



ALMIDONES DE CÁSCARA DE YUCA (MANIHOT ESCULENTA) Y PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) PARA PRODUCCIÓN DE BIOPLÁSTICOS: PROPIEDADES MECÁNICAS Y EFECTO GELATINIZANTE

Carla Virginia Vélez Martínez^{1*}, Xiomara Soledad Zambrano Murillo², María Hipatia Delgado Demera³, Gabriel Alfonso Burgos Briones⁴, Carlos Alfredo Cedeño Palacios⁵

¹Egresada de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí. Ecuador. E-mail: cvelez9539@utm.edu.ec

²Egresada de la Carrera de Ingeniería Química, Universidad Técnica de Manabí. Email: xzambrano7144@utm.edu.ec

³Médico Veterinario, Máster en Alimentos, Doctor en Ciencias Veterinarias, Departamento de Ciencias Veterinarias, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí. Email: hipatia.delgado@utm.edu.ec

⁴Ingeniero Químico, Máster en Sistemas Integrados de Gestión, Departamento de Procesos Químicos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Email: gabriel.burgos@utm.edu.ec

⁵Ingeniero Agroindustrial, Máster en Procesamiento de Alimentos, Doctor en Ciencias Agrarias, Departamento de Procesos Químicos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. E-mail: alfredo.cedeno@utm.edu.ec

*Autor para la correspondencia: cvelez9539@utm.edu.ec

Recibido: 25-03-2020 / Aceptado: 20-07-2021 / Publicación: 30-08-2021

Editor Académico: Jorge Luis López Terán

RESUMEN

Los productos biodegradables basados en materias primas agrícolas ocupan un gran espacio en las investigaciones para el desarrollo y mejoramiento de bioplástico a base de almidón que presentan propiedades similares a los plásticos convencionales. El objetivo de este trabajo consistió en describir la gelatinización y propiedades mecánicas de bioplásticos extraídos de almidones tanto de cáscaras de yuca (*Manihot esculenta*) como de cáscaras de papa (*Solanum tuberosum*). A partir de una revisión bibliográfica literaria complementada con aproximadamente 86 artículos científicos se logró comprobar que la gelatinización de estos residuos en función de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, mejoran sus propiedades mecánicas, además la adición de sustancias poliméricas sintéticas y naturales, plastificantes, materiales de relleno, aditivos, agentes acoplantes, agentes desestructurantes y agua otorgaron las propiedades mecánicas necesarias para trabajar como un termoplástico. Si bien ambos almidones presentan propiedades mecánicas viables para la elaboración de biopolímeros, se logra concluir que el almidón de cáscara de papa puede alcanzar un bioplástico con mejores propiedades mecánicas debido a que presenta gránulos más esféricos y regulares, los cuales pueden formar estructuras moleculares más estables, así como su alto contenido de amilosa favorece en la gelatinización y logra que la fuerza de tensión presente un incremento en comparación al almidón de cáscara de yuca.

Palabras clave: Almidón, gelatinización, papa, propiedades mecánicas, yuca.

YUCCA (MANIHOT ESCULENTA) AND POTATO (SOLANUM TUBEROSUM) HUSK FLOURS FOR PRODUCTION OF BIOPLASTICS: MECHANICAL PROPERTIES AND GELATINIZING EFFECT

ABSTRACT

Biodegradable products based on agricultural raw materials occupy a large space in research for the development and improvement of starch-based bioplastics that have properties similar to conventional plastics. The objective of this work was to describe the gelatinization and mechanical properties of bioplastics extracted from starches both from cassava peels (*Manihot esculenta*) and potato peels (*Solanum tuberosum*). From a literary bibliographic review complemented with approximately 86 scientific articles, it was possible to verify that the gelatinization of these residues based on their physicochemical and functional properties, improves their mechanical properties. Moreover, the addition of synthetic and natural polymeric substances, plasticizers, fillers, additives, coupling agents, destructuring agents, and water will give the necessary mechanical properties to work as a thermoplastic. Although both starches have viable mechanical properties for the production of biopolymers, it is possible to conclude that potato peel starch can achieve a bioplastic with better mechanical properties due to the fact that it presents more spherical and regular granules, which can form more stable molecular structures; as well as, its high amylose content favors gelatinization and achieves an increase in the tensile strength compared to cassava shell starch.

Keywords: Gelatinization, mechanical properties, yucca, potato, starch.

AMIDOS DE CASCA DE MANDIOCA (*MANIHOT ESCULENTA*) E BATATA (*SOLANUM TUBEROSUM*) PARA PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICOS: PROPRIEDADES MECÂNICAS E EFEITO GELATINIZANTE

RESUMO

Os produtos biodegradáveis à base de matérias-primas agrícolas ocupam um grande espaço nas pesquisas para o desenvolvimento e aprimoramento de bioplásticos à base de amido que apresentam propriedades semelhantes aos plásticos convencionais. O objetivo deste trabalho foi descrever a gelatinização e as propriedades mecânicas de bioplásticos extraídos de amidos, tanto de cascas de mandioca (*Manihot esculenta*) como de cascas de batata (*Solanum tuberosum*). A partir de uma revisão bibliográfica literária complementada com aproximadamente 86 artigos científicos, foi possível verificar que a gelatinização desses resíduos com base em suas propriedades físico-químicas e funcionais melhora suas propriedades mecânicas, além da adição de substâncias poliméricas sintéticas e naturais, plastificantes, cargas, aditivos, agentes de acoplamento, desestruturantes e água darão as propriedades mecânicas necessárias para funcionar como termoplástico. Embora ambos os amidos tenham propriedades mecânicas viáveis para a produção de biopolímeros, é possível concluir que o amido de casca de batata pode atingir um bioplástico com melhores propriedades mecânicas devido ao fato de apresentar grânulos mais esféricos e regulares, podendo formar estruturas moleculares mais estáveis. Além disso, seu alto teor de amilose favorece a gelatinização e atinge um aumento na resistência à tração em comparação ao amido de casca de mandioca.

Palavras chave: Gelatinização, propriedades mecânicas, mandioca, batata, amido.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de polímeros naturales, es una opción ecológica ante la problemática que se genera por la bioacumulación de plásticos, los cuales inhiben el normal funcionamiento de los ecosistemas al incorporar aditivos químicos o contaminantes hidrofóbicos en la cadena trófica (Araujo *et al.*, 2006). En el mundo se producen aproximadamente 3,5 billones de toneladas de desechos de la agricultura (Sadh, 2018). Estos desechos representan un desafío ambiental y tienen altos costos de disponibilidad, según Jin y Col (2010).

En Ecuador existe una amplia gama de materias primas disponibles para la producción de bioplásticos, como los productos amiláceos procedentes de raíces y tubérculos; dentro de las raíces, la yuca es una alternativa relevante para la fabricación de componentes amigables con el ambiente, por su alta disponibilidad, bajo costo y su elevado contenido de almidón (Villada *et al.*, 2008; Corozo *et al.*, 2020). De este modo, se aprovecha la cáscara de yuca que es considerada como producto potencial en la obtención de bioplásticos, la cual inclusive presenta un almidón que se ha emplea combinado con quitosano y sorbitol como plastificante, percatándose variaciones en las propiedades mecánicas, en dependencia de las formulaciones (Fathanah *et al.*, 2013).

La papa, en sus diferentes variedades, es un insumo estudiado por su alto contenido de almidón, su elevado nivel de producción y las buenas características que posee, como la relación amilosa/amilopectina parámetro que define el tiempo de degradación de este biomaterial (Kolawole *et al.*, 2020; Domínguez *et al.*, 2012). Así mismo, la cáscara de papa contiene cantidades suficientes de almidón, celulosa, hemicelulosa y azúcares fermentables que garantizan su uso (Lese *et al.*, 2018; Arapoglou *et al.*, 2010); en investigaciones realizadas, el bioplástico de este residuo refleja propiedades físicas y mecánicas similares a los plásticos tradicionales como el polietileno, polipropileno, ABS, PET, entre otros (García, 2016).

En productos elaborados de almidón, el proceso de gelatinización produce efectos tales como: redes más sólidas y estables térmicamente, distribución homogénea de la amilosa y amilopectina, mayor grado de cristalinidad y disminución en la permeabilidad al vapor de agua (Flores *et al.*, 2007). La modificación física del almidón mediante gelatinización aumenta la termoplastificación de matrices obtenidas a partir de almidón, esta modificación puede incrementar las propiedades mecánicas de los productos en cuanto a resistencia a la tensión, resistencia a la flexión, deformación y rigidez (Ramírez, 2011). Las propiedades mecánicas del bioplástico son descritas a cómo responde el material al aplicar una carga o fuerza y consisten principalmente en su composición, así como en su estructura molecular (Navia *et al.*, 2013). Con base en lo señalado y partiendo de la necesidad de incorporar nuevos materiales que satisfagan la demanda del mercado con respecto a calidad y las exigencias ecológicas

en la actualidad, se realizó el presente trabajo a partir de una revisión bibliográfica para describir la gelatinización y las propiedades mecánicas que aportan las materias primas renovables como el almidón de yuca y papa, ofreciendo varias ventajas como el bajo costo de sustratos y bajo consumo de energía para la elaboración de bioplásticos.

2. DESARROLLO

2.1. Almidones de cáscara de yuca y papa

Existen diferentes variedades de papa en el mundo y en el caso de Ecuador, según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (Cuesta, 2012) se encuentran representantes de *S. tuberosum* y *S. phureja*. Sin embargo, otras especies silvestres, especialmente *S. demissum* y *S. vertifolium*, aportan también líneas parentales de las variedades actuales. La cáscara de la papa considerada "sin valor" en la industria tiene un abundante contenido de almidón, un polvo fino y sin sabor, con mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz, y permite elaborar productos más suaves al paladar (Camacho, 2020). Este almidón se usa para la repostería en general y para la producción de bioplásticos, y puede ser obtenido de *S. tuberosum* L., aprovechando el valor de un residuo agrícola (Rivera & Nevárez, 2009; Huang *et al.*, 2006).

En las zonas montañosas de Ecuador se encuentran dos tipos de variedades de yuca, amarga (*M. utilissima*) y dulce (*M. aipi. S*) (Cárdenas *et al.*, 2013); a partir de las cuales se pueden obtener almidones procesando sus cáscaras (Rendón *et al.*, 2012). La yuca está en transición de un alimento básico con almidón a una materia prima para alimentos y otras industrias. Además, la yuca está disponible en cualquier temporada y durante el proceso de deshidratación tiene una pérdida mínima de sustancias nutritivas. En tal sentido, el almidón de yuca se considera una materia prima con factibilidad para su utilización en la producción de bioplásticos (Martínez *et al.*, 2007). El avance de la tecnología y la necesidad de generar nuevas alternativas para producir bioplásticos ha llevado a los científicos a estudiar estos residuos alimentarios (Bou, 2015).

2.2. Gelatinización

Es un proceso irreversible en el cual existe una transición de fase sol-gel, donde se presenta la pérdida de semicristalización de los granos de almidón en presencia de calor y altas cantidades de agua con muy poca o ninguna despolimerización (Teyssandier *et al.*, 2011). A lo largo de la gelatinización el agua tiende a penetrar en un principio en las regiones amorfas originando el hinchamiento y una disminución de cristalinidad por el desarrollo de las dobles hélices, hasta que ocurre una fragmentación de los gránulos casi por completo.

Como expresa Ceballos y De la Cruz (2012), la gelatinización ocurre en un rango estrecho de temperaturas que varía dependiendo de la fuente del almidón, para la yuca el rango establecido por Techeira et al. (2015), se encuentra dentro de 60°C - 70°C, y para la papa según Acosta *et al.* (2018) entre 56°C - 67°C. Por otra parte, Teyssandier *et al.* (2011) agrega que los tiempos de gelatinización son inversamente proporcional a la concentración de almidón. En tanto más rigidez exista, se da una mayor resistencia, esto se produce debido al choque entre los gránulos hinchados, lo que genera una alta viscosidad (Cajiao *et al.*, 2016). En tales circunstancias, al adicionar más calor, el agua reservada desintegra la estructura ordenada de los gránulos, y la amilosa comienza a difundirse formando un gel que finalmente soporta los gránulos compuestos ante todo por amilopectina. Bajo este contexto, se buscó estudiar las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón extraído de la yuca y papa con la posibilidad de analizar y comparar con estudios previos. A continuación, se presentan los más relevantes en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de almidones de yuca y papa

Almidón	Tipos	Almidón%	pH	Amilosa%	Amilopectina%	Referencias
Yuca Blanca (<i>M. aipi. S</i>) Amarilla (<i>M.utilissima</i>)	Blanca	72,37	6,10	28,25	71,75	Techeira <i>et al.</i> , 2015
	Amarilla	77,49	6,34	31,28	63,00	
	Blanca	89,57	6,23	30,73	69,27	García <i>et al.</i> , 2012
	Amarilla	98,5	6,12	23,00	77,00	Granados <i>et al.</i> , 2014
	Blanca	35,08	5,80	21,61	78,39	Román <i>et al.</i> , 2015
	Amarilla	13,74	5,89	14,23	75,35	Rivier <i>et al.</i> , 2010
	Criolla	65,29	5,70	29,98	70,02	Techeira <i>et al.</i> ,2015
Parda	65,59	6,24	37,80	63,00		
Papa Criolla (<i>S. phureja</i>) Parda (<i>S. tuberosum</i> <i>L</i>)	Criolla	70,49	5,38	21,00	79,00	Hernández <i>et al.</i> , 2008
	Parda	22,05	6,35	15,62	53,09	Zárate <i>et al.</i> , 2014
	Criolla	37,90	6,65	23,39	66,61	Román <i>et al.</i> ,2015
	Parda	13,30	6,54	24,00	70,65	Alvis <i>et al.</i> , 2008

Fuente: Elaboración propia.

Techeira *et al.* (2015) argumenta que el almidón de papa presenta hasta un 37,80 % de amilosa, comparado con el almidón de yuca que presenta entre 14,23 % a 30,73 % (Meneses, 2007). Medina y Salas (2008) reportan que los gránulos de almidón de papa son más esféricos y regulares que los de

otros almidones como yuca y maíz, indicando que este tipo de almidón puede formar estructuras moleculares más estables, esta condición puede reflejarse en una mayor fuerza de ruptura en las películas obtenidas. El almidón de papa tiene gránulos de mucho mayor tamaño con un promedio de 15,22 - 18,30 μm (Pardo *et al.*, 2013; Medina y Salas 2008) a diferencia del gránulo de la yuca 10,38 a 16,5 μm (Silovi *et al.*, 2013 ;Alvis *et al.*, 2008), por lo cual el tamaño de los gránulos del almidón muestra una relación con la proporción amilosa/amilopectina y pueden llegar a tener más capacidad de absorción de agua y su estructura permite la mejor incorporación de moléculas de plastificante y agua en la formación de película (Lopez *et al.*, 2017; Barragán *et al.*,2016). Un alto contenido en amilosa que se presenta en el almidón de yuca provoca mayor fuerza de atracción entre los granos de almidón, esto impide la penetración de agua dentro de los gránulos, retrasando lógicamente el proceso de gelatinización durante el proceso de extrusión y determinación de las propiedades funcionales (Maré, 2009; Solarte, 2019).

2.3. Propiedades Funcionales de la yuca y papa

Las propiedades funcionales de los almidones dependen de la relación amilosa/amilopectina, biopolímeros de diferente estructura molecular que constituyen casi la totalidad del gránulo (Hernández *et al.*, 2008). La absorción de agua y el hinchamiento de los compuestos termoplásticos a base de almidón es importante en ambientes acuosos o húmedos porque estas propiedades determinan su integridad y desempeño (Ramírez, 2011). A continuación, se presenta en la Tabla 2 las propiedades funcionales de los almidones de la papa y yuca que dependen de su naturaleza, morfología y estructura. (Mali *et al.*, 2004; Mishray Rai, 2006; Patel y Seetharaman, 2006; Kaur *et al.*, 2007)

Tabla 2. Propiedades funcionales de almidón de yuca y papa.

Almidón	Tipos	Temperatura de gelatinización	%Índice de solubilidad (ISA)	% Índice de absorbancia (IAA)	% Poder de Hinchamiento (PH)	Referencia
Yuca	Blanca	62,83	3,01	11,09	11,22	García, <i>et al.</i> , 2012
Blanca (M. aipi. S)	Amarilla	60,68	16,50	19,85	27,18	Hernández <i>et al.</i> , 2008
Amarilla (M. utilissima)	Blanca	65	10,00	5,12	7,04	Techeira <i>et al.</i> , 2015
	Amarilla	70	16,02	19,0	18,05	
Papa Criolla (Solanum phureja)	Criolla	76,33	0,92	1,72	1,73	Murillo, 2021
	Parda	76,67	2,91	1,91	1,93	
	Criolla	65,25	9,37	3,709	4,55	

Parda (<i>Solanum tuberosum L.</i>)	Parda	68,4	1,52	3,401	3,63	Acosta <i>et al.</i> , 2012.
	Criolla		7,5	11,8	12,7	
	Parda	60	4,8	10,6	11,1	Martinez, 2015

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran que el almidón de papa tiene más baja solubilidad, en relación a la yuca (**Tabla 2**). Este comportamiento también puede deberse al tamaño del gránulo y la organización supramolecular de los componentes del almidón amilosa/amilopectina (Medina, 2010). Con respecto al índice de absorbancia, los almidones de papa presentan una mayor diferencia con respecto a los de yuca es posible que se deba al menor contenido de amilopectina presente en los almidones de papa (Hwang & Kokin, 2013; Cabero, 2016; Alvis, 2008). El poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad de su contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento (Garnica, 2010). Debido a lo anterior, el almidón de yuca presenta mayor poder de hinchamiento.

2.4. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material revelan la relación que existe entre las fuerzas aplicadas y la respuesta a la misma. Por tanto, es fundamental entender las características del material antes de ser manipulado a la deformidad excesiva que exponga la integridad física del mismo. De acuerdo con Acosta, *et al.*, (2006), los bioplásticos procedentes del almidón de yuca presentan propiedades mecánicas reducidas debido a su semicristalinidad y rápida retrogradación. Del mismo modo Ponce y Guerrero (2014), enfatizan que, al no exponer el almidón a condiciones de humedad (como estar disuelto en agua), genera que las propiedades mecánicas disminuyan, provocando grietas y fragilidad en el material.

El almidón de papa es una de las materias primas más utilizadas en la industria de los bioplásticos, esto debido a sus características de baja temperatura de gelatinización (Pardo *et al.*, 2013). Las propiedades mecánicas del almidón tanto de yuca como de papa en cuanto a resistencia y flexibilidad, dependen de la región cristalina, la cual a su vez depende de la proporción entre amilosa y amilopectina del polisacárido (Ruiz, 2006).

Para hacer posible la fabricación de un polímero a partir de almidón de la cáscara de papa y yuca, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su

obtención. Los bioplásticos requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros (Meneses, 2007).

2.5. Procesamiento

Para desarrollar biopolímeros, la materia prima en el caso de almidón de papa ya sea criolla o parda y yuca amarilla o blanca, deben añadirse diversos tipos de hidroxácidos aromáticos o alifáticos, ésteres de celulosa, poliésteres (lactonas), ácidos bicarboxílicos alifáticos (ácido maleico, fumárico, y otros), poliuretanos, entre otros. Se usan también materiales poliméricos como poliésteres aromáticos, poliesteramidas (Paredes *et al.*, 2017; Lorcks, 2011). Según Favis (2006), reporta el uso de polímeros sintéticos como polietilenvinil alcohol, ácido polietileno-coacrílico, acetato de polivinilo y acetato de etilenvinilo. Entre los más comunes se encuentran el ácido poliláctico y la policaprolactona para garantizar ciertas condiciones que optimicen el producto final y sus propiedades mecánicas (Cardona, 2013). La gelatinización cumple una función específica, en pro de mejorar diversas propiedades como las mecánicas, entre otras. Para la gelatinización del almidón de cáscara de yuca y papa se encontraron diversos métodos para la obtención de bioplásticos entre los cuales se destaca el de Navia *et al.* (2015), donde utilizan la técnica de termo-compresión para la obtención de los bioplásticos haciendo ensayos con dos tratamientos diferentes a las materias primas que son harina de yuca gelatinizada (HG) y harina de yuca sin gelatinizar (HSG) ambas mezcladas con fibra de fique y glicerol. Para la evaluación de las pruebas de tensión y flexión se utiliza un texturómetro (Shimadzu, EZ Test L, Japón), equipado con una celda de carga de 500 N.

De acuerdo a Enríquez *et al.* (2012), las formas de procesamiento más comunes de las películas biodegradables basadas en almidón son moldeo, extrusión y prensado. Para efectuar el moldeo, el almidón y otros componentes como el plastificante y algunos polímeros se dispersan en una cantidad de agua de 5 a 15 veces el peso del almidón de papa y la suspensión resultante se calienta con agitación constante, se moldea como película y se seca de manera adecuada.

El calentamiento se hace con el fin de gelatinizar el almidón, fundir otras sustancias y remover burbujas que pueden afectar la calidad final de la película. Posteriormente, se efectúa el secado. En la operación de extrusión, el almidón se mezcla con el agua y el plastificante hasta formar una matriz que sea procesable, y que pueda ser mezclada con otros polímeros. Se hace el calentamiento de las diversas zonas del barril y el compuesto es extruido a través de un dado, en forma de ranura, a temperaturas necesarias entre 60 y 70 °C para lograr la gelatinización del almidón. En el proceso de prensado, una mezcla de los componentes, preferiblemente almidón, plastificante y polímeros, se pasa a través de un molino para caucho, la mezcla resultante se lamina en hojas delgadas o películas. De modo que la extrusión es la técnica más empleada debido a que permite ejecutar varias operaciones

tales como mezclado, compresión, calentamiento, moldeo, soplado, entre otras, facilitando así la gelatinización de almidón (Zárate *et al.*, 2011).

Los procedimientos efectuados por Ortíz *et al.* (2013), Mata y Vásquez (2014), en donde se realiza pruebas experimentales preliminares, variando las diferentes concentraciones de almidón (como materia principal), agua (hidratante y plastificante), glicerol (plastificante) y ácido clorhídrico (modificador químico). El procedimiento consiste en agitar hasta llegar a una mezcla homogénea que se mantiene a una temperatura ambiente, luego se eleva a una temperatura máxima de hasta 80°C para que proceda la gelatinización del almidón con un tiempo de producción entre 10 y 20 minutos.

Alarcón y Arrollo (2016), enfatizan que la experiencia se realizó utilizando almidón sin modificar (almidón natural sin tratamiento), y almidón modificado químicamente con ácido acético para reemplazar el grupo hidroxilo de las moléculas del almidón, por algún grupo éster o éter; utilizando la muestra tratada con ácido acético ya que esta alcanzó la mayor cantidad de amilosa. Teniendo en cuenta que se deben controlar las condiciones en cada etapa del proceso se diseña un biorreactor, que de manera automática mantiene las condiciones del proceso de manera óptima. Cuando la mezcla llega a los 70 °C empieza la gelatinización la entre un tiempo de 8 a 12 minutos, mejorando las pruebas mecánicas, los resultados de su estudio muestran que el almidón modificado presenta favorables propiedades mecánicas por la adición ácido acético al 5%, debido a que mejora la relación de amilosa y amilopectina 61,76% y 38,28 respectivamente. García (2016)

López (2017), plantea que para la evaluación de propiedades mecánicas en las películas elaboradas con tres materiales (almidón de yuca, papa y suero de leche), se emplea el manejo de agua destilada de ingrediente base y glicerol como plastificante (Mukuze, 2019).

La disolución se lleva con un tratamiento térmico hasta la gelificación y luego se moldea en cajas Petri de vidrio para llevar a secado. La gelificación se dio a temperatura de 60°C por 20 min y el secado se realiza a 65°C en 8 horas en una estufa al vacío. Para la evaluación de las propiedades mecánicas de películas biodegradables el procedimiento se efectúa de acuerdo a la norma ASTM D882-10. Por lo que se refiere a las propiedades mecánicas se lleva a efecto la comparación entre la yuca y papa en la **Tabla 3** que corroboran con las pruebas de elongación y tracción luego de efectuar su elaboración.

Tabla 3. Propiedades mecánicas de películas biodegradables de almidón de yuca y papa

Almidón	Espesor Película (mm)	Esfuerzo Máximo a la ruptura (N)	Elongación %	Elasticidad (Mpa)	Referencias
Papa	0,16	6,07	14,38	2,37	Alarcón <i>et al.</i> , 2016
	0,339	3,95	25,75	3,32	López <i>et al.</i> , 2017
	0,16	8,33	44,76	2,57	Sánchez & Ramos, 2019
	0,24	12,36	42,49	5,08	Alarcón & Arrollo, 2014
Yuca	0,119	10,33	41,32	13,39	Souza <i>et al.</i> , 2009
	0,564	5,85	67,03	8,23	González, <i>et al.</i> , 2009
	0,321	13,1	71,06	23,43	Montilla <i>et al.</i> , 2014
	0,340	11,6	78,11	18,76	Ramírez, 2013

Fuente: Elaboración propia.

Las propiedades mecánicas desempeñan un papel fundamental en la elaboración de bioplásticos, en virtud a lo mencionado de acuerdo a la literatura revisada los autores (López *et al.*, 2017; Sánchez y Ramos., 2019; Alarcón *et al.*, 2016; Alarcón y Arrollo., 2014); obtienen en sus estudios experimentales que las propiedades mecánicas fueron inferiores en sus módulos de elasticidad y esfuerzo máximo a los plásticos convencionales. Para lo cual el esfuerzo máximo a la ruptura se presenta entre 3,95 y 12,36 Mpa a diferencia de los plásticos tradicionales estudiados por (Franco y MasPOCH, 2017; Acosta, 2001) que varían entre 42,2 a 124,1 Mpa. Sin embargo, los valores de elongación de los bioplásticos elaborados a partir de papa corresponde a valores de 14,38 a 44,76 Mpa que son comparables con los plásticos tradicionales con valores de 15,5, 27,01 y 50,45 Mpa, según (Narváez, 2016; Nieto, 2016; Acosta, 2001). Mientras tanto (Souza *et al.*, 2019; Gonzalez *et al.*, 2009; Montilla *et al.*, 2014; Ramirez & Quintero., 2013); en sus experimentaciones utilizaron almidón de cáscara de yuca obtienen en sus resultados valores de elasticidad de 13,39 y 18,76 Mpa mayores al esfuerzo máximo a la ruptura que son 10,33 y 13,1 Mpa los cuales son más bajos que los valores de la elasticidad de los plásticos convencionales.

En relación con lo que se menciona en ciertas investigaciones han argumentado que al realizar técnicas de procedimiento que incluyan calor y presión, ocasionan modificaciones en la estructura del material bioplásticos, que no favorecen su desempeño mecánico. Enmarcando en el tema, se ha reportado que al trabajar con materiales a los que se le extrae almidón en este caso yuca y papa, las temperaturas mayores a 70°C pueden desnaturalizar las proteínas las cuales crean acumulaciones con

el almidón gelatinizado causando concentración de la capacidad de resistencia mecánica en algunos puntos del material, debilitando las zonas restantes, en consecuencia, disminuyendo la tensión (Espinel y López, 2009).

Simultáneamente en los sistemas de mezclas con base en el almidón de yuca o papa, uno de los factores más importantes que afectan las propiedades mecánicas es la afinidad interfacial con la matriz de polímero, las cuales pueden mejorarse con la gelatinización del almidón (Park, 2015; Cajiao, 2016).

Flores et al. (2007), argumentan que, en productos elaborados con almidón, el proceso de gelatinización produce efectos tales como: redes más sólidas y estables térmicamente, distribución homogénea de la amilosa y amilopectina, mayor grado de cristalinidad y disminución en la permeabilidad al vapor de agua. Adicionalmente, la gelatinización permite la formación de redes con fuertes uniones intermoleculares, se reduce la tendencia a la retrogradación y se presenta una menor velocidad de absorción de agua (Tako *et al.*, 2012).

Las diferencias entre los tipos de almidones con respecto a su estructura (tamaño, forma, presencia de poros, canales y cavidades) son reconocidas; debido a que éstas atienden a su origen botánico e inciden en sus propiedades funcionales. (Sivolí, 2012; Martínez et al., 2019).

Domínguez & Jiménez (2012), señalan que de la cantidad contenida de amilosa se atribuye en mayor cantidad al almidón de papa frente al almidón de yuca, esto refleja que un biopolímero fabricado con este almidón presenta mejor gelatinización y por ende mejores propiedades mecánicas como lo son elongación, elasticidad y esfuerzo a la ruptura.

Aristizábal & Sánchez (2007) manifiestan que una alta absorción, una baja solubilidad y un alto poder de hinchamiento, son muestras de una buena calidad de los almidones, por ende, favorecerá en la gelatinización. Saibene & Seetharaman (2010) señalan que factores como el tamaño del gránulo y contenido amilosa/amilopectina pueden influenciar el poder de hinchamiento del gránulo de almidón. El poder de hinchamiento de los gránulos de almidón en las células es a menudo un factor que incide en la ruptura de éstas, este parámetro permite observar el incremento del tamaño de gránulo por efecto de la expansión relacionándose con la capacidad de absorción de agua de cada gránulo (Rivas et al, 2009), evidenciándose que, al aumentar gradualmente la temperatura, se produce también el incremento del poder de hinchamiento (Anderson *et al.*, 2012).

Según De la Torre et al. (2008); Adebawale *et al.* (2008) y Anderson et al. (2012), un alto contenido de amilosa produce un bajo poder de hinchamiento, por lo que requieren de mayor temperatura para que los enlaces de hidrógeno se rompan en las áreas amorfas, provocando un proceso irreversible,

contribuyendo así, a la absorción progresiva del agua en los gránulos de almidón. Para esto Acosta (2012), indica que las propiedades funcionales proporcionan al bioplástico resistencia mecánica y flexibilidad además se debe tener en cuenta que los almidones ricos en amilosa, poseen una mayor capacidad de moldeo y gelificación, en caso contrario el almidón se torna espeso, pero no gelifica.

3. CONCLUSIONES

Los almidones obtenidos de la yuca (*Manihot esculenta*) y la papa (*Solanum tuberosum*) presentan similitudes en sus propiedades fisicoquímicas; sin embargo, el almidón de cáscara de papa muestra una mejor absorción de agua por su alto contenido de amilosa que a la vez favorece la gelatinización, y sus propiedades funcionales: (índice de solubilidad, índice de absorción y poder de hinchamiento), mejorando las propiedades mecánicas. Por otra parte, las propiedades mecánicas del almidón de cáscara de yuca presentan poca resistencia a la ruptura en relación con su módulo de elasticidad, con respecto al almidón de cáscara de papa y los plásticos tradicionales.

Las cáscaras de ambos tubérculos pueden utilizarse como materia prima para el desarrollo de los bioplásticos, siendo el almidón de papa (*S. tuberosum*) el producto que permite obtener mejores resultados; no obstante, se recomienda una investigación en la que se busquen opciones en cuanto a los aditivos utilizados para la producción de los biopolímeros, ya que estos aportan mejores propiedades mecánicas y de gelificación al producto.

4. REFERENCIAS

- Acosta, H., Villada, H., & Prieto, P. (2006). Envejecimiento de almidones termoplásticos agrios de yuca y nativos de papa por microscopía de fuerza atómica. *Información Tecnológica*, 17, 71-78. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000300011>
- Acosta, J (2001). Fracturas de materiales poliméricos a altas temperaturas de sollicitación. Tesis de grado de ingeniería metalúrgica. Universidad politécnica de Catalunya. Barcelona.
- Acosta, J. (2018). Evaluación del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) en la obtención de bioplástico. *Bionatura: Latin American Journal of Biotechnology and Life Sciences*, 1, 1-12. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/CS/2018.01.01.2>
- Acosta, G., Fandiño, P., & Ante, L. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, manihot esculenta, variedad, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 11(1). <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2013.382>
- Adebowale, A., Sanni, S., & Oladapo, F. (2008). Chemical, Functional and Sensory Properties of Instant Yam - Breadfruit Flour. *Nigerian Food Journal*, 26(1). <http://doi.org/10.4314/nifoj.v26i1.47417>
- Alarcon, C & Arrollo, E. (2014). Obtención de biopolímeros de papa como una alternativa al desarrollo de materiales inocuos al medio ambiente. *Revista Técnica*, 24(1):1-7.
- Alarcón, C. & Arrollo, E. (2016). Evaluation of chemical and mechanical properties of biopolymers by modified potato starch. *Rev. Soc. Quím. Perú*. 82(3), 315-323. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v82n3/a07v82n3.pdf>
- Alvis A., Vélez, C., Villada, H., & Rada, M. (2008). Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas. *Información tecnológica*. 19(1), 19 – 28. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>
- Anderson, R., Conway, H., & Peplinski, A. (2012). Gelatinization of corn grifts by roll and extrusion cooking, extrusion Cooking and Steaming. *Cereal Science Today*, 22(4), 130 - 135. <https://doi.org/10.1002/star.19700220408>
- Arapoglou, D., Varzakas, T., Vlyssides, A., & Israelides., C. (2010). Ethanol production from potato peel waste (PPW). *Waste Management*, (30), 1898-1902. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.017>

- Araujo, C., Rincón, A & Padilla, F. (2006). Caracterización del almidón nativo de *Dioscorea bulbifera* L. Archivos latinoamericanos de nutrición, 54(2), 241-245. <https://alanrevista.org/ediciones/2004/2/art-16.pdf>
- Aristizábal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía Técnica para la Producción y Análisis de Almidón de Yuca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia. <http://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>
- Barragán, K., Salcedo, J., & Figueroa, J. (2016). Propiedades tecnofuncionales de almidón modificado de yuca (*Manihot esculenta* C.) por pregelatinización tipo batch. Agron. Colomb, (1), 317-320. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.sup.2016n1.58034>
- Bou, L., Vizcarrondo, A., Rincón, M., & Padilla, F. (2015). Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 56 (4), 375-383. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2006/4/art-10/>
- Cajiao, E., Bustamante, L., Cerón, A., & Villada, H. (2016). Efecto de la gelatinización de harina de yuca sobre las propiedades mecánicas, térmicas y microestructurales de una matriz moldeada por compresión. Información tecnológica, 27(4), 53-62. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000400006>
- Camacho, H., Campos, D., Mercado, I., & Cubillán, N. (2020). Uso de las cáscaras de papa (*Solanum tuberosum* L) en la clarificación del agua de la Ciénaga de Malambo, 8(1), 100-111. <https://doi.org/10.17081/invinno.8.1.3572>.
- Cárdenas, F., & Hinojosa, F. (2013). El proyecto yuca en Ecuador. Revista Informativa INIAP, 1, 45-46. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1325>
- Cardona, A., Mora, A., & Marín, M. (2013). Identificación molecular de bacterias productoras de Polihidroxialcanoatos en subproductos de lácteos y caña de azúcar. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 66(2), 7129-7140. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v66n2/v66n2a13.pdf>
- Ceballos, H., & De la Cruz, A. (2012). Taxonomía y morfología de la yuca. La yuca en el tercer milenio, 16-31. Cali: CIAT, 570. <https://hdl.handle.net/10568/55239>
- Corozo, L., Héctor, E., Macías, F & Arteaga, F (2020). Micro propagación de dos variedades ecuatorianas de yuca (*manihot esculenta* crantz) micropropagation of two ecuadorian varieties of yuca (*manihot esculenta* crantz). Revista Chilena J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia, 36(3):224-232.
- Cuesta, X., Andrade, H, Bastidas, O., Quevedo, R., & Sherwood, S. (2012). Botánica y mejoramiento genético. El cultivo de la papa en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias - Centro Internacional de la Papa (INIAP-CIP). Quito, Ecuador, 124. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2804>
- De la Torre, L., Macía, J., Henrik, B. (2008). Plantas útiles del Ecuador. Herbario QCA & Herbario AAU. Quito & Aarhus. <https://bibdigital.rjb.csic.es/records/item/16016-redirect>
- Domínguez, M., & Jiménez, M. (2012). Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. Temas selectos de ingeniería de alimentos, (6), 110 - 121. [http://www.TSIA-6\(2\)Dominguez-Courtney-et-al-2012.pdf](http://www.TSIA-6(2)Dominguez-Courtney-et-al-2012.pdf)
- Enríquez, M., Reinaldo, M., & Ortiz, V. (2012). Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 10(1), 182-192. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v10n1/v10n1a21.pdf>
- Espinell, E., & López, E. (2009). Purification and characterization of α -amylase from *penicillium commune* produced by solid state fermentation. Revista Unal. Bogotá. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcq/v38n2/v38n2a01.pdf>
- Fathanah, U., Lubis, M., Rosnelly, C., & Moulana, R. (2013) Making and Characterizing Bioplastic from Cassava (*Manihot utilisima*) Peel Starch with Sorbitol As Plasticizer. En: The 7th International Conference of Chemical Engineering on Science and Applications: 148-154.
- Favis, B., Rodriguez, F., & Ramsay, B. (2006). Method of making polymer compositions containing thermoplastic starch. US6844380. U.S. PTO. <https://patents.google.com/patent/US6844380B2/en>
- Flores, S., Fama, L., Rojas, M., Goyanes, S., & Gerschenson, L. (2007). Physical properties of tapioca-starch edible films: Influence of filmmaking and potassium sorbate, Food Research International, 40 (2), 257-265. <https://doi.org.10.1016/j.foodres.2006.02.004>
- Franco, E., Maspocho M (2017) Evaluación de las propiedades mecánicas en mezclas de Poliestireno/Polietileno de baja densidad reciclado y tamizado. Revista Afinidad: 221-227
- García, A. (2016) "Obtención de un Biopolímero biodegradable a Partir de Almidón de maíz", Revista Bionatura. <http://revistabionatura.com/files/CS-2018.01.01.2---Revista-bionatura.pdf>
- García, A., Pinzón, M & Sánchez, L (2013). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. Rev. Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria, 11(1):13-21. <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2013.382>
- Garnica, A., Prieto, L., Rocío, A & Cerón, M (2010). Características funcionales de almidones nativos extraídos de clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L. subespecie andigena) para la industria de alimentos. Alimentos Hoy, 19(21): 125-129
- Gonzalez J, Rojas H, Ichazo M. (2009). Propiedades mecánicas de mezclas PEBD/PELBD con cáscaras de almidón de yuca sometidas a un proceso de degradación en el suelo. 23.
- Granados, C., Guzman, L., Acevedo., Diaz, M & Herrera, A. (2014). Propiedades funcionales del almidon de sagu (*maranta arundinacea*). Rev. Bio.Agro, 12(2):90-96. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v12n2/v12n2a10.pdf>

- Granda, J & Ramos, Y. (2019). Estudio de la resistencia a la tracción y deformación de bioplásticos obtenidos a partir de almidón de solanum Tuberosum a diferentes porcentajes de plastificante. Tesis de grado de ingeniero en materiales. Universidad Nacional de Trujillo – Facultad de ingeniería. Perú.
- Hernández, M., Torruco, J., Chel, L., & Betancur, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Huang, T., Duan, K., & Huang, S. (2006). Production of polyhydroxyalkanoates from inexpensive extruded rice bran and starch by *Haloferax mediterranei*, *Microbiology Biotechnology* 33, 701–706. <https://doi.org/10.1007/s10295-006-0098-z>
- Hwang, J. & Kokini, I. (2013). Contribution of the side branches to rheological properties of pectins, *Carboh, Polym.*: 19(1), 41-50.
- Jin, B., Yin, P., Ma, Y & Zhao, L. (2010). Production of lactic acid and fungal biomass by *Rhizopus fungi* from food processing waste streams. *Revista Microbiol Biotechnol.*, 32, 678-686. <https://doi.org/10.1007/s10295-005-0045-4>
- Kaur, A., Singh, N., Ezekiel, R y Guraya, H. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101:643 – 651. 10.1016/j.foodchem.2006.01.054
- Kolawole, F., Akinwande, B & Ade, Beatrice (2020). Physicochemical properties of novel cookies produced from orange-fleshed sweet potato cookies enriched with sclerotium of edible mushroom (*Pleurotus tuberregium*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19(2): 174-178. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.09.001>
- Lese, V., Holland, E; Wairiu, M; Havea, R., Patolo, S., Nishi, M., Hoponoo, T., Bourke, M., Dean, A & Waqainabete, L. (2018). Facing food security risks: The rise and rise of the sweet potato in the Pacific Islands. *Journal of Global Food Security*, 18(1): 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2018.07.004>
- López, D., Ceron, A., Osorio, O., Checa, O., & Villada, H. (2017). Evaluación de propiedades mecánicas de películas biodegradables a base de almidón de papa, almidón de yuca y proteína de suero de leche. *Revista Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 2 (1) ,582-587. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume2/3/10/95.pdf>
- Lorcks, J., Pommeranz, W. & Schmidt, H. (2011). Compositions and methods for manufacturing thermoplastic starch blends. US6235816. U.S. PTO. <https://patents.google.com/patent/US6235816B1/en>
- Mali, S., Karam, L., Pereira, L., y Grossman, M. (2004). Relationships among the composition and physicochemical properties of starches with the characteristics of their films. *J. Agric. food che.* 52:7720 – 7725. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf049225%2B>
- Martinez, A., Velasco, C., De Icaza, M., y Castaño, V. (2007). Dynamical-mechanical and thermal analysis of polymeric composites reinforced with keratin biofibers from chicken feathers. *Composites: Part B*, 38(3), 405-410. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2006.06.013>
- Martínez, P., Peña, F., Gómez, Y., Vargas, G., & Velezmoro, C. (2019). Propiedades físicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones nativos y acetilados obtenidos a partir de la papa (*Solanum tuberosum*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(3), 338-351. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n3/a06v85n3.pdf>
- Maulida, M., Siagian, M., & Tarigan, P. (2016) Production of Starch Based Bioplastic from Cassava Peel Reinforced with Microcrystalline Cellulose Avicel PH101 Using Sorbitol as Plasticizer. *J. Phis. Conf. Ser.*, 710, 30-31. <https://doi:10.1088/1742-6596/710/1/012012>
- Medina, C., Paredes, A., Rodríguez, M., Moreno, M., Camacho, D., García, D. & Ojeda, C.(2010). Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango. *Bioagro*, 22(1), 67-74.
- Medina, J., & Salas, J. (2008). Morphological Characterization of Native Starch Granule: Appearance, Shape, Size and its Distribution. En: *Revista Ingeniería*. Universidad de los Andes, 28(27), 57 – 62 <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n27/n27a7.pdf>
- Meneses, J., Corrales, C., & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería de Antioquia*, 57- 67 <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n8/n8a06.pdf>
- Meré J. Estudio del procesamiento de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid; 2009.
- Mishra, S. y Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids* 20:557 – 566. <10.1016/j.foodhyd.2005.01.001>
- Montilla, Delgado K, Varona G, Villada H. (2014). Efecto del ácido esteárico en las películas flexibles del almidón de yuca. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*. 6.
- Mukuze, S., Magut, H., & Frankson, L. (2019). Comparison of Fructose and Glycerol as Plasticizers in Cassava Bioplastic Production, 6(1), 41-52. <https://doi.org/10.21467/ajgr.6.1.41-52>
- Murillo, M & Alvis, A (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón obtenido de dos variedades de batata (*Ipomoea batata*).*Rev.Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 19(1):117-127. <https://doi.org/10.18684/BSAA>
- Navia, D., Ayala, A., & Villada, H. (2011). Isotermas adsorciones de bioplásticos de harina yuca moldeados por compresión. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 9(1), 77-87. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v9n1/v9n1a10.pdf>

- Navia, D., Villada, H., & Ayala, A. (2013) Evaluación mecánica de bioplásticos semirrígidos elaborados con harina de yuca. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2, 77-84. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1nspe/v11n1nspe09.pdf>
- Navia, D., Ayala, A., & Villada, H. (2015). Efecto de la gelatinización de la harina de yuca sobre las propiedades mecánicas de los bioplásticos. *Revista Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. vol.13 No.1 (38-44) <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v13n1/v13n1a05.pdf>
- Ortíz, M., Villalobos, M., Prado, M., Peña, A., Avalos, T., Martínez, M., & León, J. (2013). Desarrollo de una película plástica a partir de almidón extraído de papa residual. *Revista Ciencias de la Ingeniería y Tecnología*. Valle de Santiago, Guanajuato. <http://www.ecorfan.org/handbooks/pdf/IT1c18.pdf>
- Pardo, O., Castañeda, J., & Ortiz, A. (2013). Thermal and structural characterization of starches from different potato varieties. *Acta Agronómica*, 62(4), 289-295. <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169930016002.pdf>
- Paredes, J., Pérez S, C., & Castro, C. (2017). Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. *Enfoque UTE*, 8(3), 1-15. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>
- Park, J., Soon, S., Kim, S., & Kim, Y. (2015) Biodegradable polymer Blends of poly (l- lactic acid) and gelatinized starch. *Polymer Engineering and Science*. Brookfield-USA, 40(12), 2539-2540. <https://doi.org/10.1002/pen.11384>
- Pate, B y Seetharaman, K (2006) . Effect of heating rate on starch granule morphology and size. *Carbohydrate polymers* 65:381 – 385. [10.1016/j.carbpol.2006.01.028](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.01.028)
- Ponce, S., & Guerrero, V. (2014). Propiedades mecánicas de compuestos biodegradables elaborados a base de ácido poliláctico reforzados con fibras de abacá. *Revista EPN*, 33(2), 1-11 https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/viewFile/56/pdf
- Ramírez J., Quintero F. (2013). Estudio del mecanismo de gelatinización del almidón de yuca. Obtenido-de-Researchgate:https://www.researchgate.net/publication/235934297_Estudio_del_Mecanismo_de_Gelatinizacion_del_Amidon_de_Yuca
- Ramirez, M. (2011). Study of the properties of biocomposites. Part I. Cassava starch-green coir fibers from Brazil, *Carbohydrate Polymers*, 86, 1712-1722. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.002>
- Rendón, O., Garzón, C., Lisímaco, A., & Vélez, C. (2012). Influencia del momento de aplicación de un recubrimiento en la conservación de yuca, (1), 26-31. <https://doi.org/10.23850/22565035.26>
- Rimsa, S., & Tatarka, P. (2009). Starch ester blends with linear polyesters. U.S. PTO. <https://patents.google.com/patent/EP0663936B1/en>
- Rivas, M., Zamudio, P., & Bello, L. (2009). Efecto del grado de acetilación en las características morfológicas y fisicoquímicas del almidón de plátano. *Revista Mexicana de Ingeniería Química (México)*, 8(3), 291-297. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v8n3/v8n3a8.pdf>
- Rivera, L., & Nevárez, G. (2009). Fuentes de carbono económico para la producción de bioplásticos bacterianos. *Tecnociencia* 3(2), 58 – 63. <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/730/845>
- Rivier, M., Moreno, M., Alarcón, F., Ruiz, R & Dufour, D (2010). Almidon agrario de yuca en Colombia: (Tomo 2). Planta procesadora: descripción y plano de los equipos. Colombia: Edición Ciat.
- 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. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33937066010>
- Ruiz, A. (2006). Obtención y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Ingeniería y Ciencia*, 2(4), 5-28. <https://www.redalyc.org/pdf/835/83520401.pdf>
- Sadh, Pk., Duhan, S., & Duhan, J. (2018) Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresour. Bioprocess.* 5(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>
- Saibene, D., & Seetharaman, K. (2010). Amylose involvement in the amylopectin clusters of potato starch granules. *Carbohydrate Polymers* 82(2), 376 – 383. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.070>
- Sívoli, L., Pérez, E., & Rodríguez, P. (2012). Análisis estructural del almidón nativo de yuca (Manihot esculenta C.) empleando técnicas morfométricas, químicas, térmicas y reológicas. *Rev. Fac.Agron*, 293-313. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/27057/27681>
- Solarte, J. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Rev. Inf. Tecnol*, 30(6), 58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Souza L, Wanderlei C, Marconcini, Ramirez J. (2009). Propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis de amido de mandioca adicionados de nanofibrilas de algodão . *Revista Agropecuaria*, 6.
- Tako, M., & Hizukuri, S. (2012). Gelatinization mechanics of potato starch. *Carbohydr. Polym*, 48: 397-401. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00287-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00287-9)
- Techeira, N., Sivoli, L., Perdomo, B., Ramírez, A & Sosa, F. (2015). Caracterización físicoquímica, funcional y nutricional de harinas crudas obtenidas a partir de diferentes variedades de yuca (Manihot esculenta Crantz), batata (Ipomoea batatas Lam) y ñame (Dioscorea alata), cultivadas en Venezuela. *Interciencia*, 39(3), 191-197. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/10/191-c-TECHEIRA-7.pdf>
- Teyssandier, P., Cassagnau, V., & Mignard, F. (2011). Sol-gel Transition and Gelatinization kinetics of wheat starch *Carbohydrate Polymers*: 400-406. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.07.061>

- Villada, H., Acosta, H., & Velasco, R. (2008). Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. *Información Tecnológica*. 19(2): 3-14. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000200002>
- Zárate, L., Martínez, I., Romero, A., Partal, P., & Guerrero, A., (2011). Wheat gluten-based materials plasticised with glycerol and water by thermoplastic mixing and thermomoulding. *J. Sci. Food Agric.* 91 (4): 625–633. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4224>.
- Zárate, L., Ramírez, L., Otálora, N., Prieto, L., Garnica, A., Cerón, M & Argüelles, J. (2014). Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*solanum tuberosum*, grupo phureja). *Rev. Latinoamericana de la papa*, 18(1):1-24. <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/206/209>

Contribución de autores

Autor	Contribución
Carla Virginia Vélez Martínez	Concepción y diseño, investigación; metodología, redacción y revisión del artículo
Xiomara Soledad Zambrano Murillo	Concepción y diseño, investigación; metodología, redacción y revisión del artículo
María Hipatia Delgado Demera	Investigación; adquisición de datos y análisis e interpretación.
Gabriel Alfonso Burgos Briones	Investigación; adquisición de datos y análisis e interpretación.
Carlos Alfredo Cedeño Palacios	Investigación; adquisición de datos y análisis e interpretación.

Citación sugerida: Vélez, C., Zambrano, X., Delgado, M., Burgos, G., Cedeño, C. (2021). Almidones de cáscara de yuca (*manihot esculenta*) y papa (*solanum tuberosum*) para producción de bioplásticos: propiedades mecánicas y efecto gelatinizante. *Revista Bases de la Ciencia*, 6(2), 137-152. DOI: https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v%vi%i.3293 Recuperado de: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3293>