

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Agroindustria Alimentaria
Ingeniería en Agroindustria Alimentaria



Proyecto Especial de Graduación

**Obtención de un biopolímero a partir de desechos de cáscara de papa y yuca
de la Planta Postcosecha de la Escuela Agrícola Panamericana**

Estudiantes

Abdel Emiliano Ruiz Martinez

David Alejandro Rodriguez Pineda

Asesores

Jorge A. Cardona, PhD.

Raúl Espinal, PhD.

Ludovic Bouilly, D.Sc.

Honduras, agosto 2022

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA M. MAIER ACOSTA

Vicepresidenta y Decana Académica

ADELA M. ACOSTA MARCHETTI

Directora Departamento de Agroindustria Alimentaria

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Contenido

Índice de Cuadros.....	4
Índice de Figuras	5
Índice de Anexos.....	6
Resumen	7
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Materiales y Métodos.....	13
Materias Primas	13
Diseño Experimental.....	13
Fase I	14
Obtención de la Harina de Cáscara.....	14
Elaboración de la Bandeja.....	15
Fase II	16
Caracterización de las Bandejas.....	17
Resultados y Discusión.....	20
Fase II	26
Conclusiones	33
Recomendaciones.....	34
Referencias.....	35
Anexos.....	39

Índice de Cuadros

Cuadro 1: Equipos utilizados en el estudio	13
Cuadro 2: Formulación para la elaboración de la bandeja basada en 215 g.	15
Cuadro 3: Rendimiento de la materia prima	16
Cuadro 4: Resultados para las pruebas mecánicas realizados a las bandejas.....	21
Cuadro 5: Evaluación de color de las bandejas.....	23
Cuadro 6: Prueba de solubilidad realizada a las bandejas.....	25
Cuadro 7: Evaluación de color de las bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas.....	26
Cuadro 8: Evaluación de fuerza de tensión (N) realizadas a las bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas.....	29
Cuadro 9: Evaluación de perforación (N/m) realizadas a las bandejas bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas	30
Cuadro 10: Evaluación de fracturabilidad (N) realizadas a las bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas.....	30
Cuadro 11: Evaluación de grosor (mm) realizada a las bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas.....	32

Índice de Figuras

Figura 1: Simulación de color obtenido de nuestro tratamiento, bandeja biodegradable y bandeja comercial.....	28
---	----

Índice de Anexos

Anexo A: Cámara para la toma de fotografías del análisis de color	39
---	----

Resumen

La elaboración de bioplásticos es una alternativa a plásticos derivados de la industria petroquímica por su potencial de degradabilidad. El objetivo principal del experimento fue elaborar una formulación para la obtención de un biopolímero a base almidón de maíz agregándole Harina de Cáscara (HC) de papa o yuca. En la primera fase, se elaboraron bandejas con 3 y 6% de HC, posteriormente se realizaron pruebas mecánicas, color, permeabilidad y solubilidad a las bandejas para seleccionar la más parecida a las utilizadas en el envasado de jalea sólida. Se obtuvo que 6% de HC de yuca, fue similar a los controles en fuerza de fractura, perforación y tensión. En la segunda fase, se realizaron pruebas mecánicas y de color a las bandejas de HC de yuca y dos bandejas comerciales antes y después de su envasado, donde se obtuvo una resistencia a la tensión y perforación de similar de la bandeja con los tratamientos control antes y después del envasado en ambas temperaturas. Usando un diseño completo al azar para ambas fases y una interacción de los factores de la segunda fase (LSMEANS). En la fuerza de fractura, la bandeja HC de yuca fue mejor que los tratamientos control, necesitando una fuerza mayor de fractura. Además, se midió la degradabilidad de la bandeja seleccionada. Se concluyó que la bandeja con una concentración de 6% de HC de yuca presentó características mecánicas de mayor similitud a los controles y fue capaz de resistir el envasado de jalea sólida de guayaba a altas temperaturas, empacándola al vacío y almacenamiento por un periodo de cinco días sin cambios significativos.

Palabras clave: biopolímero, color, degradabilidad, empaques, plásticos.

Abstract

The production of bioplastics is an alternative to plastics derived from the petrochemical industry due to their potential for degradability. The main objective of the experiment was to develop a formulation to obtain a biopolymer based on corn starch by adding Peel Flour (PF) of potato or cassava. In the first phase, trays with 3 and 6% PF were made, then mechanical tests, color, permeability, and solubility were carried out on the trays to select the most similar to those used in the packaging of solid jelly. A completely randomized design was used for both phases and an interaction of the factors of the second phase (LSMEANS). It was obtained that 6% of cassava PF was similar to the controls in fracture force, perforation and tension. In the second phase, mechanical and color tests were carried out on the cassava PF trays and two commercial trays before and after their packaging, where resistance to tension and perforation were similar to the tray obtained with the control treatments before and after the packaging in both temperatures. In fracture strength, the cassava PF tray was better than the control treatments, needing a greater fracture force. In addition, the degradability of the selected tray was measured. It was concluded that the tray with a concentration of 6% of cassava PF presented mechanical characteristics of greater similarity to the controls and was able to resist the packaging of solid guava jelly at high temperatures, vacuum packing and storage for a period of five days without significant changes.

Keywords: biopolymer, color, degradability, packaging, plastic.

Introducción

La producción de plástico ha mantenido un crecimiento constante desde 1950. En dicho año se registró una producción de 1.7 millones de toneladas; luego tuvo un incremento de 13.6% promedio anual durante 26 años (Góngora 2014). Es por esto por lo que, a medida aumenta su producción de igual forma se generan en gran cantidad residuos a los cuales no se les proporciona otro uso. Los residuos constituyen uno de los grandes problemas ambientales con diferentes impactos a nivel global y local. La gestión de los residuos va más allá de su disposición; por tanto es necesario analizar las diferentes variables de manera que se pueda comprender la complejidad que implican los nuevos retos ambientales (Téllez 2012).

En la actualidad, se desarrollan una gran cantidad de proyectos destinados a disminuir las cantidades de residuos plásticos y a fabricar productos menos agresivos con el medio ambiente. Ya que estos representan una amenaza potencial para muchos ecosistemas (Armeln y Puiggalí 2002). La elaboración de bioplásticos es considerada la nueva alternativa a implementar en la reutilización de los residuos de la industria. Los plásticos de base biológica o bioplásticos son una alternativa a los plásticos derivados de la industria petroquímica debido a su potencial biodegradabilidad y su origen renovable. En la actualidad se producen mayoritariamente a partir de residuos industriales y urbanos mediante procesos biotecnológicos siguiendo los principios de la economía circular (Prieto 2020).

Para poder darle un uso posterior al plástico se implementan tecnologías específicas como son la extrusión, inyección y el termoformado las cuales dan origen al bioplástico. Sin embargo, los polímeros biodegradables pueden clasificarse partiendo del proceso de fabricación como los polímeros extraídos o removidos directamente de la biomasa como la celulosa y almidón y también puede ocurrir con las proteínas como colágeno, queratina (Rimac 2019). Actualmente ya existe la opción de utilizar un tipo de bioplásticos producidos por fermentación, llamados de manera genérica polihidroxicanoatos (PHA), y particularmente el polihidroxitirato (P3HB) y el polihidroxitirato-cohidroxivalerato P(3HBco3HV), que se producen a escala comercial (González Y et al. 2013).

Las tecnologías usadas para la elaboración de bioplástico se realizan a través de la extrusión, inyección y termoformado para finalmente transformar el bioplástico en una lámina (Rimac 2019). Las propiedades mecánicas de flexión, tracción, compresión e impacto son importantes debido a que estas van a definir la calidad del bioplástico, los cuales son denominados biopolímeros. Los biopolímeros son elaborados a partir de almidón por su bajo costo, biodegradabilidad y abundancia en la industria alimentaria (Shirai et al. 2013), muchos de estos son elaborados a base de almidón. El almidón, está compuesto por dos polisacáridos, amilosa y amilopectina. Estos polisacáridos son insolubles en agua fría, pero en agua caliente logran disolverse al romper sus enlaces químicos, mediante un proceso irreversible conocido como gelatinización.

Por lo general los materiales a base de almidón son frágiles por naturaleza en función al grado de interacción entre las cadenas de amilosa y amilopectina (Jacometti 2015). Investigaciones previas han demostrado que es posible obtener películas plásticas biodegradable flexibles, a partir del almidón de yuca y pectina, olote de maíz, papa, plátano y de otros polímeros, así como patentes de para procesos de producción de almidón termoplásticos (Riera y Palma 2018). En una investigación donde se elaboró bioplástico a base de almidón de maíz, se demostró que estos pueden competir con los plásticos hechos con petróleo debido a que cuentan con características cualitativas y físicas apropiadas, además de un tiempo corto de degradación de aproximadamente 90 días (Galvez 2016).

La papa (*Solanum tuberosum*), es uno de los cultivos que más se producen en el mundo. Se cultiva en más de 150 países con una producción anual de aproximadamente 330 millones de toneladas. El rendimiento promedio es de 20 ton / ha. Es la principal fuente de nutrientes básicos para los habitantes de muchos países en desarrollo y también genera ingresos para su subsistencia (Narváez et al. 2018). En la actualidad, el 45.7% de las frutas y hortalizas producidas a nivel mundial se pierden o desperdician durante las diferentes etapas de la cadena de suministro. Durante la manipulación postcosecha o procesado de frutas y hortalizas se generan cantidades importantes de residuos o subproductos cuya correcta valorización permite su aprovechamiento y por lo tanto, la obtención de un beneficio económico y medioambiental (Conesa et al. 2019).

La yuca es considerada un alimento esencial, debido a que proporciona una fuente importante de carbohidratos y contiene un porcentaje notable de vitaminas y minerales; además, es uno de los tubérculos más cultivados en el mundo. Sin embargo, la gran cantidad de residuos obtenidos del procesamiento industrial de la yuca genera un gran impacto al medio ambiente que afecta la salud y la calidad de vida de las personas (Del Rio y Grande 2021). Es conocida como alimento básico y también como material agroindustrial. La agroindustria es la actividad principal en el negocio de la cadena de valor. De igual forma, es reconocida por la industria como un multiplicador económico.

La variedad de nutrientes y compuestos como proteínas, carbohidratos, fibras y minerales presentes en los residuos obtenidos del procesamiento de la yuca, ha permitido el análisis de diferentes aplicaciones biotecnológicas como biosorbentes, coagulantes y obtención de nano fibras a partir de celulosa, además de la extracción de biomasa para el tratamiento de aguas contaminadas (Wicaksono et al. 2013). De acuerdo con Mejías et al. (2016), Los residuos agroindustriales están siendo en las últimas décadas motivo de diversos estudios, debido a que gran parte de sus componentes pueden ser utilizados como materia prima para la generación de productos con valor agregado, condición que prevalece actualmente y que se prevé continúe en el futuro desde el punto de vista de la generación de bioenergéticos y la prioridad para reducir el impacto ambiental que ocasionan dichos residuos.

Es por esta razón que se planteó un método para la elaboración de un polímero biodegradable a partir de almidón de maíz con incursión de harina de cáscara de papa y yuca. Aprovechando los residuos generados por la planta de postcosecha de Zamorano como materia prima para la elaboración de las bandejas, en este estudio se busca generar, determinar y personificar las propiedades mecánicas de una bandeja a partir de almidón de maíz, glicerol, harina de cáscara de papa y yuca, a las bandejas se les realizaron pruebas para comparar sus propiedades con la de un Plástico de Poliestireno Extruido (EPS). De igual forma, se evaluó su resistencia mediante una prueba de envasado de jalea solida en la Planta Hortofrutícola de Zamorano, con la finalidad de un uso futuro en la planta, de esta manera se plantearon los objetivos que se presentan a continuación:

Elaborar una formulación para la obtención de un biopolímero capaz de sustituir la bandeja biodegradable utilizada en planta hortofrutícola para el envasado de jalea sólida de guayaba.

Evaluar la capacidad de la bandeja en el envasado de jalea solida a una temperatura de 71 °C, empacado al vacío y su almacenamiento durante cinco días.

Contrastar las cualidades mecánicas y físicas de un biopolímero elaborado a base de almidón de maíz, harina de cáscara de papa y yuca obtenidos de los desechos de la planta de postcosecha de Zamorano con bandejas comerciales utilizadas en la Planta Hortofrutícola.

Materiales y Métodos

El presente estudio se realizó en el Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada en el Valle del Yeguaré, 32 km al Este de la ciudad de Tegucigalpa, Departamento de Francisco Morazán, Honduras, C.A. La elaboración de las bandejas se llevó a cabo en el Laboratorio de Química y los análisis en el laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano.

Materias Primas

La materia prima se obtuvo de la Planta Hortofrutícola Pos cosecha de Zamorano. Se utilizó cáscara de descarte de papa y yuca luego del proceso de lavado y pelado. Compuesto por *Solanum tuberosum* (variedad mundi) y *Manihot esculenta* en su madurez fisiológica y acondicionadas en cuartos fríos a 4 °C. Esta materia prima se homogenizó para obtener 1.246 kg de papa y 1.310 kg de yuca respectivamente. Se utilizó como ingredientes adicionales en la formulación almidón de maíz (*Zea mays*) de la marca Maizena, glicerol (1,2,3-trihidroxipropano), y ácido acético (también conocido como ácido etanoico) del grado absoluto de la marca Fisher Scientific. En el Cuadro 1 uno se muestran los equipos utilizados en el estudio.

Cuadro 1

Equipos utilizados en el estudio.

Equipo	Marca/Modelo
Horno de convección forzada	Marca Quincy Lab. Inc., 40AF
Molino de Martillo	Thomas-Wiley, #4
Balanza Analítica	OHAUS
Texturómetro	CT3 de AMETEK
Deshidratador	Lassele DY-110H
Licuada	Vitamix XL
Selladora al Vacío	Multivac C200
UV-vis Spectrophotometer	
Campana Disecador	
Balanza	Metler Toledo
Aplicación para la medición de color	RGB Colormeter

Diseño Experimental

Para la primera fase se usó un DCA (Diseño Completamente al Azar) con dos fuentes de coproductos (papa y yuca) y dos niveles de sustitución; de estos coproductos se elaboró una

formulación para la elaboración de la bandeja y se compararon con dos bandejas comerciales (biodegradable y de poliestireno expandido) para un total de seis tratamientos. Se realizaron tres repeticiones para un total de 18 unidades experimentales. Se realizó un ANDEVA con probabilidad de 95% ($p > 0.05$) y una separación de medias DUNCAN para comparar los factores principales. También se realizó un estudio de permeabilidad según la norma ASTM con algunas modificaciones y solubilidad según la norma ASTM E96. Seguidamente, en la segunda fase se realizó un DCA (Diseño Completamente al Azar) con el tratamiento con resultados similares a nuestros controles según la separación de medias DUNCAN en la primera fase. Se evaluó el antes y después de las propiedades físico-mecánicas de la bandeja luego del envasado de jalea sólida de guayaba y su posterior almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C) y en refrigeración (8 °C) con un análisis de LSMEANS para determinar la interacción entre los factores. Con un total de 90 unidades experimentales. Y se realizó un estudio de degradación a la bandeja.

Fase I

Obtención de la Harina de Cáscara

Se procesó 1.24 kg de la cáscara de papa y 1.31 kg de cáscara de yuca en una licuadora industrial (Vitamix XL) hasta formar un líquido espeso y consistente. Finalizado este proceso, se esparció sobre una hoja de papel encerado y se llevó a un deshidratador durante cinco horas a 75 °C. Al encontrarse totalmente deshidratada se procedió a obtener una reducción en su dimensión utilizando un molino (Thomas-Willey) para obtener la harina de cáscara con el tamaño de partícula de 4.25 micrómetros. Con resultados finales de 0.169 kg de harina de cáscara de papa y 0.23 kg de harina de cáscara de yuca. Las harinas fueron selladas y guardadas en un ambiente seco hasta su posterior uso.

Se elaboraron dos formulaciones para los dos tratamientos a evaluar en el estudio, se realizó cada formulación con variación en el porcentaje de cáscara en harina y almidón (Cuadro 2) y se le realizó análisis físicos y mecánicos a cada una. Posteriormente, en la segunda fase se evaluó el mejor tratamiento (con presencia de yuca o papa) en comparación con dos bandejas comerciales, una

bioplástica y una convencional de PE. Se envasó la jalea sólida a altas temperaturas (71 °C) en la Planta Hortofrutícola de la planta de Hortofrutícola de Zamorano. Para el análisis del estudio se realizó un DCA (Diseño Completamente al Azar), para evaluar las características después de su envasado con respecto a las bandejas utilizadas en la Planta de Hortofrutícola de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, respectivamente. En el Cuadro 2 se observan las formulaciones para cada uno de los tratamientos.

Cuadro 2

Formulación para la elaboración de la bandeja basada en 215 g.

	Almidón de maíz (g)	Agua (mL)	Ácido acético (mL)	Glicerol (mL)	Harina (g)
Formulación 1	46	144	0.5	12	12
Formulación 2	52	144	0.5	12	6

Elaboración de la Bandeja

Para la elaboración de las bandejas se pesó la cantidad de almidón (Cuadro 2) necesaria para cada formulación, y se agregó en un beaker de 500 mL con 144 mL de agua. Se colocó en un calentador con agitación magnética a una temperatura no mayor de 70 °C con agitación constante (500 rpm) hasta alcanzar la temperatura de gelatinización del almidón (67 – 70 °C). Durante este proceso se agregó 0.5 mL de ácido acético glacial (Carolina Biological Supply Company) y 12 mL de glicerol a la solución (1,2,3-hidroxipropano). Al alcanzar el punto de gelatinización, se añadió la cantidad de harina de cáscara correspondiente a cada formulación y se agitó constantemente hasta homogenizar la mezcla.

Por consiguiente, se trasladó la mezcla a un molde metálico rectangular de acero inoxidable de 235 × 185 × 23 mm revestido de teflón y se colocó en el horno de convección (Quincy Lab, Inc., 40AF) por siete minutos a 205 °C. Por último, se retiró el molde del horno pasados los siete minutos y se colocó en un congelador a -2 °C por un minuto para crear un choque térmico en la mezcla y poder desprenderla fácilmente del molde. Posteriormente se moldeó la mezcla en una bandeja de polipropileno con dimensiones de 15.5 × 15.5 × 2.3 cm y un espesor de 2.80 mm dándole la forma de

esta, aplicándole una presión de 0.023 kPa. Una vez la mezcla adoptó la forma de la bandeja se llevó al deshidratador durante cuatro horas a 70 °C para eliminar el agua restante y obtener una textura firme y sólida. Se repitió el mismo proceso para cada tratamiento. En el Cuadro 3 se observan los rendimientos que se obtuvieron de la cáscara de papa y yuca para la obtención de la harina de cáscara. Se utilizó un promedio 0.012 kg de harina de cáscara para cada bandeja.

Cuadro 3

Rendimiento de la materia prima

Materia Prima	kg de cáscara	kg de harina obtenido	Rendimiento
Papa	1.24	0.169	13.63%
Yuca	1.31	0.23	17.56%

Fase II

Se determinó estadísticamente la bandeja similar a las propiedades de nuestros controles para poner a prueba su capacidad de envasado, de igual forma se evaluó si este proceso afectó sus propiedades físico-mecánicas luego de cinco días post envasado. Se utilizó jalea de guayaba sólida para reproceso elaborada en la Planta Hortofrutícola de Zamorano para el estudio. Se llevó a cabo el análisis de los resultados en un DCA para los tres tratamientos (Mejor tratamiento Fase 1, bandeja biodegradable y bandeja de poliestireno expandido) con seis repeticiones cada una, en dos diferentes ambientes, para un total de 54 unidades experimentales, además, una separación de medias DUNCAN para comparar los factores principales y un LSMEAN para determinar la interacción entre los factores.

Elaboración de las Bandejas

Se elaboraron seis bandejas correspondientes a la Formulación 1 (Cuadro 2) con harina de cáscara de yuca. Se utilizó el mismo procedimiento detallado en la Fase 1 para su elaboración.

Envasado de Jalea Sólida de Guayaba

El envasado se llevó a cabo en la Planta Hortofrutícola de Zamorano el lunes, 30 de mayo, 2022. Se le añadió una cantidad neta de 0.300 kg de jalea a cada bandeja y se obtuvo un peso final de 0.373 ± 0.05 kg y se dejó reposar durante 12 horas para que la jalea gelificará. Posteriormente se selló

las bandejas por el método de sellado al vacío y se dejó a temperatura ambiente (25 °C) y en refrigeración (8 °C) por un período total de cinco días. En total se utilizó 5.4 kg de jalea de guayaba sólida.

Caracterización de las Bandejas

Color.

Se evaluó mediante la aplicación Color Análisis Lite disponible para smartphone, en el cual se obtuvo los valores L^*a^*b , también se calculó el croma y matiz de la muestra. Se utilizó el método propuesto por Paspuel (2016), donde se colocaron las muestras en un solo lugar, dentro de un espacio confinado de 36 x 26 cm y usando como base hojas blancas, tomando la fotografía a una distancia de 12.5 cm. Estas fotografías se evaluaron mediante la aplicación de ColorMeter- IOS.

Donde:

L^* = Luminosidad

a^* = Coordenadas rojo / verde (-80 a cero =verde, rojo = cero a 100)

b^* = Coordenadas amarillo / azul (azul= -100 a cero, de cero a 70 = amarillo)

Matiz: Permite distinguir el rojo de azul y se refiere al recorrido que hace un todo hacia un lado u otro del círculo cromático.

Croma.

Indica la pureza de un color en particular, la viveza o palidez de este. Puede relacionarse con el ancho de banda de luz que estamos visualizando. Esta propiedad siempre es comparativa, ya que relacionamos la intensidad en comparación con otros factores. Cada color se identifica mediante los siguientes parámetros: “L” es el valor de la luminosidad o claridad con valores entre 0 y 100 que indica blanco; “a” eje verde-rojo con valores entre -100 y 100 siendo los valores negativos el color verde y positivos el rojo y “b” eje amarillo-azul con iguales valores que el eje anterior, siendo los valores negativos el color azul y los positivos el amarillo. El croma toma el valor 0 para estímulos acromáticos y normalmente no pasa de 150.

Solubilidad en Agua.

Esta prueba se determinó mediante la modificación de la metodología propuesta por Díaz (2017), donde las muestras se cortaron de forma rectangular de 4 x 2 cm y previamente pesadas, posteriormente se colocaron en un vaso de precipitado de 500 con 250 mL de agua destilada, estas muestras se agitaron durante 24 h, posteriormente se secaron a 105 °C durante 24 h en el horno Quincy Lab modelo 40AF. La solubilidad se identificó como la diferencia entre el peso inicial (PI) y peso final (PF) de la muestra de acuerdo con la Ecuación 1:

$$\% \text{ Solubilidad} = \left(1 - \left(\frac{PI-PF}{PI} \right) \right) \times 100 \quad [1]$$

Donde: PI es el peso inicial de la muestra y PF el peso final de la muestra seca no solubilizada.

Fracturabilidad.

La prueba de fractura en puente se llevó a cabo con el equipo Brookfield CT3/Instron, en donde se colocó una fracción de la bandeja (2 x 2 cm) sobre el puente de flexión y se ejerció una fuerza en el centro mediante una velocidad determinada hasta la fractura. Se midió la fuerza de fractura como el pico máximo y la distancia a la que fracturó en Newtons. Prueba de resistencia a la tensión. La prueba de tensión se determinó según el método de la norma ASTM E83, la cual es descrita como un método de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico transparente. Este ensayo cubre la determinación de propiedades mecánicas de los plásticos en forma de láminas delgadas de 2 cm de largo y 2 cm de ancho. Entre estas propiedades se encuentran:

Resistencia a la Deformación. el esfuerzo al cual un material se deforma de manera permanente.

Punto de Elongación. hasta deformación: la fase en la cual un material hace la transición de comportamiento elástico a comportamiento plástico.

Resistencia a la Tracción. la fuerza o esfuerzo máximo que el material puede resistir

Reducción del Área. una medición de la ductilidad de un material.

Fuerza de Perforación.

Este ensayo mide la resistencia y fuerza del material al ser perforado por un punzón. En esta prueba aplica la norma ASTM F1306, en la cual la prueba se aplica un esfuerzo biaxial hasta lograr la perforación de la muestra y se determina la fuerza y alargamiento de perforación sobre el material, para esta prueba se utilizó el equipo Brookfield CT3/Instron con sonda cilíndrica de 5.60 mm de diámetro a una velocidad de 120 mm/min y carga inicial de 0.5 kN (Tashiguano 2020).

Grosor.

Este fue evaluado según Aimoto et al. (2007), utilizando un micrómetro manual con una precisión 0.001 mm, para esto, se tomaron nueve puntos al azar de la bandeja y con el Micrómetro digital Thomas Scientific Traceable®.

Resultados y Discusión

De acuerdo con Marichelvam et al. (2019), la resistencia a la tracción es la cantidad de fuerza máxima necesaria para romper la película de bioplásticos y es definida como tensión dividido por el cambio de deformación, también es importante considerar que el glicerol, usado como plastificante, hace que el bioplástico actúe como plastificante, haciendo que éste sea más flexible a medida que se reducen los enlaces intermoleculares de las cadenas poliméricas, causando una modificación de las propiedades mecánicas. Los resultados para la prueba de tensión muestran que los tratamientos de esta prueba son similares, con una significancia de probabilidad ($P > 0.05$), por otro lado, el coeficiente múltiple de determinación R^2 demostró que el 0.56% de las variables se ajustaron al modelo, el coeficiente de variación deja en evidencia que la variabilidad fue controlada dentro del experimento y permita la confiabilidad de los datos.

Según Arias Peralta 2019; Rodriguez P. et al. (2019), deja en evidencia que las propiedades mecánicas disminuyen al incrementar el porcentaje de almidón, por otro lado, Ruiz (2014), indica que el incremento en la cantidad plastificante reduce las fuerzas intermoleculares, tales como los puentes de hidrógeno haciendo el material más flexible y menos resistente. Por otra parte, se encontró similitud dentro del estudio con lo propuesto por Rodriguez y Darlyn G. (2021), donde mantienen que la resistencia de tensión medida en su estudio fue igual entre sus tratamientos, obteniendo nula diferencia significativa, teniendo en cuenta el porcentaje de almidón y harina utilizada.

La resistencia a la fractura indica la capacidad de aceptar carga sin dañar el material y se ve afectada por diversos factores como la matriz y los materiales de la cual se compone Harunsiyah y Yunus (2017). En el Cuadro 4 se plasma la diferencia ente los tratamientos, siendo la bandeja con 3% de cáscara de yuca el mejor tratamiento, por otro lado, papa 3%; yuca 6%; papa 6% son similares al control de poliestireno expandido, sin embargo, se obtuvo un resultado significativo entre los tratamientos ($P < 0.05$), por lo que las bandejas tienen diferencia significativa en la fuerza aplicada antes de su fractura, también se observa que dentro del coeficiente múltiple de determinación R^2 las variables se ajustaron un 81%.

Cuadro 4

Resultados para las pruebas mecánicas realizados a las bandejas.

	Tensión(N) \pm ¹¹ DE	Fractura(N) \pm DE	Perforación(N/m) \pm DE	Grosor(mm) \pm DE
Yuca 3% ²	10.5 \pm 0.09 ^A	8.73 \pm 1.01 ^A	9.21 \pm 0.15 ^B	5.76 \pm 0.36 ^B
Papa 3% ³	10.4 \pm 0.07 ^A	6.22 \pm 0.28 ^{CB}	9.50 \pm 0.09 ^B	6.23 \pm 0.58 ^A
Yuca 6% ⁴	10.4 \pm 0.22 ^A	7.00 \pm 0.51 ^{BC}	10.0 \pm 0.01 ^A	5.63 \pm 0.46 ^B
Papa 6% ⁵	10.4 \pm 0.03 ^A	7.04 \pm 0.18 ^B	10.1 \pm 0.01 ^A	6.11 \pm 0.51 ^A
ControlB ⁶	10.8 \pm 0.33 ^A	5.82 \pm 0.10 ^C	9.93 \pm 0.16 ^A	1.33 \pm 0.01 ^D
ControlC ⁷	10.8 \pm 0.49 ^A	6.46 \pm 0.73 ^{CB}	10.1 \pm 0.05 ^A	1.75 \pm 0.01 ^C
P ⁸	0.1742	0.0022	<.0001	<.0001
⁹ R ²	0.56	0.81	0.95	0.97
CV ¹⁰	2.39	8.7	0.89	8.3

Nota. Valores con letra diferente en cada columna fueron estadísticamente diferente (P < 0.05). 2: Bandeja con 3% harina de cáscara de yuca. 3: Bandeja con 3% harina de cáscara de papa. 4: Bandeja con 6% de harina de cáscara de yuca. 5: Bandeja con 6% de harina de cáscara de papa. 6: Control B: Control de almidón de maíz. 7: Control C: Control de poliestireno expandido. 8: Probabilidad estadística de la prueba (P > 0.05). 9: R²: Coeficiente de determinación. 10: CV: Coeficiente de Variación. 11: DE: Desviación Estándar.

Espina et al. (2016), establecen que la fracturabilidad ayuda a evaluar la integridad de las bandejas durante el desplazamiento y por tanto, determinó que una concentración de fibra por encima del 5% mejora la integridad de las bandejas, por otra parte, Morales et al. (2020), demuestran que la adición de fibras abundantes de celulosa mejora las propiedades mecánicas incrementando la dureza de las bandeja. Estadísticamente no se encontraron diferencia entre las bandejas, sin embargo, la media matemática indica que la relación entre la harina y el almidón modifican las características mecánicas, el porcentaje de harina de cáscara muestra que, entre más porcentaje de harina de cáscara, se necesita mayor fuerza para que la bandeja llegue a fracturarse. Holguin (2019), demuestra que una matriz reforzada con elementos orgánicos como fibras o polisacáridos dentro del material, lo cual lo hace competitivo con plásticos sintéticos.

De acuerdo con Castillo (2021), este parámetro indica la resistencia que posee un material al ser desgarrado en algún punto de su superficie y es determinada por la norma ASTM D-638. El resultado obtenido en la prueba de perforación, la significancia de los datos es menor a P < 0.05, teniendo diferencia significativa en los valores de perforación entre cada una de las bandejas, así también, los tratamientos con 3% de harina de cáscara estadísticamente diferente a los demás

tratamientos. Sin embargo, cuando el porcentaje de harina de cáscara se duplica, presentan similitud a los dos controles con un ajuste de los datos es de un 81% con un coeficiente de variación del 8.7%. De acuerdo con Díaz (Agosto, 2021), donde determina que a medida que aumenta la cantidad de almidón en la mezcla, la biopelícula se volverá más rígida, así mismo, la media de los datos recolectados de fuerza aplicada en la bandeja se observa que la formulación con 6% de harina y 21% de almidón de maíz, necesite más fuerza de perforación.

Por otro lado, se resaltan los datos obtenidos con respecto a un estudio hecho por Amaya Quiroz (2017), donde se le adiciona nanofibras en la influencia de las propiedades físico-mecánicas de materiales biodegradables, establece que el efecto de incorporación de estos elementos, se obtienen mejores resultados dependiendo del tamaño, distribución de partícula, material utilizado y concentración, donde los menores valores, se tiene mejor respuesta físico-mecánica.

Esta medida es definida por Salmerón (2019), como la distancia perpendicular ente dos superficies opuestas para bandejas comerciales de EPS. Los resultados estadísticos de la prueba de grosor, muestra una significancia de $P < 0.05$, con un arreglo de los datos del 81%, así mismo, se obtuvo un valor del coeficiente de variación del 8.7%, , la media de los datos obtenidos en este análisis demuestra que el grosor es mayor en las bandejas con el harina de cáscara de papa, sin embargo, éstas son diferentes a los controles comerciales, esto se asemeja con los resultados obtenidos por Díaz (2017), donde establece que las interacciones en la relación del rastrojo de maíz y almidón de papa son inversamente proporcional, en el cual el espesor aumenta con relación al porcentaje de rastrojo de maíz. Los datos obtenidos de grosor para nuestros tratamientos fueron superiores en comparación al grosor presentado por ambos controles, esto se debe a que no se cuenta con una herramienta que permita estandarizar o reducir aún más el grosor de las biopelículas. Por otro lado, se puede observar que la cáscara de yuca es mucho más fibrosa en comparación con la papa y al momento del pelado había una mayor remoción del interior de la papa lo cual puede contener un mayor porcentaje de almidones. Esto es lo que podría estar ocasionando esas diferencias en el grosor

entre papa y yuca. Sin embargo, el incremento en el porcentaje de harina de cáscara adicionada a la formulación no tuvo ningún efecto en cuanto al grosor de la bandeja.

En el Cuadro 5 se puede observar los resultados obtenidos para las pruebas de color realizadas a los tratamientos elaborados con almidón de maíz y harina de cáscara de yuca y papa y a ambos controles.

Cuadro 5

Evaluación de color de las bandejas.

	Color				
	L* ± DE ¹¹	a* ± DE	b* ± DE	Hue ± DE	Croma ± DE
Yuca 3% ²	25.7 ± 3.71 ^D	1.80 ± 0.42 ^C	4.60 ± 0.51 ^C	68.4 ± 5.87 ^C	4.90 ± 0.43 ^D
Papa 3% ³	18.5 ± 2.71 ^E	3.20 ± 0.78 ^A	5.20 ± 0.42 ^B	58.6 ± 7.41 ^D	6.15 ± 0.40 ^B
Yuca 6% ⁴	33.7 ± 3.26 ^C	2.57 ± 0.52 ^B	3.60 ± 1.74 ^D	53.6 ± 13.9 ^D	4.47 ± 2.23 ^D
Papa 6% ⁵	26.2 ± 5.20 ^D	1.50 ± 0.52 ^D	5.00 ± 0.94 ^B	72.9 ± 7.04 ^B	5.24 ± 0.91 ^C
ControlB ⁶	69.1 ± 4.30 ^B	1.20 ± 0.42 ^D	7.80 ± 0.91 ^A	81.3 ± 2.54 ^A	7.89 ± 0.94 ^A
ControlC ⁷	74.5 ± 5.79 ^A	1.20 ± 0.42 ^D	1.20 ± 0.42 ^E	45.0 ± 8.69 ^E	1.72 ± 0.52 ^E
P ⁸	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
R ⁹	0.96	0.69	0.89	0.81	0.90
CV ¹⁰	10.4	0.94	1.15	8.9	10.3

Nota. Valores con letra diferente en cada columna fueron estadísticamente diferentes (P < 0.05). 2: Bandeja con 3% harina de cáscara de yuca. 3: Bandeja con 3% harina de cáscara de papa. 4: Bandeja con 6% de harina de cáscara de yuca. 5: Bandeja con 6% de harina de cáscara de papa. 6: Control B: Control de almidón de maíz. 7: Control C: Control de poliestireno expandido. 8: Probabilidad estadística de la prueba (P > 0.05). 9: R²: Coeficiente de determinación. 10: CV: Coeficiente de Variación. 11: DE: Desviación Estándar.

Para la variable L*, se encontró diferencia significativa (P < 0.05) entre los tratamientos de L*, b* y croma, teniendo los valores más altos en ambos controles, teniendo una luminosidad muy alta, de acuerdo con la tabla presentada por Ly et al. (2020), a diferencia del Tratamiento 4 que presenta la luminosidad más alta de nuestros tratamientos. Cabe destacar que a medida que hay un incremento en la cantidad de cáscara hay un incremento en la luminosidad de la bandeja. Esto podría explicarse gracias a la investigación hecha por Dominguez R. y Royser (2019), donde se especula que el oscurecimiento de las bandejas está relacionada con la reacción de Maillard (pardeamiento enzimático), como un producto de la reacción entre carbohidratos y proteínas. Debido a que la elaboración de las bandejas se lleva a cabo a 205 °C y la reacción de Maillard ocurre a los 140 °C aproximadamente. Por otro lado, podría estar ocurriendo un empardeamiento enzimático como

producto del pelado de la cáscara lo cual activa la enzima polifenol oxidasa presente en las células de la papa y la yuca lo que ocasiona que el material obtenga un color oscuro. Otro factor que podría estar afectando en el color final de la bandeja es la caramelización de las glucosas presentes en la estructura del almidón maíz, lo cual es simplemente la reducción de estos azúcares, ocasionando un cambio en el color, sabor y aroma.

Para la variable a*, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos ($P > 0.05$), teniendo el valor más alto en el Tratamiento 3, obteniendo un color ligeramente rojizo a diferencia del control comercial, esto puede ser atribuido de acuerdo con el estudio hecho por, donde supone que los datos obtenidos son debido a la variedad de la papa y yuca empleada en el estudio.

Para la variable b*, encontraron diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los tratamientos, teniendo una media más alta en el control biodegradable comercial, presentando un color amarillo, por otro lado, el valor más bajo lo obtiene el control convencional de poliestireno expandido. Estos valores pueden relacionarse con el estudio hecho por Mis (2013), donde el color amarillo se vio afectado por el escaldado de los trozos de yuca, relacionándolo con la reacción enzimática durante este proceso, que a diferencia del proceso llevado a cabo en este estudio, no se escaldó la papa y yuca.

La probabilidad de la Prueba Hue, no fue significativa ($P > 0.05$), obteniendo similitud entre los tratamientos, donde los colores caen en un rango de 61 a 180°, donde se obtienen los colores primarios amarillo y verde. Esta prueba también pudo verse afectada por la reacción de Maillard por el uso de temperatura dentro del horno de convección, según Salmerón (2019).

Dentro de la variable croma, se encontró diferencia estadística en la prueba de croma, siendo el control biodegradable estadísticamente más alto, sin embargo, Alban et al. (2020) establece que es difícil lograr un efecto uniforme de la bandeja debido a la variabilidad del espesor, ya que la el croma depende de la relación y uniformidad de la bandeja, el cual pudo haber inferido en las coordenadas de color evaluadas.

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de solubilidad, donde se observa una similitud entre los tratamientos con 3 y 6% respectivamente, por lo que se resalta lo planteado por Díaz (2017), donde

observó que los valores de solubilidad se ven afectados por el contenido de amilopectina y el tamaño del gránulo, lo cual puede facilitar la entrada del agua a los espacios intermoleculares, los cuales aumentan la interacción con las moléculas del agua. La película plástica presenta una alta reacción al agua, y la reducción del peso de esta después de esta prueba indica que precisamente hay una solubilidad de esta en el agua, por lo que no es muy apropiada aplicarse en contacto directo de humedad (Rico y Gordillo 2013). Obteniendo resultados similares a los de Yautibug (2021), en donde demostró valores entre 37 a 60% de solubilidad para bioplásticos elaborados a base de cáscara de yuca.

Cuadro 6

Prueba de solubilidad realizada a las bandejas.

	Solubilidad (%) \pm DE ¹¹
Yuca 3% ²	46.87 \pm 4.50 ^C
Papa 3% ³	57.57 \pm 0.82 ^B
Yuca 6% ⁴	66.45 \pm 0.33 ^{BA}
Papa 6% ⁵	63.09 \pm 5.61 ^A
ControlB ⁶	N/S ¹²
ControlC ⁷	N/S
P ⁸	0.0010
R ⁹	0.85
CV ¹⁰	6.3

Nota. Valores con letra diferente fueron estadísticamente diferentes ($p < 0.05$). 2: Bandeja con 3% harina de cáscara de yuca. 3: Bandeja con 3% harina de cáscara de papa. 4: Bandeja con 6% de harina de cáscara de yuca. 5: Bandeja con 6% de harina de cáscara de papa. 6: Control B: Control de almidón de maíz. 7: Control C: Control de poliestireno expandido. 8: Probabilidad estadística de la prueba ($P > 0.05$). 9: R²: Coeficiente de determinación. 10: CV: Coeficiente de variación. 11: DE: Desviación estándar. 12: N/S: No soluble.

Se observó que los tratamientos control no se solubilizaron, por otro lado, los tratamientos elaborados con harina de cáscara y almidón de maíz presentaron solubilidad en la prueba, siendo la solubilidad de cada tratamiento diferente ($P < 0.05$). Se observa la similitud de solubilidad en las bandejas de papa y yuca con 6% de harina de cáscara y 3% de harina de papa y yuca, siendo la bandeja con 6% de harina de cáscara que obtuvo un porcentaje mayor de solubilidad a diferencia de los demás tratamientos.

De acuerdo con Román et al. (2015), donde obtienen que muestras de harina de cáscara de yuca tienen valores de 0.39 y 0.36% de ácidos orgánicos libres, a su vez, con pH de 5.40 a 5.80. Por otro lado, Vega N. (2020) sostiene en sus estudio que el pH de harina cáscara de papa presenta un valor de 4.30, lo que a su vez relaciona un el aumento de solubilidad está directamente relacionado con el pH de la harina de cáscara.

Para finalidad de la segunda fase se escogió el tratamiento con 6% de harina de yuca, debido a que presento resultados similares a los de nuestros controles para las pruebas mecánicas de tensión, perforación y fracturabilidad. Sin embargo, no se tomaron en cuenta los resultados obtenidos de solubilidad y permeabilidad al vapor de agua.

Fase II

Se observaron las diferencias de los tratamientos con los diferentes niveles de inclusión de harina de cáscara y se determinó que el tratamiento más parecido a las bandejas control es el tratamiento con 6% de harina de cáscara de yuca, debido a la similitud en la resistencia mecánica. En el Cuadro 7 se observan las medias para cada uno de los tratamientos del estudio, donde cada una de las pruebas realizadas se obtuvieron después de cinco días del envasado con jalea sólida de guayaba a altas temperaturas y empacada al vacío para su almacenado a temperatura ambiente (25 °C) y de refrigeración (8 °C).

Cuadro 7

Evaluación de color de las bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas.

	Día/T°	⁴ Control C ± DE ⁵	⁶ Control B ± DE	⁷ Trt ± DE	⁸ P ± DE	⁹ R ² ± DE	¹⁰ CV ± DE
L*	AE ² (25 °C)	67.7 ± 5.33 ^{AX}	62.6 ± 3.71 ^{BX}	25.6 ± 4.71 ^{CX}			
	AI ³ (25 °C)	59.1 ± 7.12 ^{AZ}	49.4 ± 3.97 ^{BZ}	26.5 ± 2.06 ^{CX}	<.0001	0.9	11.83
	AI (8 °C)	61.9 ± 8.78 ^{AY}	54.4 ± 7.01 ^{BY}	26.5 ± 5.54 ^{CX}			
a*	AE (25 °C)	1.20 ± 0.421 ^{BX}	3.2 ± 0.421 ^{AX}	3.10 ± 0.73 ^{AX}			
	AI (25 °C)	1.30 ± 0.48 ^{BX}	2.50 ± 0.70 ^{AY}	3.70 ± 1.05 ^{CX}	<.0001	0.71	1.07
	AI (8 °C)	1.20 ± 0.42 ^{CX}	2.80 ± 0.788 ^{AX}	3.90 ± 0.73 ^{BX}			
b*	AE (25 °C)	1.00 ± 0.15 ^{BX}	10.8 ± 0.91 ^{AX}	8.10 ± 1.11 ^{CX}			
	AI (25 °C)	14.4 ± 1.07 ^{AY}	11.8 ± 0.42 ^{CY}	13.4 ± 1.17 ^{BY}	<.0001	0.95	1.43

Día/T°	⁴ Control C ± DE ⁵	⁶ Control B ± DE	⁷ Trt ± DE	⁸ P ± DE	⁹ R ² ± DE	¹⁰ CV ± DE	
Al (8 °C)	2.20 ± 0.78 ^{CZ}	11.0 ± 1.15 ^{AX}	5.70 ± 1.41 ^{BZ}				
AE (25 °C)	41.3 ± 7.77 ^{CX}	73.4 ± 2.63 ^{AX}	68.8 ± 5.40 ^{BX}				
Hue	Al (25 °C)	84.8 ± 1.85 ^{AX}	78.0 ± 3.42 ^{BY}	74.5 ± 4.39 ^{CY}	0.1374	0.69	10
	Al (8 °C)	59.9 ± 9.38 ^{BY}	75.6 ± 4.43 ^{AX}	54.7 ± 8.03 ^{CY}			
	AE (25 °C)	1.57 ± 0.34 ^{CZ}	11.3 ± 0.86 ^{AX}	8.70 ± 1.05 ^{BY}			
Croma	Al (25 °C)	14.4 ± 1.08 ^{AX}	12.1 ± 0.39 ^{CZ}	13.9 ± 1.18 ^{BY}	0.0252	0.94	10.12
	Al (8 °C)	2.53 ± 0.81 ^{CZ}	11.4 ± 1.09 ^{AX}	6.96 ± 1.29 ^{BY}			

Nota. Valores con letra (A-C) diferente en cada fila fueron estadísticamente diferentes y valores con letras (X-Z) diferente en cada columna fueron estadísticamente diferentes (p<0.05) 2 AE: Antes del envasado 3: Al: almacenamiento. 4: Control C: Control de poliestireno expandido. 5: DE: Desviación estándar. 6: Control de almidón de maíz. 7: Bandeja con 6% de harina de cáscara de yuca. 8: P: Probabilidad estadística de la prueba (P>0.05). 9: R²: Coeficiente de determinación. 10: CV: Coeficiente de variación.

Para la escala L, se observa una similitud estadística del tratamiento hecho con cáscara de yuca (Trt) en ambos días (antes y después del envasado) y en ambas temperaturas, a diferencia de los demás tratamientos que son estadísticamente diferentes en ambos ambientes en ambos días. Así mismo, para ambos días, en los diferentes ambientes, los tres tratamientos son diferentes estadísticamente. Este estudio pudo verse afectado debido al bajo valor inicial de L* de la bandeja, debido que presentó una baja luminosidad desde el inicio de la prueba.

Para la escala a, se observa que el control de poliestireno expandido (Control C) es estadísticamente igual en ambos días y en los dos diferentes ambientes a diferencia del control biodegradable (Control B), el cual no se encontró diferencia entre el Día 0 y el Día 5 en refrigeración. Así mismo, no se encontró diferencia estadística en el tratamiento hecho con cáscara de yuca (Trt) antes del envasado y después de cinco días a temperatura ambiente (25 °C).

Para la escala b, no se encontró diferencia significativa del tratamiento control (Control B) antes del envasado y después del Día 5 a temperatura de refrigeración. Por otro lado, se encontró diferencia entre los tratamientos y en ambos días y ambientes.

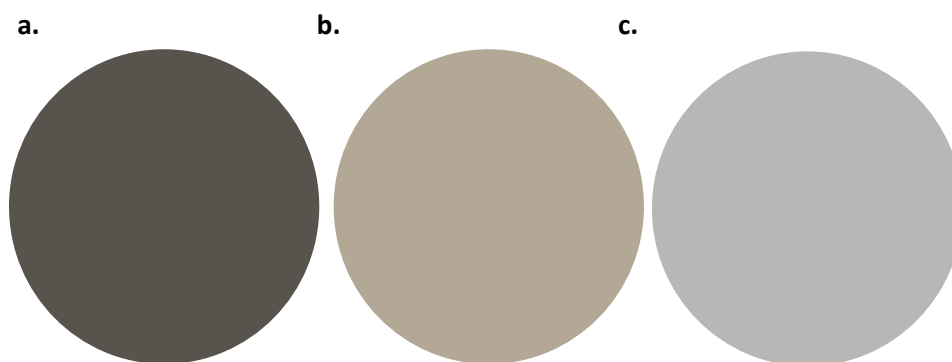
Para el cálculo de Hue, el tratamiento control (Control B), no se encontró diferencia estadística en ambos días y diferentes ambientes, así mismo, el tratamiento control (Control C) es estadísticamente parecido al tratamiento control (Control B) y el tratamiento hecho con cáscara de yuca (Trt), sin embargo, estos dos últimos fueron diferentes estadísticamente.

Para el cálculo de Croma, no se encontró diferencia estadística en ambos días y en ambos ambientes para el tratamiento control (Control B), a diferencia de los demás tratamientos que fueron estadísticamente diferentes entre ellos y en ambos días y ambientes.

En la Figura 1 se puede observar una simulación del color obtenido para la bandeja elaborada a base de almidón de maíz y con una incorporación de 6% de harina de cáscara de yuca, la bandeja biodegradable elaborada a base de fécula de maíz utilizada por la PHF de Zamorano y una bandeja comercial de poliestireno expandido.

Figura 1

Simulación de color obtenido de nuestro tratamiento, bandeja biodegradable y bandeja comercial.



Nota. a.) Bandeja con cáscara de yuca b.) Bandeja biodegradable utilizada por la planta de hortofrutícola de Zamorano c.) Bandeja comercial de poliestireno expandido

En el Cuadro 8 se observa que la probabilidad es menor a 0.05, por lo que los tratamientos son diferentes, con una confiabilidad de los datos del 73%, los cuales muestran que los tres tratamientos a 25 °C son estadísticamente igual antes del envasado, sin embargo, después de cinco días, los tratamientos tienen diferencias a temperatura ambiente y de refrigeración. Por otra parte, observamos que el tratamiento control (Control B) tiene valores de resistencia a la tensión similar antes y después del envasado a 25 °C, pero es mayor en temperatura de refrigeración. Así mismo, para el tratamiento control (Control C) y el tratamiento hecho con cáscara de yuca, son estadísticamente diferentes en ambos ambientes, necesitando más fuerza para la prueba obtenida en refrigeración. En

cambio, la fuerza de la resistencia a la tensión después de su almacenamiento en refrigeración con respecto al preenvasado se observó que estadísticamente aumentó.

Cuadro 8

Evaluación de fuerza de tensión (N) realizadas a las bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas.

	⁸ AE 25 °C (N) ± DE ⁹	¹⁰ Al 25 °C (N) ± DE	Al 8 °C (N) ± DE
ControlB ²	11.0 ± 0.31 ^{AY}	11.1 ± 0.62 ^{AY}	12.1 ± 0.59 ^{AX}
ControlC ³	10.8 ± 0.28 ^{AY}	10.5 ± 0.28 ^{BY}	11.7 ± 0.37 ^{BX}
Trt ⁴	10.6 ± 0.09 ^{AY}	10.5 ± 0.07 ^{CY}	11.6 ± 0.16 ^{BX}
P>0.05 ⁵		<.0001	
⁶ R ²		0.73	
CV ⁷		3.26	

Nota. Valores con letra (A-C) diferente en cada columna fueron estadísticamente diferentes y valores con letras (X-Z) diferente en cada fila fueron estadísticamente diferentes. 2: Control B: Control de harina de maíz. 3: Control C: Control de poliestireno expandido. 4: Bandeja con 6% de harina de cáscara de yuca. 5: P: Probabilidad estadística de la prueba (P>0.05). 6: R²: Coeficiente de determinación. 7: CV: coeficiente de variación. 8: AE: Antes del envasado. 9: DE: Desviación estándar. 10: Al: almacenamiento

Los bioplásticos obtenidos con una menor cantidad de ácido acético y una menor cantidad de glicerina, son los que presentan mayor resistencia tensil y a medida que las cantidades de estas dos sustancias aumentan se observa que la resistencia tensil se debilita, mostrando valores más pequeños. La glicerina es un líquido iónico considerado como uno de los mejores plastificantes del almidón, debido a su gran capacidad para formar enlaces de hidrógeno con el almidón y, por tanto, tiene una gran capacidad para prevenir la retrogradación del almidón y el aumento de la estabilidad de la película (Malmir et al. 2018).

En el Cuadro 9 se observa la prueba de fuerza de perforación (N) realizadas a las bandejas. Se observó en la prueba de perforación, en el preenvasado a 25 °C son estadísticamente diferentes, sin embargo, después de cinco días después del envasado, a temperatura ambiente y de refrigeración, ambos controles (Control B y Control C) son estadísticamente similares a diferencia de la bandeja con cáscara de yuca con 6% de inclusión de harina de cáscara.

Cuadro 9

Evaluación de perforación (N) realizadas a las bandejas bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas.

	⁸ AE 25 °C (N/m) ± DE ⁹	¹⁰ Al 25 °C (N/m) ± DE	Al 8 °C (N/m) ± DE
ControlB ²	11.2 ± 0.29 ^{AX}	11.1 ± 0.01 ^{AX}	11.1 ± 0.03 ^{AX}
ControlC ³	10.4 ± 0.25 ^{BY}	11.1 ± 0.04 ^{AX}	11.1 ± 0.01 ^{AX}
Trt ⁴	10.9 ± 0.01 ^{CY}	11.5 ± 0.15 ^{BX}	11.4 ± 0.07 ^{BX}
P>0.05 ⁵		<.0001	
⁶ R ²		0.94	
CV ⁷		1.06	

Nota. Valores con letra (A-C) diferente en cada columna fueron estadísticamente diferentes y valores con letras (X-Z) diferente en cada fila

fueron estadísticamente diferentes. 2: Control B: Control de harina de maíz. 3: Control C: Control de poliestireno expandido. 4: Bandeja con 6% de harina de cáscara de yuca. 5: P: Probabilidad estadística de la prueba (P>0.05). 6: R2: Coeficiente de determinación. 7: CV: coeficiente de variación. 8: AE: Antes del envasado. 9: DE: Desviación estándar.10: Al: almacenamiento.

Para el tratamiento control biodegradable (Control B) es estadísticamente diferente entre los cinco días en ambos ambientes, a diferencia del control comercial (Control C), donde el tratamiento es similar después de cinco días en ambos ambientes. Por otra parte, la bandeja realizada con cáscara de yuca (Trt) son estadísticamente similares después de cinco días, pero es diferente al día 0 de envasado.

En el Cuadro 10 se observa la prueba de fuerza de fracturabilidad (N) realizadas a las bandejas. Estos datos no concuerdan con lo obtenido por Pardo O. y Velasco R. (2012), ya que no observa diferencias significativas en sus tratamientos, ya que el factor principal que afecta su estudio es la formulación de la bandeja.

Cuadro 10

Evaluación de fracturabilidad (N) realizadas a las bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas.

	⁸ AE 25 °C (N) ± DE ⁹	¹⁰ Al 25 °C (N) ± DE	Al 8 °C (N) ± DE
ControlB ²	11.2 ± 0.29 ^{BX}	11.7 ± 0.84 ^{BX}	11.1 ± 0.45 ^{BY}
ControlC ³	11.7 ± 0.73 ^{BX}	12.3 ± 0.53 ^{BX}	12.2 ± 0.31 ^{BX}
Trt ⁴	14.6 ± 1.45 ^{AZ}	18.2 ± 1.10 ^{AX}	15.7 ± 0.86 ^{AY}
P>0.05 ⁵		<.0001	
⁶ R ²		0.9	
CV ⁷		6.13	

Nota. Valores con letra (A-C) diferente en cada columna fueron estadísticamente diferentes y valores con letras (X-Z) diferente en cada fila fueron estadísticamente diferentes. 2: Control B: Control de harina de maíz. 3: Control C: Control de poliestireno expandido. 4: Bandeja con 6% de harina de cáscara de yuca. 5: P: Probabilidad estadística de la prueba ($P>0.05$). 6: R2: Coeficiente de determinación. 7: CV: coeficiente de variación. 8: AE: Antes del envasado. 9: DE: Desviación estándar. 10: Al: almacenamiento

Se obtuvo para la prueba de fracturabilidad una similitud entre ambos controles (Control B y Control C) el día 0, antes del envasado y el Día 5 en ambos ambientes, post envasado. Por otra parte, se observa una similitud del control biodegradable y comercial (Control B y Control C) antes del envasado y después de los cinco días en ambos ambientes. Por otra parte, la bandeja realizada con harina de cáscara de yuca (Trt) son estadísticamente diferente antes y después del envasado en los dos diferentes ambientes. Los datos concuerdan con los obtenidos por Abe et al. (2021).

En el Cuadro 11 se observa los resultados de la bandeja con 6% de harina de cáscara, bandeja a base de fécula de maíz y poliestireno expandido para la evaluación del grosor, donde se observa diferencia estadística para cada tratamiento en los diferentes ambientes desde el Día 0 al Día 5. Sin embargo, se observa similitud en el tratamiento Control B en el Día 0 al Día 5 en los diferentes ambientes, por otro lado, el Control C muestra similitud desde el Día 0 al Día 5 en los dos diferentes ambientes. También se observa una similitud en el tratamiento en la bandeja que se realizó con harina de cáscara de yuca (Trt), donde existe similitud entre la prueba realizada el día de preenvasado y postensado a temperatura ambiente, pero es estadísticamente diferente a su conservación en ambiente de refrigeración. Estos datos concuerdan con lo observado por Nordin et al. (2020) donde no encuentra diferencia significativa en sus tratamientos debido a que no se agregó en la nueva formulación el glicerol, ya que este se le atribuyen pequeños aumentos de volumen de películas, lo cual hace aumentar el grosor.

Cuadro 11

Evaluación de grosor (mm) realizada a las bandejas antes del envasado con jalea sólida de guayaba y después de su almacenamiento a dos diferentes temperaturas

	⁸ AE 25 °C (mm) ± DE ⁹	¹⁰ Al 25 °C (mm) ± DE	Al 8 °C (mm) ± DE
ControlB ²	1.33 ± 0.01 ^{CX 8}	1.32 ± 0.02 ^{CX}	1.36 ± 0.14 ^{CX}
ControlC ³	1.75 ± 0.01 ^{BX}	1.74 ± 0.01 ^{BX}	1.75 ± 0.02 ^{BX}
Trt ⁴	5.55 ± 0.43 ^{AX}	5.61 ± 0.37 ^{AX}	5.89 ± 0.39 ^{AX}
P>0.05 ⁵		<.0001	
⁶ R ²		0.98	
CV ⁷		8.01	

Nota. Valores con letra (A-C) diferente en cada columna fueron estadísticamente diferentes y valores con letras (X-Z) diferente en cada fila

fueron estadísticamente diferentes. 2: Control B: Control de harina de maíz. 3: Control C: Control de poliestireno expandido. 4: Bandeja con 6% de harina de cáscara de yuca. 5: P: Probabilidad estadística de la prueba (P>0.05). 6: R2: Coeficiente de determinación. 7: CV: coeficiente de variación. 8: AE: Antes del envasado. 9: DE: Desviación estándar.10: Al: almacenamiento.

Se observó un comportamiento de la bandeja elaborada con 6% similar que los tratamientos control, ya que estos no presentaron cambios estadísticamente significativos después de su envasado con jalea sólida de guayaba a altas temperaturas y empacada al vacío y su posterior almacenamiento en dos diferentes temperaturas.

Conclusiones

Se obtuvieron formulaciones con un 6 y 3% de adición de harina de cáscara de yuca y papa para elaborar bandejas a base de harina de maíz.

Se determinó que la formulación con una concentración de 6% de harina de cáscara de yuca y 21% de fécula de maíz, presentó características mecánicas similares a las bandejas de poliestireno expandido y biodegradable a base de fécula de maíz.

El tratamiento con 6% de harina de cáscara de yuca y 21% de fécula de maíz, es capaz de resistir el envasado de jalea sólida de guayaba a una temperatura de 71 °C y empacado al vacío por un periodo de cinco días sin presentar cambios físicos y mecánicos en su estructura.

La bandeja elaborada posee características parecidas a los tratamientos control (bandeja de fécula de maíz y poliestireno expandido) utilizadas en el envasado en caliente en la PHF de Zamorano.

Recomendaciones

Realizar un estudio de factibilidad para elaboración de las bandejas a escala industrial.

Evaluar la adición de componentes adicionales como colorantes naturales que le brinden a la bandeja una mejor apariencia.

Realizar un estudio de biodegradabilidad y análisis de vida de anaquel de la bandeja.

Valorar la inactivación enzimática de la harina de cáscara de papa y yuca para evitar el oscurecimiento de esta.

Referencias

- Abe MM, Martins JR, Sanvezzo PB, Macedo JV, Branciforti MC, Halley P, Botaro VR, Brienzo M. 2021. Advantages and Disadvantages of Bioplastics Production from Starch and Lignocellulosic Components. *Polymers (Basel)*. 13(15). eng. doi:10.3390/polym13152484.
- Aimoto A, Mali S, Grossmann M. 2007. Plasticizing and antiplasticizing effects of glycerol and sorbitol on biodegradable cassava starch films. *Ciências Agrárias*; [consultado el 30 de jun. de 2022]. 28(1):79–88. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=DJ2012055175>.
- Alban P, Parra A, Villada H, Portela H, Arboleda G, Palacios L. 2020. Evaluation of a biodegradable color concentrate in bags for coffee seedlings. *DYNA*. 87(212):31–37. doi:10.15446/dyna.v87n212.79307.
- Amaya Quiroz LA. 2017. Influencia de la concentración de nanofibras de peladilla de espárrago en las propiedades físico-mecánicas de bandejas biodegradables [Tesis]. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo; [consultado el 24 de may. de 2022]. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9759/Amaya%20Quiroz%20Laura%20Andrea.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Arias Peralta BD. 2019. Desarrollo y caracterización física de materiales biodegradables a base de bagazo de yuca (*Manihot esculenta*) por inyección termoplástica [Tesis]. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano; [consultado el 22 de may. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6486/1/AGI-2019-T006.pdf>.
- Armelin E, Puiggali J. 2002. Síntesis y caracterización de nuevas poliesteramidas: Estudio de sus propiedades. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. 1 online resource. ISBN: 8469987739.
- Castillo L. 2021. Evaluación de propiedades físico-mecánicas de una película comestible a base de cáscara de papa y gelatina con aceite esencial de romero como agente antimicrobiano [Tesis]. Honduras: Zamorano; [consultado el 25 de may. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/6981>.
- Conesa C, Galarza L, Namesny A, Papasseit P, editores. 2019. Tecnología Poscosecha – Cítricos y cultivos emergentes en la CV. [sin lugar]: [sin editorial]. 509 p. ISBN: 978-84-16909-29-2; [consultado el 2 de jun. de 2022]. <https://www.bibliotecahorticultura.com/publicaciones/frutas/citricos/tecnologia-poscosecha-citricos-y-cultivos-emergentes-en-la-cv/>.
- Del Rio L, Grande C. 2021. Valorización de residuos industriales en la producción de almidón de yuca [Tesis]. Colombia: Universidad del Atlántico; [consultado el 2 de jun. de 2022]. https://www.researchgate.net/publication/352923310_Valorizacion_de_residuos_industriales_en_la_produccion_de_almidon_de_yuca.
- Díaz A. Agosto, 2021. Elaboración y caracterización fisicomecánica de una película biodegradable utilizando harina de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca L.*) [Tesis]. Honduras: Zamorano; [consultado el 25 de may. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/items/e1aeee32-36a4-4a92-ad48-d57013ec8145>.
- Díaz X. 2017. Caracterización y optimización de una bandeja biodegradable a partir maíz, papa, soya y glicerol por el método de termoprensado [Tesis]. Honduras: Zamorano; [consultado el 26 de may. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6055/1/AGI-2017-021.pdf>.
- Dominguez R., Royser J. 2019. Caracterización de bandejas biodegradables provenientes de diferentes almidones nativos peruanos [Tesis]. Trujillo, Perú: Nacional de Trujillo; [consultado el 25 de may.

- de 2022]. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/15662/Romero%20Dominguez%2c%20Jerson%20Royser.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Espina M, Cruz J, Siche R. 2016. Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria*. 07(02):133–143. doi:10.17268/sci.agropecu.2016.02.06.
- Galvez A. 2016. Elaboración de plástico biodegradable a partir del almidón extraído del maíz (*Zea mays*) [Tesis]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5102/>.
- Góngora P. 2014. La industria del plástico en México y el mundo. *Revista Banco Mex*. 64(5). http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/761/3/la_industria_del_plastico.pdf.
- González Y, Meza C, González O, Córdova J. 2013. Síntesis y biodegradación de polihidroxicanoatos: plásticos de origen microbiano. *Rev. Int. Contam. Ambient*. 29(1). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992013000100007.
- Harunsyah M, Yunus R. 2017. Mechanical properties of bioplastics cassava starch film with Zinc Oxide nanofiller as reinforcement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 210:12015. doi:10.1088/1757-899x/210/1/012015.
- Holguin J. 2019. Obtención de un bioplástico a partir de almidón de papa [Tesis]. Bogotá: Fundación Universidad de América; [consultado el 26 de may. de 2022]. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7388/1/6132181-2019-1-IQ.pdf>.
- Jacometti G. 2015. Caracterización físico-química y funcional de los subproductos obtenidos durante la extracción del almidón de musáceas, raíces y tubérculos [Tesis]. Brasil: Universidade Estadual de Londrina; [consultado el 30 de jun. de 2022]. https://btdt.ibict.br/vufind/Record/UEL_3da5f9a15312878e81dd76cc6f71a047.
- Ly B, Dyer E, Feig J, Chien A, Del Bino S. 2020. Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *J Invest Dermatol*. 140(1):3-12.e1. eng. doi:10.1016/j.jid.2019.11.003.
- Malmir S, Montero B, Rico M, Barral L, Bouza R, Farrag Y. 2018. Effects of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) microparticles on morphological, mechanical, thermal, and barrier properties in thermoplastic potato starch films. *Carbohydr Polym*. 194:357–364. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2018.04.056.
- Marichelvam M, Jawaid M, Asim M. 2019. Corn and Rice Starch-Based Bio-Plastics as Alternative Packaging Materials. *Fibers*. 7(4):32. doi:10.3390/fib7040032.
- Mejías N, Orozco E, Galaán N. 2016. Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Ecorfar*. 2(6). https://www.researchgate.net/publication/323959087_Aprovechamiento_de_los_residuos_agroindustriales_y_su_contribucion_al_desarrollo_sostenible_de_Mexico.
- Mis M. 2013. Efecto de tratamiento térmico y tipo de empaque en las propiedades físico-químicas y microbiológicas de yuca mínimamente procesada [Tesis]. Honduras: Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/3bd1e3dc-691a-4a29-8a7e-aaf8208223ec/content>.
- Morales M, Herrera C, Marin F, Montenegro C, Gaona P. 2020. Cultura del empaque en el turismo, aprovechamiento de la vaina de arveja (*pisum sativum* L) para la fabricación de bandejas

- biodegradables. *Iberian Journal of information System and Technologies*. (36):399–416. <https://www.proquest.com/openview/ad09be482d1dfc2854c5f8569e422e7a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>.
- Narváez C, Peña C, Restrepo L, Kushalappa A, Mosquera T. 2018. Macronutrient contents of potato genotype collections in the *Solanum tuberosum* Group Phureja. *Journal of Food Composition and Analysis*. 66:179–184. doi:10.1016/j.jfca.2017.12.019.
- Nordin N, Othman SH, Rashid SA, Basha RK. 2020. Effects of glycerol and thymol on physical, mechanical, and thermal properties of corn starch films. *Food Hydrocolloids*. 106:105884. doi:10.1016/j.foodhyd.2020.105884.
- Pardo O., Velasco R. 2012. Propiedades fisicoquímicas y mecánicas de películas obtenidas a partir de almidón nativo y oxidado de arracacha. *ION*. 23-39.
- Paspuel A. 2016. Caracterización de un bioplástico de almidones de maíz y yuca con antocianinas de repollo morado (*Brassica oleracea*) como potencial indicador de pH [Tesis]. Honduras: Zamorano. 4/7/2022. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/119171c2-1936-4206-99a1-2943fe8e7205/content>.
- Prieto A. 2020. Los bioplásticos, ¿qué son? ¿cuántos hay? ¿cómo se producen? [sin lugar]; [consultado el 2 de jun. de 2022].
- Rico J, Gordillo J. 2013. *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-I: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos*. 1ª ed. México: ECORFAN.
- Riera M, Palma R. 2018. Obtención de bioplásticos a partir de desechos agrícolas. Una revisión de las potencialidades en Ecuador. *Avances en química*. (13). <http://epublica.saber.ula.ve/index.php/avancesenquimica/article/view/13983/21921925061>.
- Rimac A. 2019. Bioplásticos [Tesis]. Perú: Universidad Científica del Sur; [consultado el 2 de jun. de 2022]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/806>.
- Rodriguez C, Darlyn G. 2021. Efecto en la proporción de fibra y almidón obtenidos del pseudotallo de banano (*Musa acuminata*) en las propiedades de bandejas biodegradables [Tesis]. Perú: Zamorano; [consultado el 25 de may. de 2022]. <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/17032/Cruz%20Rodr%c3%adguez%2c%20Giorman%20Darlyn.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Rodriguez P., López D., Parga C. 2019. Innovación de productos biodegradables a través de materiales compuestos. *Informador Técnico*. 83(2):89. <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2015-Obtencion-de-un-polimero-biodegradable.pdf>.
- Román Y, Techeira N, Yamarte J, Ibarra Y, Fasendo M. 2015. Caracterización físico-química y funcional de los subproductos obtenidos durante la extracción del almidón de musáceas, raíces y tubérculos. *Interciencia*. 40(5):350–356.
- Ruiz G. 2014. Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería de la USIL*. 1. <https://www.redalyc.org/pdf/835/83520401.pdf>.
- Salmerón F. 2019. Elaboración y caracterización de un material biodegradable utilizando desechos de lechuga de la Planta Poscosecha en la Escuela Agrícola Panamericana [Tesis]. Honduras: Zamorano; [consultado el 26 de may. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6505/1/AGI-2019-T053.pdf>.

- Shirai M, Grossmann M, Mali S, Yamashita F, Garcia P, Müller C. 2013. Development of biodegradable flexible films of starch and poly(lactic acid) plasticized with adipate or citrate esters. *Carbohydr Polym.* 92(1):19–22. eng. doi:10.1016/j.carbpol.2012.09.038.
- Tashiguano V. 2020. Revisión de literatura y propuesta de un laboratorio de innovación y desarrollo de materiales biodegradables en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano [Tesis]. Honduras: Zamorano; [consultado el 30 de jun. de 2022]. <https://cutt.ly/zKNrDWO>.
- Téllez A. 2012. La complejidad de la problemática ambiental de los residuos plásticos: una aproximación al análisis narrativo de política pública en Bogotá [Tesis]. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; [consultado el 2 de jun. de 2022]. <https://cutt.ly/oKNrBbT>.
- Vega N. 2020. Propiedades químicas, físicas y tecnofuncionales de la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) para uso como extensor en productos cárnicos frescos picados [Tesis]. Honduras: Zamorano; [consultado el 23 de jul. de 2022]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b32ae569-dc20-4ad0-be27-69deb2286b94/content>.
- Wicaksono R, Syamsu K, Yuliasih I, Nasir M. 2013. Cellulose Nanofibers from Cassava Bagasse: Characterization and Application on Tapioca-Film. *Chemistry and Materials Research.* 3(13). https://www.researchgate.net/publication/259893918_Cellulose_Nanofibers_from_Cassava_Bagasse_Characterization_and_Application_on_Tapioca-Film.
- Yautibug M. 2021. Elaboración Y Caracterización De Bioplásticos A Partir De Cáscaras De Yuca (*Manihot Esculenta*) Para La Envoltura De Alimentos [Tesis]. Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO; [consultado el 8 de jul. de 2022]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15446/1/156T0044.pdf>.

Anexos

Anexo A

Cámara para la toma de fotografías del análisis de color.



Nota. En el anexo 1 se muestra la caja utilizada para la medición de color, la cual se le realizó a los tratamientos elaborados con harina de cáscara de papa y yuca y en ambos controles.