

Physicochemical, functional and structural properties of starches obtained from five varieties of native potatoes (*Solanum tuberosum* L.)

Gabriela Barraza-Jáuregui M.Sc.¹, José Soriano-Colchado Ph.D.² Jesús Obregón, M.Sc.³, Patricia Martínez M.Sc.⁴, Fiorela Peña Bch.⁴, Carmen Velezmoro Ph.D.⁴, Raúl Siche, Ph.D.¹, Alberto Claudio Miano, Ph.D.⁵

¹ Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gbarraza@unitru.edu.pe

² Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú, jsorianoc@upao.edu.pe

³Data Engineering, gerencia@dataengineeringperu.com

⁴ Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, cevs@lamolina.edu.pe

⁵Dirección de investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, alberto.miano@upn.edu.pe

*Abstract—The aim of this work was to characterize physical, functional and structurally the starches isolated from five native potato varieties (*Solanum tuberosum* subsp. *Andígena*): *Águila* (AG), *Bretaña* (BR), *Manzana* (MN), *Perla* (PE) y *Shuita* (SH).*

*The extraction was carried out with water and successive decantation. The starches were characterized, amylose content, clarity, swelling power and solubility, shape and size of the granule, crystallinity, Fourier-transform infrared spectroscopy, thermal properties, rheological and textural properties. *Águila* starch had the lowest amylose content, the least swelling and solubility power; and *Manzana* starch had higher gelatinization temperatures. In the rheological study, the starch gels were adjusted to the Herschel-Bulkley model with an average yield shear stress of 57.2 Pa and an average consistency index of 54.4 Pa.sn. The *Perla* starch gel showed the highest values of firmness, gumminess, chewiness, and cohesiveness.*

Keywords: *native starch, gelatinization, rheology, crystallinity, Herschel-Bulkley*

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.623>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de almidones obtenidos de cinco variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum* L.)

Physicochemical, functional and structural properties of starches obtained from five varieties of native potatoes (*Solanum tuberosum* L.)

Gabriela Barraza-Jáuregui M.Sc.¹, José Soriano-Colchado Ph.D.² Jesús Obregón, M.Sc.³, Patricia Martínez M.Sc.⁴, Fiorela Peña Bch.⁴, Carmen Velezmoro Ph.D.⁴, Raúl Siche, Ph.D.¹, Alberto Claudio Miano, Ph.D.⁵

¹ Carrera de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, gbarraza@unitru.edu.pe

² Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú, jsorianoc@upao.edu.pe

³ Data Engineering, gerencia@dataengineeringperu.com

⁴ Carrera de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, cevs@lamolina.edu.pe

⁵ Dirección de investigación y Desarrollo, Universidad Privada del Norte, Perú, alberto.miano@upn.edu.pe

Resumen– El presente trabajo tuvo como objetivo caracterizar física, funcional y estructuralmente los almidones extraídos de cinco variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) var. Andígena: Águila (AG), Breña (BR), Manzana (MN), Perla (PE) y Shuítá (SH). La extracción se realizó con agua y decantaciones sucesivas. Se caracterizaron los almidones mediante determinación de color, contenido de amilosa aparente, claridad, poder de hinchamiento y solubilidad, forma y tamaño del gránulo, cristalinidad, espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier, propiedades térmicas, propiedades reológicas y texturales. El almidón Águila presentó el menor contenido de amilosa, el menor poder de hinchamiento y solubilidad; y el almidón Manzana presentó temperaturas de gelatinización más altas. En el estudio reológico, los geles de los almidones se ajustaron al modelo Herschel-Bulkley con un umbral de fluencia promedio de 57.2 Pa y un índice de consistencia promedio de 54.4 Pa.sⁿ; mientras que el gel del almidón Perla presentó los mayores valores de firmeza, gomosidad, masticabilidad, y cohesividad.

Palabras clave- almidón nativo, gelatinización, reología, cristalinidad, Herschel-Bulkley.

Abstract–The aim of this work was to characterize physical, functional and structurally the starches isolated from five native potato varieties (*Solanum tuberosum* subsp. Andígena): Águila (AG), Breña (BR), Manzana (MN), Perla (PE) and Shuítá (SH). The extraction was carried out with water and successive decantation. The starches were characterized, amylose content, clarity, swelling power and solubility, shape and size of the granule, crystallinity, Fourier-transform infrared spectroscopy, thermal properties, rheological and textural properties. Águila starch had the lowest amylose content, the least swelling and solubility power; and Manzana starch had higher gelatinization temperatures.

In the rheological study, the starch gels were adjusted to the Herschel-Bulkley model with an average yield shear stress of 57.2 Pa and an average consistency index of 54.4 Pa.sn. The Perla starch gel showed the highest values of firmness, gumminess, chewiness, and cohesiveness.

Keywords- native starch, gelatinization, rheology, crystallinity, Herschel-Bulkley.

I. INTRODUCCIÓN

El almidón es muy utilizado en la industria de alimentos, como insumo para la elaboración de salsas, sopas, helados, bocadillos, pan, rellenos para postres, entre otros. Las variaciones en las propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales de los almidones se presentan entre y dentro de las especies botánicas, e incluso cuando el mismo cultivar de plantas se cultiva en diferentes condiciones ambientales [1, 2]. Influyen también en estas variaciones: el tamaño del gránulo de almidón [3], el contenido de fósforo y de amilosa [4], el complejo amilosa-lípido y la estructura de la amilopectina [5].

Siendo la papa buena fuente de almidón (70-80% d.b.) [6], se ha aislado de variedades cultivadas en diferentes partes del mundo, caracterizándose sus propiedades fisicoquímicas, propiedades térmicas (evaluadas mediante calorimetría de barrido diferencial), morfología de gránulos (evaluado por microscopía electrónica de barrido ambiental), difracción de rayos X de gránulos y porcentaje de cristalinidad del almidón de gránulos, entre otros [2, 7]. Las diferentes condiciones de crecimiento de las papas pueden inducir diferencias en las estructuras cristalinas y moleculares del almidón, esto proporciona información útil

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.623>

ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

útil con respecto a los posibles usos de la materia seca y los almidones aislados de la papa [8].

El almidón de papa es importante y único pues su pasta presenta una alta claridad y un sabor neutro [9], esto se debe al alto contenido de ésteres de fosfato en la cadena de amilopectina [2]; además, el tamaño de su gránulo, su pureza, la longitud de las cadenas de amilosa y amilopectina, y la capacidad de intercambiar ciertos cationes, permiten que forme geles viscoelásticos fuertes después del calentamiento y posterior enfriamiento [10]. Las propiedades reológicas de las pastas de almidón son importantes para definir una posible aplicación industrial en alimentos; y es la viscosidad, la característica reológica básica que cambia en función al esfuerzo de cizalla aplicado sobre la pasta de almidón. Si la viscosidad es alta, los almidones son potencialmente aprovechables para su aplicación en la industria alimentaria como espesante [11].

En la región La Libertad se siembran en promedio 25,000 ha anuales de papa, lo que representa más del 6% de la superficie total del cultivo en los Andes peruanos y es el cultivo de mayor importancia en el distrito de Chugay, uno de los ocho distritos de la provincia de Sánchez Carrión, región La Libertad [12]. Los agricultores de la zona cultivan alrededor de 150 variedades de papa nativa [13], como Águila, Bretaña, Manzana, Perla, Shuita, Canasta, Fajada, Alcona, Algodona, Huaytaya, Chaucha Limeña, Tacmara, Julcanera, Condorita, Amapola y otras, que ya se encuentran documentadas [12], cuyo uso más importante es el consumo familiar [12]. Otra alternativa de uso papas nativas, es su industrialización para obtención de almidón; polisacárido que podría presentar propiedades funcionales relevantes para la industria de alimentos y a la vez proporcionaría un ingreso adicional a los agricultores.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar fisicoquímica, funcional y estructuralmente los almidones extraídos de cinco variedades de papa nativas (*Solanum tuberosum*) var. Andígena: Águila (AG), Bretaña (BR), Manzana (MN), Perla (PE) y Shuita (SH)), para evaluar su posible aplicación industrial.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materia prima

Los almidones nativos se aislaron de cinco variedades de papas nativas (*Solanum tuberosum*) var. Andígena: Águila (AG), Bretaña (BR), Manzana (MN), Perla (PE) y Shuita (SH); que fueron proporcionadas por la Asociación Patatz del distrito de Chugay ubicado a 3371 m.s.n.m. (Latitud: 7°46'53" S, Longitud: 77°52'5.88" O) (provincia de Sánchez Carrión, región La Libertad, Perú).

B. Reactivos

Hidróxido de sodio (NaOH, CAS 1310-73-2), Yodo resublimado (I₂, CAS 7553-56-2, pureza 99.8%) y Yoduro de potasio (KI, CAS 7681-11-0, pureza 99.5%) fueron adquiridos

de Merck® (Hohenbrunn, Germany). Ácido clorhídrico (HCl, CAS 7647-01-0), Sulfato de sodio (Na₂SO₄, CAS 7757-82-6), Dimetilsulfóxido (DMSO) (CH₃SOCH₃, CAS 67-68-5), Úrea (NH₂CONH₂, CAS 57-13-6) y Metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅, CAS 007681-57-4) fueron adquiridos de Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA). En todos los casos se empleó agua destilada (pH ~ 7) para la preparación de los geles y de las soluciones, así como agua desionizada (pH ~ 7) cuando fue necesario.

C. Extracción de almidón

La extracción de las muestras de almidón se realizó según el método reportado por Melian [14] con ligeras modificaciones. En este estudio se emplearon 30 kg de papas de cada variedad, de los cuales se descartaron los tubérculos que presentaron picaduras de insectos y deterioro microbiológico. Los tubérculos intactos fueron lavados, pelados en forma manual y cortados en trozos pequeños. Los trozos fueron triturados en un procesador de alimentos (Industrias Maguiña, modelo 15, Perú) durante 5 min adicionando una solución de metabisulfito de sodio (0.075 %) en una relación 2:1. La suspensión resultante se filtró con un tamiz de acero inoxidable de 100 µm y se empleó agua para arrastrar el almidón en el lavado. Lo retenido en el tamiz se colocó nuevamente en el procesador de alimentos y con agua en una relación 2:1, se trituró y filtró con el tamiz de acero inoxidable. Ambos filtrados se depositaron en un recipiente de acero inoxidable y se dejó sedimentar por 24 h hasta obtener una capa firme de almidón en el fondo; luego se retiró el sobrenadante, se agregó la mitad de volumen de agua respecto al almidón y se dejó reposar durante 1.5 h. Después, se retiró el sobrenadante, y a la capa de almidón se le agregó una solución de NaOH 0.02% (2:1) para solubilizar proteínas y se dejó reposar por 3 h. Transcurrido este tiempo, se retiró el sobrenadante, al almidón se le agregó agua (1:1) ajustando el pH con HCl 2 N hasta pH 7 y se dejó decantar por 2.5 h; finalmente, se eliminó el sobrenadante. El almidón obtenido fue secado en estufa de aire caliente (MMM, Venticell155, Alemania) a 37 °C por 24 h; luego fue molido en molino de martillos, tamizado en un tamiz N° 100 y envasados en doble bolsa tipo Ziploc® para posteriores análisis.

D. Morfología y tamaño de los gránulos de almidón

La morfología de los gránulos de los almidones se determinó con el microscopio electrónico de barrido (MEB) (TESCAN, VEGA3, República Checa) usando un detector de electrones secundarios a 30 kV. Los almidones fueron adheridos sobre una cinta de carbón de doble cara y recubierta con una capa de oro de 0.150 nm de espesor mediante deposición por plasma (PVD) usando un DC Sputtering-SPI. Con el empleo de energía dispersiva de rayos X (EDS) y el detector Rx Quantax 200-Bruker, se identificaron algunos elementos presentes en el almidón, para lo cual se seleccionaron algunas zonas de manera aleatoria [15].

E. Análisis de Amilosa

Se determinó según el método colorimétrico empleando solución de yodo para generar un complejo de color azul, cuya

intensidad se midió con el espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Genesys 20, USA) [16]. Una muestra de 70 mg de almidón se mezcló con 10 mL de úrea 6M y una solución de DMSO (1:9); y se calentó durante 10 min a 100 °C en un baño de agua (GFL, 1083, Alemania) con agitación constante. La mezcla resultante se incubó a 100 °C durante 1 h, y después se enfrió hasta 25 °C. A 0.5 mL de la muestra anterior, se adicionaron 25 mL de agua destilada y 1 mL de solución de I₂-KI. Se preparó un blanco y la absorbancia fue medida a 635 nm. El contenido de amilosa fue calculado según la ecuación 1.

$$\text{Amilosa (\%)} = (28.414 * \text{Valor azul}) - 6.218 \quad (1)$$

F. Análisis de color

Los parámetros de color de los almidones se determinaron con un espectrofotómetro colorímetro (Konica Minolta, CM-5, Japón), el cual fue previamente calibrado, utilizándose el iluminante D65 y observador estándar con ángulo de visión de 10° para la espectroscopía de reflectancia. El color se midió en el espacio de color CIELAB (L*, a*, b*). Donde L* es el parámetro que mide la luminosidad (0 = negro, 100 = blanco), a* es el atributo de color rojo (+) /verde (-) y b* es el atributo de color amarillo (+) /azul (-). A partir de ello, se calculó el índice de blancura (W, %) según ecuación 1 [17].

$$W(\%) = 100 - \left[(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2 \right]^{0.5} \quad (2)$$

G. Claridad de la pasta

Se prepararon suspensiones de almidón al 1% con agua desionizada en tubos de ensayo con tapa, los que se calentaron en un baño de agua (GFL, 1083, Alemania) a 100 °C por 30 min, agitándolos manualmente cada 5 min. Luego, los tubos se enfriaron hasta 25 °C, empleando un baño con agua y hielo picado. Los geles se transfirieron a la celda de 1 cm para determinar el porcentaje de transmitancia (%T) a 650 nm empleando el espectrofotómetro UV-Vis (Thermo Fisher Scientific, Genesys 20, USA), previamente ajustado a cero con agua desionizada [18].

H. Poder de hinchamiento y solubilidad

Se pesaron 0.4 g de almidón y se colocaron en un tubo de centrífuga (50 mL) que contenía 20 mL de agua destilada, el tubo de centrífuga se calentó en un baño de agua (GFL, 1083, Alemania) a 80 °C durante 30 min, posteriormente se centrifugó (HETTICH, Rotofix 32, Alemania) a 5000 rpm durante 30 min. Luego se separó y pesó el sobrenadante y el almidón sedimentado hinchado. Posteriormente, el sobrenadante se secó en una estufa de aire caliente (MMM, Venticell 55, Alemania) a 105 °C hasta peso constante y se pesó. El PH (g/g ms) y S (%) se calcularon según las ecuaciones 3 y 4 [19].

$$PH(g/g) = \text{Peso almidón se dim e ntado} / [\text{Peso almidón seco} * (1 - S)] \quad (3)$$

$$S(\%) = \text{Peso sobrenadante seco} * 100 / \text{Peso almidón seco} \quad (4)$$

I. Cristalinidad

Los patrones de difracción fueron obtenidos con un difractor de rayos X (Rigaku, Miniflex 600, USA), con una fuente de CuK α ($\lambda=1.540$ nm) aplicando un voltaje de 40.0 kV y una corriente de 15.0 mA. El análisis se realizó a temperatura ambiente con barridos en el rango 2 θ desde 3° hasta 60° con un tamaño de paso de 0.02° / min. El índice de cristalinidad fue calculado haciendo uso del software OriginPro 9.0[20].

J. Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier

Los espectros de infrarrojo por transformada de Fourier de los almidones en estudio se obtuvieron en el rango espectral de 500 a 4000 cm⁻¹, utilizando un espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier (Nicolet iS50, Thermo Scientific, USA) en modo de reflectancia total atenuada. Los espectros de absorbancia se registraron a una velocidad de 16 escaneos por muestra y con una resolución de 1 / cm. Previo al análisis, los almidones fueron secados en estufa a 105 °C durante 1 h para evitar interferencias por la humedad [20]. Se empleó el software OMNIC v.8.0 para la creación de los diagramas espectrales [21].

K. Caracterización reológica

Las curvas de flujo de los geles de almidón se obtuvieron empleando el reómetro (Haake, Mars 60, Australia), usando la geometría cono-plato de 60 mm de diámetro a temperatura controlada de 20 °C. Se prepararon suspensiones de almidón al 8% (p/p), las que fueron calentadas en un baño de agua (GFL, 1083, Alemania) con agitación a temperatura controlada a 90 °C durante 30 min, posteriormente los geles fueron enfriados hasta 20 °C[18].

Las características reológicas, tensión de fluencia, coeficiente de consistencia, índice de comportamiento de flujo (σ_0 , k , n) fueron determinadas a partir de las curvas de flujo obtenidas. Los geles fueron colocados en la placa Peltier por un tiempo de 2 min, empleando una separación (gap) entre la placa y la geometría de 0.1 mm [22]. Para la determinación de las características reológicas, se empleó el modelo de Herschel-Bulkley (ecuación 5) [23].

$$\sigma = \sigma_0 + \kappa * (\dot{\gamma})^n \quad (5)$$

Donde,

σ = Esfuerzo cortante (Pa)

σ_0 = Esfuerzo de cortante inicial (Pa)

k = Coeficiente de consistencia (Pa.sn)

$\dot{\gamma}$ = Velocidad de cizalla (s⁻¹)

n = Índice reológico (adimensional)

L. Características texturales

Los geles de almidón fueron preparados a partir de suspensiones de almidón de 8% (p/p) [4]. Para determinar el perfil de textura de los geles de almidón se empleó un analizador de textura (Stable Micro Systems, TA-HD Plus, Reino Unido). Brevemente, cada gel de almidón refrigerado en

su recipiente se presionó una distancia de 25% con un plato de 6 mm de diámetro. La velocidad de ensayo fue de 2 mm/s con un intervalo de tiempo de 3 s entre los dos ciclos. La fuerza de disparo fue de 5 g y la velocidad de adquisición de 200 pps. El pico máximo de fuerza alcanzado durante la primera compresión representó la dureza (gf). La gomosidad representa la energía necesaria para desintegrar el gel antes de que esté listo para tragar. La masticabilidad representa la fuerza necesaria para masticar un gel hasta que esté lista para tragar. La cohesividad proporcionó información sobre la segunda deformación del gel dividida por el área de trabajo durante la primera compresión. La resistencia se midió en la retirada de la primera compresión [24]. Se reportó el promedio de tres lecturas (Stable Micro Systems, TA. HD Plus, Dimension Exponent 32 software; Reino Unido).

M. Propiedades térmicas

Las propiedades térmicas de gelatinización del almidón se determinaron mediante el uso del Multicalorímetro Diferencial de Barrido con celdas de acero inoxidable Hastelloy® (TA Instruments, modelo Multi-Cell DSC, USA), según la metodología descrita por Lin [25]. Se pesó aproximadamente 20 mg de almidón en cada celda y se añadió agua ultra pura con una micropipeta (almidón:agua = 1:3), luego se sellaron herméticamente las celdas y se equilibraron a temperatura ambiente durante 1 h para permitir la hidratación completa del almidón. Las celdas con las muestras se calentaron de 25 a 115 °C a una velocidad de calentamiento de 2 °C/min, y se usó una celda vacía como referencia. Las temperaturas reportadas fueron la inicial (To), pico (Tp), de conclusión (Tc) y la entalpía de gelatinización (ΔH), las que fueron calculadas del termograma obtenido con el software NanoAnalyze (TA Instruments).

N. Análisis estadístico

Todos los análisis fueron realizados por triplicado, con preparación individual como ha sido descrito en cada método de análisis. Los datos se expresaron como media ± desviación estándar. El análisis de varianza se utilizó para calcular las diferencias significativas y se usó la prueba de discriminación de diferencias múltiples de Fisher, usando $p < 0,05$ como nivel de significancia. Para procesar los datos se utilizó el software R 3.6.1. con el package "agricolae".

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Morfología de los gránulos de almidón

En la Tabla 1 se presenta el tamaño de los gránulos de almidón nativo de las cinco variedades de papa nativa, encontrándose en el rango de $4.03 \pm 1.59 \mu\text{m}$ (MN) a $73.61 \pm 17.97 \mu\text{m}$ (SH). Se ha reportados resultados similares para almidón nativo de papa (5–80 μm) [26]; así como distribución unimodal de gránulos en el rango de 11.2–51.8 μm para almidón de papa nativa de la variedad Loc'ka [27].

Los gránulos de los almidones en estudio presentaron forma oval, elíptica, e irregular con una superficie lisa (Figura 1); formas similares han sido reportados para almidón nativo de papa [28], y para gránulos de almidón de papas nativas de Puno-Perú [27]. Las características morfológicas de los almidones de diferentes fuentes vegetales varían con el genotipo y las prácticas culturales; además, la variación en el tamaño y la forma del gránulo de almidón se atribuye al origen biológico, y que la morfología de este depende de la bioquímica del cloroplasto o amiloplasto, así como de la fisiología de la planta. El tamaño del gránulo del almidón es variable, entre 1 y 110 μm ; siendo el rango promedio para gránulos pequeños de 1 a 20 μm y de 20 a 110 μm para los gránulos grandes [29].

TABLA 1
TAMAÑO DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN DE CINCO
VARIETADES DE PAPA NATIVA

Almidón	Rango de diámetro (μm)
AG	$5.23 \pm 2.38^{ab} - 38.16 \pm 11.42^a$
BR	$5.31 \pm 1.51^{ab} - 38.10 \pm 10.52^a$
MN	$4.03 \pm 1.59^b - 73.61 \pm 17.97^a$
PE	$5.12 \pm 5.38^a - 58.16 \pm 10.22^a$
SH	$6.10 \pm 1.17^{ab} - 49.05 \pm 25.06^a$

*Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ($p < 0.05$)

B. Contenido de amilosa aparente

Se encontró diferencia significativa en el contenido de amilosa aparente de los almidones en estudio con valores entre 18.95% (AG) y 23.20% (BR) (Tabla 2). Estos valores fueron similares a los informados para almidón de papa de Nueva Zelanda ($19.1 \pm 1.1\%$) [30]; para almidones de cuatro variedades de papa comercial de Perú (15.49 ± 2.02 a $32.10 \pm 0.14\%$) [15]; para almidones de nueve variedades de papa nativa de Cusco-Perú (24.3-29.1%) [14] y menores que los reportados para almidones de tres variedades de papa nativa de Puno-Perú (24.9-30.0%) [27].

Las diferencias en el contenido de amilosa aparente indican que su acumulación en el interior del gránulo de almidón difiere según la fuente biológica de donde provienen, lo que podría deberse a factores genéticos de cada grano o a la actividad de enzimática, responsable de la biosíntesis de amilosa, así como a la disponibilidad de espacio libre dentro de la estructura granular después de sintetizarse la amilopectina [31]. Se ha informado que, el porcentaje de amilosa es proporcional al tamaño del gránulo y a la madurez de la planta de la cual se obtuvo el almidón [32].

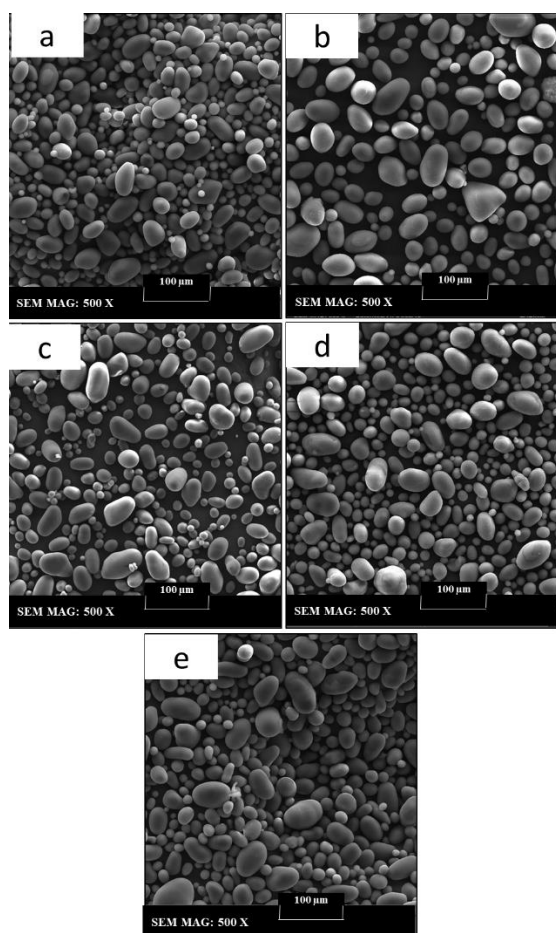


Fig.1. Morfología de gránulos de almidón de papa nativa: AG (a), BR (b), MN (c), PE (d) y SH (e).

TABLA 2
CONTENIDO DE AMILOSA APARENTE, RELACIÓN AMILOSA/AMILOPECTINA Y CRISTALINIDAD DE ALMIDÓN DE CINCO VARIEDADES DE PAPA NATIVA

Almidón	Amilosa (%)	Relación amilosa /amilopectina	Cristalinidad relativa (%)
AG	18.66 ± 0.42 ^a	0.23	22.4±0.2
BR	23.29 ± 1.62 ^b	0.30	21.6±0.5
MN	22.46 ± 0.68 ^{bc}	0.29	21.8±0.3
PE	20.90 ± 0.91 ^{ac}	0.26	20.7±0.9
SH	18.68 ± 0.98 ^a	0.23	22.1±0.3

*Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ($p < 0.05$)

A. Color

Los parámetros de color L^* , a^* y b^* , que permitieron calcular el índice de blancura (W) de los almidones nativos se presentan en la Tabla 3; y se observa diferencia significativa entre variedades ($p < 0.05$) para cada uno de estos parámetros.

El color juega un papel muy importante como indicador de calidad y pureza de los almidones, para muchas aplicaciones en alimentos [17]. Los resultados obtenidos indicaron una alta luminosidad de los almidones con valores superiores a 90 (92.11 a 94.98); valores similares fueron reportados para almidón de papa Sipiera de Camerún (96.70 ± 0.09) [28]. Valores más altos de L^* reflejan la luminosidad y pureza de los almidones [33], característica que podría mejorar el uso del almidón en aplicaciones alimenticias donde se recomienda la calidad del color [17].

Como se muestra en la Tabla 3, el almidón aislado de papa MN, presentó mayor índice de blancura, con un valor W de 94.59 ± 0.01 , así como valores de a^* y b^* , más cercanos a 0, lo que indicaría mayor pureza [17]. Debido a que los almidones aislados fueron obtenidos de papas nativas coloreadas, la variabilidad en los parámetros de color podría deberse a la degradación de pigmentos presentes en las papas nativas durante el proceso de extracción [17].

TABLA 3
PARÁMETROS DE COLOR DE ALMIDÓN DE CINCO VARIEDADES DE PAPA NATIVA

Almidón	L^*	a^*	b^*	W (%)
AG	93.99±0.01 ^c	-0.22±0.01 ^d	2.4 ± 0.01 ^c	93.49±0.01 ^c
BR	92.11±0.03 ^a	-0.59 ± 0.01 ^a	3.52 ± 0.01 ^e	91.34±0.02 ^a
MN	94.98±0.01 ^e	-0.20 ± 0.01 ^e	2.02 ± 0.01 ^a	94.59±0.01 ^e
PE	94.40±0.02 ^d	-0.39 ± 0.01 ^b	2.06 ± 0.01 ^b	94.02±0.02 ^d
SH	93.71±0.01 ^b	-0.25 ± 0.01 ^c	2.69 ± 0.01 ^d	93.16±0.01 ^b

*Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ($p < 0.05$)

B. Claridad

La claridad es un parámetro clave para determinar la aplicabilidad de los almidones ciertos alimentos procesados, pues pueden dar brillantez u opacidad al producto terminado [34]. La claridad de los geles de los almidones en estudio presentó diferencia significativa entre variedades y se muestra en la Tabla 4. Los valores de claridad obtenidos son mayores a los reportados para gel de almidón de papa Sipiera de Camerún (29.15%) [28]. Sin embargo, estos valores fueron inferiores a los reportados para los geles de almidón de nueve variedades de

papas nativas de Cusco (82.3–94.1%), para geles de almidón de tres variedades de papas nativas de Puno-Perú (50.2–78.6%) y para geles de almidón para almidones de cuatro variedades de papa comercial de Perú ($64.24 \pm 3.60\%$ y $91.82 \pm 6.67\%$) [15].

Los geles se consideran opacos o turbios cuando el porcentaje de transmitancia es menor de 40%, y, son claros o transparentes cuando éstos valores son mayores [35]; por lo que, los geles de los almidones BR, MA, PE y SH son transparentes, a excepción del gel del almidón AG (38,1%). Este parámetro se ve influenciado por la proporción de gránulos grandes presentes en el almidón, originando residuos granulares en los geles, los que causa interferencia y refracción, reflejadas en una baja transmisión de la luz [36].

C. Poder de hinchamiento y solubilidad

El poder de hinchamiento (PH) y la solubilidad (S) son características analizadas para comprender la interacción entre las moléculas de agua dentro de los dominios cristalinos del almidón y las cadenas de almidón durante el calentamiento [33] y se correlacionaron directamente con el aumento de la temperatura. El PH generalmente está influenciado por la fuerza de enlace entre las moléculas y por la estructura molecular de la amilopectina, valores bajos pueden atribuirse a la presencia de cristales formados por la asociación entre cadenas largas de amilopectina. El aumento de la cristalización da como resultado una mayor estabilidad de los gránulos, reduciendo la capacidad de hinchamiento [37]. Los valores de PH y S de los almidones en estudio se determinaron a 80 °C, y se presentan en la Tabla 4.

Por otro lado, se menciona que una solubilidad más alta del almidón puede ser atribuida a una mayor solubilización y lixiviación de los polímeros de los gránulos de almidón con una débil rigidez cuando se calientan a alta temperatura fraccionándose [25].

Con respecto a PH, sus valores se encuentran en el rango de 22.94 g / g (AG) a 29.79 g / g (BR), que es mayor al rango 19.6-25.7 g/g (a 80 °C) informado para almidones de papas nativas de Cusco [18], pero menor a 66 g / g (a 80°C) para almidón comercial de papa de Perú [15]. Los valores de S están en el rango 3.86% (PE) a 6.35% (MN), que es menor al rango 12-16.4% (a 80 °C) informado para almidones de papas nativas de Cusco [18], y menor a 11.9% (a 80 °C) para un almidón comercial de papa [25].

D. Cristalinidad

La difracción de rayos X se utiliza para estudiar la estructura cristalina de los gránulos de almidón, el cual es un sistema semicristalino, que consiste en regiones cristalinas y amorfas [38]. Los patrones de difracción de rayos X muestran las partes cristalinas del gránulo de almidón como picos afilados, y la parte amorfa dispersiva [39]. En general, las diferencias en la cristalinidad relativa entre los almidones podrían atribuirse a las diferencias en el tamaño del cristal, la

cantidad de regiones cristalinas (influenciadas por el contenido de amilopectina y la longitud de su cadena), la orientación de las dobles hélices dentro de los dominios cristalinos y el grado de interacción entre las hélices dobles [38].

Todos los almidones mostraron un patrón de cristalinidad tipo B, típico del almidón de papa con picos característicos en ángulos de reflexión (2θ) de 5.58°; un pico único a 17.02° y un doble a 22.33° y 24.04° (Figura 2), similar a los encontrados para almidones de diferentes variedades de papa. [8].

TABLA 4
CLARIDAD, PODER DE HINCHAMIENTO Y SOLUBILIDAD DE ALMIDÓN DE CINCO VARIEDADES DE PAPA NATIVA

Almidón	Claridad (% de transmitancia)	PH (g/g)	S (%)
AG	38.10 ± 0.41 ^a	22.94 ± 0.70 _a	3.88 ± 0.40 ^a
BR	51.97 ± 1.59 ^b	29.79 ± 0.40 _b	4.20 ± 1.10 _a
MN	44.07 ± 2.00 ^c	26.25 ± 1.10 _c	6.35 ± 0.52 _b
PE	40.30 ± 0.80 ^{ac}	24.92 ± 0.60 _c	3.86 ± 0.30 _a
SH	48.13 ± 1.64 ^d	24.54 ± 0.70 _{ac}	4.01 ± 0.18 _a

*Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ($p < 0.05$)

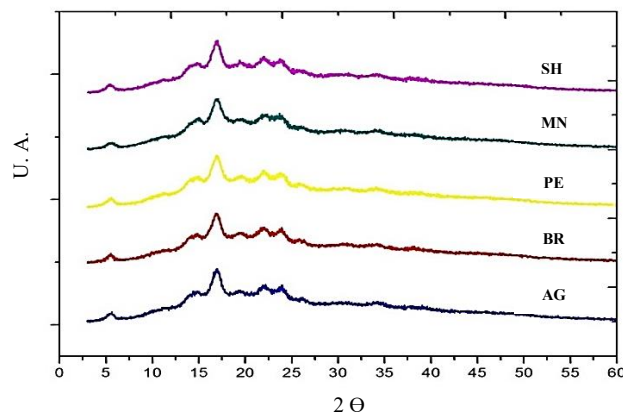


Fig 2. Patrones de difracción de rayos X para los almidones de papa nativa

La cristalinidad (Tabla 2) presentó poca variación entre los diferentes cultivares de papa (20.7% a 22.4%). Valores en la literatura para la cristalinidad del almidón varía del 15% al 45%, dependiendo no solo del origen y la hidratación del almidón, sino también en la técnica utilizada [9]. Estos son menores a los informados para almidones de tres variedades de papa de Canadá (34.2%-37.9%) [8], para almidones de diez cultivares de papa de Reino Unido (29.3–31.2%) [9], para

almidón de papa de China (40.5%) [39] y para almidones de papas nativas de Puno-Perú (34.4–36.3%) [27].

E. Propiedades térmicas

Las temperaturas de gelatinización, incluida la temperatura de inicio (T_o), temperatura pico (T_p), temperatura de conclusión (T_c) y entalpía de gelatinización (ΔH) de almidón obtenido de cinco variedades de papa nativa se ilustra la Tabla 5, siendo la temperatura de inicio y pico de gelatinización más altas para pasta de almidón MN. Un T_o más alto indicaría que los cristallitos de almidón tienen un mayor grado de estabilidad y menor cantidad de defectos estructurales, así como más energía requerida para el inicio de la gelatinización de almidón [40].

Los gránulos de almidón se someten a una estructura y cambios morfológicos cuando se calienta en exceso de agua, incluido el pérdida de cristalinidad debido a la disociación de la amilopectina doble hélice, la inflamación del almidón debido a la absorción de agua y la lixiviación de amilosa a la fase acuosa. Estas series de cambios se refieren generalmente como gelatinización de almidón, que ocurre en un rango de temperatura dependen del origen botánico de la fuente de almidón [17].

Los valores de la temperatura inicial de gelatinización (T_o) de los almidones fueron similares a los reportados para almidones de papa nativa de Puno-Perú (58.1°C) [27], para almidón de cuatro variedades de papa comercial (57.90 a 62.23 °C) [15] y superiores a las reportadas para almidones de camote (55.2 °C) y yuca (57.8 °C) y almidón de papa Sipiera de Camerún (55.22 °C) [28].

TABLA 5
TEMPERATURAS Y ENTALPÍA DE GELATINIZACIÓN DE ALMIDÓN DE CINCO VARIEDADES DE PAPA NATIVA

Almidón	T_o (°C)	T_p (°C)	T_f (°C)	ΔH^* (J/g)
AG	59.09 ± 0.10 ^a	62.61 ± 0.07 ^a	68.31 ± 0.05 ^a	16.63 ± 0.08 ^a
BR	57.46 ± 0.18 ^b	61.21 ± 0.09 ^a	67.51 ± 0.30 ^a	19.65 ± 0.16 ^b
MN	59.93 ± 0.20 ^a	62.95 ± 0.12 ^a	67.84 ± 0.15 ^a	13.76 ± 0.15 ^c
PE	59.10 ± 0.19 ^a	62.51 ± 0.14 ^a	68.32 ± 0.11 ^a	16.54 ± 0.17 ^a
SH	57.63 ± 0.03 ^b	61.56 ± 0.09 ^a	68.06 ± 0.06 ^a	18.32 ± 0.07 ^{ab}

*Entalpía expresada en base seca

*Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ($p < 0.05$)

La temperatura pico de gelatinización (T_p) fue similar a las reportadas para almidón de cuatro variedades de papa comercial (61.18 a 64.85 °C) [15] y almidones de papas nativas de Puno-

Perú (61.9 °C) [27]. Se ha informado que los almidones que presentan temperaturas de gelatinización menores a 70 °C, hacen factible su inclusión en productos tales como caramelos suaves, natillas, pudines, entre otros.

La temperatura final de gelatinización (T_c) fue similar a la reportada para almidones de papas nativas de Puno-Perú (68.3 °C) [27] y almidón de cuatro variedades de papa comercial de Perú (65.5 a 68.34°C); sin embargo, fue mayor a la reportada para almidón de papa Sipiera de Camerún (65.0 °C) [28]. En cuanto a la entalpía de gelatinización (ΔH), el rango encontrado de 13.76–19.65 J/g fue ligeramente mayor al reportado para almidones de papas nativas de Puno-Perú (15.6–15.8 J/g) [27] y para almidón de cuatro variedades de papa comercial (11.49 a 15.43 J/g) [15].

La entalpía de gelatinización proporciona una medida global de la cristalinidad y sería un indicador de la pérdida del orden molecular dentro del gránulo, que se produce durante la gelatinización [36]. Las variaciones en las propiedades de gelatinización de los almidones podrían atribuirse a varios factores, incluida la composición mineral, la morfología y el tamaño de los gránulos y la estructura molecular de la región cristalina de los almidones [41].

F. Espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier

La espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier en modo de reflectancia total atenuada es empleada para evaluar la organización de la región externa de los gránulos de almidón. Es un método de análisis de superficie, pues el haz infrarrojo penetra alrededor de 2.0 μm en la superficie del gránulo de almidón, por lo tanto, estos espectros reflejan principalmente un orden de corto alcance cerca de la superficie del gránulo [42].

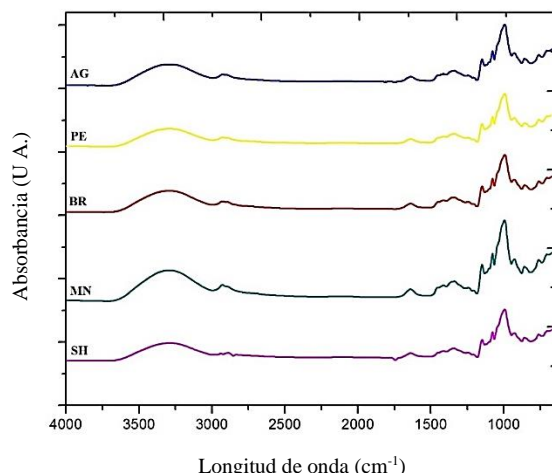


Fig 3. Espectros de absorción infrarrojo por transformada de Fourier de almidón de cinco variedades de papa nativa

El espectro de los almidones en estudio (Figura 3) muestran bandas anchas de absorción entre 3700-3000 / cm⁻¹ correspondientes a las vibraciones de estiramiento y de flexión, respectivamente, de los enlaces de los grupos (-OH) presentes en las unidades de glucosa anhidra que conforman las cadenas de amilosa y amilopectina. Estas bandas de absorción son similares a las informadas otros investigadores [43, 44]. Además, se observa una señal a 2928 cm⁻¹ que corresponde a los estiramientos asimétricos de los grupos metilenos (-CH₂); y por último una banda ancha entre 1180-950 / cm⁻¹ puede ser atribuida a los estiramientos de los enlaces C-OH [44]. Se identificaron picos pronunciados de absorbancia en las longitudes de onda entre 1700 y 900 / cm⁻¹, que representan las características de los almidones nativos [45].

G. Propiedades reológicas

Las curvas de flujo de los geles de almidón en estudio fueron obtenidas al someter a los geles de almidón a diferentes velocidades de cizalla y registrando el esfuerzo cortante (Figura 4). El comportamiento del flujo de cada gel de almidón se ajustó al modelo de Herschel Bulkley, obteniéndose elevados coeficientes de determinación ($R^2 = 0.99$) y los parámetros determinados que se utilizan para describir las curvas de flujo se presentan en la Tabla 6. La tensión de fluencia (σ_0) para las pastas de almidón de las variedades evaluadas, presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), siendo mayor el valor reportado para las pastas de almidón BR (84.32±7.18 Pa), lo que muestra que presentó una resistencia inicial superior a fluir y es, por lo tanto, más estructurado o rígido. Los valores fueron mayores a los reportados para almidón de yuca (4.02 Pa) [46], almidón de maíz (8.62 Pa) [47] y pastas de almidón de cuatro variedades de papa comercial de Perú (2.175 a 5.536 Pa) [15].

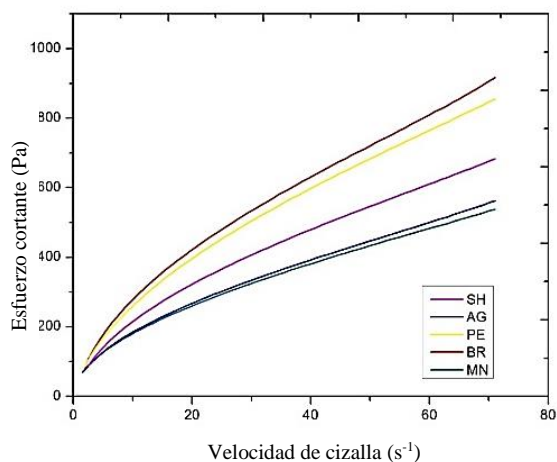


Fig 4. Curva de flujo de los geles de almidón de cuatro variedades de papa nativa

De igual modo, el coeficiente de consistencia (k) para las pastas de almidón de las variedades evaluadas, presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$), siendo mayor el valor reportado para la pasta de almidón BR (75.01±0.73 Pa.sⁿ). Los

valores encontrados fueron mayores a los reportados para pastas de almidón de maíz (14.17 Pa.sⁿ), papa (24.31 Pa.sⁿ) y yuca (12.96 Pa.sⁿ) [48] y pastas de almidón de cuatro variedades de papa comerciales de Perú (6.024 a 20.825 Pa.sⁿ) [15].

Con respecto al índice de comportamiento de flujo (η) para las pastas de almidón de las variedades evaluadas, no presentaron diferencia significativa ($p > 0.05$), siendo los valores encontrados mayores a los reportados para pastas de almidón de maíz (0.381), papa (0.348) y yuca (0.363) [48], pastas de almidón de papa (0.49) y maíz (0.34) [49], pastas de almidón de yuca (0.48) [46] y pastas de almidón de cuatro variedades de papa comercial de Perú (0.38 a 0.50) [15].

TABLA 6
PARÁMETROS REOLÓGICOS DE PASTAS DE ALMIDÓN DE CINCO VARIEDADES DE PAPA NATIVA

Almidón	σ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	η	R ²
AG	45.15±6.35 ^b	34.82±3.25 ^c	0.632±0.025 ^a	0.99
BR	84.32±7.18 ^a	75.01±0.73 ^a	0.587±0.004 ^a	0.98
MN	45.63±1.18 ^b	36.53±4.33 ^c	0.617±0.011 ^a	0.99
PE	55.27±13.60 ^b	71.40±10.65 ^{ab}	0.585±0.049 ^a	0.99
SH	57.32±3.09 ^b	56.52±7.91 ^b	0.584±0.027 ^a	0.99

*Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ($p < 0.05$)

H. Propiedades texturales

Mediante el Análisis de Perfil de Textura (APT) se determinaron las propiedades de textura para los geles de los almidones en estudio (Tabla 7). El análisis estadístico reportó diferencia significativa ($p < 0.05$) para la firmeza, la gomosidad y la masticabilidad de los geles de almidón evaluados; mientras que no se encontró diferencia significativa para la cohesividad.

Los parámetros de firmeza, gomosidad y masticabilidad para los geles de almidón variaron entre 753.69-1557 g, 718.45-1782 g y 657.76-1693.70 g.s respectivamente y fueron mayores a los reportados para geles de almidón de cuatro cultivares de papa de Nueva Zelanda Karuparera, Huakaroro, Tutaekuri, Moemoe (21.41 a 40.79 g, 14.28 a 23.45 g y 13.26 a 22.43 g.s, respectivamente) [36]. En cuanto a la cohesividad, los resultados obtenidos (0.91-0.97) fueron mayores para geles de almidón de tres cultivares de papa de la India, Kufri Ashoka, Kufri Kunden y Kufri Dewa (0.54-0.9) [4].

Las variaciones en las propiedades de textura de los geles de almidón están influenciadas principalmente por variaciones en las características reológicas de la matriz de amilosa, rigidez de los gránulos de almidón gelatinizado, contenido de fósforo,

así como las interacciones entre fase dispersa y continua del gel. Se ha informado que estos factores, a su vez, dependen de la estructura de la amilosa y amilopectina [36, 50].

TABLA 7
APT DE LOS GELES DE ALMIDÓN DE CINCO VARIEDADES DE PAPA NATIVA

Almidón	Firmeza (g)	Gomosidad (g.s)	Masticabilidad (g.s)	Cohesividad
AG	944.80±42.80 ^d	934.40±41.70 ^d	861.50±45.90 ^d	0.96±0.006 ^a
BR	1557.00±10.50 ^b	1485.30±59.40 ^b	1393.70±65.60 ^b	0.91±0.056 ^a
MN	753.69±4.98 ^e	718.45±3.37 ^e	657.76±14.67 ^e	0.91±0.010 ^a
PE	1816.20±71.50 ^a	1782.00±59.20 ^a	1693.60±68.50 ^a	0.96±0.012 ^a
SH	1126.10±60.10 ^c	1103.60±57.30 ^c	1067.30±58.10 ^c	0.97±0.001 ^a

*Valores con la misma letra en una columna no difieren significativamente ($p < 0.05$)

IV. CONCLUSIÓN

Los almidones de papa evaluados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y estructurales; lo que demuestra que podrían ser empleados en diversos sistemas alimentarios o en otras aplicaciones industriales. La alta claridad que presentó el gel de almidón BR sugiere que podría ser potencialmente utilizado en la elaboración de rellenos para pastelería y productos de confitería. Los almidones AG y SH presentaron los menores contenidos de amilosa aparente, y por ende los mayores valores de cristalinidad relativa. El almidón de papa MN podría ser empleado como insumo para la elaboración de productos en los que se requiere el empleo de altas temperaturas (elaboración de conservas o alimentos para infantes), debido a que presentó una alta temperatura de gelatinización. Todos los geles de almidón presentaron un comportamiento reológico típico, se ajustaron al modelo de Herschel-Bulkley. Finalmente, la investigación sobre aplicaciones de los almidones nativos obtenidos de estas papas nativas en diversos sistemas alimentarios sería importante para determinar sus usos específicos en función a las características evaluadas; con esto se daría un valor agregado a este valioso producto ancestral.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Proyecto N° 139-PNICP-PIAP-2015 de Innóvate-Perú.

Los autores agradecen:

A la Asociación Patatz por las papas nativas proporcionadas para realizar la presente investigación.

Al Laboratorio de Investigación de la Universidad Privada Antenor Orrego por el soporte técnico y uso del Microscopio

Electrónico de Barrido en los nombres del Dr. Manuel Angelats y Ms. Henry León.

Al Laboratorio de Física de la Universidad Nacional de Trujillo por el uso del Difractómetro de Rayos X, en el nombre del Dr. Segundo Jáuregui Rosas.

REFERENCES

- [1] M. Yusuph, R. F. Tester, R. Ansell, and C. E. Snape, "Composition and properties of starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same environmental conditions," *Food Chemistry*, vol. 82, no. 2, pp. 283-289, 2003.
- [2] D. Šimková, J. Lachman, K. Hamouz, and B. Vokál, "Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing," *Food chemistry*, vol. 141, no. 4, pp. 3872-3880, 2013.
- [3] I. Zaidul, H. Yamauchi, S. Takigawa, C. Matsuura-Endo, T. Suzuki, and T. Noda, "Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches," *Food Chemistry*, vol. 105, no. 1, pp. 164-172, 2007.
- [4] L. Kaur, J. Singh, O. J. McCarthy, and H. Singh, "Physico-chemical, rheological and structural properties of fractionated potato starches," *Journal of Food Engineering*, vol. 82, no. 3, pp. 383-394, 2007.
- [5] Q. Liu, R. Tam, D. Lynch, and N. M. Skjold, "Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada," *Food Chemistry*, vol. 105, no. 3, pp. 897-907, 2007.
- [6] H. E. Grommers and D. A. van der Krogt, "Potato starch: production, modifications and uses," in *Starch*: Elsevier, 2009, pp. 511-539.
- [7] M. Adámek, A. Adámková, J. Mlček, M. Borkovcová, and M. Bednářová, "Acceptability and sensory evaluation of energy bars and protein bars enriched with edible insect," *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2018.
- [8] H.-J. Chung, X.-Q. Li, D. Kalinga, S.-T. Lim, R. Yada, and Q. Liu, "Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada," *Food research international*, vol. 57, pp. 89-94, 2014.
- [9] K. Alvani, X. Qi, R. F. Tester, and C. E. Snape, "Physico-chemical properties of potato starches," *Food Chemistry*, vol. 125, no. 3, pp. 958-965, 2011.
- [10] T. Vasanthan, W. Berghaller, D. Driedger, J. Yeung, and P. Sporns, "Starch from Alberta potatoes: wet-isolation and some physicochemical properties," *Food Research International*, vol. 32, no. 5, pp. 355-365, 1999.
- [11] A. Aprianita, U. Purwandari, B. Watson, and T. Vasiljevic, "Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia," 2009.
- [12] S. de Haan and R. O. Villanueva, *Catálogo de variedades de papa nativa de Chugay, La Libertad-Peru.: Catalog of ancestral potato varieties from Chugay, La Libertad-Peru*. International Potato Center, 2015.
- [13] S. B. Brush, *Farmers? Bounty: Locating Crop Diversity in the Contemporary World*. Yale University Press, 2008.
- [14] D. Melian, "Ensayo comparativo de dos metodologías de extracción de almidón de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chile y dos variedades comerciales," Tesis para optar el grado de licenciado en Ciencia de Alimentos. Escuela de ..., 2010.
- [15] J. Sanchez-González et al., "Physico-chemical, thermal and rheological characteristics of starch isolated from four commercial potatoes cultivars," *Scientia Agropecuaria*, vol. 10, no. 1, pp. 63-71, 2019.
- [16] R. Hoover and W. Ratnayake, "Determination of total amylose content of starch," *Current protocols in food analytical chemistry*, no. 1, pp. E2. 3.1-E2. 3.5, 2001.
- [17] J. Guo, L. Kong, B. Du, and B. Xu, "Morphological and physicochemical characterization of starches isolated from

- chestnuts cultivated in different regions of China," *International journal of biological macromolecules*, vol. 130, pp. 357-368, 2019.
- [18] P. Martínez, A. Málaga, I. Betalleluz, A. Ibarz, and C. Velezmoro, "Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas," *Scientia Agropecuaria*, vol. 6, no. 4, pp. 291-301, 2015.
- [19] T.-T. Huang, D.-N. Zhou, Z.-Y. Jin, X.-M. Xu, and H.-Q. Chen, "Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch," *Food Hydrocolloids*, vol. 54, pp. 202-210, 2016.
- [20] S. Wang, H. Luo, J. Zhang, Y. Zhang, Z. He, and S. Wang, "Alkali-induced changes in functional properties and in vitro digestibility of wheat starch: the role of surface proteins and lipids," *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 62, no. 16, pp. 3636-3643, 2014.
- [21] S. Wang, J. Wang, S. Wang, and S. Wang, "Annealing improves paste viscosity and stability of starch," *Food Hydrocolloids*, vol. 62, pp. 203-211, 2017.
- [22] B. Wang, L.-J. Wang, D. Li, N. Özkan, S.-J. Li, and Z.-H. Mao, "Rheological properties of waxy maize starch and xanthan gum mixtures in the presence of sucrose," *Carbohydrate Polymers*, vol. 77, no. 3, pp. 472-481, 2009.
- [23] A. Ibarz and G. V. Barbosa-Cánovas, *Unit operations in food engineering*. CRC press, 2002.
- [24] Y. C. Lai *et al.*, "Physicochemical properties of starches and expression and activity of starch biosynthesis-related genes in sweet potatoes," *Food chemistry*, vol. 199, pp. 556-564, 2016.
- [25] J.-H. Lin, W.-T. Kao, Y.-C. Tsai, and Y.-H. Chang, "Effect of granular characteristics on pasting properties of starch blends," *Carbohydrate polymers*, vol. 98, no. 2, pp. 1553-1560, 2013.
- [26] W. Jiranuntakul, C. Puttanlek, V. Rungsardthong, S. Pancha-Arnon, and D. Uttapap, "Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches," *Journal of food engineering*, vol. 104, no. 2, pp. 246-258, 2011.
- [27] P. Martínez, F. Peña, L. A. Bello-Pérez, C. Núñez-Santiago, H. Yee-Madeira, and C. Velezmoro, "Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region," *Food chemistry: X*, vol. 2, p. 100030, 2019.
- [28] P. Mbougueng, D. Tenin, J. Scher, and C. Tchiégang, "Influence of acetylation on physicochemical, functional and thermal properties of potato and cassava starches," *Journal of Food Engineering*, vol. 108, no. 2, pp. 320-326, 2012.
- [29] N. Singh, J. Singh, L. Kaur, N. S. Sodhi, and B. S. Gill, "Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources," *Food chemistry*, vol. 81, no. 2, pp. 219-231, 2003.
- [30] F. Zhu and R. Cui, "Comparison of physicochemical properties of oca (*Oxalis tuberosa*), potato, and maize starches," *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020.
- [31] E. Agama-Acevedo, E. Juárez-García, S. Evangelista-Lozano, O. L. Rosales-Reynoso, and L. A. Bello-Pérez, "Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis," *Agrociencia*, vol. 47, no. 1, pp. 01-12, 2013.
- [32] R. Utrilla-Coello, "Caracterización fisicoquímica, morfológica y bioquímica de los gránulos de almidón de maíz azul," *Intituto Politécnico Nacional, Yautepec*, 2007.
- [33] C. K. Reddy, F. Luan, and B. Xu, "Morphology, crystallinity, pasting, thermal and quality characteristics of starches from adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and edible kudzu (*Pueraria thomsonii* Benth)," *International journal of biological macromolecules*, vol. 105, pp. 354-362, 2017.
- [34] J. Torruco-Uco and D. Betancur-Ancona, "Physicochemical and functional properties of makal (*Xanthosoma yucatanensis*) starch," *Food Chemistry*, vol. 101, no. 4, pp. 1319-1326, 2007.
- [35] J. Aristizábal and T. Sánchez, *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca*. Italia, 2007.
- [36] J. Singh, O. J. McCarthy, and H. Singh, "Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches," *Carbohydrate polymers*, vol. 64, no. 4, pp. 569-581, 2006.
- [37] M. S. Madruga, F. S. M. de Albuquerque, I. R. A. Silva, D. S. do Amaral, M. Magnani, and V. Q. Neto, "Chemical, morphological and functional properties of Brazilian jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) seeds starch," *Food chemistry*, vol. 143, pp. 440-445, 2014.
- [38] Y. Xu, C. Grizzard, E. N. Sismour, H. L. Bhardwaj, and Z. Li, "Resistant starch content, molecular structure and physicochemical properties of starches in Virginia grown corn, potato and mungbean," *Journal of Cereals and Oil seeds*, vol. 4, no. 1, pp. 10-18, 2013.
- [39] F. Zhou, Q. Liu, H. Zhang, Q. Chen, and B. Kong, "Potato starch oxidation induced by sodium hypochlorite and its effect on functional properties and digestibility," *International journal of biological macromolecules*, vol. 84, pp. 410-417, 2016.
- [40] B. R. Cruz, A. S. Abraão, A. M. Lemos, and F. M. Nunes, "Chemical composition and functional properties of native chestnut starch (*Castanea sativa* Mill)," *Carbohydrate polymers*, vol. 94, no. 1, pp. 594-602, 2013.
- [41] O. K. Abegunde, T.-H. Mu, J.-W. Chen, and F.-M. Deng, "Physicochemical characterization of sweet potato starches popularly used in Chinese starch industry," *Food Hydrocolloids*, vol. 33, no. 2, pp. 169-177, 2013.
- [42] P. Ambigaipalan *et al.*, "Structure of faba bean, black bean and pinto bean starches at different levels of granule organization and their physicochemical properties," *Food Research International*, vol. 44, no. 9, pp. 2962-2974, 2011.
- [43] R. Colussi *et al.*, "Acetylation of rice starch in an aqueous medium for use in food," *LWT-Food Science and Technology*, vol. 62, no. 2, pp. 1076-1082, 2015.
- [44] A. Shah, F. Masoodi, A. Gani, and B. A. Ashwar, "Physicochemical, rheological and structural characterization of acetylated oat starches," *LWT*, vol. 80, pp. 19-26, 2017.
- [45] H. Chi *et al.*, "Effect of acetylation on the properties of corn starch," *Food Chemistry*, vol. 106, no. 3, pp. 923-928, 2008.
- [46] L. M. Nwokocha, N. A. Aviara, C. Senan, and P. A. Williams, "A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta*, Crantz) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches," *Carbohydrate polymers*, vol. 76, no. 3, pp. 362-367, 2009.
- [47] D. R. Izidoro, B. Demczuk Junior, C. W. I. Haminiuk, M. R. Sierakowski, R. J. S. d. Freitas, and A. d. P. Scheer, "Granules morphology and rheological behavior of green banana (*Musa cavendishii*) and corn (*Zea mays*) starch gels," *Ciência e agrotecnologia*, vol. 31, no. 5, pp. 1443-1448, 2007.
- [48] S. Mishra and T. Rai, "Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches," *Food hydrocolloids*, vol. 20, no. 5, pp. 557-566, 2006.
- [49] D. Gałkowska, K. Pycia, L. Juszcak, and P. Pająk, "Influence of cassia gum on rheological and textural properties of native potato and corn starch," *Starch-Stärke*, vol. 66, no. 11-12, pp. 1060-1070, 2014.
- [50] M. Hernández-Medina, J. G. Torruco-Uco, L. Chel-Guerrero, and D. Betancur-Ancona, "Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México," *Food Science and Technology*, vol. 28, no. 3, pp. 718-726, 2008.