







Caracterización fisicoquímica, morfológica, funcional, reológica y térmica de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), olluco (*Ullucus tuberosus*) y batata (*Ipomoea batatas*)

Physicochemical, Morphological, Functional, Rheological, and Thermal Characterization of Starches from Potato (*Solanum Tuberosum*), Olluco (*Ullucus Tuberosus*), and Sweet Potato (*Ipomoea Batatas*)

 David Alfonso Maigual Luna¹;  Luisa María Erazo Benavides¹;   David Fernando López Enríquez²;  Leandro Geovanny Bravo Asmaza¹;  Oswaldo Osorio¹

¹Universidad de Nariño, Pasto-Colombia

²Universidad del Valle, Cali-Colombia

Correspondencia: david.enriquez@correounivalle.edu.co

Recibido: 24 Febrero 2025

Aceptado: 03 Febrero 2026

Disponible: 26 Febrero 2026

Cómo citar / How to cite

D. A. Maigual Luna, L. M. Erazo Benavides, D. F. López Enríquez, and L. G. Bravo Asmaza, "Caracterización fisicoquímica, morfológica, funcional, reológica y térmica de almidón de papa (*Solanum tuberosum*), olluco (*Ullucus tuberosus*) y batata (*Ipomoea batatas*)," *Tecnológicas*, vol. 29, no. 65, e3417, 2026.

<https://doi.org/10.22430/22565337.3417>



Resumen

Los tubérculos andinos presentan una notable variabilidad genética y composicional, reflejada en diferencias funcionales y tecnológicas de sus almidones, con potencial aplicación en la industria alimentaria y de biomateriales. El objetivo de este estudio fue analizar las propiedades fisicoquímicas, morfológicas, funcionales, reológicas y térmicas de almidones extraídos de papa variedad Capiro (*Solanum tuberosum*) (APC), olluco variedad Morada (*Ullucus tuberosus*) (AOM) y batata variedad Pulpa Blanca (*Ipomoea batatas*) (ABB). La metodología consistió en determinar las propiedades fisicoquímicas (rendimiento de extracción, contenido de amilosa y amilopeptina), morfológicas mediante microscopía electrónica de barrido, y funcionales utilizando índices como absorción de agua (IAA), poder de hinchamiento (PH) y solubilidad en agua (ISA). Asimismo, se evaluó el comportamiento reológico mediante el modelo de ley de potencia, y térmico por termogravimetría (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC). Finalmente, la estructura molecular mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). El ABB presentó mayor rendimiento de extracción (19,18 % ± 2,15 %); en contraste, el AOM y APC evidenciaron mayores contenidos de amilosa (33,58 % ± 0,80 % y 32,92 % ± 1,46 %, respectivamente). El APC mostró mayor tamaño de gránulo promedio (25,05 μm ± 0,84 μm) y 88,4 % de gránulos grandes. El APC y AOM revelaron mayor PH e IAA, mientras que, el ABB presentó mayor ISA. El análisis reológico determinó que todos los geles tuvieron un comportamiento pseudoplástico ($n < 1$) y AOM mayor viscosidad (7,64 Pa·sⁿ). El APC presentó menor temperatura pico de gelatinización (T_p) (66,05 °C), mientras que, el AOM presentó menor temperatura máxima de degradación (T_{max}) (303,90 °C). Finalmente, El FTIR confirmó la estructura típica de polisacáridos; asimismo, el ABB presentó desplazamiento en la región de enlaces glucídicos, indicando mayor proporción de amilopeptina. Estos resultados evidencian que cada almidón tiene características funcionales particulares, lo que permite proponer aplicaciones específicas según su origen botánico.

Palabras clave

Almidón, espectros infrarrojos, estabilidad térmica, reología de geles, tubérculos.

Abstract

Andean tubers exhibit remarkable genetic and compositional variability, reflected in the functional and technological differences of their starches, which offer potential applications in the food and biomaterials industries. This study aimed to analyze the physicochemical, morphological, functional, rheological, and thermal properties of starches extracted from Capiro potato (*Solanum tuberosum*) (CPS), Morada olluco (*Ullucus tuberosus*) (MOS), and White Pulp sweet potato (*Ipomoea batatas*) (WSS). Methodology included determining physicochemical properties (extraction yield, amylose, and amylopectin content), morphology via scanning electron microscopy (SEM), and functional properties using water absorption index (WAI), swelling power (SP), and water solubility index (WSI). Furthermore, rheological behavior was evaluated using the power-law model, thermal properties by thermogravimetry (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC), and molecular structure via Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). WSS showed the highest extraction yield ($19.18\% \pm 2.15\%$), while MOS and CPS exhibited higher amylose contents ($33.58\% \pm 0.80\%$ and $32.92\% \pm 1.46\%$, respectively). CPS displayed the largest average granule size ($25.05\mu\text{m} \pm 0.84\mu\text{m}$) with 88.4% large granules. CPS and MOS showed higher SP and WAI, whereas WSS presented higher WSI. Rheological analysis determined that all gels exhibited pseudoplastic behavior ($n < 1$), with MOS showing the highest viscosity ($7.646 \text{ Pa}\cdot\text{s}$). CPS presented the lowest peak gelatinization temperature (T_p) ($66.05 \text{ }^\circ\text{C}$), while MOS showed the lowest maximum degradation temperature (T_{max}) ($303.90 \text{ }^\circ\text{C}$). Finally, FTIR confirmed typical polysaccharide structures; however, WSS displayed a shift in the glucosidic bond region, indicating a higher proportion of amylopectin. These results evidence that each starch possesses distinct functional characteristics, allowing for specific application proposals based on their botanical origin.

Keywords

Starch, infrared spectra, thermal stability, gel rheology, tubers.

1. INTRODUCCIÓN

El almidón constituye el biopolímero natural más abundante en la naturaleza después de la celulosa [1]. Está formado por una mezcla de polisacáridos, principalmente amilosa y amilopectina, acompañados de una fracción minoritaria de compuestos no glucídicos como lípidos y minerales, cuya proporción depende de la fuente vegetal de obtención [2]. La relación amilosa y amilopectina es un factor crítico que afecta varias propiedades del almidón, incluyendo el comportamiento de gelatinización, estabilidad térmica, retrogradación, capacidad de absorción de agua y estabilidad en condiciones de congelación-descongelación [3]. La amilosa es insoluble en agua y contribuye a aumentar la capacidad de gelatinización del almidón, mientras que la amilopectina se disuelve fácilmente en agua, y se utiliza para mejorar sus propiedades adhesivas [4]. Debido a sus propiedades fisicoquímicas y funcionales, el almidón es considerado un insumo estratégico en sectores como la industria alimentaria, farmacéutica y de materiales biodegradables, donde su implementación permite sustituir plásticos sintéticos y aportar soluciones sostenibles en el marco de la economía circular [5]. El maíz, el trigo, el arroz y la papa son las principales fuentes comerciales de almidón, pero, la alta demanda industrial impulsa la exploración de fuentes no convencionales (semillas, tubérculos, rizomas, brotes) que son aisladas e investigadas por sus propiedades fisicoquímicas, estructurales, morfológicas, entre otras [3].

En los Andes colombianos, particularmente en el departamento de Nariño, se concentra una amplia diversidad de tubérculos nativos, entre los que destacan la papa (*Solanum tuberosum*), olluco (*Ullucus tuberosus*) y batata (*Ipomoea batatas*). Estos cultivos representan no solo un recurso alimentario de relevancia histórica y cultural, sino también, una oportunidad para la generación de productos con valor agregado a partir de sus almidones. No obstante, la cadena productiva enfrenta problemas críticos, como: pérdidas anuales cercanas a 800.000 toneladas de raíces y tubérculos, bajos rendimientos de producción en cultivos tradicionales y una alarmante disminución de la agrobiodiversidad, que pone en riesgo la conservación de especies nativas [6], [7].

Diversos estudios han reportado diferencias estructurales, composicionales y funcionales en los almidones de tubérculos andinos, lo cual sugiere un potencial uso diferenciado en aplicaciones tecnológicas; [8] estudiaron el almidón de cuatro cultivares nativos de papa,

enfocándose en sus propiedades morfológicas, fisicoquímicas y térmicas. [9] caracterizaron almidones de mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca y batata cultivados en Colombia, mostrando variabilidad en el contenido de amilosa y en la morfología de los gránulos. [10] analizaron propiedades de tubérculos andinos, reportando que sus características fisicoquímicas condicionan el comportamiento reológico. Estudios recientes sobre papa nativa y batata evidencian que el rendimiento de extracción y las propiedades funcionales dependen fuertemente del genotipo, las condiciones de cultivo y el método de obtención [11], [12].

Aunque la mayoría de las investigaciones se han centrado principalmente en especies individuales o en comparaciones parciales de almidones sobre sus propiedades fisicoquímicas, funcionales, térmicas y reológicas, aún son limitadas las investigaciones comparativas simultáneas y bajo condiciones estandarizadas de almidones en tubérculos andinos con potencial de aprovechamiento en Colombia. Asimismo, la información sobre el olluco es escasa, pese a su relevancia cultural y su potencial como fuente biopolimérica. En este contexto, resulta necesario generar evidencia científica que permita comparar de forma integral las propiedades de almidones provenientes de papa, olluco y batata, con el fin de identificar ventajas diferenciales que orienten su aprovechamiento en la industria alimentaria y en el desarrollo de biomateriales. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue analizar las propiedades fisicoquímicas, morfológicas, funcionales, térmicas y reológicas de almidones extraídos de papa variedad Capiro (*Solanum tuberosum*), olluco variedad Morada (*Ullucus tuberosus*) y batata variedad Pulpa Blanca (*Ipomoea batatas*), para establecer comparaciones que sustenten su potencial de aplicación en procesos agroindustriales sostenibles que contribuyan a la valorización de estos tubérculos subutilizados.

2. METODOLOGÍA

2.1 Materia prima y extracción del almidón

Se escogieron tres tipos de tubérculos: papa variedad Capiro (*Solanum tuberosum*), olluco variedad Morada (*Ullucus tuberosus*) y batata variedad Pulpa Blanca (*Ipomoea batatas*), obtenidas del Centro de abastos de San Juan de Pasto (Colombia). La extracción de almidón se realizó mediante el método de molienda húmeda en agua, según lo reportado por [13]. Inicialmente, los tubérculos se seleccionaron para descartar aquellos con daños mecánicos y, posteriormente se pelaron, lavaron y desinfectaron; luego se trocearon en cubos de 2-3 mm y se sometieron a molienda en agua potable durante un minuto en un procesador de alimentos (OSTER, K158-T2, Colombia). Para prevenir el pardeamiento enzimático se añadió bisulfito de sodio a una concentración del 1 % (p/v) durante esta etapa. La mezcla resultante se filtró a través de un lienzo de muselina; el material sólido retenido se sometió a dos ciclos adicionales de lavado y filtración, para maximizar la recuperación del almidón. Los filtrados combinados se dejaron decantar durante 24 horas, para permitir la sedimentación. A continuación, el almidón sedimentado se purificó mediante dos lavados sucesivos, suspendiéndolo nuevamente en agua potable y decantando hasta obtener un sobrenadante translúcido. Finalmente, el almidón purificado se secó en horno de convección (GEMMYCO, IN-601, Colombia) a 45 °C por 24 h. El producto seco se pulverizó, tamizó (malla núm. 100) y almacenó en bolsas herméticas a temperatura ambiente ($T \sim 17 \text{ }^\circ\text{C}$ y $H \sim 60 \%$). Finalmente, se determinó el rendimiento de extracción en base húmeda como la relación entre la masa de almidón extraído y la masa de tubérculo procesado.

2.2 Propiedades fisicoquímicas

El contenido de amilosa se determinó basándose en el procedimiento descrito por [14] empleando un espectrofotómetro (Mapada single Beam UV-VIS, P4, China) a 720 nm. El

contenido de amilopectina se determinó por diferencia (100 % - % de amilosa). La forma y tamaño de los gránulos se analizó mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) en un equipo (JEOL, JSM 6490, Japón) con un voltaje de aceleración de 20 Kv. las micrografías resultantes fueron analizadas utilizando el software ImageJ. Con los datos obtenidos se efectuó una distribución de tamaño de gránulo, ajustado en función del coeficiente de determinación (R^2) y coeficiente de determinación (R^2_{adj}). Igualmente, se determinó el tamaño de gránulo promedio, tamaño de gránulo, porcentajes de gránulos esféricos, elipsoidales, pequeños ($\leq 7,5 \mu\text{m}$), medianos ($> 7,5 \leq 15 \mu\text{m}$) y grandes ($> 15 \mu\text{m}$).

2.3 Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR)

Se analizó mediante un espectrofotómetro de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) (Shimadzu IRAffinity-1S, Japón), siguiendo lo descrito por [15]. Cada muestra seca de APC, AOM y ABB se mezcló con bromuro de potasio (KBr) en una relación almidón/KBr de 4:1. Las mezclas se prensaron para formar pastillas y, sus espectros se analizaron con una resolución en el intervalo de 500 – 4000 cm^{-1} .

2.4 Propiedades funcionales

El índice de absorción de agua (IAA), el poder de hinchamiento (PH) y la solubilidad en agua (ISA) de APC, AOM y ABB fueron determinados acorde con la metodología descrita por [16], con algunas modificaciones. Se prepararon suspensiones a una concentración de 4 % (p/v) utilizando agua destilada, las cuales fueron agitadas en un mezclador (Labnet, VORTEX SO200, México) durante 5 min y luego calentadas a temperaturas de 60 °C, 70 °C, 80 °C y 90 °C en un baño María (EYELA OIL BATH, OSB-2000, Japón). Posteriormente, las muestras fueron enfriadas a 25 °C usando hielo y, centrifugadas a 4900 rpm durante 30 min en una centrífuga (DYNAMICA, Velocity 18R, UK). Tras la centrifugación, se separó el sobrenadante y se midió su volumen total, así como el peso del gel formado. Luego, se tomaron alícuotas de 2 mL del sobrenadante y se colocaron en cajas Petri de peso previamente conocido. Estas cajas se sometieron a un proceso de secado en incubadora a 70 °C durante 4 h. Una vez finalizado el secado, se pesaron nuevamente las cajas Petri para determinar el peso de los solubles. Para calcular el IAA, el PH y el ISA, se utilizaron las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) respectivamente:

$$\text{IAA} = \frac{\text{masa del gel (g)}}{\text{masa de la muestra (g) base húmeda}} \quad (1)$$

$$\text{PH} = \frac{\text{masa del gel (g)}}{\text{masa de la muestra (g) base húmeda} - \text{masa solubles (g)}} \quad (2)$$

$$\text{ISA} = \frac{\text{masa solubles totales (g)}}{\text{masa de la muestra (g) base húmeda}} * 100 \quad (3)$$

$$\text{masa solubles totales (g)} = \text{Psa (g)} * \frac{\text{volumen sobrenadante (mL)}}{\text{alícuota (mL)}} \quad (4)$$

donde: Psa = masa de los solubles en alícuota luego de secado en horno.

2.5 Propiedades reológicas

De acuerdo con el procedimiento descrito por [17], se prepararon soluciones de APC, AOM y ABB a una concentración de 3 % (p/v) en agua destilada, utilizando beakers de 600 mL. Las soluciones fueron calentadas en una plancha de calentamiento y agitación (IKA, C-MAG HS 7, Alemania) a 90 °C con agitación constante y, posteriormente, enfriadas a temperatura ambiente hasta alcanzar los 50 °C. Posteriormente, se realizaron curvas de flujo de acuerdo con lo descrito

por [18] mediante el registro de valores de fuerza de cizalla y rango de corte de los geles de almidón, empleando un viscosímetro rotacional (Brookfield, DV3TLVTJ0, USA) con el husillo cilíndrico LV-2C (66). Las mediciones se realizaron a velocidades de 0,5 rpm a 6 rpm, con incrementos de 0,5 rpm. El equipo proporcionó automáticamente los valores de rango de corte, los cuales fueron asociados con cada velocidad de rotación mediante un cálculo matemático automático entre la velocidad de rotación y la geometría del husillo. Tanto las características reológicas como la viscosidad aparente (C_p) la fuerza de cizalla (τ), el índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento de flujo (n), se calcularon a partir de las curvas de flujo y empleando la ecuación de la ley de potencia (5) de acuerdo con lo mencionado por [11].

$$\tau = K \cdot \gamma^n \quad (5)$$

donde τ es la fuerza de cizalla, γ es la velocidad de corte (s^{-1}), K es el coeficiente de consistencia ($Pa \cdot s^n$), y n es el índice de comportamiento de flujo (adimensional). Este modelo describe el comportamiento reológico de fluidos no newtonianos, permitiendo clasificar los materiales como pseudoplásticos ($n < 1$) o dilatantes ($n > 1$). Para obtener estos parámetros, fueron construidas gráficas log-log de $\ln(\tau)$ frente a $\ln(\gamma)$, ajustándose los datos a una línea recta cuya pendiente corresponde a n y el intercepto a $\ln(K)$.

2.6 Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de APC, AOM y ABB se determinaron utilizando un analizador termogravimétrico (TGA-DSC SDT Q600sdt V20.9 Build 20, TA Instruments, Inglaterra) siguiendo el procedimiento establecido por el fabricante. Se colocaron muestras con un peso aproximado de 7 mg a 9 mg en recipientes de alúmina, utilizando un recipiente del mismo material como referencia. El recipiente se selló herméticamente y se equilibró a 25 °C durante aproximadamente 1 h para el equilibrio de humedad. Luego se calentó a una velocidad de 10 °C/min de 25 a 500 °C y atmósfera de nitrógeno (80 mL/min). Se registraron las curvas de termogravimetría (TG), primera derivada termogravimétrica (DTG) y calorimetría diferencia del barrido (DSC). Se determinó: etapas de degradación (%), masa residual (%), temperatura pico de gelatinización (T_p) y temperatura máxima de degradación (T_{max}).

2.7 Análisis estadístico

Para cada una de las propiedades evaluadas se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía (nivel de confianza del 95 %) para determinar diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Estos consistieron en los tres tipos de almidón (APC, AOM y ABB). En los casos donde se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher para la comparación de medias. Los resultados se reportaron como la media \pm la desviación estándar. El análisis estadístico (ANOVA y pruebas de comparación de medias) se llevó a cabo con el software Statgraphics Centurión 19.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Rendimiento de extracción y contenido de amilosa

Los rendimientos de extracción de almidón (base húmeda) y los contenidos de amilosa y amilopectina se presentan en la Tabla 1. Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre las tres fuentes, con un rendimiento máximo para ABB (19,18 %) \pm 2,15 %, seguido de APC (13,86 %) \pm 1,55 % y AOM (8,56 %) \pm 0,99 %. Estos resultados difieren de los reportados por [19] y [20] en tubérculos de papa, olluco y batata. Estas diferencias pueden

atribuirse al uso de diversas técnicas usadas en la extracción de los almidones [20]. Por su parte, [21] reportaron que los rendimientos de almidón de los tubérculos varía significativamente según la temporada de cosecha, debido a las diferencias en condiciones de crecimiento, temperatura y madurez. Por otro lado, se evidenció la presencia de mucílago en el procesamiento de tubérculo de olluco, lo cual dificultó la filtración en la extracción de su almidón durante este estudio; dicho compuesto pudo comprometer la etapa de sedimentación y, por ende, disminuir el rendimiento del proceso; por lo tanto, es recomendable utilizar etapas adicionales en la extracción para este tipo de tubérculo.

Tabla 1. Rendimiento de extracción en base húmeda (b.h) (%), contenido de amilosa (%), contenido de amilopectina (%) de almidones extraídos de APC, AOM y ABB*. Fuente: elaboración propia.

Parámetro	Tipo de almidón		
	APC	AOM	ABB
Rendimiento (b.h) (%)	13,86 ± 1,55 ^b	8,56 ± 0,99 ^a	19,18 ± 2,15 ^c
Amilosa (%)	32,92 ± 1,46 ^c	33,58 ± 0,80 ^b	28,58 ± 1,56 ^a
Amilopectina (%)	67,08 ± 1,46 ^a	66,42 ± 1,46 ^a	71,42 ± 1,66 ^b

*Valores promedio (n=3) ± desviación estándar. Letras no comunes en la misma fila indican diferencias estadísticamente significativas entre medias, según prueba de LSD de Fisher a un 95 % de confianza.

El contenido de amilosa fue mayor en AOM, mientras que ABB presentó mayor cantidad de amilopectina. [22]-[24] señalan que un alto contenido de amilosa puede estar relacionado con la presencia de gránulos de almidón de mayor tamaño. Por otro lado, [25] reporta que estas variaciones pueden deberse a la actividad de las enzimas involucradas en la síntesis y degradación del almidón, así como al método de extracción y al procedimiento analítico empleado para su cuantificación. El contenido de amilosa y amilopectina fueron similares a los descritos en la bibliografía para almidones de olluco y batata de diferentes variedades [20], [26]. Los almidones con perfiles específicos de amilosa y amilopectina podrían ofrecer ventajas tecnológicas como películas comestibles o espesantes alimentarios. Por su parte, los altos rendimientos de extracción observados sugieren una viabilidad económica para su aprovechamiento.

3.2 Forma y tamaño del gránulo

La distribución del tamaño de gránulo de APC, AOM y ABB se presenta en la Figura 1. Todos los almidones evaluados mostraron una distribución de tamaño unimodal. Las distribuciones de tamaño de ABB y APC se ajustaron a un modelo log-normal, con coeficientes de determinación de ($R^2 = 0,98$; $R^2_{adj} = 0,97$ y $R^2 = 0,98$; $R^2_{adj} = 0,97$, respectivamente). En el caso del AOM, la distribución se ajustó mejor a un modelo normal ($R^2 = 0,985$; $R^2_{adj} = 0,976$).

Como se puede evidenciar en la Tabla 2 y la Figura 2, el APC presentó un predominio de gránulos elipsoidales (76 %) sobre los esféricos (24 %); además, esta muestra se caracterizó por tener la mayor proporción de gránulos de tamaño grande (88,4 %). Resultados similares fueron reportados por [27] para almidones provenientes de papas nativas cultivadas en Cusco (Perú). El AOM mostró un mayor porcentaje de gránulos medianos como grandes, con formas elipsoidales (52 %), esféricas (11 %), elipsoidales con bordes irregulares (17,8 %) y formas irregulares con superficie lisa (19,2 %). Por su parte, el ABB presentó un 55,2 % de gránulos de tamaño mediano, con morfologías esféricas (37 %), poliédricas (34,6 %), irregulares con superficie lisa (20,6 %) y campanuladas (7,8 %). En el análisis de distribución del tamaño de gránulo (Tabla 2), el APC evidenció el mayor tamaño promedio de gránulo ($25,05 \mu\text{m} \pm 0,84 \mu\text{m}$) y el rango más amplio ($7,60 \mu\text{m}$ a $64,19 \mu\text{m}$). En contraste, el ABB mostró el menor tamaño promedio ($12,01 \mu\text{m} \pm 0,30 \mu\text{m}$) y el rango más estrecho ($3,67 \mu\text{m}$ a $41,22 \mu\text{m}$). Los resultados obtenidos coinciden con los reportados por [12], quienes establecieron un rango de $10\text{-}33 \mu\text{m}$ para almidones de batata (*Ipomoea batatas* L.) provenientes de México, lo que les permitió

concluir que la gelatinización es más rápida y efectiva en partículas más pequeñas, ya que su mayor superficie específica facilita una absorción de agua y transferencia de calor superiores. A diferencia de la morfología ampliamente documentada de APC y ABB, este estudio destaca la microestructura del AOM. Si bien autores como [12] asocian la fracción de gránulos pequeños a una gelatinización rápida, la coexistencia de estos con gránulos medianos y grandes de diversas formas en el AOM ofrece una ventaja estructural distinta favorable, de gran interés en el campo de los biomateriales.

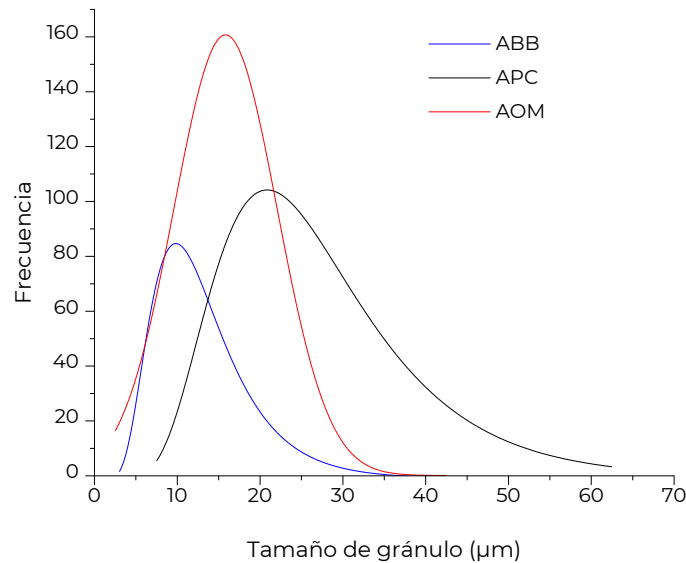


Figura 1. Distribución de tamaño de gránulo de APC, AOM y ABB. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Propiedades morfológicas de los gránulos de APC, AOM, y ABB. Fuente: elaboración propia.

Fuente de almidón	Pequeño (%) ($\leq 7,5 \mu\text{m}$)	Mediano (%) ($>7,5 \leq 15 \mu\text{m}$)	Grande (%) ($>15 \mu\text{m}$)	Tamaño promedio* (μm)	Tamaño mínimo (μm)	Tamaño máximo (μm)
APC	0,00	11,60	88,40	$25,05 \pm 0,84$	7,60	64,19
AOM	2,40	40,20	57,40	$15,83 \pm 0,35$	4,52	42,43
ABB	15,40	55,20	29,40	$12,01 \pm 0,29$	3,67	41,21

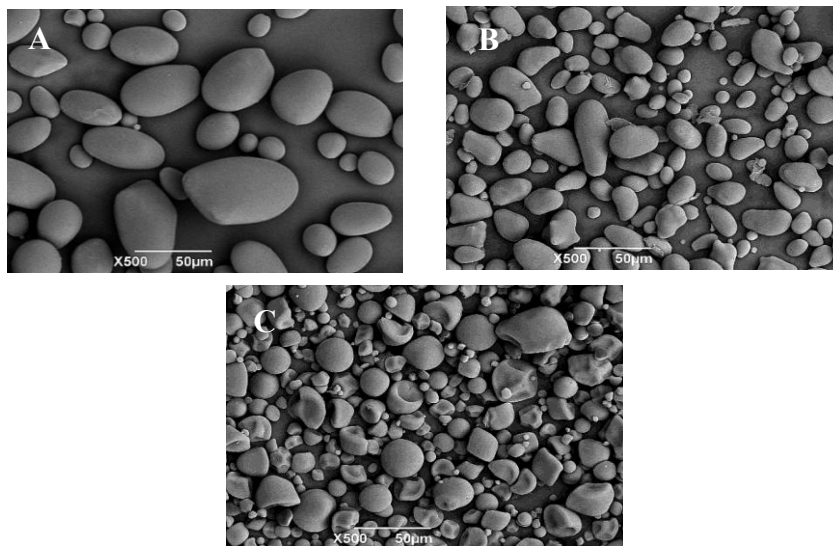


Figura 2. Micrografías SEM de APC (A), AOM (B) y ABB (C). Fuente: elaboración propia.

3.3 Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

A continuación, la Figura 3 muestra los espectros infrarrojos (FTIR) de APC, AOM y ABB. Estos registraron bandas anchas cercanas a 3422 cm^{-1} , atribuidas a las vibraciones de estiramiento del grupo hidroxilo (OH) presentes en las unidades de glucosa anhidra que conforman las cadenas de amilosa y amilopectina [28]. Según [29], las bandas cercanas a 2900 cm^{-1} son atribuibles a las vibraciones de los enlaces C-H del grupo CH_2 . Los picos a la longitud de onda próximas a 1649 cm^{-1} , corresponden a la vibración por flexión del grupo OH asociados al agua intramolecular o ligada en el almidón [30]. Los resultados reportados por [31] indican la presencia de enlaces C-O-C en un rango de amplitudes entre 993 cm^{-1} y 1082 cm^{-1} en el almidón de residuos de papa (*Solanum tuberosum*), junto con una banda de absorción alrededor de 1157 cm^{-1} que señalan un estiramiento asimétrico C-O-C. Estos valores son similares a los obtenidos en este estudio, donde las amplitudes son cercanas a 1000 cm^{-1} , confirmando la presencia del estiramiento asimétrico C-O-C. Las bandas en las regiones de $927,76\text{ cm}^{-1}$, $927,76\text{ cm}^{-1}$ y $929,79\text{ cm}^{-1}$ en APC, AOM y ABB, respectivamente, son atribuibles, según [31], a las oscilaciones de los enlaces α -1,4 y α -1,6 glucídicos del almidón; asimismo, indica que la banda se desplaza hacia números de onda mayores cuando el contenido de amilopectina es más alto, debido a un mayor número de enlaces α -1,6 glucídicos, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, donde ABB obtuvo un mayor porcentaje de amilopectina.

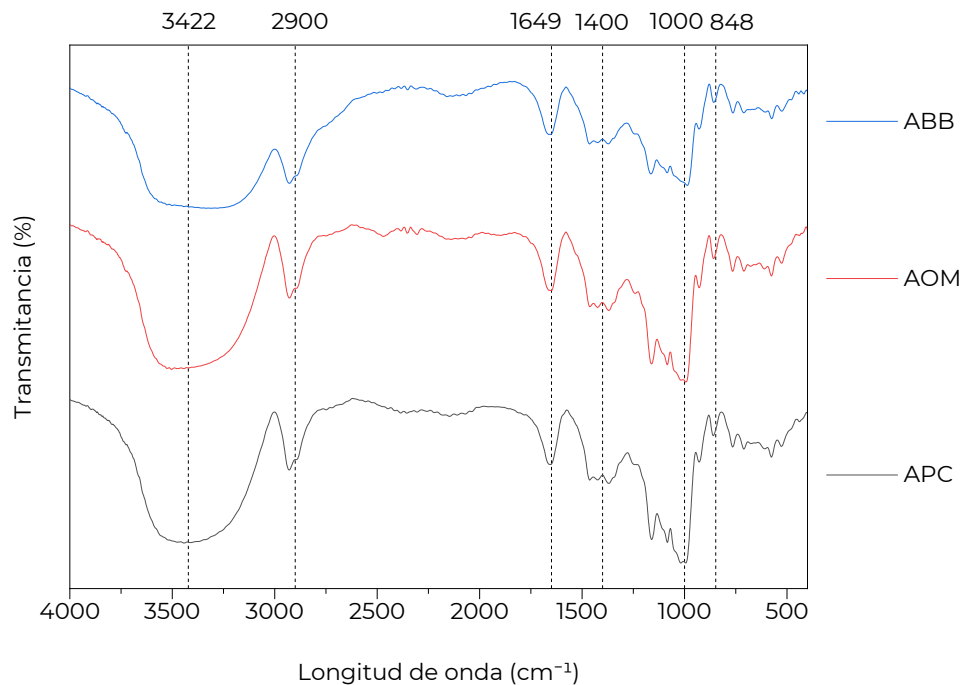


Figura 3. Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) de APC, AOM y ABB.
Fuente: elaboración propia.

3.4 Índice de absorción de agua (IAA), poder de hinchamiento (PH), Índice de solubilidad en agua (ISA)

En la Figura 4 se observa que el IAA y el PH aumentaron con el incremento de la temperatura, tendencia reportada también en el estudio de [24]. Según [32] este comportamiento se debe a la ruptura progresiva de la estructura cristalina del almidón, que

expone los grupos hidroxilo de la amilosa y la amilopectina, facilitando la formación de enlaces de hidrógeno con moléculas de agua y promoviendo la hinchazón y solubilidad de los gránulos.

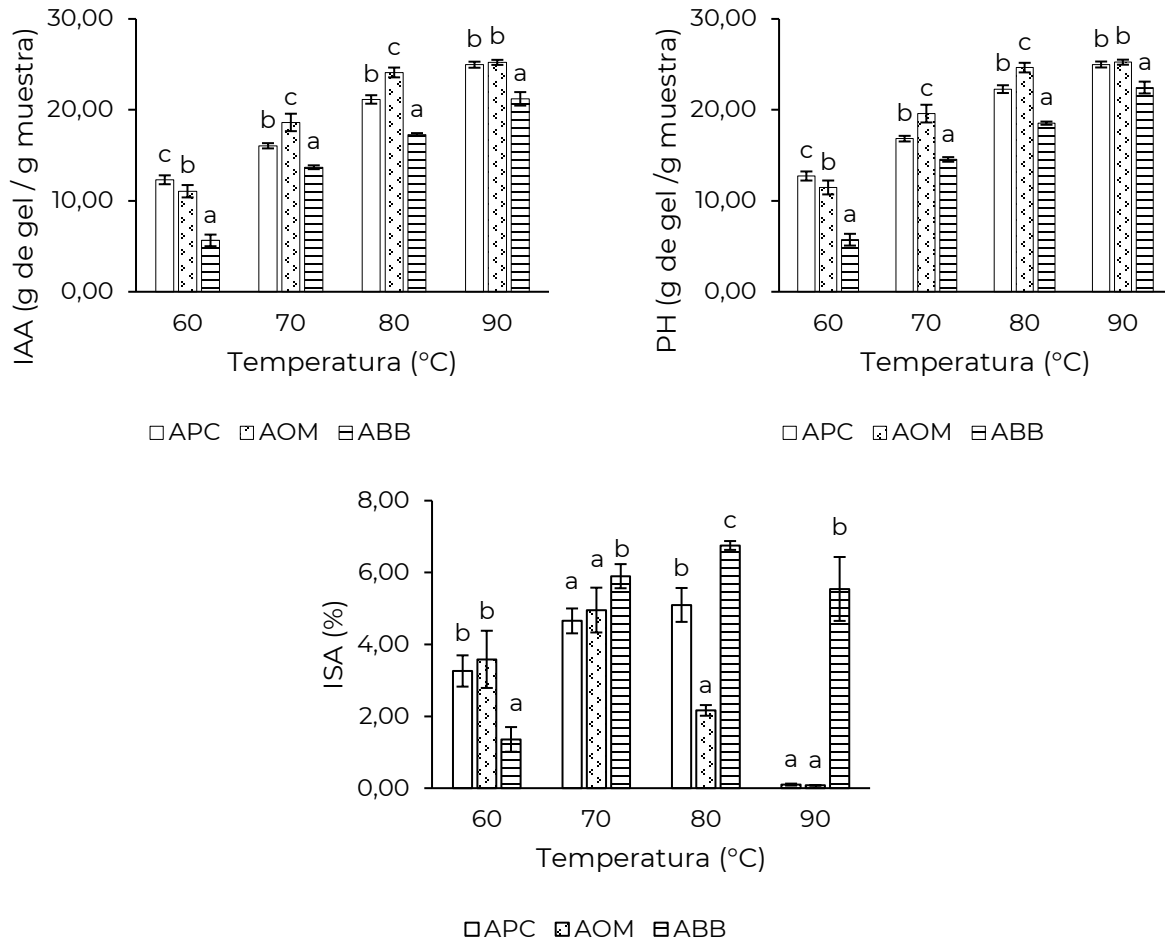


Figura 4. Índice de absorción de agua (IAA), poder de hinchamiento (PH) y solubilidad en agua (ISA) de APC, AOM y ABB sometidos a diferentes temperaturas de gelatinización. Los valores presentan la media y la desviación estándar (\pm) de 5 repeticiones. Las barras que no comparten la misma letra entre grupo de temperaturas presentan diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) según prueba de LSD de Fisher a un 95 % de confianza. Fuente: elaboración propia.

El APC presentó los mayores valores de IAA ($12,31 \% \pm 0,49 \%$) y PH ($12,73 \% \pm 0,50 \%$) a $60 \text{ }^\circ\text{C}$, mientras que el AOM alcanzó los máximos valores de IAA ($18,62 \% \pm 0,96 \%$) y PH ($19,59 \% \pm 0,97 \%$) a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ y $80 \text{ }^\circ\text{C}$, lo que refleja una mayor capacidad de interacción con el agua y gelatinización, posiblemente asociada con el menor tamaño de sus gránulos, que facilitaron la absorción de agua y el hinchamiento de los gránulos [33]. Sin embargo, también influyen la estructura y componentes minoritarios, que pueden incidir en los resultados, como la ramificación de la amilopectina y la presencia de grupos fosfato o fosfolípidos. A $90 \text{ }^\circ\text{C}$, el APC presentó valores de IAA y PH de $24,96 \% \pm 0,33 \%$ y $24,99 \% \pm 0,33 \%$, respectivamente, mientras que el AOM mostró valores de $25,22 \% \pm 0,28 \%$ y $25,24 \% \pm 0,28 \%$, correspondientemente, con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) respecto al ABB en todas las temperaturas evaluadas; esto es acorde con lo reportado por [34].

Respecto al ISA, el APC y el AOM presentaron los valores más altos a $60 \text{ }^\circ\text{C}$; sin embargo, a partir de esta temperatura, el ABB incrementó su solubilidad en más de 5,5 %. Diversas investigaciones han planteado que existe la posibilidad de entrada del agua a los espacios

intermoleculares facilitada por las ramificaciones laterales de la amilopectina; esto permite que los polímeros, en especial la amilopectina, que es de mayor proporción de disolución, aumente su solubilidad [35]. No obstante, a temperaturas elevadas se observó una disminución en la solubilidad, fenómeno también descrito en [25], [31]. La reducción de ISA podría explicarse por la formación de complejos insolubles entre amilosa y amilopectina, que precipitan una vez alcanzada la máxima solubilidad [31]. Igualmente, se ha sugerido que la baja solubilidad a altas temperaturas se asocia con la presencia de enlaces fuertes en la estructura del gránulo, que limitan la penetración de agua, estabilizando el hinchamiento del almidón [36], lo cual coincide con la elevada fuerza de cizalla observada en los geles de APC y AOM. En conclusión, la alta capacidad para hidratarse y expandirse observada en los geles de APC y AOM podrían ser de gran utilidad en procesos térmicos donde se requiera aportar textura al producto; por ejemplo, en la industria de la panificación, el ABB indica una mayor liberación de componentes solubles desde el gránulo, lo cual promovería la interacción con otros compuestos fuera del gránulo, como lípidos y proteínas, posiblemente de gran interés en la fabricación de películas biodegradables.

3.5 Comportamiento reológico

Entre los geles evaluados en este estudio, el gel de AOM presentó los mayores esfuerzos de cizalla y viscosidad, seguido por los geles de APC y ABB (Figura 5). Este comportamiento podría estar relacionado por el contenido de amilosa de cada tubérculo obtenido en este estudio, como también concluyeron [10] al estudiar geles de mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), oca (*Oxalis tuberosa* M.) y olluco (*Ullucus tuberosum* C.), quienes establecieron que un mayor contenido de amilosa aumenta la fuerza de cizalla necesaria para romper su red, lo que se traduce en una mayor viscosidad del gel. Las curvas de flujo de los geles de los almidones evaluados mostraron un comportamiento no newtoniano, caracterizado por una relación no constante entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, así como una disminución de la viscosidad con el incremento de esta última (Figura 4). Este comportamiento, conocido como corte adelgazante o pseudoplástico [18], se atribuye cuando la fuerza de cizalla generada entre la superficie del husillo cilíndrico y la red molecular de amilosa, amilopectina y agua, debilita progresivamente las interacciones moleculares [37]. Esto permite que las moléculas fluyan más fácilmente en la dirección del flujo generado por el husillo, facilitado por la presencia de almidón dañado y una estructura más débil, lo que resulta en una disminución progresiva de la viscosidad aparente [38], [39]. Esto resulta de gran interés, ya que este análisis del gel permite evaluar de manera preliminar la firmeza de la red estructural del almidón frente a posibles modificaciones físicas, químicas o enzimáticas.

El comportamiento del flujo de cada gel de almidón tuvo buen ajuste al modelo de Ostwald-de Waele (ley de la potencia) con coeficientes de determinación (R^2) de 0,99, 0,91 y 0,94 para APC, AOM y ABB. Todos presentaron un comportamiento pseudoplástico ($n < 1$). Los parámetros obtenidos para describir las curvas de flujo se presentan en la Tabla 3. Los índices de consistencia (k) presentaron diferencias significativas entre todos los geles de almidón ($p < 0,05$). El índice de comportamiento al flujo (n) no presentó diferencias estadísticamente significativas.

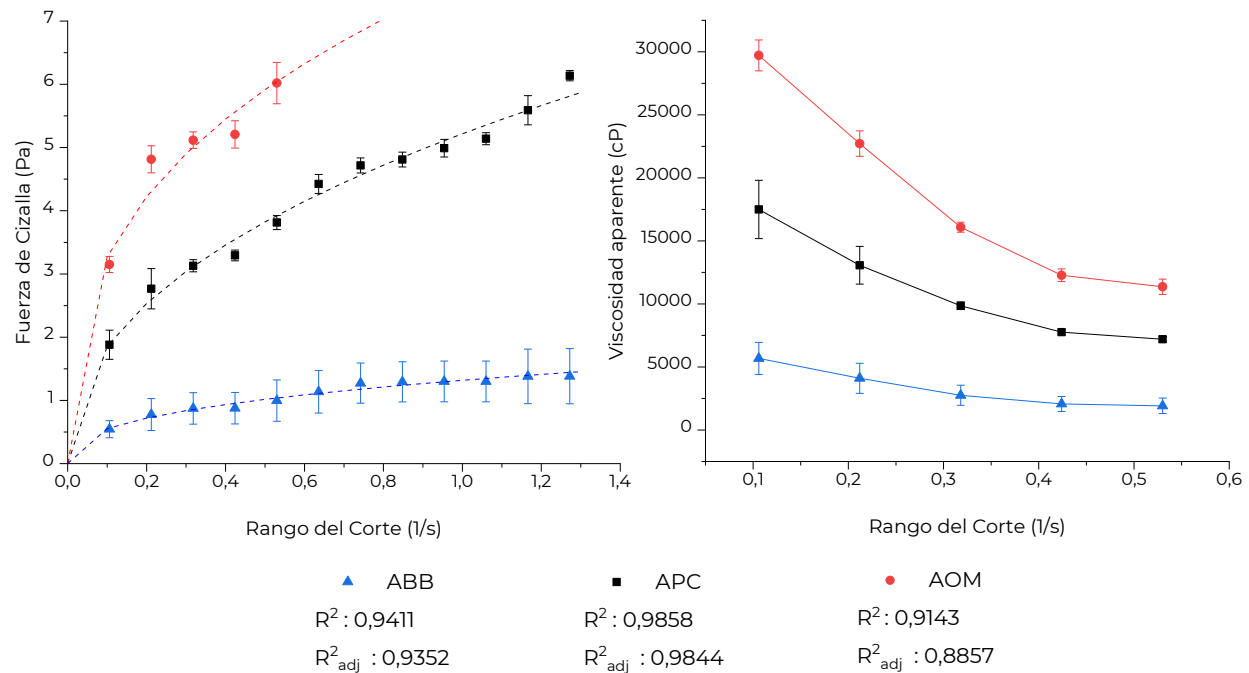


Figura 5. Comportamiento de la viscosidad aparente y la fuerza de cizalla al someter los geles de APC, AOM y ABB a diferentes rangos de corte. Los valores presentan la media y la desviación estándar (\pm) de 3 repeticiones. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Parámetros reológicos de la ecuación de Ley de Potencia que describen el comportamiento del flujo de geles de APC, AOM y ABB*. Fuente: elaboración propia.

Tipo de almidón	k (Pa · s ⁿ)	n	R ²
APC	5,31 ± 0,22 ^a	0,51 ± 0,14 ^a	0,99
AOM	7,65 ± 0,64 ^b	0,37 ± 0,05 ^a	0,91
ABB	1,36 ± 0,31 ^c	0,33 ± 0,07 ^a	0,94

*Valores promedio (n=3) \pm desviación estándar. Letras no comunes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias, según prueba de LSD de Fisher a un 95 % de confianza. k: índice de consistencia; n: índice de comportamiento de flujo; R²: coeficiente de determinación.

El índice de consistencia (k) del gel AOM fue más alto, en comparación con el APC y ABB, lo que refleja una mayor viscosidad en el gel de olluco y una menor en el de batata. Estos resultados son superiores a los reportados por [10], quienes informaron un k de 8,66 Pa·sⁿ para gel de almidón de olluco variedad amarilla cultivada en regiones campesinas del Perú. Estos resultados son superiores a los reportados para geles de almidón de papa cultivada en México [40]. Estas diferencias podrían atribuirse a que el fósforo presente en los tubérculos, en forma de monoéster de fosfato, facilita el hinchamiento de la región de amilopectina del gránulo, contribuyendo a la formación de geles de alta viscosidad, pegajosidad y cohesividad [41], [42]. Sin embargo, según [43] un alto contenido de proteína puede alterar estas propiedades, afectando la viscosidad del gel y, el contenido de grasa presente puede reducir tanto la viscosidad de la pasta como la fuerza del gel; por lo tanto, es importante realizar un análisis proximal para futuras investigaciones. Además, los resultados del análisis reológico podrían variar según la concentración del gel de almidón y las diferentes geometrías de los husillos, que afectan el cálculo de la viscosidad y el esfuerzo cortante en los viscosímetros rotacionales.

3.6 Análisis térmico

La Figura 6 muestra las curvas de pérdida de peso (TGA), flujo de calor y primera derivada (DTG) de APC, AOM y ABB. Estas evidencian la degradación térmica de los tres almidones en dos etapas principales. La primera etapa, asociada a la evaporación del agua y, una segunda, atribuible a la despolimerización [8]. La primera etapa de evaporación de agua fue 13,26 (151,02 °C), 12,91 (150,43 °C) y 12,79 (163,54 °C) % para APC, AOM y ABB, respectivamente. La despolimerización fue de 59,26 (325,13 °C), 64,67 (375,21 °C) y 69,03 (354,34 °C) % para AOM, APC y ABB, respectivamente. La masa residual fue de 27,83 %, 22,07 % y 18,18 % para AOM, APC y ABB, respectivamente. En la curva DTG se observa que la T_{max} fue de 313,83 °C, 306,11 °C y 303,90 °C para ABB, APC y AOM. Estos resultados concuerdan con lo reportado por [9], [27], [44] para almidones de papa, olluco y batata.

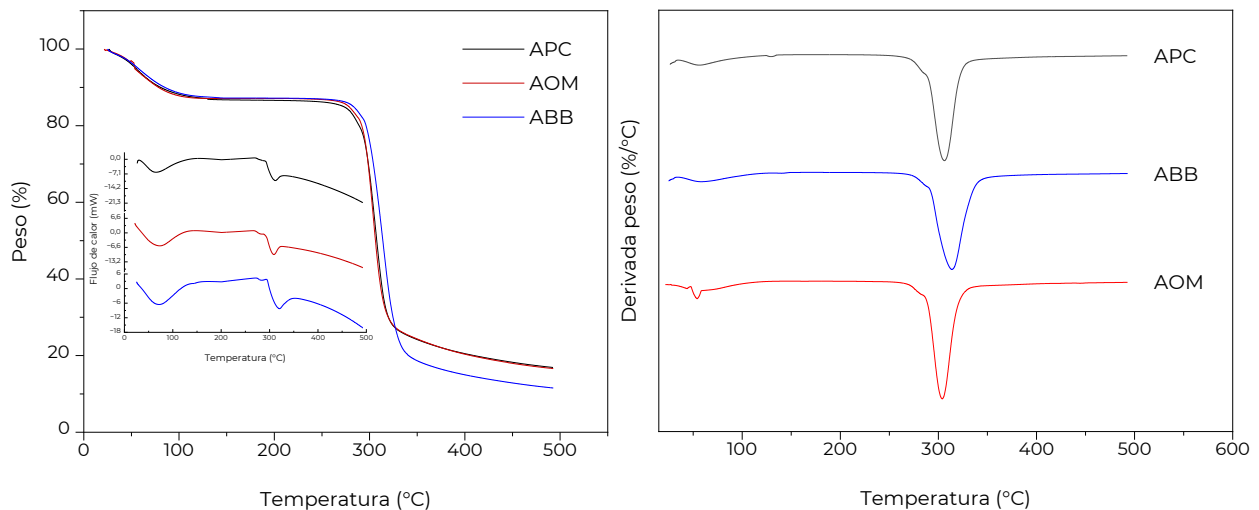


Figura 6. Curvas de TGA (A), flujo de calor (B) y DTG (C) de APC, AOM y ABB. Fuente: elaboración propia.

El diagrama de flujo de calor que se muestra en la Figura 6, corresponde a un proceso endotérmico; es decir, se requiere energía calórica para la gelatinización. Se observa que la T_p fue de 66,05 °C; 70,91 °C y 71,33 °C para APC, AOM y ABB, respectivamente. La T_p marca el punto donde se acelera la difusión de amilosa del gránulo de almidón hacia la fase acuosa. La temperatura de gelatinización indica la estabilidad térmica de la estructura cristalina, la cual depende de la distribución del tamaño de los gránulos en los almidones [45], [46]. En este estudio, los gránulos pequeños de ABB indicaron una temperatura de gelatinización más alta y, por ende, mayor estabilidad térmica.

La literatura citada señala que el proceso de degradación térmica podría estar relacionado con el contenido de amilosa y amilopectina, como se reporta en [47], donde el almidón con mayor contenido de amilosa presenta menor estabilidad térmica. Según [48], el contenido amilosa y amilopectina es un factor determinante en la descomposición térmica del almidón; específicamente, una mayor proporción de amilopectina en la composición del almidón resulta en una mayor resistencia a la degradación por calor, lo que eleva la temperatura de descomposición. Esto se explica por el elevado peso molecular de la amilopectina, que requiere más energía para la ruptura de sus enlaces. En concordancia, las máximas temperaturas de descomposición térmica observadas en el ABB podrían atribuirse a su mayor contenido de amilopectina. Esta mayor estabilidad térmica presente en ABB sugiere potencial para el desarrollo de biopelículas o empaques biodegradables sometidos a tratamientos térmicos.

3.7 Limitaciones del estudio y perspectivas futuras

Si bien los resultados permiten establecer diferencias entre los almidones de papa, olluco y batata, el estudio presenta algunas limitaciones metodológicas que deben ser consideradas: el trabajo se desarrolló a escala de laboratorio, con un número limitado de repeticiones, utilizando una sola variedad por tubérculo, lo que podría afectar la representatividad y reproducibilidad de los resultados. Además, el método de extracción empleado puede influir en la pureza del almidón, particularmente en especies poco estudiadas como el olluco. El análisis morfológico mediante SEM se realizó bajo condiciones específicas de preparación y operación, lo cual puede limitar la interpretación de ciertos rasgos estructurales. De igual forma, la caracterización reológica se efectuó a una única concentración y con una geometría definida, factores que inciden en los parámetros obtenidos. Futuras investigaciones deberían considerar un mayor número de variedades y repeticiones, así como la evaluación de métodos alternativos de extracción, modificación del almidón y escalamiento industrial.

4. CONCLUSIONES

Los almidones extraídos de papa (APC), olluco (AOM) y batata (ABB) mostraron diferencias estructurales y funcionales asociadas a su origen botánico. El ABB presentó el mayor rendimiento de extracción, lo que lo posiciona como una fuente potencialmente más eficiente para procesos industriales. Por su parte, el APC y el AOM exhibieron mayores contenidos de amilosa y valores superiores de índice de absorción de agua y poder de hinchamiento, lo que favorece la formación de geles más consistentes y estructuralmente firmes. El AOM se destacó por presentar la mayor viscosidad y el mayor índice de consistencia, lo que sugiere su utilidad como agente espesante en formulaciones alimentarias o matrices hidrocoloides. En contraste, el ABB mostró mayor solubilidad y un desplazamiento en la región glucídica del FTIR, asociado con su mayor proporción de amilopectina, además de una mayor estabilidad térmica, lo cual podría ser ventajoso en el desarrollo de biopelículas o empaques biodegradables sometidos a tratamientos térmicos. En conjunto, los resultados evidencian que cada almidón posee características particulares que pueden ser aprovechadas de manera diferenciada, permitiendo orientar su aplicación hacia usos específicos en la industria alimentaria y en el diseño de biomateriales sostenibles.

5. AGRADECIMIENTO Y FINANCIACIÓN

Los autores agradecen al Grupo de Apoyo a la Investigación y Desarrollo Agroalimentario (GAIDA) de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño por el apoyo y por facilitar el equipamiento y espacio para el desarrollo de esta investigación.

6. REFERENCIAS

- [1] T. Rodrigues Arruda *et al.*, "An Overview of Starch-Based Materials for Sustainable Food Packaging: Recent Advances, Limitations, and Perspectives," *Macromol*, vol. 5, no. 2, p. 19, Apr. 2025.
<https://doi.org/10.3390/macromol5020019>
- [2] G. León-Méndez, D. León-Méndez, M. R. Monroy-Arellano, S. De la Espriella-Angarita, and A. Herrera-Barros, "Modificación química de almidones mediante reacciones de esterificación y su potencial uso en la industria cosmética," *Arch. Venez. Farmacol. Ter.*, vol. 39, no. 5, pp. 620-626, Aug. 2020.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4263365>

- [3] H. J. Martins Carvalho, M. Teixeira Barcia, and M. Schmiele, "Non-Conventional Starches: Properties and Potential Applications in Food and Non-Food Products," *Macromol*, vol. 4, no. 4, pp. 886-909, Dec. 2024. <https://doi.org/10.3390/macromol4040052>
- [4] F. Hernández-Carmona, Y. Morales-Matos, H. Lambis-Miranda, and J. Pasqualino, "Starch extraction potential from plantain peel wastes," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 5, no. 5, pp. 4980-4985, Oct. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.034>
- [5] K. Trejo Cuevas, G. Rodríguez Castillejos, J. Reyes Gallardo, C. Lizarazo Ortega, and C. Hernández Jiménez, "Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos," *Rev. Bol. Quim.*, vol. 41, no. 1, pp. 44-51, Apr. 2024. <http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v41n1/0250-5460-rbq-41-01-59.pdf>
- [6] C. Castañeda, J. D. Martínez, and N. Puerta, *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia. Estudio de la Dirección de Seguimiento y Evaluación de Políticas Públicas*, Bogotá, Colombia, Departamento Nacional de Planeación, Apr. 2016. [Online]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/P%C3%A9rdida%20y%20desperdicio%20de%20alimentos%20en%20colombia.pdf>
- [7] S. Legarda Pizo, "Manjar blanco con harina de olluco como alternativa al uso del arroz," Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia, 2024. <https://vitela.javerianacali.edu.co/handle/11522/4321>
- [8] A. Mojo-Quisani et al., "Physicochemical properties of starch of four varieties of native potatoes," *Heliyon*, vol. 10, no. 16, p. e35809, Aug. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35809>
- [9] E. B. Fonseca-Santanilla, and L. L. Betancourt-López, "Physicochemical and structural characterization of starches from Andean roots and tubers grown in Colombia," *Food Sci. Technol. Int.*, vol. 28, no. 2, pp. 144-156, Mar. 2022. <https://doi.org/10.1177/1082013221997313>
- [10] F. Velásquez-Barreto, and C. Velezmoro, "Propiedades reológicas y viscoelásticas de almidones de tubérculos andinos," *Scientia Agrop.*, vol. 9, no. 2, pp. 189-197, Jun. 2018. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172018000200003
- [11] F. Xu et al., "Physicochemical and Structural Characterization of Potato Starch with Different Degrees of Gelatinization," *Foods*, vol. 10, no. 5, p. 1104, May. 2021. <https://doi.org/10.3390/foods10051104>
- [12] C. Torres-Álvarez et al., "Effect of Sweet Potato Starch on Rheological Properties and Emulsion Stability of Salad Dressings," *Polysaccharides*, vol. 6, no. 2, p. 51, Jun. 2025. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides6020051>
- [13] M.-G. Dorantes-Fuertes, M. C. López-Méndez, G. Martínez-Castellanos, R. Á. Meléndez-Armenta, and H.-E. Jiménez-Martínez, "Starch Extraction Methods in Tubers and Roots: A Systematic Review," *Agronomy*, vol. 14, no. 4, p. 865, Apr. 2024. <https://doi.org/10.3390/agronomy14040865>
- [14] Rice - Determination of amylose content, ISO 6647:2007, International Organization for Standardization, 2007. [Online]. Available: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/37572/8b32d647d67d4a6ebb7d38095074b1bb/ISO-6647-1-2007.pdf>
- [15] L. Zhu, H. Sun, M. Ma, T. Mu, G. Zhao, and M. M. Lwin, "The Sustainability of Sweet Potato Residues from Starch Processing By-Products: Preparation with Lactaseibacillus rhamnosus and Pediococcus pentosaceus, Characterization, and Application," *Foods*, vol. 12, no. 1, p. 128, Dec. 2022. <https://doi.org/10.3390/foods12010128>
- [16] J. G. Solarte-Montúfar, A. E. Díaz-Murangal, O. Osorio-Mora, and D. F. Mejía-España, "Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla," *Inf. Tecnol.*, vol. 30, no. 6, pp. 35-44, Dec. 2019. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- [17] L. A. Manzanillas Rojas, "Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (*Ipomoea batata*) para aplicaciones alimentarias," Tesis de Pregrado, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2018. <https://es.scribd.com/document/595816453/al-idon-de-camote>
- [18] P. Wattanapan et al., "Characterization of drum-dried thickeners for dysphagia-adapted liquid diets," *Appl. Food Res.*, vol. 5, no. 1, p. 100788, Jun. 2025. <https://doi.org/10.1016/J.AFRES.2025.100788>
- [19] A. F. Vera Bravo, and M. A. Chavarría Chavarría, "Extracción y caracterización del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad leona blanca," *Higo*, vol. 10, no. 2, pp. 26-34, Dec. 2020. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10550>
- [20] A. Galindez, L. D. Daza, A. Homez-Jara, V. S. Eim, and H. A. Váquiro, "Characterization of ulluco starch and its potential for use in edible films prepared at low drying temperature," *Carbohydr. Polym.*, vol. 215, pp. 143-150, Jul. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.03.074>

- [21] N. S. Donaldben, O. O. Tanko, and T. O. Hussaina, "Physico-chemical Properties of Starches from Two Varieties of Sweet Potato and Yam Tubers Available in Nigeria," *Asian Food Sci. J.*, vol. 14, no. 4, pp. 28-38, Apr. 2020. <https://doi.org/10.9734/afsj/2020/v14i430136>
- [22] N. Saleem Siddiqui, N. Dalal, A. Srivastva, and A. Kumar Pathera, "Physicochemical, morphological, functional, and pasting properties of potato starch as a function of extraction methods," *J. Food Measur. Charact.*, vol. 15, no. 3, pp. 2805-2820, Jun. 2021. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00862-5>
- [23] S. Ahmed, H. ur Rehman, and N. Ahmed, "Potato starch extraction: Techniques, challenges, and future opportunities," *J. Pharmacogn. Phytochem.*, vol. 13, no. 4, pp. 512-524, Jan. 2024. <https://doi.org/10.22271/phyto.2024.v13.i4f.15046>
- [24] K. Kaur, G. Kaur, and A. Singh, "Water chestnut starch: extraction, chemical composition, properties, modifications, and application concerns," *Sustain. Food Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 228-262, Mar. 2023. <https://doi.org/10.1039/D2FB00041E>
- [25] A. Guízar Miranda, J. L. Montañéz Soto, and I. García Ruiz, "Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote del cerro (*Dioscorea spp.*)," *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 9, núm. 1, pp. 81-88, 2008. <https://www.redalyc.org/pdf/813/81311226011.pdf>
- [26] L. Shi, K. Guo, X. Xu, L. Lin, X. Bian, and C. Wei, "Physicochemical properties of starches from sweet potato root tubers grown in natural high and low temperature soils," *Food Chem. X*, vol. 22, p. 101346, Jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101346>
- [27] P. Martínez et al., "Characterization of starches obtained from several native potato varieties grown in Cusco (Peru)," *J. Food Sci.*, vol. 86, no. 3, pp. 907-914, Mar. 2021. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15650>
- [28] G. Barraza-Jáuregui et al., "Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones obtenidos de cinco variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum* L.)," in *Proceed. 18th LACCEI Int. Multi-Conf. Engin. Educ. Technol*, Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, Jul. 27-31, 2020. <http://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.623>
- [29] J. L. López Terán, "Obtención y caracterización de nuevos biomateriales a base de almidón termoplástico y productos naturales," Tesis de Doctorado, Universidad de Alicante, Alicante, España, 2023. <http://hdl.handle.net/10045/144958>
- [30] J. B. Amaya Pinos, "Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico," *Rev. Colomb. Quim.*, vol. 48, no. 1, pp. 43-51, Jan. 2019. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>
- [31] D. G. Montoya-Anaya et al., "Physicochemical characterization of residual potato (*Solanum tuberosum*) starch recovered from the potato chips industry in México," *J. Biol. Health Sci.*, vol. 25, no. 2, pp. 60-72, Aug. 2023. <https://biotecnia.unison.mx/index.php/biotecnia/article/view/1880/866>
- [32] J. H. Dupuis, and Q. Liu, "Potato Starch: A Review of Physicochemical, Functional and Nutritional Properties," *Am. J. Potato Res.*, vol. 96, no. 2, pp. 127-138, Apr. 2019. <https://doi.org/10.1007/s12230-018-09696-2>
- [33] Y. I. Cornejo-Ramírez, O. Martínez-Cruz, C. L. Del Toro-Sánchez, F. J. Wong-Corral, J. Borboa-Flores, and F. J. Cinco-Moroyoqui, "The structural characteristics of starches and their functional properties," *CyTA J. Food*, vol. 16, no. 1, pp. 1003-1017, Jan. 2018. <https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1518343>
- [34] W. Shen, J. Yang, Z. Wang, and B. Liu, "Structural characterization and physicochemical properties of grain amaranth starch," *Food Chem. X*, vol. 23, p. 101723, Oct. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101723>
- [35] J. Waterschoot, S. V. Gomand, J. K. Willebrords, E. Fierens, and J. A. Delcour, "Pasting properties of blends of potato, rice and maize starches," *Food Hydrocoll.*, vol. 41, pp. 298-308, Dec. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.04.033>
- [36] A. G. Teobaldi, E. J. Carrillo Parra, G. N. Barrera, and P. D. Ribotta, "The Properties of Damaged Starch Granules: The Relationship between Granule Structure and Water-Starch Polymer Interactions," *Foods*, vol. 14, no. 1, p. 21, Jan. 2025. <https://doi.org/10.3390/foods14010021>
- [37] M. Javanmard, N. L. Chin, Y. A. Yusof, and J. Endan, "Application of sago starch as a gelling agent in jam," *CyTA J. Food*, vol. 10, no. 4, pp. 275-286, Nov. 2012. <https://doi.org/10.1080/19476337.2011.653693>
- [38] D. Sun, and B. Yoo, "Effect of tapioca starch addition on rheological, thermal, and gelling properties of rice starch," *LWT Food Sci. Technol.*, vol. 64, no. 1, pp. 205-211, Nov. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.062>
- [39] K. Singh Sandhu, and A. Kumar Siroha, "Relationships between physicochemical, thermal, rheological and in vitro digestibility properties of starches from pearl millet cultivars," *LWT Food Sci. Technol.*, vol. 83, pp. 213-224, Sept. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.015>

- [40] W. M. Arias Balderas, M. Aguilar Méndez, M. E. Ramírez Ortiz, and D. Quintana Zavala, "El papel de la reología en la caracterización de fluidos análisis reológico de dispersiones de almidón de distintas fuentes," *Lat. Am. J. Phys. Educ.*, vol. 14, no. 4, art. 4310, pp. 1-6, Dec. 2020. http://www.lajpe.org/dec20/14_4_10.pdf
- [41] R. A. Espinoza Muñoz, "Relación entre el contenido de fósforo y algunas propiedades térmicas y reológicas en almidón de papa nativa de Chiloé," Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2012. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/fae.77r/doc/fae.77r.pdf>
- [42] A. Cuba Canales, "Caracterización fisicoquímica y funcional de almidones de Papa y Tunta de tres variedades nativas amargas procedentes de Ilave-Puno," Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4607>
- [43] C. Chao, S. Liang, Z. Zhang, M. J. Gidley, Y. Liu, and S. Wang, "New Insight into the Effects of Endogenous Protein and Lipids on the Enzymatic Digestion of Starch in Sorghum Flour," *Foods* 2024, vol. 13, no. 5, p. 663, Feb. 2024. <https://doi.org/10.3390/FOODS13050663>
- [44] Y. Liu, L. Yang, C. Ma, and Y. Zhang, "Thermal Behavior of Sweet Potato Starch by Non-Isothermal Thermogravimetric Analysis," *Materials*, vol. 12, no. 5, p. 699, Feb. 2019. <https://doi.org/10.3390/ma12050699>
- [45] X. (Sherry) Xie, S. W. Cui, W. Li, and R. Tsao, "Isolation and characterization of wheat bran starch," *Food Res. Int.*, vol. 41, no. 9, pp. 882-887, Nov. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.07.016>
- [46] R. Kumar, and B. S. Khatkar, "Thermal, pasting and morphological properties of starch granules of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties," *J. Food Sci. Technol.*, vol. 54, no. 8, pp. 2403-2410, Jul. 2017. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2681-x>
- [47] M. M. Altayan, T. Al Darouich, and F. Karabet, "Thermoplastic starch from corn and wheat: a comparative study based on amylose content," *Polym. Bulletin*, vol. 78, no. 6, pp. 3131-3147, Jun. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00289-020-03262-9>
- [48] S. Mueez Ali, Y. Siddique, S. Mehnaz, and M. Bilal Sadiq, "Extraction and characterization of starch from low-grade potatoes and formulation of gluten-free cookies containing modified potato starch," *Heliyon*, vol. 9, no. 9, p. e19581, Sep. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19581>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores manifiestan que no existe ningún conflicto de interés, ya sea financiero, profesional o personal, que pudiera surgir de la publicación del presente artículo.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

David Alfonso Maigual-Luna: Conceptualización, metodología, validación, análisis, investigación, escritura – borrador original.

Luisa María Erazo-Benavides: Conceptualización, metodología, validación, análisis, investigación, escritura – borrador original.

David Fernando López: Conceptualización, análisis, asesoría, escritura – revisión y edición.

Leandro Geovanny Bravo-Asmaza: Conceptualización, análisis, asesoría, escritura – revisión y edición.

Oswaldo Osorio: Metodología y validación.