

Obtención y caracterización de bioplásticos a partir de almidón acetilado de semillas de aguacate

Cristopher José Navarrete-Tumbaco¹, Jesús Alexander Mezones-Santana¹, Wilmer Ponce², Beatriz Brito³, William Viera³, Alexandra Córdova Mosquera¹ & María Antonieta Riera^{1*}

¹) Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología. Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas. Universidad Técnica de Manabí. Ecuador

²) Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Portoviejo, Portoviejo, Ecuador.

³) Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Santa Catalina, Portoviejo, Ecuador.

(*) maria.riera@utm.edu.ec

Recibido: 04/11/2022

Revisado: 12/12/2022

Aceptado: 27/02/2023

Resumen

La modificación química de los almidones es un procedimiento ampliamente utilizado. En este estudio se realizó la esterificación del almidón extraído de las semillas de aguacate (*Persea americana*), se caracterizó y se utilizó para obtener un bioplástico por el método de fundición. Para ello se utilizaron tres plastificantes: alcohol polivinílico, glicerol y sorbitol; además de agua y una solución de NaOH al 15% (m/v). Se realizaron 27 formulaciones preliminares para verificar la formación de bioplástico y a partir de allí, se tomó como unidad experimental 5 g de almidón, 4 mL de agua destilada, 4 mL de solución de NaOH y 2 g de plastificante. Al caracterizar el bioplástico, se determinó que los mejores resultados en cuanto a humedad y permeabilidad al vapor de agua se obtuvieron en el material donde se utilizó sorbitol, con 5% y 397,80 g/cm².día respectivamente. Por su parte el bioplástico que se plastificó con glicerol, exhibió mejores propiedades mecánicas con relación al resto evaluado, con una tensión de 0,33 MPa, deformación del 25,40% y biodegradabilidad del 54,34% respecto al peso perdido.

Palabras clave: residuos agroindustriales; biopolímeros; plastificantes; almidón modificado

Abstract

Chemical modification of avocado seeds for the bioplastics production. Chemical modification of starches is a widely used procedure. In this study, the esterification of starch extracted from avocado seeds (*Persea americana*) was carried out, characterized, and used to obtain a bioplastic by the casting method. Three plasticizers were used (polyvinyl alcohol, glycerol, and sorbitol), water, and a 15% (m/v) NaOH solution. A total of 27 preliminary formulations making to verify the formation of bioplastic, and from there, 5 g of starch, 4 mL of distilled water, 4 mL of NaOH solution, and 2 g of plasticizer were used as an experimental unit. The best results in terms of humidity and permeability to water vapor showed the material where sorbitol was used, with 5% and 397.80 g/cm².day, respectively. The bioplastic that was plasticized with glycerol exhibited better mechanical properties than the rest evaluated, with 0.33 MPa of stress, deformation of 25.40%, and biodegradability of 54.34% concerning weight loss.

Keywords: Agro-industrial waste; Biopolymers; Plasticizers; Thermoplastic starch

Introducción

El almidón es un recurso de bajo costo, biodegradable, presente en cereales, legumbres y tubérculos. Es un polímero de glucosa, conformado mayoritariamente por dos moléculas: la amilosa y la amilopectina. La amilosa posee una estructura lineal, conformada por numerosas cadenas cortas unidas con enlaces glucosídicos α -(1-4), ocupando entre el 20 y 30% de su peso. Mientras que la amilopectina, constituye entre el 65 y 85% del gránulo y está compuesta por segmentos de glucosa unidos por enlaces α -(1-4), a los cuales se conectan con ramificaciones de glucosa a través de enlaces α -(1-6)^{1,2}. Este polisacárido está organizado en gránulos cuya forma, tamaño, morfología, composición y estructura molecular, dependen de la fuente botánica de origen³.

En su estado nativo el almidón es un producto versátil, es utilizado como agente espesante, encapsulante, gelificante texturizante y en la formación de películas y/o empaques biodegradables, sin embargo este se encuentra restringido funcionalmente en aplicaciones, debido a su baja solubilidad, descomposición térmica, mayor tendencia a la retrogradación, baja estabilidad al congelamiento deshielo y su tendencia a sufrir sinéresis^{4,5}. Por tal motivo, se emplean diversos tipos de modificaciones, con la finalidad de incrementar o diversificar sus aplicaciones^{6,7}.

De acuerdo con Teixeira *et al* (2020), los almidones pueden modificarse a través de métodos físicos, químicos o enzimáticos⁶. Siendo la modificación química una de las técnicas más empleadas en la actualidad, debido a que su aplicación mejora

algunas propiedades del almidón, como estabilidad molecular, resistencia contra el cizallamiento, viscosidad y tasa de retrogradación⁸. Los procedimientos más comunes de este tipo son la hidrólisis ácida, la reticulación, el injerto de almidón, la modificación dual, la oxidación y la acetilación/esterificación⁹. Esta última, es una modificación química por esterificación, que consiste en sustituir los grupos hidroxilo de las cadenas principales del almidón con grupos acetilo, para así formar enlaces covalentes que enlaces de hidrógeno, lo que resulta en un aumento en la hidrofobicidad y una textura más dura que el almidón nativo^{10,11}.

Las principales fuentes para la obtención del almidón son el maíz (*Zea mays* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y trigo (*Triticum aestivum* L), pero en los últimos años, se ha visto un interés creciente en la obtención de almidón de fuentes no convencionales, que presenten nuevas y mejores propiedades funcionales que las que ofrecen las fuentes convencionales^{12,13}. Los residuos agroindustriales también representan otra fuente para la obtención de almidones, que en ocasiones no es aprovechada, como los son los residuos provenientes de frutos como el plátano (*Musa paradisiaca* L.), aguacate (*Persea americana*, Mill) y mango (*Mangifera indica* L.), de los cuales se puede utilizar la cáscara o las semillas respectivamente, para extraer el almidón y usarlo en su forma nativa o modificada¹⁴⁻¹⁷.

El aguacate (*P. americana*), es un fruto que se cultiva principalmente en los países de Latinoamérica y sus características en cuanto a forma y tamaño dependen de la variedad. De acuerdo con De Dios *et al.* (2022) el fruto de aguacate cultivar Hass tiene un peso promedio de 181 g cuyas proporciones son pulpa (66,71%), cáscara (13,48%) y semilla (18,29%)¹⁵. Estas últimas son descartadas como residuos agroindustriales durante el consumo o procesamiento de la pulpa. Sin embargo, esta contiene grandes contenidos de almidón, el cual tiene potenciales aplicaciones como agente espesante y gelificante, vehículo en fármacos o materia prima en polímeros biodegradables^{18,19}.

El almidón nativo de semilla de aguacate ha sido objeto de investigación, para su utilización en la formulación de películas bioplásticas de quitosano empleando como plastificante etilenglicol y sorbitol; en las cuales se han evaluado la densidad del bioplástico, resistencia a la tracción, alargamiento a la ruptura, módulo de elasticidad, temperatura de gelatinización y biodegradabilidad^{20,21}. Por otra parte, esta fuente de almidón también se ha empleado como matriz en combinación con celulosa microcristalina de fibras de palma de azúcar, comprobando que dicha mezcla mejora las propiedades mecánicas de los bioplásticos obtenidos²². Sin embargo, el uso de almidones modificados por esterificación para la obtención de películas biodegradables mejorará en mayor medida las propiedades mecánicas, con gran potencial para ser utilizados en aplicaciones médicas²³.

El uso de almidones acetilados en la formulación de películas biodegradables proporciona mejores propiedades mecánicas

para resistencia a la tracción y alargamiento y una estructura más homogénea en el material²⁴. De acuerdo con Mina *et al.*²⁵, el almidón de yuca acetilado permite la obtención de bioplásticos con una menor temperatura de transición vítrea y mejoras en cuanto a la resistencia a la tracción y porcentaje de absorción de humedad, en comparación al producido con almidón nativo. Además, se ha estudiado el efecto que ejerce el almidón de yuca acetilado, en las características morfológicas y propiedades de mezclas fundidas de ácido poliláctico (PLA) y almidón termoplástico (TPS), cuyos resultados indican que el almidón acetilado, en comparación con su contraparte nativo, mejora las propiedades de resistencia y barrera, aumenta el alargamiento a la rotura, brinda mayor estabilidad térmica y mejora la temperatura de transición vítrea²⁶. El almidón acetilado con un grado de sustitución de 2,5 mejora la procesabilidad y compatibilidad con el PLA, respecto a su estado puro, haciéndolo un material atractivo para aplicaciones de implantes médicos. Igualmente mezclas de PLA con almidón acetilado con un grado de sustitución de 3, son atractivas para aplicaciones de envasado, dada su microestructura continua y características de transparencia²³.

Dado que la modificación química es una metodología que ha demostrado mejorar las propiedades funcionales del almidón y a su vez las características de los bioplásticos, se plantea desarrollar esta investigación con el propósito de extraer el almidón presente en la semilla del aguacate, para su utilización en la obtención de bioplásticos. Este trabajo, además de contribuir con el desarrollo de una economía basada en materiales ambientalmente sustentables, se presenta como una posible solución a la problemática de contaminación ambiental ocasionada por el uso indiscriminado de los plásticos de origen fósil.

Materiales y métodos

Recolección de residuos

Se utilizaron semillas de aguacate de la variedad *Hass*, que se recolectaron de los desperdicios generados en un mercado local de la provincia de Manabí, Ecuador. Se seleccionaron aquellas que tenían buena apariencia física, libres de deterioro o magulladuras. Inicialmente las semillas del aguacate se llevaron a un proceso limpieza con agua para retirar la suciedad y luego se secaron al aire libre.

Extracción y modificación del almidón nativo

La extracción del almidón se realizó siguiendo la metodología de Builders *et al.*²⁷ con modificaciones. Se cortó finamente la semilla fue sumergida durante 24 horas en una solución al 0,2% (p/v) de Na₂S₂O₅. Posteriormente las semillas hidratadas fueron molidas a baja velocidad en una licuadora doméstica marca Oster y la mezcla resultante se separó por filtración en un embudo Büchner a través de un papel filtro Whatman cualitativo F1002. La suspensión se dejó en reposo durante 24 horas para la sedimentación de los gránulos de almidón y se eliminó el sobrenadante por filtración en un embudo Büchner usando papel filtro Whatman cualitativo F1002. El almidón sedimentado se lavó repetidas veces con agua destilada, para formar una nueva

suspensión. Finalmente, la torta de almidón se secó en una estufa durante 6 horas a 70 °C, luego se pulverizó y tamizó en una malla de 125 µm.

La modificación química se llevó a cabo por acetilación, según el procedimiento descrito por Salcedo-Mendoza *et al.*¹¹ y Rosida *et al.*²⁸, ligeramente modificados. Se dispersaron 40 g de almidón nativo de aguacate en 100 mL de agua destilada, con agitación mecánica a una velocidad entre 400 y 600 RPM durante 30 minutos. Posteriormente se añadieron 3,50 mL de ácido acético al 5% (v/v) gota a gota, manteniendo el pH entre 8 y 8,5 con la adición de NaOH al 0,1 N. después del tiempo de reacción, se ajustó el pH a la neutralidad con 1 mL de HCl al 1 N. La mezcla obtenida se lavó tres veces con agua destilada, se llevó a la estufa a una temperatura de 35 °C durante 8 horas, donde se almacenó hasta su uso.

Caracterización del almidón modificado

El almidón modificado se caracterizó en cuanto a humedad por el método gravimétrico de la AOAC 32.1.03²⁹. La temperatura de gelatinización se determinó calentando una solución de 10 g almidón en 100 mL de agua, hasta alcanzar el hinchamiento de los gránulos³⁰. El índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH), se determinó provocando el hinchamiento de los gránulos de almidón durante el calentamiento de una suspensión acuosa. Para ello, se tomó una muestra de 1,25 g de almidón en base seca (BS), se colocó en tubos de centrifuga con 30 mL de agua destilada a 60 °C y se agitó. Los tubos se colocaron en un baño termostático a 60 °C durante 30 minutos, manteniendo agitación. La suspensión se centrifugó a 4900 rpm y se decantó. Del sobrenadante se tomaron 10 mL y se llevaron a la estufa durante 14 horas a 70 °C. Finalmente, se registró el peso de los tubos de la centrifuga y con el gel y del sobrenadante que se secó con los insolubles. Los valores de IAA, ISA y PH, se obtuvieron con las ecuaciones 1, 2 y 3 respectivamente³⁰.

$$IAA = \frac{Pesodelgel}{PesodelamuestraBS} \quad (1)$$

$$ISA = \frac{Pesosolubles * V * 10}{PesodelamuestraBS} \quad (2)$$

$$PH = \frac{Pesodelgel}{PesodelamuestraBS - Pesosolubles} \quad (3)$$

La claridad de la pasta se determinó a partir de la transmitancia del almidón. Se preparó una solución con 200 mg de almidón en 20 mL de agua destilada. Se colocó en un baño termostático a ebulición durante 30 min, manteniendo agitación. La suspensión formada se llevó al espectrofotómetro UV-VIS con una longitud de onda de 650 nm y se realizó la lectura. El contenido de amilosa se midió por espectrofotometría UV-VIS con una longitud de onda de 620 nm, a partir de la formación de complejos yodo-amilosa de la muestra de almidón modificado, realizando la lectura sobre la curva estándar amilosa-amilopectina³⁰. El contenido de amilopectina se determinó por diferencia usando la ecuación 4.

$$\%Amilopectina = 100 - \%Amilosa \quad (4)$$

La cantidad de almidón se determinó espectrofotometría UV-VIS con una longitud de onda de 560 nm, usando una dispersión del almidón en un medio acuoso, que se sometió a hidrólisis enzimática parcial con α -amilasa termoestable y por último una hidrólisis con amiloglucosidasa para obtener glucosa³⁰. El rendimiento de almidón se obtuvo mediante la ecuación 5. que considera la relación que existe entre la cantidad de almidón extraído ($M_{\text{almidón}}$), respecto a la cantidad de semillas utilizadas (M_{semilla}).

$$\%Rend. Almidón = \frac{M_{\text{almidón}}}{M_{\text{semilla}}} \times 100\% \quad (5)$$

El grado de sustitución del almidón (DS), se determinó por saponificación heterogénea y valoración por retroceso con HCl, a través de las ecuaciones 6 y 7. La misma consistió en tomar una muestra de 1 g del almidón modificado y se colocó en un erlenmeyer. Se añadieron 50 mL de etanol al 75% (v/v) y se agitó. Se sometió a calentamiento a 50 °C durante 30 minutos y luego se enfrió hasta temperatura ambiente. Se añadió 40 mL de KOH 0,5 N manteniendo la agitación durante 72 horas. El almidón presente se saponifica y el exceso del álcali se tituló con HCl 0,5 N usando fenolftaleína como indicador. Se registraron los volúmenes para determinar el porcentaje de acetilación y el DS, usando para tal fin las ecuaciones 6 y 7. Este procedimiento se realizó tanto para el almidón nativo (blanco), como para el modificado^{18,31,32}. La caracterización del almidón nativo utilizado como control en esta investigación, se describe en un trabajo previo³³.

$$\%acetil = \frac{(V_{\text{blanco}} - V_{\text{muestra}}) * 0,043 * 100 * N_{\text{ácido}}}{pesodelamuestra(g)} \quad (6)$$

$$DS = \frac{162 * \%acetil}{(4300) - [(42) * \%acetil]} \quad (7)$$

donde V_{blanco} y V_{muestra} es el volumen gastado (mL) en la titulación del blanco y la muestra, respectivamente; $N_{\text{ácido}}$ es la normalidad del HCl (mol/L); 162 es la masa molar (g/mol) de las unidades glucosa en el almidón; los valores 0,043; 4300 y 42 se relacionan con la masa molar del grupo acetilo.

Elaboración de películas

Para establecer las formulaciones se hicieron 27 ensayos previos de formación de película, donde se varió la cantidad de almidón, agua destilada y el tipo de plastificante (glicerol, alcohol polivinílico, sorbitol), para una cantidad fija de 4 mL de NaOH al 15% (m/v). A partir de los resultados obtenidos se seleccionó una de las formulaciones (tabla 1), teniendo en cuenta las características visibles del material obtenido en cuanto a elasticidad y durabilidad. La formulación seleccionada se repitió variando el plastificante: sorbitol, glicerol y alcohol polivinílico (PVOH).

Tabla 1: Formulación para la elaboración de películas

| Material | Unidad | Cantidad |
|----------------------------|--------|----------|
| Almidón | g | 5 |
| Agua destilada | mL | 4 |
| Solución de NaOH 15% (m/v) | mL | 4 |
| Plastificante | g | 2 |

La mezcla termoplástica se preparó mezclando en un vaso de precipitado, el almidón modificado de la semilla de aguacate con agua destilada y plastificante. La mezcla formada se llevó a un baño termostático a 80 °C, se añadió NaOH al 15% (p/v) y se mantuvo la agitación hasta que se formó una consistencia viscosa. Luego se obtuvo el bioplástico por el método de vaciado en placa “casting”, para posteriormente llevarlas al secado en estufa a 65°C durante 18 horas, para finalmente desmoldar³³ (figura 1).

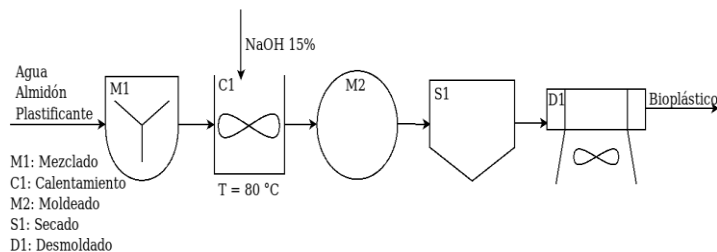


Fig. 1: Etapas del proceso de obtención de películas.

El procedimiento para la obtención de una biopelícula a partir de almidón nativo de semilla de aguacate, que se plastificó con PVOH y se utilizó como control en esta investigación, se describe en un trabajo previo³³.

Caracterización de películas

A las películas obtenidas se le determinó el contenido humedad, densidad, espesor, absorción de agua, permeabilidad al vapor de agua, elongación y biodegradabilidad. La humedad se determinó por gravimetría³⁴. La densidad se calculó mediante la relación entre la masa y el volumen del material basado en el estándar ASTM D792³⁵. La solubilidad del bioplástico en agua se encontró usando el método descrito en la Norma Técnica NTE-INEN 2048³⁶, para lo cual se utilizaron probetas de 50 mm ± 1 mm que se secaron a 50°C por 24 horas. Se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente, se pesaron y posteriormente se colocaron en un vaso de precipitado de 400 mL con agua. Pasadas 24 horas se retiraron, se secaron hasta peso constante y pesaron. El porcentaje de solubilidad en agua se calculó mediante la ecuación 8.

$$\% \text{Solubilidad en agua} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso inicial}} * 100\% \quad (8)$$

El espesor de la película y la permeabilidad de vapor de agua, se determinaron en un equipo PERMATRAN-W 101 MOCOCN, de acuerdo con los métodos de prueba estándar para la transmisión de vapor de agua de materiales (E96M-16/ASTM E96)³⁷. Se tomaron muestras rectangulares de 5 cm² y se valoraron en condiciones de 20 °C y 60% de humedad relativa, con una réplica de cada muestra. Se verificó la cantidad de gas N₂, caudal y temperatura, para luego hacer el montaje de la muestra en las celdas para vapor de agua. La permeabilidad de vapor de agua (P) en las condiciones previamente establecidas, se calculó según la ecuación 10.

$$WVTR = C(ES - EO) \quad (9)$$

$$P = \frac{WVTR}{P_w} = \frac{g}{5 \text{ cm}^2 \text{ por}} \text{ día por mmHg} \quad (10)$$

donde WVTR (ecuación 9): tasa de transmisión de vapor de agua (g/h.m²); C: factor de calibración que expresa la tasa en función del voltaje (o mV); EO: voltaje de nivel cero del sistema de permeación; ES: voltaje de equilibrio obtenido con la muestra; Pw: gradiente de presión parcial de vapor de agua a través de la muestra de prueba (mmHg).

Para realizar el ensayo mecánico se cortaron muestras de películas rectangulares de 10 cmx2,5 cm, siguiendo el procedimiento de prueba estándar para propiedades de tracción de láminas de plástico delgadas (ASTMD882)³⁸. Después de calcular el espesor promedio de las muestras, se montaron sobre las pinzas de un texturómetro marca Zwick/Roell Z010 a una distancia de 7 cm, para ser sujetadas y luego estiradas a 50 mm a una velocidad de 0,10 mm/seg hasta la ruptura. A través de la prueba de elongación se determinaron dos propiedades: fuerza de tensión y deformación del material. La prueba de biodegradabilidad se llevó a cabo mediante ensayo en campo, por enterramiento de muestras en un ambiente natural. Para ello se tomaron muestras de 5 cmx5 cm por cada formulación y se colocaron en el suelo a una profundidad de 10 cm en condiciones anaerobias durante 45 días, según lo descrito por López *et al.*³⁹. El porcentaje de biodegradabilidad expresado en porcentaje en función de la pérdida de peso se determinó usando la ecuación 11.

$$\% \text{Pérdida de peso} = \frac{(\text{Peso inicial}) - (\text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} * 100\% \quad (11)$$

Las variables aquí descritas, también se determinaron en la película obtenida a partir de almidón nativo de semillas de aguacate, las cuales se describen en un trabajo previo³³.

Análisis estadístico

Todas las pruebas se realizaron por triplicado. A partir de los valores obtenidos, se calculó el valor promedio de cada variable con su respectiva desviación estándar la cual se reporta en los resultados.

Resultados

Almidón modificado

Los resultados obtenidos para la caracterización del almidón acetilado de semilla de aguacate se muestran en la tabla 2. También se presenta la caracterización del almidón nativo usado como referencia en esta investigación³³.

Caracterización de películas

Después de evaluar 27 posibles formulaciones para la obtención de películas biodegradables, se determinó que las proporciones más adecuadas fueron: 5 g de almidón acetilado + 4 mL de agua destilada + 4 mL de solución de NaOH 15% + 2 g de plastificante (glicerol, alcohol polivinílico, sorbitol). En la tabla 3, se muestran los resultados de la caracterización de películas con sus respectivas variantes. Debido a la poca uniformidad que poseía la película elaborada con el plastificante PVOH, no fue posible determinar el espesor, la permeabilidad de vapor al agua, la tensión y la deformación mecánica del material. Se in-

Tabla 2. Caracterización del almidón de semillas de aguacate variedad Hass.

| Variable | Almidón acetilado($\bar{X} \pm \sigma$) | Almidón nativo($\bar{X} \pm \sigma$) ³³ |
|-----------------------------------|---|--|
| Humedad, % | 11,50 ± 0,50 | 11 ± 1 |
| Temperatura de gelatinización, °C | 66,5 ± 0,71 | 66,67 ± 1,53 |
| Claridad de la pasta, % | 22,23 ± 0,99 | 43 ± 1,73 |
| IAA, g gel/g muestra | 2,93 ± 0,15 | 5,45 ± 0,32 |
| ISA, % | 5,59 ± 0,75 | 21,21 ± 0,05 |
| PH, g H ₂ O/g almidón | 3,15 ± 0,22 | 0,17 ± 0,01 |
| Amilosa, % | 29,85 ± 0,04 | 22,34 ± 0,04 |
| Amilopectina, % | 70,15 ± 0,04 | 77,66 ± 0,04 |
| Almidón, % | 52,72 ± 5,65 | 55,67 ± 3,62 |
| Rendimiento, % | 4,37 ± 0,31 | 5,01 ± 0,05 |
| Grado de sustitución, % | 0,018 ± 0,004 | - |

Tabla 3. Caracterización de las películas a base de almidón acetilado de semilla de aguacate.

| Variable | Unidad | Plastificante | | | Película con almidón nativo ³³ |
|--------------------------------|-------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---|
| | | PVOH | Sorbitol | Glicerol | |
| Humedad | % | 8,00 | 5,00 | 10,00 | 23,45 ± 1,25 |
| Densidad | g/cm ³ | 1,03 | 1,09 | 1,28 | 1,52 ± 0,06 |
| Espesor | Mm | - | 0,55 | 0,60 | 0,58 ± 0,04 |
| Solubilidad en agua | % | 33,08 | 49,03 | 35,71 | 39,39 ± 8,75 |
| Tensión | MPa | - | 0,87 | 0,33 | 1,53 ± 0,06 |
| Deformación | % | - | 30,42 | 25,40 | 21,25 ± 1,95 |
| Permeabilidad de vapor de agua | g/cm.día.Pa | - | 3,98 x 10 ⁻⁴ | 7,69 x 10 ⁻⁴ | - |
| Biodegradabilidad | % | 21,37 | 14,70 | 54,34 | 21,03 ± 7,28 |

cluyen además, los resultados de la caracterización para una película obtenida a partir de almidón nativo de aguacate, plastificada con PVOH que se utilizó como control³³.

Discusión

El contenido de humedad del almidón acetilado de semilla de aguacate fue similar al obtenido para el almidón nativo. Pero se encuentra dentro de rango con lo reportado por Cornelia y Christuany³⁸ para almidones nativos y modificados con tripolifosfato de sodio (STPP) (11,33 y 11,67, respectivamente). El contenido de humedad del almidón puede influir en el crecimiento de microorganismos que degradan el almidón, trayendo implicaciones para el almacenamiento y la vida útil de los productos que se obtengan a partir de estos, sin embargo, el valor obtenido se encuentra por debajo del máximo recomendado de 14%⁴⁰.

La temperatura de gelatinización fue de 66,5 °C, siendo ligeramente inferior al reportado para el almidón nativo. Cornelia y Christuany⁴¹ reporta valores superiores para almidones de semilla de aguacate nativo y modificado por reticulación con STPP, presentando temperaturas pico de gelatinización de 83,25 °C y 80,90 °C respectivamente. Investigaciones donde se trabajó con almidones de maíz, plátano (*Musa paradisiaca*), arroz (*Oryza sativa*), yuca (*Manihot esculenta*), ñame (*Dioscorea alata*) y cebada (*Hordeum vulgare*), demostraron que la esterificación con anhídrido acético produce una disminución en la temperatura de gelatinización⁴². Así mismo Rincón et al.⁴³, acetilaron y oxidaron el almidón de semillas de Fruto de pan

(*Artocarpus altilis*) y en ambos casos, se notó una reducción en la temperatura de gelatinización en comparación con su estado nativo. La disminución de la temperatura de gelatinización después de la acetilación se debe a una desorganización de la doble hélice de la amilopectina y una menor estabilidad del almidón⁴⁴.

Se obtuvo 22,23% para la claridad de la pasta, estando por debajo del valor obtenido para el almidón nativo, siendo similar al reportado para el maíz y camote (22,6 y 24,64 %, respectivamente), pero superior al makal (*Xanthosoma sagittifolium*) 10,94%, sagú (*Maranta arundinacea*) 13,57% y plátano criollo 11,2%, e inferior a la yuca 51,76%⁴⁵. Esta variable está relacionada con la capacidad que tienen las pastas para transmitir luz cuando son sometidas al paso de un haz radiante. Pastas con valores mayores a 40% se consideran claras o transparentes y menores a este valor, turbias u opacas³⁰. En este caso el almidón modificado de semillas de aguacate es turbia, atribuible a la presencia de compuestos fenólicos, como la 3,4 dihidroxifenilalanina en la semilla que provoca una reacción enzimática de pardeamiento por oxidación⁴⁶. La claridad de la pasta es una propiedad que influirá posteriormente sobre las propiedades de brillantez y opacidad del color del bioplástico a fabricar⁴⁷.

El IAA, ISA y PH del almidón acetilado de semilla de aguacate fue de 2,93g gel/g muestra; 5,59% y 3,15 g H₂O/g almidón respectivamente, evaluados a 60 °C. Tanto el IAA como el ISA presentaron una disminución respecto al almidón nativo, a diferencia del PH el cual presentó un aumento. Al respecto, Frei-

tas *et al.*⁴⁸ reportaron un PH de 1,6 y 7,68 g H₂O/g y una solubilidad de 0,1 y 2,17% al evaluarlo a 60 °C y 90°C, respectivamente. Estas propiedades aumentan en función con los aumentos de temperatura; sus patrones de absorción de agua indicaron que los gránulos del almidón no se hinchan a temperaturas inferiores 70°C. En general, los resultados obtenidos en la presente investigación son inferiores a los reportados en la literatura para almidones nativos de semilla de aguacate, sin embargo, este comportamiento después de la modificación por acetilación de los gránulos de almidón concuerda con lo reportado por Alves *et al.*¹⁸, evidenciando una reducción en el índice de solubilidad en almidón de semillas de aguacate acetilado, respecto a su estado nativo. Respecto al aumento del PH en el almidón acetilado, puede atribuirse a la presencia de los grupos acetilo formados durante la acetilación, que causa ruptura de los enlaces de hidrógeno, modificando la estructura química del almidón⁴⁴.

Por otra parte, el porcentaje de solubilidad del almidón de semilla de aguacate acetilado a una concentración de 5% (v/v) de ácido acético fue superior al reportado en la literatura para almidón nativo y modificado¹⁷. Cedeño-Sares *et al.* registraron incrementos en el ISA al aumentar la concentración del reactivo usado en la acetilación y el tiempo de reacción⁴⁹, razón por la cual es una variable que depende del tiempo de acetilación. El aumento en el ISA se realiza a temperaturas más bajas, lo que es una propiedad deseable para almidones modificados, porque esto aumenta las posibilidades de aplicación en sistemas alimentarios, particularmente como agentes espesantes, estabilizantes o gelificantes¹⁸.

El almidón está constituido principalmente por amilosa y amilopectina, y su proporción varía de una fuente botánica a otra, incluso entre cultivares de una misma especie⁴². El contenido de amilosa del almidón acetilado de semilla de aguacate variedad Hass fue de 29,85% (tabla 3), estando por debajo del valor obtenido al caracterizar el almidón nativo, pero encontrándose dentro del rango de lo reportado en la literatura para almidones de semilla de aguacate de diferentes variedades como Hass, Criollo, Mantequilla, Daisy (14-42%)^{15,19,27,49}. El contenido de amilosa es responsable de factores que afectan el poder de hinchamiento, solubilidad y gelificación del almidón⁴⁸.

Según lo expuesto por Singh *et al.*⁵¹ el contenido de amilosa del almidón acetilado de sorgo con anhídrido acético (6,25% p/p) fue de 19.5%, siendo superior al encontrado en su contraparte nativa (18.7%), siendo un comportamiento ampliamente discutido en la literatura para otras fuentes como bejuco, maíz y patata⁵¹⁻⁵³. En general, la modificación química mediante acetilación del almidón, tiende a aumentar el contenido de amilosa, lo cual favorece las propiedades del bioplástico debido a que un aumento contenido de amilosa mejora el comportamiento mecánico (mayor módulo de Young o elasticidad, resistencia a la tracción y resistencia al impacto) de la estructura del almidón, pero afecta la transparencia ocasionando que este se vuelva más opaco y rígido debido a la iteración de la amilosa lineal con los puentes de hidrógeno⁵⁴.

El contenido de almidón total de la fuente evaluada fue de 52,72%, siendo inferior a la cantidad presente en el almidón nativo y al reportado por Orhevba y Jinadu, para contenido total de almidón en semilla de aguacate variedad Fuerte (74%). El bajo contenido de almidón total después de la acetilación con respecto a los resultados obtenidos en la literatura, pueden atribuirse a que después de la modificación se produce un reemplazamiento de los grupos hidroxilo con grupos acetilo, lo que conlleva a un cambio estructural reduciendo las interacciones entre las cadenas externas de la amilosa y amilopectina⁵⁵. Este comportamiento, ha sido observado también en almidones nativos y reticulados de semilla de aguacate⁴¹. En cuanto al rendimiento de almidón acetilado obtenido en el presente estudio, es relativamente bajo (4,37%), similar al encontrado para el almidón nativo de referencia. Este valor es cercano al reportado por Salburan *et al.*⁵⁶ para almidón acetilado de mijo (*Pennisetum glaucum*), quienes obtuvieron un rendimiento de 10,3% y atribuyeron su resultado a el método de extracción del almidón modificado. El contenido de amilosa puede influir en el rendimiento de almidón después de la extracción, debido a que los gránulos del almidón absorben mayor cantidad de agua, dificultando la separación de las proteínas adheridas y provocando a su vez una mayor pérdida de almidón liberado junto con las proteínas del almidón⁵⁷. Sin embargo, el método utilizado en la extracción define en gran medida el rendimiento del almidón; incluso una combinación de métodos es capaz de producir almidón con alto rendimiento y en poco tiempo⁵⁸. El uso de métodos diferentes al utilizado en esta investigación para la extracción de almidón de la semilla del aguacate podría aumentar el rendimiento del proceso, a fin de que este se considere una fuente potencial de materia prima para la producción de bioplásticos.

El grado de sustitución (DS) es la forma principal de caracterizar los almidones acetilados, y esta se refiere al grado de sustitución de los grupos hidroxilo de las unidades de glucosa por grupos acetilo²³. Los valores de DS alcanzados en un almidón, son directamente proporcionales a la cantidad de reactivo utilizado⁴². El DS obtenido en almidón acetilado de semilla de aguacate con una solución de ácido acético al 5% (v/v) fue de 0,018. Estos resultados son inferiores a los reportados para la misma fuente (DS=0.07) por Alves *et al.*¹⁸ al acetilar con 10,2 g de anhídrido acético por una hora. Sin embargo, en ambas investigaciones el DS es bajo (DS < 0,1) y estos se usan comúnmente en la industria alimentaria para conferir consistencia, textura y estabilidad al producto; sin embargo, estos presentan un mayor índice de solubilidad, menor descomposición, sinergia durante la congelación y una mayor absorción de aceite, en comparación con la forma nativa^{18,44}. En un estudio más reciente, Sulburán *et al.*⁵⁶ exponen que un mayor DS se obtiene de una mayor exposición al anhídrido acético, este comportamiento de acuerdo con lo observado en almidones acetilados con 5, 10 y 15 mL de la solución de mijo (0,07-0,20) y maíz (0,69-0,82).

La modificación química de esterificación mediante acetilación

de almidones es un procedimiento de gran aplicación en la industria, que permiten obtener productos con un mayor valor agregado; debido a que proporciona a las moléculas de almidón termo plasticidad, hidrofobicidad y la hace compatibles con otros aditivos. Además, de que su bajo grado de sustitución disminuye su temperatura de gelatinización, pero aumenta la solubilidad, mejora su perfil de viscosidad y capacidad emulsificante⁴².

El bioplástico obtenido con los plastificante de glicerol, PVOH y sorbitol presentaron una humedad de 5%, 8 % y 10 % respectivamente, siendo valores mucho menores que la humedad reportada para la película elaborada con almidón nativo. Sodanry *et al.*⁵⁹ observaron que la humedad de biopelículas obtenidas con almidón de sagú era menor al trabajar con almidón modificado, con relación a su estado nativo, independientemente del método de modificación utilizado (acetilación, oxidación, entrecruzamiento, precipitación). El contenido de agua está influenciado por la hidrofobicidad de la biopelícula y se recomienda que en una formulación basada en la mezcla almidones con uno o más polímeros termoplásticos, este valor se encuentre preferiblemente en un rango de 5 al 8% (p/p), ya que contenidos mayores a estos no producen una película continua ni uniforme^{59,60}.

La densidad fue de 1,28 g/cm³; 1,03 g/cm³ y 1,09 g/cm³ para el material elaborado con glicerol, PVOH y sorbitol, estando por debajo de la densidad registrada para la película obtenida con almidón nativo. Los bioplásticos con valores bajos de densidad, son una característica deseada, debido a que al emplear menor cantidad de material se pueden disminuir los costos de fabricación⁶¹. El espesor de las películas evaluadas con sorbitol y glicerol fueron de 0,55 y 0,60 mm, respectivamente. El tipo de plastificante y su concentración influencia el espesor de la película⁶². En una investigación donde se empleó glicerol y sorbitol para elaborar una mezcla termoplástica, se determinó que independientemente de la concentración del plastificante, los menores espesores se alcanzaron cuando se trabajó con sorbitol⁶³.

La solubilidad en agua de las películas biodegradables fue de 33,08; 49,38 y 35,71 %; para el PVOH, sorbitol y glicerol respectivamente. La película plastificada tanto con PVOH como con glicerol, presentaron una solubilidad al agua inferior a la obtenida con almidón nativo. Abel *et al.*⁶⁴ reportaron valores del 36,23 al 17,21 % para películas biodegradables elaboradas con almidón de yuca acetilado con anhídrido acético; destacando que el aumento en la concentración del anhídrido acético ocasionó una reducción en la solubilidad en agua del material. Esta reducción observada en la solubilidad en agua de las películas elaboradas con almidón modificado podría deberse a la sustitución del OH-grupos en la molécula de almidón por grupos acetilo⁶⁵. La aplicación de glicerol como plastificante, disminuye la tasa de transmisión de vapor y la solubilidad del agua⁶⁶. La solubilidad en agua es un factor que determina la biodegradabilidad del material. Un valor bajo de esta propiedad es deseable para películas destinadas al almacenamiento de alimentos⁶⁷.

En cuanto a la permeabilidad de vapor de agua, se determinó que el bioplástico donde se utilizó glicerol fue de $7,69 \times 10^{-4}$ g/cm.día.Pa, mientras que al usar sorbitol fue de $3,98 \times 10^{-4}$ g/cm.día.Pa, siendo este último donde se evidenció menor paso al vapor de agua. Colussi *et al.*⁶⁸ obtuvieron valores de permeabilidad de vapor de agua de 5,33 a 10,33 g.mm/m².día.kPa para películas de almidón acetilado de arroz, plastificadas con glicerol. Mientras más bajos son los valores para esta variable, mejores serían los resultados al utilizarse como material de recubrimientos de alimentos, ya que se favorecería la conservación de las características originales por más tiempo⁶⁷. La permeabilidad de vapor de agua aumenta con la intensidad de acetilación química, siendo esta una forma de resolver los problemas de higroscopicidad de los almidones, para producir materiales impermeables⁶⁸.

Las diferencias existentes en la humedad, densidad y espesor para las tres películas obtenidas con el almidón modificado, puede deberse al tipo de plastificante utilizado ya que se demostró en trabajos previos, que el tipo y concentración del plastificante, afectan el espesor de la película, la densidad, el contenido de humedad, la solubilidad y la absorción de agua⁶⁹.

Las fuerzas de tensión determinadas en esta investigación fueron de 0,87 y 0,33 MPa utilizando sorbitol y glicerol como plastificante, respectivamente. Estos valores son mayores a los obtenidos en las pruebas mecánicas realizadas a la película obtenida con semillas de almidón nativo, usada como referencia. Sondari *et al.*⁵⁹ observaron un aumento en la fuerza de tensión, al evaluar películas obtenidas con almidón de sagú acetilado (16,35 MPa) y compararlas con su estado nativo (9,04 MPa). Resultados similares se evidenciaron con la elongación del material. Por otra parte, los resultados de deformación obtenida en esta investigación, supera los valores reportados para bioplásticos basados en almidón nativo de semilla de aguacate con glicerol (13,09%) y sin plastificante (3,07%). Sin embargo, los valores aquí reportados son superiores a los reportado por Alarcón y Arroyo⁷⁰, quienes evaluaron porcentaje de elongación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de papa acetilado a una concentración de 5, 10, y 15% de ácido acético utilizando glicerol, los cuales obtuvieron valores de elongación máxima de 13,97; 8,45 y 14,38 %, respectivamente. En este sentido, los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que la adición de plastificantes en películas de almidón acetilado, modifican positivamente las propiedades mecánicas de la biopelícula en términos de elongación.

La biodegradabilidad evaluada en condiciones anaerobias durante 45 días fue de 21,37%; 14,70% y 54,34% para el PVOH, sorbitol y glicerol respectivamente, siendo este último quien brinda mejores resultados en cuanto a biodegradabilidad se refiere. Al comparar estos valores con la película obtenida a partir del almidón nativo de semilla de aguacate, se evidencia un ligero incremento al trabajar con PVOH y una notable mejora de la biodegradabilidad al usar glicerol. Yahia *et al.*⁷¹ obtuvieron entre 92 % y 96 % de pérdida de peso como medida de biodegradabilidad.

gradabilidad, en películas obtenidas a partir de almidón de maíz ceroso modificado, mezclado con PVA y sorbitol. En las diferentes formulaciones realizadas para dicha investigación, se encontraron porcentajes superiores al reportado por la película elaborada con el almidón nativo⁷¹. Por otra parte, en esta investigación se encontró una disminución en el porcentaje de biodegradabilidad (14,70 %), al usar glicerol como plastificante. Una situación similar se presentó al evaluar películas de harina de tapioca acetilada con una solución de ácido acético al 16 % y plastificadas con sorbitol; donde para un periodo de experimentación de 7 días, disminuyó el porcentaje de pérdida de peso como una medida de biodegradabilidad desde 55,68 % hasta 42,75 % al variar la cantidad de almidón modificado utilizado en la formulación⁷². Lo anterior permite indicar que la acetilación favorece la biodegradabilidad del material, en dependencia del plastificante que se utilice en la mezcla termo-plástica.

Conclusiones

Los resultados indican que es posible utilizar residuos de semilla de aguacate Hass para la extracción y modificación química de almidón y producir biopelículas para darle un valor agregado. La modificación química aumentó el contenido de la amilosa, lo cual afectó positivamente las características del almidón termoplástico. Además, se determinó que el tipo de plastificante, influencia en algunas propiedades de las películas obtenidas de almidón acetilado de semilla de aguacate, como el contenido de humedad, espesor, densidad, solubilidad y permeabilidad al vapor de agua. Las mejores propiedades del bioplástico en cuanto a humedad, índice de absorción de agua y deformación, se obtuvieron al trabajar con sorbitol, representando una oportunidad de uso en el desarrollo de materiales de empaque donde se requiere que estos no sean higroscópicos, por lo que puede ser utilizado para recubrimientos alimentarios de baja humedad. A partir de los resultados reportados en esta investigación, se pueden indicar que el uso de almidones acetilados podría convertirse en una herramienta para mejorar sus características, así como las de los bioplásticos que se produzcan a partir de este.

Agradecimientos

Agradecemos la financiación dada por FONTAGRO en el marco del proyecto "Productividad y Competitividad Frutícola Andina" y a la empresa Sigmplast, por la colaboración brindada en la experimentación.

References

1. E Bertof. Fine Structure of Amylopectin, in *Starch: Metabolism and Structure*. Eds. Y. Nakamura, Tokyo (pp 3–4). Springer (2015).
2. I Hanashiro. Fine Structure of Amylopectin, in *Starch: Metabolism and Structure*. Eds. Y. Nakamura (Ed.), Tokyo (pp 41–60). Springer (2015).
3. A Bertolini. Starches: Characterization, Properties, and Applications, Florida (pp. 288). Taylor & Francis Group (2009).
4. J Guan, M Hanna. Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. **Biomacromolecules**, **5(6)**, 2329–2339 (2004).
5. AR Ceron. El problema de la hidrofiliidad en materiales plásticos derivados de almidón. **Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, **11(1)**, 41–48 (2019).
6. M Teixeira, C Garcia, A Faraco. Pharmaceutical and biomedical applications of native and modified starch: A review. **Starch - Stärke**, **72(7-8)**, 1900270 (2020).
7. S Punia. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic - A review. *International Journal Biological*. **Macromolecules**, **144**, 578–585 (2020).
8. S Xie, Q Liu, S Cui. Starch modification and applications, in *Food Carbohydrates Chemistry, Physical Properties, and Applications*. Eds. S. Cui, Florida (pp 1). Taylor & Francis Group (2005).
9. F Haq, H Yu, L Wang, L Teng, M Haroon, R Ullah, S Mehmood, B Ul-Amin, R Summe, A Khan, A Nazir. Advances in chemical modifications of starches and their applications. **Carbohydrate Research**, **476**, 12–35 (2019).
10. O Peñaranda-Contreras, J Perilla-Perilla, N Algecira-Enciso. Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. **Revista Ingeniería e Investigación**, **28(3)**, 47–52 (2008).
11. J Salcedo-Mendoza, M Rodríguez-Lora, J Figueroa-Flórez. Efecto de la acetilación en las propiedades estructurales y funcionales de almidones de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y ñame (*Dioscorea alata cv. Diamante 22*). **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, **15(3)**, 787–796 (2016).
12. F Zhu. Underutilized and unconventional starches: Why should we care?, **Trends in Food Science & Technology**, **100**, 363–373 (2020).
13. D Schwartz, R Whistler. History and Future of Starch. En: *Starch (3th ed)*. Eds. J. BeMiller & R. Whistler, San Diego (pp 1-10). Academic Press (2009).
14. M Riera, R Palma. Multicriteria Analysis in the Selection of Agro-Industrial Waste for the Production of Biopolymers. En: *Advances in the Domain of Environmental Biotechnology: Microbiological Developments in Industries, Wastewater Treatment and Agriculture*. Eds. N. R. Maddela, L. C. García-Cruzatty & S. Chakraborty, Singapore, (pp. 335–356). Springer (2021).
15. N De Dios-Avila, JM Tirado-Gallegos, C Rios-Velasco, G Luna-Esquivel, N Isiordia-Aquino, PB Zamudio-Flores, MO Estrada-Virgen, OJ Cambero-Campos. Physicochemical, Structural, Thermal and Rheological Properties of Flour and Starch Isolated from Avocado Seeds of Landrace and Hass Cultivars. **Molecules**, **27(3)**, 910 (2022).
16. JCA de Souza, JFF Macena, IHP Andrade, GP Camilloto, RS Cruz. Functional characterization of mango seed starch (*Mangifera indica l.*). **Research, Society and Development**, **10(3)**, e30310310118 (2021).
17. DV Melo-Sabogal, Y Torres-Grisales, JA Serna-Jiménez, LS Torres-Valenzuela. Leveraging of pulp and peel of banana (*Musa paradisiaca spp.*) for the obtention of maltodextrin. **Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, **13(2)**, 76-85 (2015).

18. I Alves-Silva, M Magnani, F Medeiros de Albuquerque, K Sabino-Batista, J de Souza-Aquino, V Queiroga-Neto. Characterization of the chemical and structural properties of native and acetylated starches from avocado (*Persea americana* Mill.) seeds. **Int. Journal of Food Properties**, **20(1)**, S279–S289 (2017).
19. L Chel-Guerrero, E Barbosa-Martín, A Martínez-Antonio, E González-Mondragón, D Betancur-Ancona. Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. **Int. J. Biological Macromol.**, **86**, 302–308 (2016).
20. M Ginting, R Hasibuan, M Lubis, F Alanjani, F Winoto, R Siregar. Utilization of avocado seeds as bioplastic films filler chitosan and ethylene glycol Plasticizer. **Asian Journal of Chemistry**, **30(7)**, 1569–1573 (2018).
21. V Fathurohman, D Alisaputra, E Sedyadi. The Effect of Addition of Avocado Fruit Seeds On Bioplastic Biodegradation. **Proc. Int. Conference on Science and Engineering**, **3(0)**, 137–145 (2020).
22. M Sartika, M Lubis, M Harahap, E Afrida, M Ginting. Production of bioplastic from avocado seed starch as matrix and microcrystalline cellulose from sugar palm fibers with schweizer's reagent as solvent. **Asian J. Chemistry**, **30(5)**, 1051–1056 (2018).
23. R Nasser, R Ngunjiri, C Moresoli, A Yu, Z Yuan, C Xu. Poly(lactic acid)/acetylated starch blends: Effect of starch acetylation on the material properties. **Carb. Polymers**, **229**, 115453 (2020).
24. T Panrong, T Karbowski, N Harnkarnsujarit. Effects of acetylated and octenyl-succinated starch on properties and release of green tea compounded starch/LLDPE blend films. **Journal of Food Engineering**, **284**, 110057 (2020).
25. J Mina, A Valadaez-González, P Herrera-Franco, F Zuluaga, S Delvasto. Physicochemical characterization of natural and acetylated thermoplastic cassava starch. **DYNA**, **78(166)**, 166–173 (2011).
26. N Noivoil, R Yoksan. Compatibility improvement of poly(lactic acid)/thermoplastic starch blown films using acetylated starch. **J. Applied Polymer Science**, **138(2)**, 49675 (2021).
27. PF Builders, A Nnurun, C Mbah, AA Attama, R Manek. The physicochemical and binder properties of starch from *Persea americana* Miller (*Lauraceae*). **Starch – Staerke**, **62**, 309–320 (2010).
28. DF Rosida, R Yuliani, S Djajati. Modification of *Colocasia esculenta* Starch with Acetylation Process. 4th International Seminar of Research Month. **NST Proceedings**. 369 378 (2019).
29. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Norma 32.1.03. Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods. Maryland: USA (2006).
30. J Aristizábal, T Sánchez. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca, Roma (pp 153). FAO (2007).
31. P Bhandari. Studies on the optimisation of preparation of succinate derivatives from corn and amaranth starches. **Carb. Polymers**, **47(3)**, 277–283 (2002).
32. M Tupa. Modificación organocatalítica de almidón para la obtención sostenible de derivados de alto valor agregado. Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina (2019).
33. H Sánchez, W Ponce, B Brito, W Viera, R Baquerizo, MA Riera. Biofilms Production from Avocado Waste. **Ingeniería y Universidad**, **25**, (2021). DOI: 10.11144/Javeriana.iedad25.bpaw
34. FA Sernaqué-Auccahuasi, LC Huamán-Mogollón, H Pecho-Chipa, ME Chacón-Chacón. Biodegradabilidad de los bioplásticos elaborados a partir de cáscaras de *Mangifera indica* y *Musa paradisiaca*. **Centro Agrícola**, **47(4)**, 22–31 (2020).
35. American Society for Testing and Materials (ASTM). Norma D792-20. Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. West Conshohocken: USA .ASTM International (2020).
36. Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Norma 2048. Plásticos. Determinación de la absorción de agua. Quito: Ecuador (2006).
37. American Society for Testing and Materials (ASTM). Norma E96M-16/ASTM E96. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials. West Conshohocken: USA. ASTM International (2016).
38. American Society for Testing and Materials (ASTM). Norma D882-18. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting. West Conshohocken: USA. ASTM International (2018).
39. A López, J Rivas, M Loaiza, M Sabino. Degradación de películas plastificadas de quitosano obtenidas a partir de conchas de camarón (*L.vannamei*). **Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela**, **25(2)**, 133-143 (2010).
40. T Tesfaye, M Gibril, B Sithole, D Ramjugernath, R Chavan, V Chunilall, N Gounden. Valorisation of avocado seeds: extraction and characterisation of starch for textile applications. **Clean Technology and Environmental Policy**, **20**, 2135–2154 (2018).
41. M Cornelia, A Christianti. Utilization of modified starch from avocado (*Persea americana* Mill) seed in cream soup production. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, **102**, 012074 (2018).
42. G León-Méndez, D León-Méndez, MR Monroy-Arellano, S De La Espriella-Angarita, A Herrera-Barros. Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. **Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica**, **39(5)**, 620–626 (2020).
43. AM Rincón, L Lizet Bou Rached, FP Aragoza. Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). **Archivos Latino-americanos de Nutrición**, **57(3)**, 287-294 (2007).
44. P Martínez, F Peña, Y Gómez, G Vargas, C Velezmoro. Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*) var. 'única'. **Revista de la Sociedad Química del Perú**, **85(3)**, 338-351 (2019).
45. M Hernández-Medina, JG Torruco-Uco, L Chel-Guerrero, D Betancur-Ancona. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. **Ciencia e Tecnología de Alimentos**, **28(3)**, 718 – 726 (2008).

46. M Lubis, M Harahap, GM Hendra, M Sartika, H Azmi. Production of bioplastic from avocado seed starch reinforced with microcrystalline cellulose from sugar palm fibers. **J. Eng. Sci. Technol**, 13, 381–393 (2018).
47. N Correa-Meaño, AT Ciarfella-Pérez, AM Dorta-Villegas. Evaluación de las propiedades químicas y funcionales del almidón nativo de ñame congo (*Dioscorea bulbifera L.*) para predecir sus posibles usos tecnológicos. **Saber**, 26(2), 182–187 (2014).
48. J Freitas, J Arruda de Souza, G Peruch, R Souza. Physicochemical, morphological and technological properties of the avocado (*Persea americana Mill. cv. Hass*) seed starch. **Ciência e Agrotecnología**, 44, e001420 (2020).
49. LA Cedeño Sares, R Díaz-Torres, A Casariego-Año, D Arias-Toro, M Yáñez-Romero. Efecto de la acetilación sobre propiedades físicas del almidón de Banano (*M. Sapientum L.*) variedad Cavendish. **Cumbres**, 7(1), 9-20 (2020).
50. G Barraza-Jáuregui, R Siche. Almidón de semilla de palta: Optimización del índice de blancura durante el proceso de extracción. **Agroindustrial science**, 11(1), 81-85 (2021).
51. H Singh, N Singh Sodhi, N Singh. Structure and Functional Properties of Acetylated Sorghum Starch, **Int. Journal of Food Properties**, 15(2), 312-325 (2012).
52. N Singh, D Chawla, J Singh, J. Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch, **Food Chemistry**, 86 (4), 601–608 (2004).
53. AD Betancur, GL Chel, CE Hernandez. Acetylation and characterization of Canavalia ensiformis starch. **J. Agricult. Food Chemistry**, 45 (2), 378–382 (1997).
54. CR Bernal-Bustos, JPP Guarnizo-Sánchez, A Guevara, D Suárez, N Lozano, S Castillo. Propiedades, modificaciones y usos de los almidones, con miras a la obtención de películas biodegradables. Artículo de revisión. **Revista de Investigación**, 10(2), 135–152 (2017).
55. BA Orhevba, AO Jinadu. Determination of Physico-chemical Properties and Nutritional Contents of Avocado Pear (*Persea americana M.*). **Academic Research International**, 1(3), 374–380 (2011).
56. A Sulbarán, GE Matiz, Y Baena. Acetilación del almidón de millo (*Pennisetum glaucum*) y evaluación de su aplicación como posible excipiente. **Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas**, 47(2), 255-276 (2018).
57. ER Zavareze, SLM Halal, JM Pereira, AL Radünz, MC Elias, ARG Dias. Caracterização química e rendimento de extração de amido de arroz com diferentes teores de amilose. **Brazilian J. Food Technology II SSA**, 24-30 (2009).
58. SLM El Halal, DH Kringel, ER Zavareze, ARG Dias. Methods for Extracting Cereal Starches from Different Sources: A Review. **Starch - Stärke**, 71, 1900128 (2019).
59. D Sondari, F Falah, R Suryaningrum, FP Sari, AA Septefani, WK Restu, Y Sampora. Biofilm based on modified sago starch: preparation and characterization. **Reaktor**, 19(3), 125-130 (2019).
60. M Enríquez, R Velasco, V Ortíz. Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, 10(1), 182 -191 (2012).
61. DP Navia, A Ayala, HS Villada. Biocompuestos de harina de yuca obtenidos por termo-compresión. **Efecto de las condiciones de proceso. Información Tecnológica**, 26(5), 55–62 (2015).
62. RA Oropeza-González, AI Montes-Hernández, CA Padrón-Pereira. Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. **Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos**, 7(1), 065–093 (2016).
63. CD Poeloengasih, Y Pranoto, S Nur-Hayati, B Hernawan, V Rosyida, D Prasetyo, T Jatmiko, W Apriyana, A Suwanto. A physicochemical study of sugar palm (*Arenga Pinnata*) starch films plasticized by glycerol and sorbitol, **AIP Conference Proceedings**, 1711, 080003 (2016).
64. OM Abel, EG Ifeanyi, AS Chinelo, GK Agbajor, JE Imanah. Surface Hydrophobicity of Starch Acetate for Enhanced Bioplastic Properties. **J. Mater. Environ. Sci**, 12, 497-510 (2021).
65. MC Sweedman, MJ Tizzotti, C Schäfer, RG Gilbert. Structure and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified starches: A review. **Carb. Polymers**, 92(1), 905–920 (2013).
66. ND Permatasari, JE Witoyo, E Ni'maturohmah, M Masruri, SS Yuwono, SB Widjanarko. Potential of durian seed (*Durio zibenthinus Murr.*) flour as the source of eco-friendly plastics materials: a mini-review. **Int. Conference On Agriculture and Applied Science (IcoAAS)**, 55–62 (2021).
67. K Anchundia, S Santacruz, J Coloma. Caracterización física de películas comestibles a base de cáscara de plátano (*Musa paradisiaca*). **Revista Chilena de Nutrición**, 43(4), 394–399 (2016).
68. R Colussi, VZ Pinto, SLM El Halal, B Biduski, L Prietto, DD Castilhos, ER Zavareze, ARG Dias. Acetylated rice starches films with different levels of amylose: Mechanical, water vapor barrier, thermal, and biodegradability properties. **Food Chemistry**, 221, 1614–1620 (2017).
69. EE Perez Sira, D Dufour. Native and modified starches as matrix for edible films and covers. **Nutrition and Food Science International Journal**, 3 (3), 555615, 15 p (2017).
70. HA Alarcón-Cavero, E Arroyo-Benites. Evaluación de las propiedades químicas y mecánicas de biopolímeros a partir del almidón modificado de la papa. **Revista de la Sociedad Química del Perú**, 82(3), 315 – 323 (2016).
71. R Yahia, ME Owda, RE Abou-Zeid, F Abdelhai, HY El-Gamil, A M Abdo, AA Ali. Biodegradable, UV absorber and thermal stable bioplastic films from waxy corn starch/polyvinyl alcohol blends. **Biomass Conversion and Biorefinery** (2023). DOI: 10.1007/s13399-022-03683-8
72. TA Triani, MA Alamsjah, DY Pujiastuti. Application of modified starch on glass bioplastic based on carrageenan from *Eucheuma cottonii* on mechanic and biodegradation properties. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 1036, 012012 (2022).