. *Nada frena los plásticos de un solo uso: más de 260.000 toneladas al año en Ecuador* [en línea]. PLAN V. 10 de noviembre de 2020. [Consulta: 15 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/nada-frena-plasticos-un-solo-uso-mas-260000-toneladas-al-ano-ecuador#:~:text=>

NORMA CHILENA OFICIAL NCH2457.OF2001. *Materiales de construcción y aislación – Determinación de la permeabilidad al vapor de agua (humedad)*.

OLIVEIRA, L. et al. “*Ensayos para avaliação de embalagens plásticas flexíveis*”. *Campinas. 1996, Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA)*, p. 219

ONU. *Plásticos de un solo uso. Una hoja de ruta para la sostenibilidad*. [en línea]. 2018, Rev. Ed., 2018. [Consulta: 12 de noviembre 2021]. ISBN: 978-92-807-3705-9. Disponible en: https://issuu.com/funverde2/docs/un_single_use_plastic_sustainability/2

PARRA, J. *Obtención de biofilm a partir del almidón de Zanahoria Blanca (Arracacia zanthorrhiza) y de Camote (Ipomoea batatas) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo*. [en línea] (Trabajo de Titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba, Ecuador. 2019.

pp. 01-61. [Consulta: 15 de noviembre de 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13808>

PEÑARANDA, Ó. et al. “Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos”. *Revista Ingeniería e Investigación* [en línea]. 2008, 28(3), pp. 47-52. [Consulta: 15 de noviembre de 2021]. ISSN 0120-5609. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092008000300006&lng=en&nrm=iso

RUIZ, Gladys. “Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca”. *Ingeniería y Ciencia* [en línea]. 2006, 2 (4), pp. 5-28 [Consulta: 22 de mayo de 2021]. ISSN: 1794-9165. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83520401>

TORRES, Emma et al. “Caracterización de la producción de frijol en la provincia de Cotopaxi Ecuador: Caso comuna Panyatug”. *Revista Ciencia y Tecnología* [en línea]. 2013, 6(1), pp. 23-31 [Consulta: 15 de junio de 2021]. ISSN1390-4043. Disponible en: https://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_V6%20N1%204Caract%20produccion%20frijol,%20Comuna%20Panyatug.pdf

TRUJILLO, C. “Obtención de películas biodegradables a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) doblemente modificado para uso en empaque de alimentos”. [en línea] (Trabajo de Titulación). [Consulta: 02 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://docplayer.es/64206300-Obtencion-de-peliculas-biodegradables-a-partir-de-almidon-de-yuca-manihot-esculenta-crantz-doblemente-modificado-para-uso-en-empaque-de-alimentos.html>

ULLOA, J. et al. “El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos”. *Revista Fuente* [en línea]. 2011, 3(8), pp. 5-9 [Consulta: 15 de junio de 2021]. ISSN 2007 – 0713. Disponible en: <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/582>

VALLADARES, C. *Taxonomía y botánica de los cultivos de grano*. [en línea]. Honduras: Universidad Nacional Autónoma de Honduras, 2010. [Consulta: 21 de junio de 2021]. Disponible en: <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/unidad-ii-taxonomia-botanica-y-fisiologia-de-los-cultivos-de-grano-agosto-2010.pdf>

VICENTINI, N. *Elaboração e caracterização de filmes comestíveis à base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita* [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Universidad

Estatad Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Facultad de Ciencias Agronómicas, Campus de Botánica. Sao Paulo, Brasil, 2003. pp. 01-198. [Consulta: 14 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/103261>

VOYSEST, O. *Mejoramiento Genético del Frijol (Phaseolus vulgaris L.): Legado de variedades de América Latina 1930-1999*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2000 [Consulta: 15 de septiembre de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/54161>

WANG, L. et al. “*Assessment of film-forming potential and properties of protein and polysaccharide-based biopolymer films*”. International Journal of Science and Technology [en línea]. 2007, 42(9), pp.1128-1138 [Consulta: 14 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01440.x>

ZEApplast. *Historia de los bioplásticos*. [blog]. Chile: Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) – Universidad de Concepción, 2012. [Consulta: 21 de mayo de 2021]. Disponible en: <http://www.zeaplast.cl/plasticos-biodegradables/historia-de-los-bioplasticos+-20>



ANEXOS

ANEXO A. EXTRACCIÓN DE ALMIDONES DE LAS SEMILLAS DE JUDÍAS

a)



b)



c)



d)



a) Licuado del frejol

b) Decantación simple del almidón

c) Secado del almidón

d) Tamizado

ANEXO B. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LOS ALMIDONES OBTENIDOS

| | | |
|--|---|---|
| <p>a)</p>  | <p>b)</p>  | <p>c)</p>  |
| <p>d)</p>  | | |
| <p>a) Temperatura de gelatinización</p> | <p>c) Solubilidad</p> | |
| <p>b) Análisis de pH</p> | <p>d) Humedad</p> | |

ANEXO C. FORMULACIÓN DE LÁMINAS DE BIOPLÁSTICOS

| | | |
|--|---|---|
| <p>a)</p>  | <p>b)</p>  | <p>c)</p>  |
| <p>d)</p>  | <p>e)</p>  | <p>f)</p>  |
| <p>g)</p>  | <p>h)</p>  | <p>i)</p>  |
| <p>a) Pesaje de almidón b) Mezclado de aditivos con almidón c) Método de casting en placas de vidrio</p> | <p>d) Secado en estufa con ventilación e) Secado al ambiente de las placas f) Método de casting en cajas de Petri</p> | <p>g) Lámina de bioplástico de cajas de Petri h) Lámina de bioplástico de placas de vidrio i) Lámina de bioplástico de placas de vidrio</p> |

ANEXO D. ENSAYOS REALIZADOS A LAS LÁMINAS DE BIOPLÁSTICOS

| | | |
|---|---|--|
| <p>a)</p>  | <p>b)</p>  | <p>c)</p>  |
| <p>d)</p>  | <p>e)</p>  | <p>f)</p>  |
| <p>g)</p>  | | |
| <p>a) Contenido de humedad</p> <p>b) Solubilidad</p> | <p>c) Permeabilidad al vapor de agua</p> <p>d) Espectroscopia Infrarroja</p> | <p>e) Espectro Infrarrojo</p> <p>f) Pruebas mecánicas</p> <p>g) Espesor</p> |

ANEXO E. PORCENTAJE DE AMILOSA EN MUESTRAS DE ALMIDÓN DE JUDÍA

| | | | |
|---|--|---|--|
| MC-LSAIA-2201-06  | INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS Panamericana Sur Km. 1, CutigaguaTels. 2690091-3007134, Fax. 3007134 Casilla postal 17-01-340 | | |
|  | | | |
| INFORME DE ENSAYO No: 21-0163 | | | |
| **NOMBRE PETICIONARIO: Sr. Jefferson Isaac Iza López **DIRECCION: Av Pedro Vicente Maldonado Riobamba 16/08/2021 FECHA DE EMISION: Del 05 al 16 de agosto del 2021 FECHA DE ANALISIS: | **INSTITUCION: Particular Sr. Jefferson Isaac Iza López **ATENCIÓN: 09/05/2021 FECHA DE RECEPCIÓN: 10h00 HORA DE RECEPCIÓN: Amilosa ANALISIS SOLICITADO: | | |
| **IDENTIFICACIÓN | | | |
| ANÁLISIS METODO | HUMEDAD | AMILOSA ² | |
| 21-0917 | MO-LSAIA-01.01 | MO-LSAIA-04 | |
| 21-0918 | U. FLORIDA 1970 | Morrison y Laignelet | |
| | % | 1983 | |
| | 12,18 | % | |
| | 12,50 | 50,13 | |
| | | 42,50 | |
| Almudón de semilla de vainita delgada color verde Almudón de semilla de vainita delgada color amarilla | | | |
| Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca. OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente | | | |
|  Dr. MSC. Ivan Samaniego RESPONSABLE TECNICO | |  Ing. Bladimir Ortiz RESPONSABLE CALIDAD | |
| RESPONSABLES DEL INFORME | | | |
| Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo | | | |
| NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de esta correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio es de carácter confidencial, esta dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo puede ser usada por este. Los datos marcados con * son suministrados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por esta información. | | | |

ANEXO F. ANÁLISIS REALIZADOS EN LABORATORIO EXTERNO

| RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE MUESTRAS DE DOS VARIEDADES DE ALMIDÓN | | | | |
|--|---|--|------------------|------------------|
| NOMBRE: Isaac Iza | | | | |
| TIPO DE MUESTRA | | | | |
| Muestra 1 | Almidón de semilla de vainita amarilla. | | | |
| Muestra 2 | Almidón de semilla de vainita verde | | | |
| FECHA DE ENTREGA DE MUESTRA: 02/08/2021 | | | | |
| FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS: 31/08/2021 | | | | |
| | | | | |
| ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO | | | | |
| Muestra 1: Almidón de semilla de vainita amarilla. | | | | |
| Muestra 2: Almidón de semilla de vainita verde | | | | |
| Determinaciones | Unidades | * Métodos de Análisis | Muestra 1 | Muestra 2 |
| Proteína cruda | % | Micro Kjeldahl | 1,57 | 1,65 |
| Fibra cruda | % | Método gravimétrico Digestión ácida y básica | 0,33 | 0,39 |
| Grasa | % | | <0.01 | <0.01 |
| Cenizas | % | | 0.2 | 0.2 |
| pH | - | | 5.02 | 5.4 |

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Muestra 1: Almidón de semilla de vainita amarilla.

Muestra 2: Almidón de semilla de vainita verde.

| Muestra 1 | | | |
|---|----------|------------------------|------------|
| Determinaciones | Unidades | *Valores de referencia | Resultados |
| Coliformes Totales | UFC/g | | Ausencia |
| Coliformes Fecales (<i>Escherichia coli</i>) | UFC/g | <10 | Ausencia |
| Mohos y levaduras | UFC/g | 1000-5000 | Ausencia |

Valores de Referencia tomados de la Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca (FAO 2007).

| Muestra 2 | | | |
|---|----------|------------------------|------------|
| Determinaciones | Unidades | *Valores de referencia | Resultados |
| Coliformes Totales | UFC/g | | Ausencia |
| Coliformes Fecales (<i>Escherichia coli</i>) | UFC/g | <10 | Ausencia |
| Mohos y levaduras | UFC/g | 1000-5000 | Ausencia |

Valores de Referencia tomados de la Guía técnica para producción y análisis de almidón de Yuca (FAO 2007).

Atentamente



Dra. Gina Álvarez R.
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO.

Nota: El presente informe, afecta únicamente a las muestras analizadas.

ANEXO G. PRUEBAS MECÁNICAS DE LAS LÁMINAS DE BIOPLÁSTICO



Ing. J. Anibal Viñán B. MsC.

| INFORME DE RESULTADOS | |
|--|---|
| ENSAYO DE TRACCIÓN | |
| Denominación: RG 18 - 1 | |
| N° 01 | |
| SOLICITADO POR: | Jefferson Isaac Iza López |
| PROYECTO DE TESIS: | "OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE JUDÍAS VERDES Y AMARILLAS PARA SU APLICACIÓN EN ENVASADO DE ALIMENTOS" |
| DIRECCION: | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA |
| TIPO DE MATERIAL: | BIOPLÁSTICO |
| MATERIAL: | LÁMINA DE PLÁSTICO |
| FECHA DE FABRICACIÓN: | 2021 - 08 |
| NORMA UTILIZADA: | NTE INEN 2635:012 |
| FECHA DE ENSAYO: | 3-sep-21 |
| EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B | |
| MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD | |
| SERIE: 7136 | CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2 |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL | CTI |
| CARACTERÍSTICA | TRANSPARENTE |
| ESPESOR [mm] | 0.1 |
| ANCHURA [mm] | 6.59 |
| LONGITUD INICIAL [mm] | 25.00 |
| SECCION TRANSVERSAL [mm ²] | 0.66 |
| MODULO DE ELASTICIDAD [MPa] | 9.577 E+00 |
| CARGA DE FLUENCIA [N] | 1.04 |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa] | 1.58 |
| CARGA MAXIMA [N] | 1.13 |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa] | 1.71 |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%] | 4.08 |
| OBSERVACIONES: | |

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

| INFORME DE RESULTADOS | |
|--|---|
| ENSAYO DE TRACCIÓN | |
| Denominación: RG 18 - 1 | |
| N° 02 | |
| SOLICITADO POR: | Jefferson Isaac Iza López |
| PROYECTO DE TESIS: | "OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE JUDÍAS VERDES Y AMARILLAS PARA SU APLICACIÓN EN ENVASADO DE ALIMENTOS" |
| DIRECCION: | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA |
| TIPO DE MATERIAL: | BIOPLASTICO |
| MATERIAL: | LAMINA DE PLASTICO |
| FECHA DE FABRICACIÓN: | 2021 - 08 |
| NORMA UTILIZADA: | NTE INEN 2635:012 |
| FECHA DE ENSAYO: | 3-sep-21 |
| EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B | |
| MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD | |
| SERIE: 7136 CERTIFICADO: LNM-F-201650006 Cód IDENT: M2 | |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL | CT2 |
| CARACTERÍSTICA | TRANSPARENTE |
| ESPEJOR [mm] | 0.11 |
| ANCHURA [mm] | 6.95 |
| LONGITUD INICIAL [mm] | 25.00 |
| SECCION TRANSVERSAL [mm ²] | 0.76 |
| MODULO DE ELASTICIDAD [MPa] | 1.734.E+01 |
| CARGA DE FLUENCIA [N] | 1.41 |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa] | 1.84 |
| CARGA MAXIMA [N] | 1.70 |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa] | 2.22 |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%] | 4.04 |
| OBSERVACIONES: | |

Aprobado por:



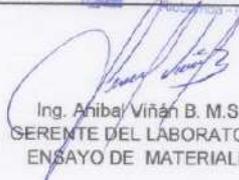
(Firma)
Ing. Anibal Viñan B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

| INFORME DE RESULTADOS | |
|--|---|
| ENSAYO DE TRACCIÓN | |
| Denominación: RG 18 - 1 | |
| N° 03 | |
| SOLICITADO POR: | Jefferson Isaac Iza López |
| PROYECTO DE TESIS: | "OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE JUDÍAS VERDES Y AMARILLAS PARA SU APLICACIÓN EN ENVASADO DE ALIMENTOS" |
| DIRECCION: | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA |
| TIPO DE MATERIAL: | BIOPLASTICO |
| MATERIAL: | LÁMINA DE PLÁSTICO |
| FECHA DE FABRICACIÓN: | 2021 - 08 |
| NORMA UTILIZADA: | NTE INEN 2635:012 |
| FECHA DE ENSAYO: | 3-sep-21 |
| EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B | |
| MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD | |
| SERIE: 7136 CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2 | |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL | CT3 |
| CARACTERÍSTICA | TRANSPARENTE |
| ESPEJOR [mm] | 0.1 |
| ANCHURA [mm] | 6.77 |
| LONGITUD INICIAL [mm] | 25.00 |
| SECCION TRANSVERSAL [mm ²] | 0.68 |
| MODULO DE ELASTICIDAD [MPa] | 2.081.E+01 |
| CARGA DE FLUENCIA [N] | 1.66 |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa] | 2.45 |
| CARGA MAXIMA [N] | 1.90 |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa] | 2.81 |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%] | 3.08 |
| OBSERVACIONES: | |

Aprobado por:


 Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
 GERENTE DEL LABORATORIO
 ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de este documento.

1/1

| INFORME DE RESULTADOS | |
|--|---|
| ENSAYO DE TRACCIÓN | |
| Denominación: RG 18 - 1 | |
| N° 04 | |
| SOLICITADO POR: | Jefferson Isaac Iza López |
| PROYECTO DE TESIS: | "OBTENCIÓN DE PLÁSTICOS BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ALMIDÓN DE JUDÍAS VERDES Y AMARILLAS PARA SU APLICACIÓN EN ENVASADO DE ALIMENTOS" |
| DIRECCION: | ESPOCH - FAC. DE CIENCIAS CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA |
| TIPO DE MATERIAL: | BIOPLÁSTICO |
| MATERIAL: | LAMINA DE PLASTICO |
| FECHA DE FABRICACIÓN: | 2021 - 08 |
| NORMA UTILIZADA: | NTE INEN 2635:012 |
| FECHA DE ENSAYO: | 3-sep-21 |
| EQUIPO UTILIZADO: MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS - WAW600B | |
| MARCA: JINAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD | |
| SERIE: 7136 CERTIFICADO: LNM-F-201650006 CÓD IDENT: M2 | |
| DESIGNACIÓN DEL MATERIAL | CT4 |
| CARACTERÍSTICA | TRANSPARENTE |
| ESPEJOR [mm] | 0.1 |
| ANCHURA [mm] | 6.72 |
| LONGITUD INICIAL [mm] | 25.00 |
| SECCION TRANSVERSAL [mm ²] | 0.67 |
| MODULO DE ELASTICIDAD [MPa] | 8.449.E+00 |
| CARGA DE FLUENCIA [N] | 0.79 |
| ESFUERZO DE FLUENCIA [MPa] | 1.18 |
| CARGA MAXIMA [N] | 0.92 |
| ESFUERZO MAXIMO [MPa] | 1.37 |
| PORCENTAJE DE ELONGACION [%] | 2.24 |
| OBSERVACIONES: | |

Aprobado por:



Ing. Anibal Viñán B. M.Sc.
GERENTE DEL LABORATORIO
ENSAYO DE MATERIALES

Documento válido únicamente con el sello de la Empresa. El laboratorio no se responsabiliza por la reproducción parcial o total de éste documento.

1/1



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 19 / 05 / 2022

| |
|---|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S) |
| Nombres – Apellidos: <i>Jefferson Isaac Iza López</i> |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL |
| Facultad: <i>Ciencias</i> |
| Carrera: <i>Bioquímica y Farmacia</i> |
| Título a optar: <i>Bioquímico Farmacéutico</i> |
| f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i> |



0994-DBRA-UTP-2022