

Artículo de Revisión

Almidón de camote: Modificaciones enzimáticas, físicas y químicas: Una revisión

Sweet potato starch: Enzymatic, physical and chemical modifications:
A review

Luz Araceli Ochoa-Martínez¹, Héctor Alejandro Luna-Solís¹, Gabriela Bermúdez-Quiñones¹

¹Tecnológico Nacional de México/I T de Durango. Felipe Pescador 1830 Ote., 34080 Durango, Dgo., México

*Correspondencia: aocchoa@itdurango.edu.mx (Luz Araceli Ochoa-Martínez)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i3.854>

Recibido: 23 de septiembre de 2021; Aceptado: 24 de noviembre de 2021

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Resumen

El almidón es el principal carbohidrato de reserva en productos vegetales y es ampliamente utilizado en la industria alimentaria. El camote (*Ipomea batatas* L.) es una fuente importante de almidón, ya que forma parte de su composición química en el rango de 50 - 80%. Sin embargo, en su forma nativa carece de propiedades que lo conviertan en un material adecuado para aplicaciones en productos alimenticios. Por esto, con la finalidad de subsanar tal desventaja se recurre a procesos de modificación que permitan cambiar sus propiedades fisicoquímicas como la cristalinidad, viscosidad, tamaño de gránulo, temperatura de gelatinización, retrogradación, solubilidad, poder de hinchamiento, absorción de aceite, propiedades reológicas y de empastado. Las modificaciones del almidón se centran en tres tipos de métodos: los enzimáticos (altamente eficientes), los físicos (diversos y económicos) y los químicos (selectivos). Cada vez resulta de mayor interés probar métodos de modificación en nuevas fuentes de almidón y debido a la alta producción de camote a nivel mundial, es importante mostrar los contrastes de los diferentes métodos utilizados. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es mostrar los estudios realizados para la modificación de almidón de camote y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas.

Palabras clave: hidrólisis, gelatinización, propiedades funcionales, amilosa, microestructura

Abstract

Starch is the main carbohydrate reserve in vegetable products and is widely used by the food industry. Sweet potato (*Ipomea batatas* L.) is an important source of starch. It accounts for 50 to 80% of the dry matter. However, its native form lacks properties that make it an ideal material for applications in food products. In order to overcome such disadvantages, it is necessary to carry out modification processes to change its physicochemical properties such as crystallinity, viscosity, granule size, gelatinization temperature, retrogradation, solubility, swelling power, oil absorption,

and rheology and pasting properties. Modifications of sweet potato starch focus on three types of methods: enzymatic (highly efficient), physical (diverse and inexpensive) and chemical (selective). Nowadays, it is important to try modification methods in new sources of starch, and due to the high production of sweet potato worldwide, it is important to show the contrasts of the different methods used. Therefore, this review aims to show the studies carried out for enzymatic, physical and chemical modification of sweet potato starch and its effect on the physicochemical properties.

Keywords: hydrolysis, gelatinization, functional properties, amylose, microstructure

Introducción

El camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) es una planta de la familia *Convolvulaceae*, presenta raíces de almacenamiento, con hojas alternas en forma de lóbulos palmeados o corazón, son afiladas y largas. Las raíces tienen una cáscara de color beige, amarillo, naranja, marrón, morado o rojo y su pulpa es amarilla, blanca, naranja, morada, roja, rosa o violeta según el cultivar (Mu y Jaspreet, 2019). La producción anual mundial de camote en 2019 fue de 91.8 millones de toneladas métricas (FAOSTAT, 2020), es cultivado principalmente en China, Nigeria y Estados Unidos.

Actualmente el aprovechamiento del camote está enfocado a la obtención de almidón, ya que es el componente principal (50 - 80%) de la materia seca (Ziska *et al.*, 2009; Trancoso-Reyes *et al.*, 2016). El almidón tiene un papel muy importante en la nutrición y suministro de energía metabólica para los seres humanos (Huang *et al.*, 2016). Estructuralmente es un carbohidrato de alto peso molecular que se compone principalmente de dos tipos de polímeros, amilosa (13.3 – 26.8 %) y amilopectina (73.2 - 86.7 %) (Abegunde *et al.*, 2013). La estructura de la amilosa consiste en una cadena polimérica lineal formada por monómeros de α -D-glucosa, unidas por enlaces α -(1- 4), con un grado de polimerización (DP) de 500 – 600 residuos de glucosa. La amilopectina es una estructura ramificada formada por unidades α -D-glucosa unidas con enlaces α -(1- 4) y α -(1- 6), con un grado de polimerización en el rango de 3×10^5 – 3×10^6 . La proporción de estos componentes en el almidón contribuyen sustancialmente a la definición de sus propiedades funcionales.

De acuerdo al ensamblaje de la amilosa y amilopectina, la estructura de agregación del almidón se puede dividir en la estructura granular, los anillos de crecimiento, la estructura laminar, las estructuras cristalina y helicoidal (Wang *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2019). Los gránulos de almidón de camote son parcialmente ovalados y con forma de campana. El tamaño de partícula oscila en el rango de 3.4 a 27.5 μm , y de manera general, el tamaño medio se encuentra de 8.4 a 15.6 μm (Mu *et al.*, 2017), esto influye en el poder de hinchamiento, la solubilidad y la digestibilidad (Martínez, *et al.*, 2019). Igualmente, la funcionalidad del almidón se ve afectada por las propiedades de empastado, en cuya curva de viscosidad se observa el comportamiento durante el calentamiento, lo que permite establecer las características de la pasta formada y que finalmente definirá la utilización adecuada en un producto alimenticio o en otro tipo de producto. Algunas propiedades fisicoquímicas del almidón otorgan características favorables para su utilización en la industria alimentaria, en el desarrollo de productos alimenticios como materia prima, espesante, aditivo, estabilizador o intensificador de textura (Aina *et al.*, 2012), en gelatinas, fideos, envoltorios de alimentos, etc.

El almidón de camote con pureza por debajo del 100 %, contiene fracciones ricas en antioxidantes,

fibra dietética, minerales y vitaminas en contraste con el almidón de papa (Issa *et al.*, 2018). En comparación con almidones de trigo y maíz, el almidón de camote tiene un alto contenido de amilopectina, así como una alta transparencia después de la gelatinización (Chen *et al.*, 2003). Sin embargo, características inherentes del almidón de camote, tales como escaso grado de hinchamiento y solubilidad, alta viscosidad de la pasta y tendencia a la retrogradación, reducen significativamente su utilización. Por ejemplo, la alta viscosidad de la pasta de almidón de camote provoca dureza y poca transparencia de los productos a base de este almidón, afectando considerablemente la aceptabilidad para los consumidores (Wang *et al.*, 2020). La estructura del almidón dicta sus propiedades fisicoquímicas y tecnológicas asociadas, lo cual determina su aplicación y los atributos de calidad de productos generados. La modificación de las estructuras de agregación del almidón, se realiza con el fin de alterar sus propiedades fisicoquímicas para ampliar la potencial aplicación del mismo. En esta revisión, se resumen nuevos hallazgos y el progreso reciente sobre los diferentes tipos de modificación del almidón de camote.

2. Modificación enzimática

La modificación enzimática es un método ecológico, ya que posee una especificidad de producto y selectividad de sustrato, con la generación de menos subproductos dañinos. Investigaciones previas han indicado que la hidrólisis enzimática de los gránulos de almidón está influenciada principalmente por la estructura superficial, la distribución del tamaño de las partículas, la porosidad y la distribución de la longitud de la cadena ramificada de la amilopectina (Singh y Kaur, 2004). También se ha comprobado que el comportamiento funcional de los almidones se relaciona directamente con la longitud de las cadenas de amilopectina (Hizukuri, 1985; Vermeyley *et al.*, 2004; Zhu *et al.*, 2011).

Debido a que la amilosa solo contiene un extremo no reductor para la acción de la enzima, un alto contenido de amilosa hace que el almidón no se hidrolice fácilmente. En cambio, la amilopectina tiene varios extremos no reductores que son más susceptibles a la hidrólisis enzimática y la cantidad de extremos no reductores depende de la longitud de la cadena ramificada y el grado de ramificación (Naguleswaran *et al.*, 2014). Por lo tanto, el incremento del grado de ramificación y el número de cadenas laterales cortas de amilopectina, así como la reducción del contenido de amilosa incrementan el número de sitios de acceso para las reacciones de la amilasa.

Una alta cantidad de cadenas de amilopectina de ramificación corta favorece el grado de digestión del almidón y la capacidad de hinchamiento, pero disminuye el grado de cristalinidad y la temperatura de gelatinización (Li *et al.*, 2016). Los almidones con alta densidad de ramificaciones disminuyen la viscosidad máxima y el valor de retrogradación de la pasta de almidón. Por tanto, la modificación de la amilopectina podría ser una forma posible de mejorar las propiedades fisicoquímicas del almidón de camote y de ampliar su utilidad en productos alimenticios para que se cumpla con las características organolépticas que demanda el consumidor en un alimento.

Shariffa *et al.* (2017) estudiaron capacidades de la enzima STARGEN 001 (mezcla de glucoamilasa y α -amilasa fúngicas) a temperatura de 35 °C durante 24 h, para hidrolizar almidón de camote recocado y nativo. Después de 24 h de hidrólisis, el almidón nativo exhibió un grado de hidrólisis más bajo que el almidón recocado, 24 % y 29 % respectivamente. Esto se debe principalmente a la ruptura de los enlaces de hidrógeno entre las regiones cristalina y amorfa, así como un sutil aumento de la región amorfa después del recocado. La ruptura de los enlaces de hidrógeno debilita la estructura de

los gránulos, permitiendo la penetración de la enzima y la degradación de los enlaces α -1,6 y α -1,4 de manera más selectiva en comparación con el almidón nativo. Se observaron tanto en gránulos de almidón nativo y recocado superficies extensamente erosionadas (Figura 1) lo que supone incidencia de las enzimas a través de los poros o fisuras que se han expandido por el tratamiento de recocado. Aunque la modificación enzimática es un método adecuado, el costo de la utilización de enzimas sigue siendo alto por lo cual son pocas las investigaciones recientes que emplean este tipo de modificación. En la Tabla 1 se presenta una lista de las enzimas empleadas en la modificación de almidón de camote, así como los resultados obtenidos.

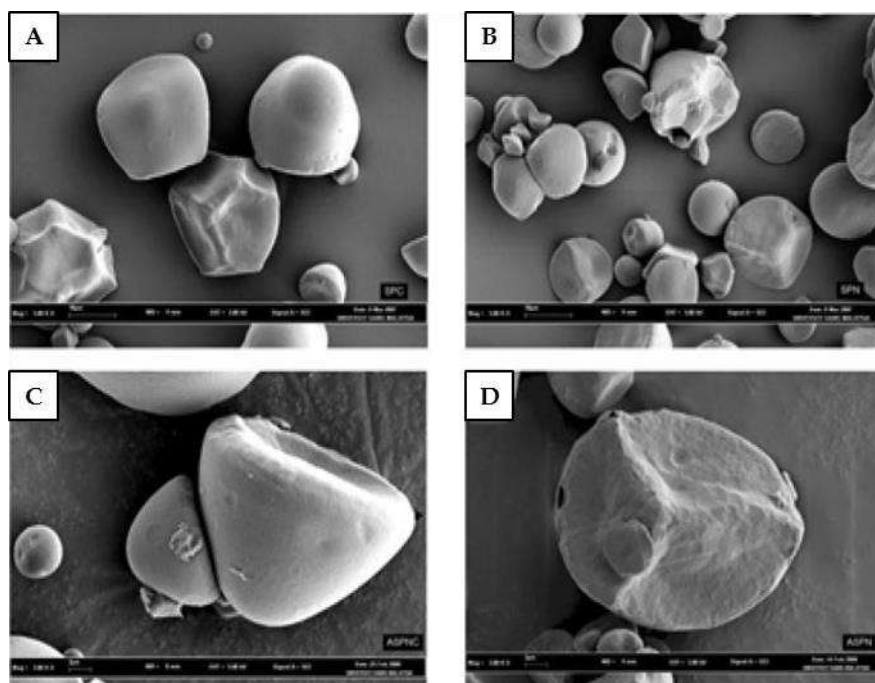


Fig. 1. Microfotografías electrónicas de barrido (SEM). (A) control de almidón de camote nativo, (B) almidón de camote nativo hidrolizado, (C) control de almidón de camote recocado, (D) almidón de camote recocado hidrolizado. **Fuente:** (Shariffa *et al.* 2017)

Fig. 1. Scanning electron micrographs (SEM). (A) native sweet potato starch control, (B) hydrolyzed native sweet potato starch, (C) overcooked sweet potato starch control, (D) hydrolyzed overcooked. **Source:** (Shariffa *et al.* 2017)

3. Modificación física

Recientemente, existe un interés creciente por la modificación física, debido a que los métodos son seguros, simples y de bajo costo para modificar el almidón. Entre los métodos físicos más empleados se encuentra la pregelatinización, ultrasonificación, extrusión, calor-humedad, secado por aspersión, alta presión hidrostática, recocado repetido y continuo. La pregelatinización consiste en precocinar, secar y moler el almidón; mejorando el poder de hinchamiento y la unión del almidón con el agua (Liu *et al.*, 2017).

Tabla 1. Enzimas empleadas en la modificación de almidón de camote.**Table 1.** Enzymes used in the modification of sweet potato starch

Enzima	Resultado	Referencia
α -amilasa y glucoamilasa	Grado de hidrólisis para almidón de camote recocido de 29%. La solubilidad y el poder de hinchamiento de los almidones recocidos disminuyeron significativamente después de la hidrólisis. El contenido de amilosa en almidón de camote hidrolizado aumentó.	(Shariffa <i>et al.</i> , 2017)
β -amilasa y transglucosidasa	Mayor grado de ramificación de amilopectina. Después de la modificación enzimática el pico endotérmico del almidón de camote desapareció. Aumento de la solubilidad en comparación con el almidón de camote nativo.	(Guo, 2018)
Glucoamilasa, α -amilasa y glicosiltransferasa	Aumento del tamaño de los poros y la cristalinidad relativa del almidón de camote, beneficiando la adsorción. Aumento del grado de ramificación de amilopectina.	(Guo <i>et al.</i> , 2019)
Transglucosidasa, β -amilasa y α -amilasa maltogénica	Aumento de las proporciones de cadena corta (Grado de polimerización ≤ 24) y la relación de enlace glicosídico α -1, 6 y. La solubilidad aumentó con la disminución de la viscosidad, la temperatura de gelatinización y la entalpía de fusión.	(Guo <i>et al.</i> , 2019)
α -amilasa	Disminución del orden molecular de rango corto, ΔH , la cristalinidad relativa y aumento del poder de hinchamiento y viscosidad máxima.	(Wang <i>et al.</i> , 2020)

En almidón de camote se ha optimizado el tiempo y temperatura de pregelatinización, determinándose 15 min y 59.5 °C como las condiciones adecuadas para obtener mejores características en solubilidad, poder de hinchamiento y capacidad de retención de agua (Tam *et al.*, 2021).

La modificación por ultrasonificación puede afectar o degradar las cadenas de almidón a nivel molecular. Se ha demostrado que este tipo de modificación puede disminuir la gelatinización, la viscosidad de empastado, el poder de hinchamiento y la retrogradación, pero aumenta la solubilidad

en agua (Bemiller y Huber, 2015). Lo anterior depende de factores como la intensidad, la frecuencia, el agua y la temperatura del sistema de almidón-agua, el tipo y estructura del almidón, el tiempo de ultrasonificación y composición del gas en la atmósfera. Wang *et al.* (2020) modificaron almidón de camote empleando ultrasonificación, a una potencia de 300 W, con diferentes tiempos de sonicación (30, 25, 20 y 15 min), encontrando grietas y poros en la superficie del almidón, evidencia de desorganizaciones estructurales al aumentar el tiempo, especialmente para órdenes moleculares de corto alcance para los grados de cristalinidad y estructuras moleculares ordenadas. Lo que produjo no solo un aumento en la solubilidad y el poder de hinchamiento, sino que también disminuyó la viscosidad máxima, la viscosidad final y la temperatura de empastado.

La alta presión hidrostática (APH) es una técnica de modificación física no térmica, la cual emplea presiones de 100-1000 MPa para extender la vida útil de productos alimenticios procesados y frescos, minimizando el impacto en sus valores nutricionales y sus atributos sensoriales (Liu *et al.*, 2017). El tratamiento con APH ha atraído gran atención en la modificación del almidón debido a que no requiere de reactivos químicos y el proceso se controla fácilmente (Zhang *et al.*, 2019).

Se han llevado a cabo investigaciones sobre la modificación de almidón de camote utilizando APH. Rahman *et al.* (2020), aplicaron 100, 300 y 500 MPa durante 15 y 30 min a 25 °C. Se observó incremento significativo de amilosa del 16.7% a un valor máximo de 17.7 % cuando se utilizó un tratamiento de 500 MPa por 15 min., lo cual podría estar asociado a la limitación de la lixiviación de amilosa al afectar la interacción amilosa-amilopectina y con la degradación de amilopectina inducida por APH. En comparación con el almidón nativo, el contenido de almidón dañado en camote aumentó significativamente al incrementar la presión a 500 MPa durante 30 min, obteniéndose un valor de 7 %, esto concuerda con lo reportado por (Zhang *et al.*, 2019) para almidón dañado de papa tratado a 500 MPa.

El secado por aspersión es un proceso de secado rápido, que convierte suspensiones líquidas en partículas semicristalinas o amorfas. Al disminuir o eliminar la fracción cristalina del almidón, se pueden observar cambios significativos en el poder de hinchamiento, la distribución del tamaño medio de los gránulos, cristalinidad y temperatura de gelatinización principalmente. Por su parte la extrusión puede provocar la pérdida de la integridad y cristalinidad de los gránulos de almidón, la despolimerización de los componentes del almidón y producir almidón gelatinizado. El proceso puede resultar en una ruptura estructural derivada de la pérdida de enlaces covalentes en el almidón y modificación de las propiedades funcionales del mismo (Rodrigues, *et al.*, 2018). Estos autores compararon las propiedades fisicoquímicas del almidón de camote modificado por aspersión y extrusión. El proceso de secado por aspersión se llevó a cabo utilizando un secador por aspersión con orificio de boquilla de 0.70 mm, temperatura de entrada de 130 °C y de salida de 105 °C y un caudal de alimentación 0.5 L h⁻¹. En cuanto al proceso de extrusión se utilizaron 20-25 °C, 40-45 °C y 70-75 °C, para los tres ciclos correspondientes, el diámetro del tornillo fue de 32.60 mm, la relación de compresión del tornillo 3:1 y la velocidad de alimentación 150 g/min. El almidón secado por aspersión mostró disminución en tamaño granular medio de 16.5 µm a 14.1 µm, así como una disminución en el peso molecular de la amilopectina de 3.1 a 2.7 X 10⁸ g/mol. El porcentaje de cristalinidad disminuyó de 25.3 % a 22.6 %, por lo tanto, el almidón obtenido se puede emplear para hacer productos más viscosos. En contraste, el almidón extrudido mostró una reducción significativa en el peso molecular de la amilopectina a 0.4 X 10⁸ g/mol, lo que manifiesta la gelatinización completa de los gránulos y una pérdida total de cristalinidad. En este caso, el almidón es ideal para productos que requieren una baja viscosidad final y rápida solubilidad. Ambos métodos producen almidón de

camote modificado con características particulares que se pueden utilizar potencialmente para diferentes aplicaciones.

El recocado es un método que expone los gránulos de almidón a un contenido de humedad del 40 % al 60 % (p/p) a una temperatura superior a la temperatura de transición vítrea, pero inferior a la de inicio de gelatinización en un período de tiempo. Se han investigado los efectos del tratamiento de recocado continuo (RECC) y tratamiento de recocado repetido (RECR) en el almidón de camote. En una investigación realizada por Zhang *et al.* (2019) se prepararon 25 g (base seca) de almidón de camote mezclado con 75 ml de agua destilada en frascos de boca de seda. Éstos se sellaron y se incubaron a 65 °C durante 12 horas y posteriormente se dejaron durante 30 min a temperatura ambiente. El procedimiento anterior se repitió 8 veces en un lapso de 96 horas. Se encontró que el poder de hinchamiento, la solubilidad, la viscosidad máxima y de rompimiento de los almidones disminuyeron. En contraste, las temperaturas de gelatinización, la viscosidad mínima, la viscosidad final, la de retroceso y las temperaturas de empastado de los almidones aumentaron después de los tratamientos de recocado. El RECR fue más efectivo en la modificación de la cristalinidad, solubilidad, empastado, poder de hinchamiento, temperaturas de transición de gelatinización y entalpía, y digestibilidad del almidón en comparación con el tratamiento RECC. Se concluye que el RECR puede ser un método con potencial para usarse en la modificación de las propiedades estructurales, fisicoquímicas y de digestibilidad del almidón.

El método de calor y humedad es un proceso hidrotérmico que involucra altas temperaturas de 80 °C a 140 °C a niveles bajos de humedad, con agitación de gránulos y bajas temperaturas de gelatinización. Cabe resaltar que éste es el método de modificación física más empleado por sus bajos costos y su seguridad. En la Tabla 2, se muestran investigaciones realizadas sobre las condiciones de operación de calor y humedad en la modificación de almidón de camote y los resultados obtenidos.

4. Modificación química

La modificación química está directamente relacionada con las reacciones de los grupos hidroxilo y su hidrólisis, o la introducción de grupos funcionales específicos en la molécula polimérica del gránulo de almidón nativo y así producir cambios en las propiedades como la gelatinización y retrogradación. Se han llevado a cabo modificaciones en almidón de camote a través de hidrólisis utilizando ácido clorhídrico al 6 % p/p durante 48 h, con el objetivo de emplear el almidón modificado como desintegrante en formulaciones de comprimidos de paracetamol (Akin-Ajani et al., 2016). Los comprimidos que contenían almidón modificado mostraron tiempos de desintegración más prolongados en comparación con el almidón nativo y almidón de maíz, por lo tanto, podría ser útil para formulaciones comerciales de comprimidos. Kwon et al. (2019), investigaron las propiedades fisicoquímicas del almidón de camote tratado con ácido málico. Se revelaron cambios importantes en la estructura interna del almidón sin perder su forma granular, ni la formación de enlaces éster entre el almidón y el ácido málico.

No se mostró la propiedad de empastado de los almidones modificados debido al daño provocado por la reticulación del ácido málico. El ácido peracético recientemente se ha utilizado para la modificación de camote, en este sentido, Minh (2021), demostró que una relación de suspensión de

Tabla 2. Condiciones de operación de calor y humedad en la modificación de almidón de camote.**Table 2.** Operating conditions of heat and humidity in the modification of sweet potato starch .

Condiciones de operación	Resultado	Referencia
Humedad: 15, 20, 25, 30 y 35 % Temperatura: 110 °C durante 12 h y posteriormente 45 °C durante 24 h, hasta 10 % de humedad	Disminución del poder de hinchamiento. El contenido de amilosa disminuyó del 24.1 % al 20.5 %, aumentando el contenido de humedad inicial del 15 % al 35 %. Aumento de la temperatura de empastado de 73 a 81 °C. Reducción de la tasa de retrogradación del almidón.	(Li <i>et al.</i> , 2017)
Humedad: 35 % Temperatura: 100 °C durante 6 h y posteriormente 40 °C durante 24 h, hasta 9-10 % de humedad	Reducción de la viscosidad máxima, la retrogradación y descomposición. Aumento de las viscosidades mínimas y finales, así como de la temperatura de empastado.	(Thanh <i>et al.</i> , 2017)
Humedad: 10, 15 y 20% Temperatura: 121 °C durante 1 h y posteriormente 40 °C durante 24 h, hasta humedad constante	Disminución del poder de hinchamiento, aumento de la estabilidad térmica y disminución de la cristalinidad relativa. Disminución del tamaño medio, aumento de la rugosidad y aglutinación de los gránulos.	(Soltovski <i>et al.</i> , 2018)
Humedad: 26, 30 y 34 % Temperatura: 105 °C durante 1 h y posteriormente almacenamiento a 4 °C	Aumento de la cristalinidad, tendencia a la retrogradación. Comportamiento elástico y lixiviación de amilosa.	(Liao <i>et al.</i> , 2019)
Humedad: 20, 25 y 30 % Temperatura: 90, 110 y 130 °C durante 2, 9 y 16 h Posteriormente 113 °C durante 8 h 35 min hasta 10 % de humedad	Presencia de grietas y poros, con mayor degradación granular. Aumento de la cristalinidad. Mayor temperatura de gelatinización	(Na <i>et al.</i> , 2020)

almidón 1:12 p/p y una concentración de 6 ppm, proporcionaron mayor solubilidad (2.7 %), poder de hinchamiento (57.3 %), y viscosidad máxima (6264 cP). Por lo tanto, este ácido demostró ser un eficaz agente oxidante en la modificación del almidón de camote.

Dentro de las modificaciones químicas, la utilización de anhídrido octenil succínico (OSA) para obtener un almidón esterificado, concede un excelente carácter anfifílico y propiedades interfaciales (Altuna *et al.*, 2018). Esto favorece la aplicación como espesante, emulsionante y estabilizador en la industria alimentaria. En la Tabla 3 se muestra las condiciones de octenilsuccinilación de almidón de camote y los resultados obtenidos.

Tabla 3. Condiciones de octenilsuccinilación de almidón de camote.

Table 3. Conditions of octenylsuccinylation of sweet potato starch.

Condiciones de octenilsuccinilación	Resultado	Referencia
Suspensión en agua destilada (30 % p/p) con agitación y pH 8.5 Adición de OSA (2, 4, 6, 8 y 10 %) Temperatura 35 °C durante 3 h con agitación.	Aumento del poder de hinchamiento. Disminución de la temperatura de gelatinización y degradación del gránulo.	(Lv <i>et al.</i> , 2018)
Suspensión en agua destilada (30 % p/p) con agitación y pH 8.5 Adición de OSA (3, 5 y 10 %) Temperatura 37 °C durante 5 h con agitación.	Aumento del poder de hinchamiento y de las temperaturas de gelatinización. Disminución de la sinéresis y la viscosidad de retroceso. Retención de la estructura granular.	(Remya <i>et al.</i> , 2018)
Suspensión en agua destilada (40 % p/p) con agitación y pH 8 Adición de OSA (3 %) Temperatura 45 °C durante 48 h	Disminución de cristalinidad. Degradación del gránulo y disminución de la temperatura de empastado.	(Zhang <i>et al.</i> , 2020)
Suspensión en agua destilada (35 % p/p) con agitación y pH 8.5 Adición de OSA (3 %) Temperatura 45 °C durante 24 h	Retención de la estructura granular. Mayor viscosidad y estabilidad Menor temperatura de gelatinización.	(Guo <i>et al.</i> , 2020)

5. Conclusiones

La modificación del almidón de camote al igual que otro tipo de almidones nativos, es necesaria para mejorar la viscosidad, la solubilidad y evitar la retrogradación o la pérdida de la estructura ordenada, lo cual proporciona un amplio valor tecnológico. La modificación enzimática presenta un

auge, debido a que es un método altamente eficiente y ecológico, pero de costos elevados. La modificación física por su parte, es la más empleada actualmente debido a la diversidad de métodos existentes los cuales son económicos y con mínimo impacto al medio ambiente. Otra característica interesante de estos métodos es la facilidad de acoplamiento con modificaciones químicas o enzimáticas. En el caso de la modificación química que hasta hace algunos años había perdido interés a causa de la generación de contaminantes; se está retomando gracias a la esterificación con anhídrido octenil succínico, sustancia que se considera segura y viable. Al comparar las distintas modificaciones para almidón de camote se puede inferir que la modificación física es la más utilizada por las ventajas antes mencionadas. Se espera que en los próximos años continúen creciendo exponencialmente las investigaciones relacionadas con la modificación del almidón de camote.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés con respecto al trabajo presentado en este reporte.

Referencias

- Abegunde, O. K., Mu, T., Chen, J., & Deng, F. (2013). Food Hydrocolloids Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry. *Food Hydrocolloids*, 33(2), 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.03.005>
- Aina, A. J., Falade, K. O., Akingbala, J. O., Titus, P., & Titus, P. (2012). Physicochemical Properties of Caribbean Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L) Lam) Starches. *Food Bioprocess Technol*, 5, 576–583. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0316-6>
- Akin-Ajani, O. D., Itiola, O. A., & Odeku, O. A. (2016). Evaluation of the disintegrant properties of native and modified forms of fonio and sweet potato starches. *Starch*, 68, 169–174. <https://doi.org/10.1002/star.201500188>
- Altuna, L., Herrera, M.L., & Foresti, M.L. (2018). Food Hydrocolloids Synthesis and characterization of octenyl succinic anhydride modified starches for food applications. A review of recent literature. *Food Hydrocolloids*, 80, 97–110. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.032>
- Bemiller, J. N., & Huber, K. C. (2015). Physical modification of food starch functionalities. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6, 19–69. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015552>
- FAOSTAT. (2020). Sweet potato. Retrieved on August 10, 2020, from FAO Website: www.fao.org/faostat/en/#data/QC
- Chen, Z., Schols, H.A., & Voragen, A.G.J. (2003). Physicochemical Properties of Starches Obtained from Three Varieties of Chinese Sweet Potatoes. *Food Chemistry and Toxicology Physicochemical*, 68(2), 431–437. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb05690.x>
- Guo, L. (2018). Sweet potato starch modified by branching enzyme, β -amylase and transglucosidase. *Food Hydrocolloids*, 83, 182–189. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.005>
- Guo, L., Li, H., Zhu, Y., & Cui, B. (2019). The structure property and adsorption capacity of new enzyme-treated potato and sweet potato starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1(144), 863–873. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.164>

- Guo, L., Tao, H., Cui, B., & Janaswamy, S. (2019). The effects of sequential enzyme modifications on structural and physicochemical properties of sweet potato starch granules. *Food Chemistry*, 277, 504–514. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.014>
- Guo, J., Tang, W., Quek, S. Y., Liu, Z., & Lu, S. (2020). Evaluation of structural and physicochemical properties of octenyl succinic anhydride modified sweet potato starch with different degrees of substitution. *Journal of Food Science*, 85, 666–672. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15031>
- Hizukuri, S. (1985). Relationship between length of the chain length of amylopectin and the crystalline structure of starch granules. *Carbohydrate Research*, 141, 141, 295–306. [https://doi.org/10.1016/S0008-6215\(00\)90461-0](https://doi.org/10.1016/S0008-6215(00)90461-0)
- Huang, T., Zhou, D., Jin, Z., Xu, X., & Chen, H. (2016). Food Hydrocolloids Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch. *Food Hydrocolloids*, 54, 202–210. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.002>
- Issa, A. T., Schimmel, K. A., Worku, M., Shahbazi, A., Ibrahim, S. A., & Tahergorabi, R. (2018). Sweet Potato Starch-Based Nanocomposites: Development, Characterization, and Biodegradability. *Starch*, 70, 1700273. <https://doi.org/10.1002/star.201700273>
- Kwon, C., Kim, H. R., Moon, T. W., Lee, S. H., & Lee, C. J. (2019). Structural and Physicochemical Characteristics of Granular Malic Acid-Treated Sweet Potato Starch Containing Heat-Stable Resistant Starch. *Journal of Chemistry*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/2903252>
- Li, W., Li, C., Gu, Z., Qiu, Y., Cheng, L., & Hong, Y. (2016). Relationship between structure and retrogradation properties of corn starch treated with 1,4- α -glucan branching enzyme. *Food Hydrocolloids*, 52, 868–875. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.09.009>
- Li, Y., Liu, S., Liu, X., Tang, X., & Zhang, J. (2017). The Impact of Heat-Moisture Treatment on Physicochemical Properties and Retrogradation Behavior of Sweet Potato Starch. *International Journal Of Food Engineering*, 20170001. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2017-0001>
- Li, N., Cai, Z., Guo, Y., Xu, T., Qiao, D., Zhang, B., Zhao, S., Huang, Q., Niu, M., Jia, C., Lin, L., & Lin, Q. (2019). Hierarchical structure and slowly digestible features of rice starch following microwave cooking with storage. *Food Chemistry*, 295, 475–483. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.151>
- Liao, L., Liu, H., Gan, Z., & Wu, W. (2019). Structural properties of sweet potato starch and its vermicelli quality as affected by heat-moisture treatment. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 1122–1133. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1626418>
- Liu, Y., Chen, J., Luo, S., Li, C., Ye, J., Liu, C., & Gilbert, R. G. (2017). Physicochemical and structural properties of pregelatinized starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Carbohydrate Polymers*, 175, 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.07.084>
- Lv, Q., Li, G., Xie, Q., Zhang, B., Li, X., Pan, Y., & Chen, H. (2018). Evaluation studies on the combined effect of hydrothermal treatment and octenyl succinylation on the physic-chemical, structural and digestibility characteristics of sweet potato starch. *Food Chemistry*, 256, 413–418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.147>
- Martínez, P., Peña, F., Bello-Pérez, L.A., Nuñez-Santiago, C., Yee-Madeira, H., & Velezmoro, C. (2019). Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry: X*, X 2 (2019) 100030. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2019.100030>
- Minh, N. P. (2021). Peracetic acid concentration and starch slurry ratio on functional properties of oxidized sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) starch. *Plant Science Today*, 8(1), 112–117. <https://dx.doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.957>

- Mu, T., Sun, H. S., Zhang, M., & Wang, C. (2017). Sweet Potato Starch and its Series Products. In Sweet Potato Processing Technology (pp. 7–9). <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-812871-8.00001-5>
- Mu, T. & Jaspreet, S. (2019). Sweet potato: chemistry, processing, and nutrition—an introduction. In Sweet Potato: Chemistry, Processing, and Nutrition (pp. 1–2).
- Na, J. H., Kim, H. R., Kim, Y., Lee, J. S., Park, H. J., Moon, T. W., & Lee, C. J. (2020). Structural characteristics of low-digestible sweet potato starch prepared by heat-moisture treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 1049–1057. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.146>
- Naguleswaran, S., Vasanthan, T., Hoover, R., & Bressler, D. (2014). Food Hydrocolloids Amylolysis of amylopectin and amylose isolated from wheat, triticale, corn and barley starches. *Food Hydrocolloids*, 35, 686–693. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.08.018>
- Rahman, M. H., Mu, T. H., Zhang, M., Ma, M. M., & Sun, H. N. (2020). Comparative study of the effects of high hydrostatic pressure on physicochemical, thermal, and structural properties of maize, potato, and sweet potato starches. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14852>
- Remya, R., Jyothi, A. N., & Sreekumar, J. (2018). Morphological, structural and digestibility properties of RS4 enriched octenyl succinylated sweet potato, banana and lentil starches. *Food Hydrocolloids*, 82, 219–229. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.009>
- Rodrigues, T. P., Landi, C. M., do Carmo, E., Jane, J. lin, & Leonel, M. (2019). Effect of spray-drying and extrusion on physicochemical characteristics of sweet potato starch. *Journal of Food Science and Technology*, 56(1), 376–383. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3498-y>
- Shariffa, Y. N., Uthumporn, U., Karim, A. A., & Zaibunnisa, A. H. (2017). Hydrolysis of native and annealed tapioca and sweet potato starches at sub-gelatinization temperature using a mixture of amyolytic enzymes. *International Food Research Journal*, 24(5), 1925–1933. [http://ifrj.upm.edu.my/24%20\(05\)%202017/\(12\).pdf](http://ifrj.upm.edu.my/24%20(05)%202017/(12).pdf)
- Singh, N., & Kaur, L. (2004). Morphological, thermal, rheological and retrogradation properties of potato starch. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84, 1241–1252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1746>
- Soltovski, C., Camila, D. O., Bet, D., Zabian, R., Bisinella, B., Henrique, L., Colman, D., & Schnitzler, E. (2018). Heat-moisture treatment (HMT) on blends from potato starch (PS) and sweet potato starch (SPS). *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 133, 1491–1498. <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7196-9>
- Thanh, P., Trung, B., Bui, L., Ngoc, B., Hoa, P. N., Ngoc, N., Tien, T., & Hung, P. Van. (2017). Impact of Heat-moisture and Annealing Treatments on Physicochemical Properties and Digestibility of Starches from Different Colored Sweet Potato Varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 105, 1071–1078. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.131>
- Trancoso-Reyes, N., Ochoa-Martínez, L. A., Bello-Pérez, L. A., Morales-Castro, J., Estévez-Santiago, R., & Olmedilla-Alonso, B. (2016). Effect of pre-treatment on physicochemical and structural properties, and the bioaccessibility of β -carotene in sweet potato flour. *Food Chemistry*, 200, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.047>
- Ulfa, G. M., Putri, W. D. R., Fibrianto, K., & Widjanaarko, S. B. (2021). Optimization studies on pre-gelatinized sweet potato starch influenced by temperature and time. *Food Research*, 5(2), 25–30 [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(S2\).017](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(S2).017)
- Vermeulen, R., Goderis, B., Reynaers, H., & Delcour, J. A. (2004). Amylopectin molecular structure reflected in macromolecular organization of granular starch. *Biomacromolecules*, 5, 1775–1786. <https://doi.org/10.1021/bm049913z>

- Wang, H., Liu, Y., Chen, L., Li, X., Wang, J., & Xie, F. (2018). Insights into the multi-scale structure and digestibility of heat-moisture treated rice starch. *Food Chemistry*, 242, 323–329. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.014>
- Wang, H., Xu, K., Liang, Y., Zhang, H., Chen, L., Xu, K., Liang, Y., Zhang, H., & Chen, L. (2020). Impact of ultrasonication on the aggregation structure and physicochemical characteristics of sweet potato starch. *Ultrasonics Sonochemistry*, 63(104868). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104868>
- Wang, X., Hu, A., Zheng, J., Li, L., Li, L., & Li, Y. (2020). Physicochemical properties and structure of annealed sweet potato starch: effects of enzyme and ultrasound. *Starch*, 72, 1900247. <https://doi.org/10.1002/star.201900247>
- Zhang, B., Wu, H., Gou, M., Xu, M., Liu, Y., Jing, L., Zhao, K., & Jiang, H. (2019). The Comparison of Structural , Physicochemical , and Digestibility Properties of Repeatedly and Continuously Annealed Sweet Potato Starch. *Journal of Food Science*, 0(0), 1–9. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14711>
- Zhang, D., Mu, T., Sun, H., & He, J. (2019). Effects of different high hydrostatic pressure-treated potato starch on the processing performance of dough-like model systems. *Food Research International*, 120, 456–463. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.088>
- Zhang, Y., Chen, L., Yu, K., Dai, Y., Wang, L., Ding, X., Hou, H., & Wang, W. (2020). Mechanochemical effect of ultrasound on sweet potato starch and its influence mechanism on the quality of octenyl succinic anhydride modified starch. *Food Science and Technology International*, 26(3), 254–264. <https://doi.org/10.1177/1082013219883054>
- Zhu, F., Corke, H., & Bertoft, E. (2011). Amylopectin internal molecular structure in relation to physical properties of sweetpotato starch. *Carbohydrate Polymers*, 84(3), 907–918. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.12.039>
- Ziska, L. H., Runion, G. B., Tomecek, M., Prior, S. A., Torbet, H. A., & Sicher, R. (2009). An evaluation of cassava , sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. *Biomass and Bioenergy*, 33(11), 1503–1508. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.07.014>

2021 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>