



Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*)

Study of the chemical and physical modification of starch obtained from white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) and sweet potato (*Ipomoea batatas*)

📧 Moposita-Tenelema, Juan David^{1*}

📧 Villacrés-Poveda, Clara Elena^{1,2}

📧 Morales-Padilla, María Monserrath¹

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador

²Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador

Recibido: 13 Dic. 2023 | **Aceptado:** 18 Mar. 2024 | **Publicado:** 10 Jul. 2024

Autor de correspondencia*: juan.moposita6795@utc.edu.ec

Cómo citar este artículo: Moposita-Tenelema, J. D., Villacrés-Poveda, C. E. & Morales-Padilla, M. M. (2024). Estudio de la modificación química y física de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*). *Revista Agrotecnológica Amazónica*, 4(2), e639. <https://doi.org/10.51252/raa.v4i2.639>

RESUMEN

El almidón es una fuente abundante y accesible de materias primas biológicas, ampliamente utilizada en las industrias alimentaria, médica y textil. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la modificación química y física de almidón obtenido de la zanahoria blanca (*A. xanthorrhiza*) y camote (*I. batatas*). Para ello, se utilizó un diseño completamente al azar con múltiples factores, empleando zanahoria blanca y camote morado. Para el contraste de normalidad de los factores se utilizó la técnica Kruskal Wallis, mediante los programas estadísticos InfoStat y R Studio. Los resultados demostraron que, el almidón de zanahoria blanca por medio de modificación química presentó mayor contenido de amilosa (37,49); almidón total (56,06) e índice de blancura (89,08); mientras que, el almidón obtenido por modificación física mostró mayor humedad (12,14), índice de absorción de agua (5,79); solubilidad (0,63) y poder hinchamiento (5,83). Por otro lado, en el camote, el almidón modificado físicamente obtuvo mayor concentración de amilosa (40,96); humedad (9,87), índice de absorción de agua (3,56); poder de hinchamiento (3,64), en comparación al método químico, que se determinó un mayor índice de blancura (89,29).

Palabras clave: almidón modificado; amilosa; amilopectina; caracterización parcial; propiedades funcionales; nutricional

ABSTRACT

Starch is an abundant and accessible source of biological raw materials, widely used in the food, medical and textile industries. The objective of the present study was to analyze the chemical and physical modification of starch obtained from white carrot (*A. xanthorrhiza*) and sweet potato (*I. batatas*). To do this, a completely randomized design with multiple factors was used, using white carrot and purple sweet potato. To verify the normality of the factors, the Kruskal Wallis technique was used, using the statistical programs InfoStat and R Studio. The results showed that white carrot starch, through chemical modification, had a higher amylose content (37.49); total starch (56.06) and whiteness index (89.08); while, the starch obtained by physical modification showed higher humidity (12.14), water absorption index (5.79); solubility (0.63) and swelling power (5.83). On the other hand, in sweet potato, the physically modified starch obtained a higher concentration of amylose (40.96); humidity (9.87), water absorption index (3.56); swelling power (3.64), compared to the chemical method, which determined a higher whiteness index (89.29).

Keywords: starch; alternative; amylose; amylopectin; nutritional



1. INTRODUCCIÓN

Las raíces y tubérculos son excelentes fuentes de almidón, que constituye entre el 16% y el 24% de su composición. Estos alimentos aportan entre el 75% y el 80% de la ingesta calórica total. Se utilizan como materia prima en la elaboración de fideos, productos de panadería, confitería, bocadillos, jarabes de almidón, entre otros productos (León-Méndez et al., 2020). La zanahoria blanca, un tubérculo originario de América del Sur y perteneciente a la familia Apiaceae, contiene aproximadamente 67,29 g de almidón por cada 100 g de materia seca (Parra et al., 2015). En Ecuador, se cultiva en los valles interandinos, a altitudes que varían desde los 700 hasta los 3200 msnm. Es la única umbelífera de propagación vegetativa domesticada en América (Ponce Maspud, 2016).

Por otro lado, el camote es uno de los cultivos alimentarios más importantes del mundo, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales (Shubhendu et al., 2015). En Ecuador, es cultivado principalmente por pequeños agricultores. La producción se distribuye en un 42% en la Sierra, un 47% en la Costa y un 11% en la Amazonía. Las provincias de Santa Elena, Guayas y Manabí son las principales productoras de esta raíz tuberosa.

El almidón es uno de los biopolímeros naturales más abundantes de la naturaleza, se encuentra en gran variedad de tejidos de origen botánico (tubérculos, semillas y hojas) (Peñaranda et al., 2018). Estructuralmente, el almidón es un polímero de unidades de D-glucosa, compuesto por una mezcla de polisacáridos conformada por amilopectina (80%), amilosa (20%) y una fracción minoritaria (1% - 2%) de conformación no glucosídica como lípidos y minerales, dependiendo de su origen botánico (León-Méndez et al., 2020).

El almidón nativo presenta algunas limitaciones, como su tendencia a la retrogradación, su baja estabilidad al congelamiento-deshielo, y su sensibilidad a variaciones en el pH (Salazar Garcés, D. & Ocaña Palacios, I., 2019). La modificación del almidón se lleva a cabo para mejorar los atributos positivos y eliminar las deficiencias de los almidones nativos. Se han desarrollado varios métodos para producir una variedad de almidones modificados con una variedad de características y aplicaciones (Omodunbi-Ashogbon & Temitope-Akintayo, 2023).

Los almidones modificados físicamente son simples y económicos porque pueden producirse sin productos químicos ni agentes biológicos (Martins-Fonseca et al., 2021). Por el contrario, la modificación química es posible debido a los omnipresentes grupos hidroxilo en los almidones que se han explotado durante más de un siglo, principalmente en la preparación de ésteres y éteres de almidón, pero también en alteraciones más sutiles, por ejemplo, para ajustar la estructura de los almidones. para aplicaciones específicas (Omodunbi-Ashogbon & Temitope-Akintayo, 2023).

Todas estas técnicas tienden a alterar el polímero de almidón altamente flexible con propiedades fisicoquímicas modificadas y atributos estructurales modificados de alto valor tecnológico para las industrias alimentaria y no alimentaria (Zia-Ud et al., 2017). La modificación del almidón es una industria en constante evolución con numerosas posibilidades para generar nuevos almidones que incluyen nuevas propiedades funcionales y de valor agregado según lo exige la industria (Salazar Garcés, D. & Ocaña Palacios, I., 2019).

Es por ello, que el objetivo de la presente investigación se basó en estudiar la modificación química (acetilación) y modificación física (microondas) de almidón obtenido de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y camote (*Ipomoea batatas*).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material vegetal

El almidón de zanahoria blanca (*A. xanthorrhiza*) y de camote (*I. batatas*) se obtuvo en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina (INIAP), situada a 13 km al sur de Quito, Ecuador, con una latitud de 0°22'S, una longitud de 78°33'O, y a una altitud de 3050 m.s.n.m.

2.2. Análisis estadístico

La valoración estadística consistió en un diseño multifactorial completamente aleatorizado, analizando las muestras por triplicado. Donde se evaluaron dos variedades de tubérculos y dos tipos de modificaciones del almidón. Para determinar diferencia significativa entre las medias de los tratamientos, se utilizó la prueba estadística de Tukey con un nivel de confianza del 95%, empleando el software estadístico InfoStat.

2.3. Obtención del almidón nativo

Para la obtención del almidón se empleó 8 kg de cada materia prima, libre de impurezas y raíces dañadas. Las raíces seleccionadas se lavaron, pelaron y se cortaron en rodajas finas, las cuales se trituraron en una licuadora "OSTER-BLSTMG-W00-013". Luego se filtró, realizando varios lavados del residuo con agua destilada para retirar todo el almidón. Se continuó con la sedimentación del lavado por un periodo de 4 horas, se separó el agua presente y la pasta resultante, posteriormente se secó en estufa "MEMMERT" por un lapso de 24 horas a 48°C. Finalmente se molió el almidón, se tamizó (tamiz de 90 µm) y finalmente, se almacenó en bolsas con cierre hermético de polipropileno calibre de 0,002 m.

2.4. Modificación del almidón nativo

Modificación Física

Se colocó 25 g de almidón y se añadió 15 ml de agua destilada, se agitó por 5 minutos y se llevó a un microondas durante 40 segundos. La masa obtenida se colocó en envases de plástico con tapa y se congeló durante 24 horas. La muestra congelada se liofilizó durante 5 días, luego se trituró y molió, previo a los diferentes análisis.

Modificación Química

Se realizó una modificación mediante acetilación, siguiendo la metodología establecida por Montero-Peralta, (2018) con algunas modificaciones, se inició tomando 5 g de muestra seca y se añadió 25 ml de agua destilada, seguido se agitó constantemente durante 30 minutos. Luego el pH se ajustó a 8 usando NaOH 0,1 N y se adicionó lentamente 0,15 g de ácido acético mientras se ajusta el pH de 8 a 8,5 utilizando NaOH 6N. La reacción se mantuvo por 3 minutos y se detuvo añadiendo HCl 0,4 N. El almidón se lavó con agua destilada y se centrifugó por un periodo de 15 minutos a 1500 rpm, se realizaron tres lavados para eliminar la acidez. En una caja Petri se colocó la muestra centrifugada y se dejó en la estufa a 50 °C durante 30 minutos. El almidón se procedió a moler y tamizar (tamiz de 90 µm), seguido se secó por una hora y se colocó 1 g de muestra seca modificada en un vaso de precipitación de 250 ml con 50 ml de agua destilada, se agitó el conjunto por 15 minutos. Se agregaron 2 gotas de fenolftaleína y se neutralizó con hidróxido de sodio al 0,1 N hasta obtener una coloración rosa. Se añadió 12 ml de NaOH 0.45N y se agitó la suspensión con agitación magnética durante 30 minutos.

2.4. Caracterización del almidón

Contenido de amilosa: Se determinó siguiendo de acuerdo con la metodología establecida por Carrasquero-Durán & Navas, (2015) con algunas modificaciones. Se pesó 100 mg de muestra y se colocó en un balón volumétrico de 100ml, después añadió 1 ml de etanol (95%) con 9 ml de hidróxido de sodio 1 N.

Para el proceso de gelatinización, se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente, al finalizar el tiempo transcurrido se agregó 100 ml de agua destilada, seguido se añadió 1 ml de ácido acético 1 N y 2 ml de solución de yodo 2%. Se dejó que la reacción suceda a temperatura ambiente, en oscuridad, durante 20 minutos, se tomó la lectura de la absorbancia a 620 nm.

Para la preparación del blanco, en un balón volumétrico de 100 ml se adicionó 50 ml de agua destilada con 5 ml de hidróxido de sodio 0,09 N, se continúa con el proceso antes expuesto, donde se añadió 1 ml de ácido acético 1 N y 2 ml de solución de yodo al 2% y agregó 100 ml de agua destilada. Para la curva estándar: Se pesó 100 mg de amilosa y 100 mg de amilopectina en balones volumétricos de 100 ml, después se adicionó 1 ml de etanol (95%) y 9 ml de hidróxido de sodio 1 N, se dejó en reposo por 24 horas a temperatura ambiente, se preparó la curva estándar de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1.

Formulación para determinar el contenido de amilosa del almidón modificado

Composición de la mezcla (ml)			
% Amilosa	Amilosa	Amilopectina	NaOH 0.09N
0	0 ml	9 ml	1ml
10	1 ml	8 ml	1ml
20	2 ml	7 ml	1ml
30	3 ml	6 ml	1ml
40	4 ml	5 ml	1ml
50	5 ml	4 ml	1ml

Índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento: Se pesó 2,50 g de muestra en un tubo de centrífuga que contiene un agitador magnético, se agregó 30 ml de agua a cada tubo y se agitó durante 30 minutos mediante el equipo de agitación. Después se centrifugó a 5000 rpm durante 20 minutos. Se decantó el sobrenadante en un tubo de centrífuga graduado y se midió el volumen, seguido se filtró el sobrenadante. Posteriormente, se tomó 10 ml del filtrado y se colocó a secar por un periodo de 24 horas a una temperatura de 90 °C. Se pesó el gel que quedó en el tubo (Urbina-Dicao et al., 2023). Finalmente, se aplicó las ecuaciones según corresponda:

Cálculos

- Índice de absorción de agua (IAA)

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra}}$$

- Índice de solubilidad en agua (ISA)

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles}}{\text{Peso de la muestra}}$$

- Poder de hinchamiento (PH)

$$PH = \frac{\text{Peso del gel}}{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso del soluble}}$$

Determinación de humedad (%): Se determinó mediante estufa, donde se colocó 25 g de muestra a una temperatura de 130 °C por un periodo de 3 horas (Alvis et al., 2008).

3. RESULTADOS y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se observan los resultados de las características fisicoquímicas (amilosa, almidón, humedad) y funcionales (índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento) del almidón nativo y modificado de zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*).

Para el contenido de amilosa, determinó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tipos de almidones estudiados, demostrando que el mayor contenido se situó en el almidón modificado químicamente (37,49%) mientras que, el almidón en estado nativo obtuvo menor cantidad de amilosa (29,53%). Un aspecto que afecta la resistencia del almidón es el tamaño y tipo de gránulo (Martins-Fonseca et al., 2021). Por otro lado, Rocha et al., (2020) en su investigación determinaron un contenido de amilosa de 18,7% en almidón de zanahoria blanca y 28,9% en almidón de papa. Generalmente la mayoría de los almidones contienen entre 20% - 30% de amilosa (Villarroel et al., 2018).

En cuanto al contenido total de almidón, se demostró que el almidón en estado nativo (87,22%) fue estadísticamente superior al almidón modificado físicamente (50,21%). Denotándose una disminución significativa en su contenido al ser sometido a una modificación. Coincidiendo con Gercekaslan, (2020) quienes determinaron en almidón de ñame (*Dioscorea alata*) obtuvo 98,27% y en almidón modificado por tratamiento alcalino situó 94,67%. Además, Pinzon et al., (2020) establecieron valores que oscilaron entre 96,80% a 98,40% de almidón total para la subvariedad de Arracacha amarilla (*Xanthorrhiza bancroft*).

Respecto al contenido de humedad en los diferentes estados de almidón, al presentar diferencia significativa ($p < 0,05$) situaron un rango entre 6,94%- 12,14% para almidón nativo y modificado físicamente. Martins-Fonseca et al., (2021) al evaluar almidones de papa y camote tratados (modificación física) obtuvieron una humedad de 10% y 15%. Así como también Sharma et al., (2022) presentaron un contenido de 10% en almidón de zanahoria amarilla.

El contenido de índice de absorción de agua presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), donde la mayor absorción de agua se situó en el almidón modificado físicamente con 5,79%; en comparación, al almidón nativo que obtuvo 2,38%. Según, Gercekaslan (2020) menciona que los almidones modificados físicamente presentan un mayor índice de absorción de agua, debido a que los gránulos son de mayor tamaño. Así como también, varios autores en la modificación física del almidón de orujo de zanahoria determinaron un índice de absorción de agua de 5,25% (Kaisangsri et al., 2016).

La modificación del almidón ha dado como resultado un aumento en una o más de las siguientes propiedades: mayor digestibilidad, agente emulsionante, estabilizador de emulsión, agente encapsulante, hinchabilidad en agua fría, moléculas de almidón cargadas, mayores características de cocción, formación de película, materiales de pared para encapsulación, mejora

Respecto al índice de solubilidad en agua, se determinó que, el almidón físicamente modificado (0,63%) obtuvo una solubilidad superior en comparación al estado nativo (0,20%) y químicamente modificado (0,58%). Estos resultados guardan relación con Valcárcel et al., (2019) quienes, al estudiar almidones de tubérculos andinos en estado nativo y modificado, obtuvieron 0,32 y 0,59 para oca (*Oxalis tuberosa*); 0,22 y 0,91 en olluco (*Ullucus tuberosus*) y 0,15 y 0,72 en mashua (*Tropaeolum tuberosum*).

En cuanto al poder de hinchamiento se mostró que la mayor incidencia se situó en el almidón físicamente modificado (5,83 g agua/g almidón) a diferencia del almidón nativo que situó valor inferior (2,38 g agua/g almidón). Esta variable está estrechamente relacionada con índice de absorción, donde el almidón en estado nativo absorbe mayor capacidad de agua y por ende mayor es el poder de hinchamiento del gránulo. Es necesario enfatizar que, los resultados obtenidos guardan relación con Alqah et al., (2020) quienes presentaron una capacidad de hinchamiento de 6,80 (g agua/g almidón) en almidones recocidos de sorgo germinado. Los almidones modificados se caracterizan por una excelente su capacidad de hincharse

cuando se los someten a los procesos industriales de alimentos con la característica principal que se busca alcanzar es la capacidad de atrapar la mayor cantidad de agua dentro de ella (Bashir & Aggarwal, 2019).

El almidón nativo y modificado químicamente presentaron un mayor índice de blancura con valores de 89,27% y 89,09% respectivamente, siendo estadísticamente diferente ($p < 0,05$) al almidón físicamente modificado que obtuvo 86,01%. Autores como Agredo et al., (2017) presentaron un índice de blancura menor en almidones extruido y fermentado (82% y 89%) en comparación al almidón nativo (91%). Es necesario enfatizar que, mientras mayor sea el blanco del almidón y la luminosidad, más aceptada serán los procesos industriales, la oxidación de las cadenas de carbono insaturadas influye en los cuerpos colorantes (Gerçekaslan, 2020).

Tabla 2.

Efecto de la modificación en las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de zanahoria blanca

Parámetro	Almidón Nativo	Modificación física	Modificación química
Amilosa (%)	29,52±0,05A	33,17±0,05B	37,49±0,05C
Almidón (%)	87,22±2,49C	50,21±2,49B	56,06±2,49A
Humedad (%)	11,06±0,21B	12,14±0,21C	6,94±0,21A
Índice de absorción de agua (%)	2,38±0,18A	5,79±0,18C	3,04±0,18B
Índice de solubilidad en agua (g agua/g almidón)	0,20±0,03A	0,63±0,03B	0,58±0,03B
Poder de hinchamiento (%)	2,40±0,18A	5,83±0,18B	2,98±0,18B
Índice de blancura	89,27±0,13B	86,01±0,13A	89,08±0,13B

Nota: Las diferentes letras minúsculas asociadas con los valores dentro de la misma columna indican una diferencia significativa al nivel de $p < 0,05$.

En la Tabla 3 se observan los resultados de las características fisicoquímicas (amilosa, almidón, humedad) y funcionales (índice de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento) del almidón nativo y modificado de camote morado (*Ipomoea batatas*).

Respecto al contenido de amilosa, se determinó diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los tipos de almidones estudiados, observando que el mayor valor se presentó en el almidón obtenido de camote mediante modificación física (40,96%) en comparación al almidón obtenido por modificación química que situó un menor contenido de amilosa con 32,26%. En este sentido la modificación física mejora las características del almidón. Según Benelli et al., (2019) reportó un contenido de amilosa inferior al realizar la modificación física del almidón de papa y de maíz con resultados de 19,00% a 19,90% respectivamente. Además, Guzman-Condarco (2018) obtuvo 24% de amilosa en almidón obtenido mediante modificación química.

En cuanto al contenido de almidón total, se observó que los almidones en estado nativo con 83,70% fue estadísticamente superior a los almidones obtenidos mediante modificación física y química con valores de 65,88 y 65,93 respectivamente. Estos resultados se encuentran dentro del intervalo reportado de 45 a 80% para raíces y tubérculos en estado natural (García-Méndez et al., 2016). Según, Indrianti & Pranoto (2018) obtuvieron 56% y 65% de contenido de almidón total en almidón de camote modificado mediante tratamiento térmico y húmedo. Se hace énfasis que, el almidón total de las harinas permite determinar su aplicación en diferentes productos alimenticios (Anchundia et al., 2019).

El contenido de humedad en los diferentes tipos de almidón, al presentar diferencia significativa ($p < 0,05$) situaron un rango entre 7,71% y 9,87% en almidón nativo y modificado físicamente. La mayor cantidad de humedad en el almidón físicamente modificado se debe al proceso de pregelatinizado, donde el gránulo absorbe mayor cantidad de agua. Estos valores son inferiores a los determinados por (Chen et al, 2022) que obtuvieron un contenido de humedad en almidón de camote entre 11,03% a 15,12%. Además, Indrianti & Pranoto (2018) reportaron 12,34% en almidón nativo de camote morado.

El contenido de índice de absorción de agua presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), donde la mayor absorción de agua se posicionó en el almidón modificado físicamente con 3,56%, mientras que, el menor índice se situó en el almidón nativo con 1,91%. La disminución de índice de absorción está influenciada por el método de modificación de los almidones, especialmente donde se emplean procesos de pregelatinización, gelatinización, entre otros, donde el gránulo tiende a absorber humedad. Concordando con Babu et al., (2018) en su investigación determinaron un índice de absorción en agua entre 1,82% y 2,46% para almidón nativo de camote y modificado con ácidos orgánicos e inorgánicos respectivamente.

En el índice de solubilidad en agua el tipo de almidón no difirió significativamente ($p > 0,05$) entre sus resultados, determinando valores que oscilaron entre 0,62% a 0,96%. Estos resultados son inferiores a los reportado por Murillo-Martínez et al., (2021) quienes para almidón de camote morado y amarillo determinaron 2,91% y 0,92% consecutivamente. La solubilidad del almidón depende de varios factores tales como la fuente de extracción, el método de modificación, la fuerza inter asociativa entre sus moléculas y la capacidad de hinchamiento (Paredes Escobar, M. & Manzanillas Rojas, L., 2018; Zhang et al., 2018).

En relación al poder de hinchamiento de los almidones, se denotó que, al existir diferencia significativa ($p < 0,05$) el mayor valor se determinó en el almidón modificado físicamente con 3,64 g agua/g almidón; mientras que, el almidón en estado nativo y el almidón modificado químicamente obtuvieron valores similares con 1,96 y 2,33 g agua/g almidón. El poder hinchamiento se relaciona con la capacidad de absorción de agua del almidón dependiendo de la naturaleza y el método al cual haya sido sometido (Jia et al, 2023). Varias investigaciones han determinado una capacidad de hincamiento entre 0,19 - 0,23 en harina de fréjol canario y chocho guaranguito (Sánchez et al., 2023). De acuerdo con Majzoobi & Farahnaky (2021) el almidón granulado presentó una menor capacidad de hinchamiento, en comparación con el almidón modificado.

Respecto al índice de blancura se determinó que, el modificado químicamente con 89,29% fue estadísticamente diferente ($p < 0,05$) del almidón obtenido físicamente que situó 87,18%. Esto se debe a que la modificación química evita la oxidación del almidón. Wang et al., (2022) mencionan un índice de blancura promedio de 95% en almidón de camote modificado con ácido L-málico asistido por microondas. El almidón físicamente modificado y nativo tienen algunas limitaciones como la retrogradación, baja tolerancia al proceso y turbidez del gel que limita su uso en la industria de los alimentos (Bashir & Aggarwal, 2019).

Tabla 3.

Efecto de la modificación en las características fisicoquímicas y propiedades funcionales del almidón de camote

Parámetro	Almidón Nativo	Modificación física	Modificación química
Amilosa (%)	40,06±0,1B	40,96±0,1C	32,26±0,1A
Almidón (%)	83,70±1,98B	65,88±1,98A	65,93±1,98A
Humedad (%)	7,71±0,3A	9,87±0,3C	8,78±0,3B
Índice de absorción de agua (g agua/g almidón)	1,91±0,1C	3,56±0,1A	2,4±0,1B
Índice de solubilidad en agua (%)	0,96±0,21A	0,63±0,21A	0,62±0,21A
Poder de hinchamiento (%)	1,96±0,1A	3,64±0,1B	2,33±0,1A
Índice de blancura (%)	88,29±0,18B	87,18±0,18A	89,29±0,18C

Nota: Las diferentes letras minúsculas asociadas con los valores dentro de la misma columna indican una diferencia significativa al nivel de $p < 0,05$.

CONCLUSIONES

La modificación química del almidón de zanahoria incidió significativamente en el contenido de amilosa e índice de blancura. Mientras que, la modificación física obtuvo mayor efecto en el contenido de humedad, índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua. Así como también, en el camote, la modificación física del almidón, presentó mayor influencia en el contenido de amilosa, humedad, índice de absorción de agua, solubilidad y poder hinchamiento, sin embargo, la modificación química situó un mayor índice de blancura. Por ello, se concluye que la zanahoria blanca y camote, la extracción de su almidón y aplicación en la industria alimentaria se convierte en una alternativa interesante para el desarrollo de productos innovadores.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Moposita-Tenelema, J. D.

Curación de datos: Villacrés-Poveda, C. E.

Análisis formal: Morales-Padilla, M. M.

Adquisición de fondos: Moposita-Tenelema, J. D.

Investigación: Moposita-Tenelema, J. D.

Metodología: Morales-Padilla, M. M.

Recursos: Moposita-Tenelema, J. D.

Supervisión: Villacrés-Poveda, C. E.

Validación: Morales-Padilla, M. M.

Visualización: Morales-Padilla, M. M.

Redacción - borrador original: Villacrés-Poveda, C. E.

Redacción - revisión y edición: Morales-Padilla, M. M.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agredo, D., Chávez-Jáuregui, R. N., & Bosques-Vega, Á. (2017). Características funcionales del almidón modificado del cormo de la yautía (*xanthosoma spp*) del cultivar nazareno. *Latin America Symposium Food Science*. <https://proceedings.science/slaca/slaca-2017/papers/caracteristicas-funcionales-del-almidon-modificado-del-cormo-de-la-yautia-xantho?lang=en>
- Alqah, H., Alamri, M., Mohamed, A., Hussain, S., Qasem, A., Ibraheem, M., & Ababtain, I. (2020). The Effect of Germinated Sorghum Extract on the Pasting Properties and Swelling Power of Different Annealed Starches. *Polymeres*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/polym12071602>
- Alvis, A., Vélez, C. A., Villada, H. S., & Rada-Mendoza, 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), 19-29. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000100004>
- Anchundia, M. Á., Pérez, E., & Torres, F. (2019). Composición química, perfil de aminoácidos y contenido de vitaminas de harinas de batata tratadas térmicamente. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(2), 137-143. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182019000200137>

- Babu, A. S., Parimalavalli, R., Jagannadham, K., & Sudhakara -Rao, J. (2018). Chemical and structural properties of sweet potato starch treated with organic and inorganic acid. *J Food Sci Technol*, 52(9), 5745–5753. <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-014-1650-x>
- Bashir, K., & Aggarwal, M. (2019). Physicochemical, structural and functional properties of native and irradiated starch: a review. *J Food Sci Technol*, 56(2), 513–523. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3530-2>
- Benelli, F. E., Gianna, V., & Calandri, E. (2019). Determinación de amilosa en almidones mediante el método amperométrico. *Revista Facultad De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 6 (1), 20-22. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/16779>
- Carrasquero-Durán, A., & Navas, P. (2015). Determinación de amilosa en presencia de amilopectina en almidón de arroz aplicando la espectroscopía derivada. *Alimentos, Ciencia e Investigación*, 23(1), 11-20. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/10998>
- Chen, M., Yi, Z., Ruixue, Y., Wenting, Z., Jian, S., Zhimin, M., . . . Yunfeng, L. (2022). Establishment of a quality evaluation system of sweet potato starch using multivariate statistics. *Nutrition and Food Science Technology*. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1025061>
- Gerçekaslan, K. E. (2020). Hydration level significantly impacts the freezable - and unfreezable -water contents of native and modified starches. *Food Science and Technology*, 41(2), 426-431. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/fst.04520>
- Guzman-Condarcó, B. (2018). *Extracción y modificación química de almidón de papa (solanum tuberosum) para su aplicación en la industria boliviana*. Universidad Mayor de San Andrés. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/18112>
- Indrianti, N., & Pranoto, Y. (2018). Physicochemical properties of modified sweet potato starch through heat moisture treatment. *Proceedings of the 4th international symposium on applied chemistry*. <https://doi.org/10.1063/1.5064339>
- Jia, R., Cui, C., Gao, L., Qin, Y., Ji, N., Dai, L., . . . Sun, Q. (2023). A review of starch swelling behavior: Its mechanism, determination methods, influencing factors, and influence on food quality. *Carbohydrate Polymers*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121260>
- Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., & Ganjyal, G. M. (2016). Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT - Food Science and Technology*, 391-399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.016>
- León-Méndez, G., León-Méndez, D., Monroy-Arellano, M. R., Espriella-Angarita, S., & Herrera-Barros, A. (2020). Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(5), 620-626. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4263365>
- Majzoobi, M., & Farahnaky, A. (2021). Granular cold-water swelling starch; properties, preparation and applications, a review. *Food Hydrocolloids*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106393>
- Martins-Fonseca, L., Mello, S. L., Guerra-Dias, A. R., & Da Rosa-Zavareze, E. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 274. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118665>
- Montero-Peralta, S. (2018). *Efecto de la modificación química del almidón sobre la miscibilidad de mezclas de ácido poliláctico/almidón modificado termoplástico*. Centro de Investigación en química aplicada . <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1025/610>

- Murillo-Martínez, M., Alvis-Bermúdez, A., & Arrazola-Paternina, G. (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón obtenido de dos variedades de batata (*Ipomoea batatas*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18684>
- Omodunbi-Ashogbon, A., & Temitope-Akintayo, E. (2023). Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: A review. *Biosynthesis Nutrition Biomedical*, 4(7). <https://doi.org/10.1001/star.201300106>
- Paredes Escobar, M. & Manzanillas Rojas, L. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (Ipomoea batata) para aplicaciones alimentarias [Tesis pregrado]*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28375>
- Parra, M., Quintero-Munévar, P., & Hernández, A. (2015). Selección de marcadores microsatélites (SSR's) para el análisis de variabilidad genética en siete cultivares de arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*). *Ciencia y Tecnología*, 5(2), 39–45. <https://doi.org/10.21789/22561498.1071>
- Peñaranda, O., Perilla, J., & Algecira, N. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *Rev Ing e Inv*, 28(3), 47–52. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingev/issue/view/1552>
- Pinzon, M. I., Sanchez, L. T., & Villa, C. C. (2020). Chemical, structural, and thermal characterization of starches from four yellow Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots produced in Colombia. *Haliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04763>
- Ponce Maspud, K. A. (2016). *Procesamiento de la zanahoria blanca Arracacia xanthorrhiza bancroft como alimento de segunda gama*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5649>
- Rocha, T., Carneiro, A. P., & Landi-Franco, C. M. (2020). Effect of enzymatic hydrolysis on some physicochemical properties of root and tuber granular starches. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(2), 544-551. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000200039>
- Salazar Garcés, D. & Ocaña Palacios, I. (2019). *Caracterización Fisicoquímica, Nutricional y Reológica De Cultivos Andinos Infrautilizados*. Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30002>
- Sharma, K. D., Karki, S., Thakur, N. S., & Attri, S. (2022). Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. *J Food Sci Technol*, 49(1), 22–32. <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-011-0310-7>
- Shubhendu, S., Divya, M., Alak-Kumar, B. S.-C., & Niranjana, C. (2015). Comparative analysis of phytochemicals and nutrient availability in two contrasting cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). *Food Chemistry*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.172>
- Urbina-Dicao, K., Santacruz-Terán, S., Guapi-Álava, G., Revilla-Escobar, K., & Aldas-Morejón, J. (2023). Caracterización fisicoquímica de granos de cereales y funcionalidad de harinas de amaranto (*Amaranthus caudatus*) y quinua (*Chenopodium quinoa*). *Revista Colombiana De Investigaciones Agroindustriales*, 10(2), 33-41. <https://doi.org/10.23850/24220582.5708>
- Valcárcel, Y. B., Rondán-Sanabria, G. G., & Finardi-Filho, F. (2019). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3). <https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300007>

- Sánchez, D., Santacruz, S., Aguayo, D., Revilla, K., Carrillo, M., & Aldas, J. (2023). Caracterización fisicoquímica de fréjol canario (*vigna unguiculata*) y chocho guaranguito (*lupinus mutabilis*) y su incidencia en la funcionalidad de harinas. *Bases de la Ciencia*, 8(1), 38-50.
<https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v8i1.5452>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutricion*, 45(3). <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- Wang, W., Hu, A., Li, J., Liu, G., Wang, M., & Zhen, J. (2022). Comparison of physicochemical properties and digestibility of sweet potato starch after two modifications of microwave alone and microwave-assisted L-malic acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 210, 614-621.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.215>
- Zhang, L., Zhao, L., Bian, X., Guo, K., Zhou, L., & Wei, C. (2018). Characterization and comparative study of starches from seven purple sweet potatoes. *Food Hydrocolloids*, 80, 168-176.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.006>
- Zia-Ud, D., Hanguo, X., & Peng, F. (2017). Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(12), 2691-2705.
<https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>