

Propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas de almidones extraídos de clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*) cultivados en la provincia de Andahuaylas

Carlos A. Ligarda Samanez
Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial
Universidad Nacional José María
Arguedas
Andahuaylas
caligarda@unajma.edu.pe

David Choque Quispe
Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial
Universidad Nacional José María
Arguedas
Andahuaylas
dchoque@unajma.edu.pe

Betsy S. Ramos Pacheco
Escuela Profesional de Ingeniería
Agroindustrial
Universidad Nacional José María
Arguedas
Andahuaylas
bsramos@unajma.edu.pe

Resumen—Se evaluaron las propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas, de almidones obtenidos a partir de clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*), que fueron proporcionados por la empresa SEMPAL y codificados como clon Y₁, Y₂ y Y₃. Éstos presentaron tamaños homogéneos, pesos variados y pesos específicos altos. Se utilizaron métodos directos e indirectos para las determinaciones, la propiedad física de rendimiento de extracción de almidones osciló entre 20 y 28%, los valores de viscosidad variaron entre 1525,03 a 1550,01 cP, la actividad de agua entre 0,18 y 0,21 y el índice de finura entre 2,20 y 2,42 %. Respecto a las propiedades tecnofuncionales de los almidones, el IAA varió de 6,51 a 6,71 g gel/g muestra, el ISA de 13,03 a 17,69 %, el PH de 17,69 a 17,91 g de agua/g de almidón, la temperatura de gelatinización de 67,50 a 70,33 °C y la densidad aparente de 0,78 a 0,82 g/ml. El tamaño de los gránulos de los almidones extraídos, varió entre 26,17-39,38 micras para el eje mayor y entre 19,90-32,03 micras para el eje menor. En la industria alimentaria existe interés en utilizar almidones nativos como ingredientes y no como aditivos. Los almidones nativos de los clones de papa estudiados, presentaron propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas que la caracterizan como un buen ingrediente para su uso en ésta industria.

Palabras claves: Clones de papa nativa, almidón, propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales, morfológicas.

Abstract—The physicochemical, technical-functional and morphological properties of starches obtained from native potato clones (*Solanum tuberosum*), which were provided by the SEMPAL company and coded as clone Y₁, Y₂ and Y₃, were evaluated. These presented homogeneous sizes, varied weights and high specific weights. Direct and indirect methods were used for the determinations, the physical property of starch extraction performance ranged between 20 and 28%, the viscosity values varied between 1525.03 to 1550.01 cP, the water activity between 0.18 and 0.21 and the fineness index between 2.20 and 2.42%. Regarding the technical-functional properties of starches, the IAA varied from 6.51 to 6.71 g gel / g sample, the ISA from 13.03 to 17.69%, the PH from 17.69 to 17.91 g of water / g of starch, the gelatinization temperature from 67.50 to 70.33 °C and the apparent density from 0.78 to 0.82 g / ml. The size of the granules of the extracted starches varied between 26.17-39.38 microns for the major axis and between 19.90-32.03 microns for the minor axis. In the food industry there is interest in using native starches as ingredients and not as additives. The native starches of the potato clones studied presented physicochemical, technical-functional and morphological properties that characterize it as a good ingredient for use in this industry.

Key words: Native potato clones, starch, physicochemical, technofunctional, morphological properties.

I. INTRODUCCIÓN

La papa se cultiva en los Andes peruanos desde hace más de 7000 años, según investigaciones confirmadas recientemente, el origen de la papa, especie *Solanum tuberosum*, se centra en la parte norte del lago Titicaca, sur del Perú [1].

Actualmente la industria agroalimentaria presenta la tendencia de procesar alimentos utilizando almidón nativo (extraído a partir de papas nativas); como ingrediente y no como aditivo, debido a la exigencia del consumidor final en adquirir productos más naturales.

El polisacárido más utilizado en la industria agroalimentaria como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) es el almidón. A nivel mundial, la industria del almidón ha estado limitada a pocos cultivos tradicionales, razón por la cual es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, por cuanto la producción mundial no satisface la necesidad del mercado.

El Centro Internacional de la Papa del Perú (CIP) mantiene en custodia 4732 variedades, de las cuales 2700 corresponden al Perú y son cultivadas por encima de 3500 m de altitud [2].

Una de las materias primas utilizadas como fuentes para extracción de almidón son los tubérculos de papa; especie importante en el sistema global de alimentación, pues contribuye a los requerimientos energéticos de más de mil millones de personas en el mundo.

La producción mundial de papa ha aumentado en los últimos años, lo cual permite vincular el uso del tubérculo en diferentes procesos de la industria agroalimentaria; es por esta razón la importancia de la determinación de propiedades fisicoquímicas, tecnofuncionales y morfológicas en los almidones.

Los clones de papa nativa cultivados por la empresa SEMPAL en el distrito de San Jerónimo, presentan un gran potencial de uso en la industria agroalimentaria, un estudio anterior determinó compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en muestras frescas y purés, cuyos resultados hacen promisorios a estos recursos naturales propios de la provincia de Andahuaylas.

Extender el estudio a la fracción del almidón de algunos clones de papa nativa, forma parte de un proceso de

especialización profesional y conformación de un núcleo de investigación al interior de la Universidad Nacional José María Arguedas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materia prima y preparación de muestra

Se emplearon tres clones de papa nativa (*Solanum tuberosum*) con madurez comercial, codificados de acuerdo con el Catálogo de nuevas variedades de papa del Perú [3]: 303881-602 (Y₁), Amarillo I (Y₂) y Amarillo II (Y₃); que fueron cultivados en el periodo noviembre de 2016 a abril 2017, en suelos de textura franco arenoso, moderadamente profundo, con buen drenaje, pendiente ligeramente pronunciada, alta materia orgánica, pH entre 5,2 a 5,8, la distancia entre surcos fue de 0,9 a 1,0 m, entre plantas de 0,25 a 0,30 m, y fertilizados con abono orgánico (guano de isla o gallinaza); los campos experimentales de la empresa SEMPAL se ubican en el Centro Poblado de Chulcuiza (13°41'4.40''S y 73°14'58.45''O a 3850 m de altitud), perteneciente al distrito de San Jerónimo, Andahuaylas, Perú. Con clima Cwd de acuerdo a Köppen's, con precipitaciones media anual alrededor de 1000 mm/año, humedad relativa media de 50%, y temperaturas de -5 °C a 21 °C, con moderada incidencia de heladas.

Se escogieron muestras de papa nativa sin lavar, del mismo tamaño, sin daños aparentes, de coloración superficial homogénea, se envasaron en bolsas de polietileno de alta densidad, y se llevaron a refrigeración a 5°C hasta su utilización.

B. Determinación de propiedades físicas y químicas en clones de papa nativa

Tamaño del tubérculo

Se tomaron las muestras de papa nativa de bolsas de polietileno, para luego lavarlas y proceder a medir el tamaño de los tubérculos, empleando un calibrador Vernier. Los resultados de las medidas se reportaron en cm [4].

Peso de los tubérculos

Los tubérculos fueron clasificados de acuerdo a la denominación del Instituto Nacional de Investigación Agraria Andahuaylas [5], la cual considera de tamaño pequeño a los tubérculos cuyo peso se encuentra entre 20 a 40 gramos, de tamaño mediano entre 41 y 60 gramos, de tamaño grande entre 61 y 90 gramos y muy grandes los mayores a 91 gramos.

Densidad aparente.

Previo a la determinación de la densidad aparente se limpiaron y acondicionaron individualmente los tubérculos. La determinación se realizó tomando en cuenta la recomendación de Hall, Farral y Rippen [6]. Para determinar el valor de la gravedad específica se hizo uso de una balanza analítica de laboratorio, mediante la determinación de peso en el aire y el peso cuando la muestra estuvo sumergida en un litro de agua destilada a 15,6 °C.

Estos pesos se determinaron pesando la muestra en el aire y sumergiéndola en agua; la diferencia corresponde a la pérdida aparente de peso en el agua, que es el peso del agua desalojada, según el principio gravimétrico de Arquímedes (250 A.C); luego estos datos se reemplazaron en la ecuación:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso inicial (g)}}{\text{Peso inicial (g)} - \text{Peso del agua (g)}} \quad (1)$$

Textura interna del tubérculo

Primero se lavaron las muestras de papas nativas, para luego mediante el uso de un texturómetro, determinar la textura interna en el punto medio del tubérculo, previamente se retiró un pedazo de cáscara de aproximadamente 1 a 1.5 cm² y los resultados se reportaron en kg/cm² [4].

Peso específico

Se hizo mediante un método instrumental, utilizando una balanza Weltech PW-2050, en la cual se puso una cantidad de 5 g de muestra, el equipo entrega como resultado el peso específico (gravedad específica) [7].

Determinación de la acidez

Se utilizó la metodología descrita por la AOAC-2005 (Asociación de los Químicos Analíticos Oficiales). Método 942.15. [7].

C. Obtención de almidones de clones de papa nativa

Los almidones fueron extraídos realizando algunas modificaciones al método descrito por Adkins and Greenwood [8], para lo cual la materia prima se lavó y peló, luego se hizo un rayado de la papa para liberar el almidón. En seguida, el almidón y el agua (lechada de almidón) fueron separados por filtrado de las fibras y proteínas que contenían. Finalmente el agua y el almidón fueron separados por sedimentación, el almidón fresco fue retirado manualmente para deshidratarlo mediante la exposición a la luz solar.

Una vez obtenidos los almidones de los clones de papa nativa, fueron pesados y almacenados a temperatura ambiente, para su posterior caracterización.

D. Determinación de propiedades fisicoquímicas en almidones de clones de papa nativa

Rendimiento del almidón

El rendimiento del almidón aislado se determinó, pesando la materia prima al inicio de la extracción y el almidón obtenido al final del proceso de extracción, luego se hizo un balance de materia utilizándose para tal fin la ecuación de Ji *et al.* [9].

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso inicial (g)}}{\text{Peso final (g)}} \times 100 \quad (2)$$

Determinación de la viscosidad

La viscosidad aparente es un parámetro utilizado para determinar los comportamientos reológicos de las suspensiones de los almidones extraídos de los diferentes clones, de este modo se evaluó la influencia que tienen diferentes condiciones de proceso en las características de los materiales producidos.

Los almidones se tamizaron a través de una malla de 100 μm para normalizar el tamaño de la muestra, Se preparó 20 g de suspensión. La medida de la viscosidad aparente de la suspensión se efectuó a 33 °C en un viscosímetro Brookfield con las agujas N° 21 y 28 a diferentes velocidades de rotación. Los ensayos se efectuaron por triplicado [10].

Determinación de la actividad de agua (aw)

Se hizo uso de un instrumento denominado AquaLab. Este lleva incorporados dos sensores, uno que determina la temperatura superficial de las muestras mediante infrarrojo y otro que mide el punto de rocío por condensación sobre un espejo enfriado según AOAC [7], para lo cual se tomó una muestra de almidón para analizar, la cual fue llevada en un porta muestras al equipo Aqualab donde se tomó la medida directamente.

Determinación del índice de finura

Esta propiedad se determinó por granulometría, se tomó 100 g de muestra de almidón extraído, para luego realizar un tamizado con agitación constante, haciéndose uso del tamiz de malla número 100 de la serie de Taylor [7].

E. Determinación de propiedades tecnofuncionales en almidones de clones de papa nativa

Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH), temperatura de gelatinización (Tg) y densidad aparente (Da)

El IAA, ISA y PH se determinaron adaptando la metodología descrita por Anderson *et al.* [11], El almidón de papa nativa se tamizó en una malla de 420 micrones, para normalizar el tamaño de la muestra. Posteriormente se pesó 1,5 g de ésta en una balanza analítica y se le añadió 30 ml de agua destilada; la muestra fue agitada durante 30 min. Luego se tomó una alícuota de 10 ml (previamente pesada) de la suspensión formada y se procedió a centrifugar a 2000 RPM por 15 min. El sobrenadante se decantó y se secó a 100 °C durante 16 horas en una estufa, el gel retenido en los tubos se pesó, las siguientes ecuaciones fueron utilizadas para los cálculos.

$$\text{Peso muestra (g)} = \frac{\text{Peso seco muestra (g)}}{[\text{Peso seco muestra (g)} + \text{agua(g)}]} * \text{alícuota} \quad (3)$$

$$\text{IAA} = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} \quad (4)$$

$$\text{ISA (\%)} = \frac{\text{Peso seco sobrenadante (g)}}{\text{Peso muestra (g)}} * 100 \quad (5)$$

$$\text{PH} = \frac{\text{Peso gel (g)}}{\text{Peso muestra (g)} - \text{Peso seco sobrenadante (g)}} \quad (6)$$

Para determinar la Tg se pesó 2 g de almidón, enseguida se calentó agua en un vaso de precipitado de 250 ml a 85 °C. En otro vaso de precipitado de 100 ml, se añadió 20 ml de agua y la muestra previamente pesada, la cual se colocó dentro del vaso de 250 ml a 85°C. Posteriormente la muestra fue agitada constantemente con el termómetro, hasta que se forme una pasta y la temperatura permanezca estable por unos segundos, luego se procedió a leer la temperatura de gelatinización [12]. La densidad aparente se determinó por el principio de Arquímedes que se ha detallado líneas arriba.

F. Determinación de propiedades morfológicas en almidones de clones de papa nativa

Se utilizó la metodología descrita por Carrera Carazas [13], haciendo uso de un Microscopio Electrónico Leica. Se preparó una suspensión de almidón al 0.2 %, luego se tomó una gota de la suspensión y se ubicó en el Microscopio electrónico, se tomaron fotografías con un aumento de 40X de magnificación. En seguida se tomaron las medidas del tamaño de los gránulos mediante el programa LAEZ, instalado al microscopio electrónico.

G. Análisis estadístico

Todos los análisis fueron realizados por triplicado, para la evaluación estadística se utilizó un diseño completamente al azar (DCA); el análisis de varianza se trabajó con 0,05 de significancia; al encontrar diferencia significativa se procedió a realizar la prueba de comparaciones de medias de Fisher (LSD) a un nivel de $\alpha = 0,05$. Los datos fueron procesados con la ayuda de los programas estadísticos Centurión XVI.I y la hoja de cálculo Microsoft Excel 2013.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Propiedades físicas y químicas de clones de papa nativa

Tamaño y peso del tubérculo

Los resultados del tamaño, que corresponden al largo (L) y al ancho (A), además del peso de los tubérculos se muestran en la Tabla 1.

Los clones de papa nativa estudiados, presentaron tamaños homogéneos los cuales oscilaron entre 5,75 a 6,36 cm de largo y de 3,61 a 5,12 cm de ancho, respecto al peso de los tubérculos, estos fueron variados y se clasificaron en; pequeño, mediano, grande y muy grande.

TABLA 1. TAMAÑO Y PESO DE LOS CLONES DE PAPA NATIVA

Clon	Tamaño promedio		Peso de los clones de papa nativa			
	L Largo (cm)	A Ancho (cm)	Pequeños 20 - 40 g $\bar{x} \pm s$	Medianos 41 - 60 g $\bar{x} \pm s$	Grandes 61 - 90 g $\bar{x} \pm s$	Muy grandes > 91 g $\bar{x} \pm s$
Y ₁	5,97	5,12	30,05 ± 6,15	55,58 ± 3,97	74,71 ± 8,49	137,99 ± 3,58
Y ₂	5,75	4,72	32,56 ± 3,17	50,85 ± 3,82	74,39 ± 7,98	109,52 ± 5,42
Y ₃	6,36	3,61	38,31 ± 5,27	48,98 ± 7,13	71,17 ± 2,84	199,67 ± 4,07

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar.

Fuente: Los autores.

Densidad aparente y textura interna del tubérculo

Los resultados de densidad aparente y textura se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. DENSIDAD APARENTE Y TEXTURA DE LOS CLONES DE PAPA NATIVA

Clon	Densidad aparente (g/ml) $\bar{x} \pm s$	Textura (kg/cm ²) $\bar{x} \pm s$	Peso específico (g/cm ³) $\bar{x} \pm s$
Y ₁	1,08 ± 0,00	8,07 ± 0,01	1,15 ± 0,08
Y ₂	1,16 ± 0,01	8,20 ± 0,01	1,14 ± 0,09
Y ₃	1,12 ± 0,00	9,53 ± 0,00	1,12 ± 0,00

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar.

Fuente: Los autores.

Los valores de densidad aparente variaron de 1,08 a 1,16 g/ml, mientras que la textura osciló entre 8,07 a 9,53 kg/cm² y el peso específico entre 1,12 a 1,15 g/cm³.

Buitrago *et al.* [14], determinaron las características físicas y las propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia, observando que las características físicas de las variedades de papas estudiadas (criolla y parda pastusa) muestran homogeneidad en los resultados excepto en el peso, ya que esta variable tuvo una desviación estándar de 7,12 g. Parecido comportamiento ocurre con los valores de los clones de papa nativa estudiados, por otro lado el autor señala que el valor promedio de la densidad real para la variedad criolla fue de 1,11 g/ml, valor similar a los obtenidos en la presente investigación.

Respecto al peso específico, es importante señalar que esta propiedad corresponde al peso relativo de un sólido o un líquido comparado con el peso de igual volumen de agua desplazado. Asimismo, el peso específico y el contenido de

almidón presentan una relación positiva, correlación empleada como método rápido para determinar el contenido del almidón; Melian [15] reportó valores de peso específico en diversas variedades de papa entre 1,088 y 1,159 g/cm³, valores inferiores al de los clones que oscilaron entre 1,12 a 1,15 g/cm³; esta propiedad es empleada como indicador de calidad, y presencia de altos contenidos de materia seca y almidón.

Acidez de los clones de papa nativa

Los resultados de la acidez titulable se muestran en la Tabla 3, estos oscilaron entre 0,20 y 0,36 %.

TABLA 3. ACIDEZ DE LOS CLONES DE PAPA

Clon	% Acidez de los clones de papa (meq de ácido sulfúrico /g) $\bar{x} \pm s$
Y ₁	0,20 ± 0,05
Y ₂	0,29 ± 0,07
Y ₃	0,36 ± 0,08

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar.

Fuente: Los autores.

Salazar *et al.* [16], determinaron el contenido de acidez titulable de catorce materiales de papa provenientes de Marajabúedo. Trujillo, Venezuela; cuyos valores se encontraron entre 0,328 y 0,420 %; estos valores son similares a los obtenidos en la investigación.

B. Obtención de almidones de clones de papa nativa

Rendimiento de almidones de clones de papa nativa

El rendimiento de la extracción depende de la materia seca y del contenido de almidón del tubérculo. Sin embargo, es necesario señalar que los productos que presentan mayor contenido de almidón, no necesariamente son los que obtienen valores altos en rendimiento. Los datos obtenidos variaron entre 0,20 a 0,28 (20 a 28 %) y se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4. RENDIMIENTO DE LOS ALMIDONES

Clon	Rendimiento de los almidones extraídos $\bar{x} \pm s$
Y ₁	0,24 ^a ± 0,05
Y ₂	0,28 ^a ± 0,07
Y ₃	0,20 ^b ± 0,08

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Fuente: Los autores.

Según Arcila [17], existen ciertos factores como la madurez de tubérculo que afectan el rendimiento, puesto que el almidón inicia el proceso de hidrólisis después de cosechado el tubérculo, por lo tanto, su contenido se reduce gradualmente a medida que el fruto madura. Es por ello meritorio señalar que es importante extraer el almidón una vez que la papa es cosechada.

Los valores del porcentaje de extracción de los tres clones son superiores a los reportados por Zárate *et al.* [18], que reportan valores de 9,09 % para los clones promisorios de papa cultivados por el Municipio de Sibáte y 8.59 % para los cultivados por el municipio Granada. Cabe señalar que el porcentaje de la extracción de almidón, no garantiza valores altos del contenido de almidón así como el contenido de amilosa y amilopeptina.

Melian [15], evaluó el rendimiento de la extracción de almidones de papa usando muestras de diez variedades nativas de Chiloe y dos variedades comerciales, mediante dos metodologías. Reportó valores de 8.18 % por centrifugación y 8,64 % por el método de decantación, y al igual que el caso anterior, estos valores son inferiores a los obtenidos para los clones de papa nativa. Cabe recalcar, que hay ciertos factores que influyen directamente en el rendimiento de la extracción del almidón.

C. Propiedades fisicoquímicas en almidones de clones de papa nativa

Viscosidad de los almidones de clones de papa nativa

Los valores de viscosidad en los almidones de clones de papas nativas variaron de 1525,03 a 1550,01 cP y se muestran en la Tabla 5.

Es necesario señalar que la viscosidad está relacionada con la distribución de cadenas de moléculas de amilopeptina. Además la amilopeptina con mayor masa molar genera pastas más viscosas a altas temperaturas, Arzapalo *et al.* [19]. En Es decir, mientras mayores sean los valores de la viscosidad en el almidón extraído, las pastas generadas serán más viscosas.

TABLA 5. VISCOSIDAD DE LOS ALMIDONES EXTRAÍDOS

Clon	Viscosidad (cP) $\bar{x} \pm s$
Y1	1550,01 ^a ± 0,08
Y2	1525,03 ^b ± 0,01
Y3	1538,05 ^c ± 0,03

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Fuente: Los autores.

Lucas *et al.*, [20], determinaron la viscosidad de los almidones extraídos a partir de plátano guineo, donde la viscosidad máxima fue de 877 cP con una temperatura de 90,05 °C y un tiempo de 10,20 minutos. Estos valores reportados son inferiores a los obtenidos en la investigación. Así mismo Alvis *et al.* [21], estudió almidones de ñame, yuca y papa, reportó valores de 435 RVU (5220 cP) para el ñame de la variedad Ecuatoriano, 65 RVU (780 cP) para la yuca de variedad MBra-383 y 119 RVU (1428 cP) para la papa de variedad ICA Nariño. Al igual que el caso anterior, estos valores son inferiores a los obtenidos en la investigación.

Arzapalo *et al.* [19], determinaron las propiedades funcionales de tres variedades de quinua, las muestras de almidón presentaron una baja solubilidad de 5 % y restringido poder de hinchamiento de 0,7 %, comprobando que sus gránulos tienen fuerzas o enlaces de unión muy fuertes, así mismo observó un ligero pico de viscosidad de 2006 cP para VC (negra Collana), 1521VB y un mínimo de 1009 cp en VP (Pasankalla roja), observándose en éste último caso que es menor que los resultados obtenidos, evidenciándose que los almidones de clones de papas nativas, presentan mayor capacidad para la formación de pastas a altas temperaturas.

Actividad de agua de los almidones de clones de papa nativa

Los valores de actividad de agua en los almidones de clones de papas nativa variaron de 0,18 a 0,21 y se muestran en la Tabla 6.

TABLA 6. ACTIVIDAD DE AGUA DE LOS ALMIDONES EXTRAÍDOS

Clon	Actividad de agua (aw) $\bar{x} \pm s$
Y ₁	0,21 ^a ± 0,01
Y ₂	0,18 ^a ± 0,03
Y ₃	0,20 ^a ± 0,05

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Fuente: Los autores.

Guevara *et al.* [22], mencionan que el valor de la actividad de agua para almidones y alimentos secos debe ser menor a 0,60; el cual es suficiente para inhibir el crecimiento de microorganismos, los valores obtenidos se encuentran por debajo de este límite indicado como seguridad para el control microbiano.

Índice de finura

El índice de finura varió entre 2,20 y 2,42 %, los resultados se muestran en la Tabla 7.

Arzapalo *et al.* [19], reportaron valores de 1.35 ± 0.05 , 1.25 ± 0.02 y 1.11 ± 0.11 para tres tipos de almidón de quinua denominados VC (negra Collana), VP (Pasankalla roja) y VB (Blanca Junín), respectivamente. En el presente estudio se utilizó la malla número 100; por lo tanto, los valores obtenidos están dentro de los parámetros aceptables para almidones.

TABLA 7. ÍNDICE DE FINURA DE LOS ALMIDONES EXTRAÍDOS

Clon	Índice de finura (%) $\bar{x} \pm s$
Y ₁	2,42 ± 0,24
Y ₂	2,23 ± 0,33
Y ₃	2,20 ± 0,15

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Fuente: Los autores.

D. Propiedades tecnofuncionales en almidones de clones de papa nativa

Índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH), temperatura de gelatinización (Tg) y densidad aparente (Da).

Cuando se calienta una suspensión acuosa, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua, aumentando su tamaño. La determinación de estos índices se mide aprovechando la capacidad de absorción del agua del gránulo de almidón y la exudación de fracciones de almidón a medida que se incrementa la temperatura de las suspensiones de almidón.

Respecto al IAA, los valores oscilaron entre 6,51 a 6,71 g gel/g muestra, el ISA entre 13,03 a 17,69 %, el PH entre 17,69 a 17,91 g de agua/g de almidón, la Tg entre 67,50 a 70,33 °C y la Da entre 0,78 a 0,82 g/ml, los cuales se muestran en Tabla 8.

TABLA 8. RESULTADOS DEL IAA, ISA, PH, TG Y DA

Clon	IAA (g gel/g muestra) $\bar{x} \pm s$	ISA (%) $\bar{x} \pm s$	PH (g de agua/g de almidón) $\bar{x} \pm s$	Tg (°C) $\bar{x} \pm s$	Da (g/ml) $\bar{x} \pm s$
Y ₁	6,51 ^a ± 0,01	17,69 ^a ± 0,85	17,91 ^a ± 0,00	67,50 ^a ± 0,75	0,78 ^a ± 0,00
Y ₂	6,66 ^b ± 0,03	13,32 ^b ± 0,13	17,69 ^b ± 0,04	70,33 ^a ± 1,33	0,80 ^a ± 0,00
Y ₃	6,71 ^b ± 0,00	13,03 ^b ± 0,32	17,72 ^b ± 0,00	67,50 ^a ± 0,75	0,82 ^a ± 0,00

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Fuente: Los autores.

El índice de solubilidad (ISA) es la capacidad de reaccionar con agua y disolverse en él; igualmente indica el grado de asociación existente (enlace intragranular) entre los polímeros del almidón amilosa/amilopectina [23].

Almidones, purés, harinas de buena calidad tendrán una alta absorción de agua, baja solubilidad y un alto poder de hinchamiento, el clon denominado Y3, fue el que cumplió con estos requisitos, con un IAA igual a 6,71 g gel/g muestra; un ISA de 13,03 % y poder de hinchamiento de 17,91 g de agua/g de almidón.

La temperatura de gelatinización depende de diversos factores, tales como el tamaño de los gránulos, la relación amilosa / amilopectina y las fuerzas intra e intermoleculares, entre otros. Asimismo es un índice de ordenamiento intragranular y entre mayor sea este valor, mayor será el grado de asociación de las moléculas en el interior del gránulo de almidón [24], de acuerdo a los resultados obtenidos el grado de asociación de las moléculas en el interior del gránulo de almidón se da aproximadamente entre 67,50 a 70,33 °C, con la absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y más accesibles [25].

Rodríguez *et al.* [26], determinaron el IAA en harina pre cocida de yuca que fue de 9,92 g gel/g muestra, también cuantificaron el ISA que fue de 19,22 %, valores que fueron mayores a los estudiados en la presente investigación.

Martínez *et al.* [27], reportaron valores de poder de hinchamiento para almidones nativos de papas peruanas, que oscilaron entre 11,1 y 28,5 g agua/g almidón. Los resultados obtenidos en el presente estudio, estuvieron dentro de dicho rango.

E. Propiedades morfológicas en almidones de clones de papa nativa

Tamaño del gránulo del almidón

Las medidas de los gránulos de clones de papas nativas, para el caso del eje mayor variaron entre 26,17 a 39,38 micras y para el eje menor entre 19,90 a 32,03 micras, los cuales se muestran en la Tabla 9.

TABLA 9. RESULTADOS DEL TAMAÑO DEL GRÁNULO DEL ALMIDÓN

Clon	Eje mayor (μm)	Eje menor (μm)
	$\bar{x} \pm s$	$\bar{x} \pm s$
Y ₁	26,17 ^a \pm 1,01	19,90 ^a \pm 0,85
Y ₂	32,26 ^b \pm 1,03	23,62 ^b \pm 1,13
Y ₃	39,38 ^b \pm 1,00	32,03 ^b \pm 1,32

Donde: \bar{x} es la media; s es la desviación estándar, las letras iguales significan que no hay diferencia significativa, evaluadas a través del test LSD, con $\alpha = 5\%$.

Fuente: Los autores.

El almidón, está conformado por gránulos que tienen diferentes tamaños (diámetros entre 10 y 100 μm) y formas (redonda, elíptica, lenticular o poligonal), dependiendo de la fuente biológica de donde provengan, son parcialmente semi-cristalinos e insolubles en agua a temperatura ambiente, Lindeboom *et al.* [28].

Los valores obtenidos en los clones son similares a los determinados por Quilca [4], quien encontró valores del eje mayor de 26 a 50 μm y eje menor de 18 a 32 μm para 10 ecotipos de papa nativa.

CONCLUSIONES

Los clones de papa nativa presentan tamaños homogéneos y pesos variados, se determinaron altos pesos específicos, los cuales indican que tienen valores altos en contenido de materia seca y almidón.

Se obtuvieron rendimientos altos de extracción de los almidones que varían entre 20 y 28 %. Aunque los productos que presentan mayor contenido de almidón, no necesariamente son los que obtienen valores altos en rendimiento.

Los almidones de clones de papas nativas presentaron propiedades fisicoquímicas, morfológicas y tecnofuncionales superiores a otras variedades y materias primas, lo que permite caracterizarlas como buenos ingredientes para su uso en la industria agroalimentaria.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional José María Arguedas y a la Vice Presidencia de Investigación por el financiamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] D. M. Spooner, K. McLean, G. Ramsay, R. Waugh, and J. G. Bryan, "A Single Domestication for Potato Based on Multilocus Amplified Fragment Length Polymorphism Genotyping", *PNAS*, 102(41), 14694-14699, 2005. DOI: 10.1073/pnas.0507400102.

[2] C. Fonseca, G. Burgos, F. Rodríguez, L. Muños, and M. Ordinola, "Catálogo de variedades de papa nativa con potencial para la seguridad alimentaria y nutricional de Apurímac y Huancavelica". Centro Internacional de la Papa – CIP, Lima, Perú, 2014, p. 29. M, 2014. DOI: 10.4160/9789290604549.

[3] Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, "Catálogo de nuevas variedades de papa del Perú: sabores y colores para el gusto peruano". Ministerio de Agricultura, Perú, 2012. DOI: 10.4160/978-92-9060-419-8.

[4] N. E. Quilca Burga, "Caracterización física, morfológica, organoléptica, química y funcional de papas nativas para orientar sus usos futuros". Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, 2007.

[5] Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA, "Boletín informativo sobre papa". Andahuaylas, 2015.

[6] A.W. Hall Farral y A.L. Rippen, "Enciclopedia de Ingeniería de Alimentos". New York: Ed.AVI, 1978.

[7] AOAC, A. d, "Métodos oficiales de análisis", 2005.

[8] G. K. Adkins, and C. T. Greenwood, "The isolation of cereal starches in the laboratory. Starch/Stärke", 7:213-218, 1966.

[9] Y. Ji, K. Seetharaman, and P. J. White, "Optimizing a small scale corn starch extraction method for use in the laboratory". *Cereal Chemistry*. 81(1):55-58, 2004.

[10] E. Rodríguez, A. Fernández, L. Alonso, y B. Ospina, "Reología de suspensiones preparadas con harina pre cocida de yuca", *Ingeniería & Desarrollo Universidad del Norte*, 19, 17-30. 2006.

[11] R. Anderson, B. Conway, y B. Peplinski, "Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking". *Cereal Science Today*. Volumen14, p.4-12, 1969.

[12] C. Fernández, "Caracterización reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados. Efectos del proceso y adición de crioprotectores". Memoria para optar al grado de doctor. Departamento de nutrición, bromatología y tecnología de los alimentos, Universidad Complutense de Madrid, 2008.

[13] L. E. Carrera Carazas, "Obtención y caracterización del almidón de Pijuayo (Guilielma garipaes H. B. K bailej)", (tesis de grado.). Universidad Agraria La Molina, Lima, 1996.

[14] G. Buitrago, A. López, A. Coronado, y F. Osorno, "Determinación de las características físicas y propiedades mecánicas de papa cultivada en Colombia". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1), 102-110, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000100015>.

[15] D. Melian, "Ensayo Comparativo de Dos Metodologías de Extracción de Almidón de Papa usando Muestras de diez variedades nativas de Chiloé y dos variedades comerciales. Universidad Austral de Chile-Escuela de Ingeniería de los Alimentos", 2010. (<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2010/fam522e/doc/fam522e.pdf>).

[16] M. Salazar, J. Zambrano, y H. Valecillos, "Evaluación del rendimiento y características de calidad de trece clones avanzados de papa (*Solanum tuberosum* L.)". *Revista Agricultura andina*, 14, 101-117, 2008. (<http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/29373/1/articulo7.pdf>).

[17] P. Arcila, F. Giraldo, y J. Celis, "Cambios físicos y químicos durante la maduración del plátano dominico-hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la región cafetera central colombiana. ACORBAT". (15: 27-2, octubrenoviembre, 2002: Cartagena, Colombia). Reunión. Medellín: Asociación de Bananeros de Colombia AUGURA, 2002.

[18] L. M. Zárate, N.A. Otalora, L. M. Ramírez, A. M. Garnica, L. Prieto, M. S. Ceron, y J. H. Argüelles, "Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*S. tuberosum* grupo *Phureja*). *Revista Latinoamericana de la Papa* 18: 1-24, 2012.

[19] D. Arzapalo, K. Huamán, M. Quispe y C. Espinoza, "Extracción y caracterización del almidón de tres variedades de quinua (*Chenopodium quinoa willd*) negra. *Revista Sociedad química del Perú*. 81(1), 2015. (<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v81n1/a06v81n1.pdf>).

[20] J. Lucas-Aguirre, V. D. Quintero-Castaño, y C. A. Cárdenas- Valencia, "Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (*Musa sapientum* L.). *Acta Agron*, 62(2), 83 – 96, 2013.

[21] A. Alvis, C. Vélez, H. Villada, y M. Rada, "Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas". *Información Tecnológica* 19(1), 19-28, 2008.

[22] A. Guevara, y R. Málaga, "Determinación de los parámetros de proceso y caracterización del puré de aguaymanto". *Ing Ind*. 2013;(31):167-195, 2008.

[23] C. Medina, A. Paredes, M. Rodríguez, M. Moreno, D. Belén-Camacho, D. García, y C. Ojeda, "Evaluación de dos métodos de extracción de almidón a partir de cotiledones de mango". *Bioagro*, 22(1), 2010, p. 67-74, 2008.

[24] B. Rached, L. de Vizcarrondo, C. A. Rincón, M. Alicia, y F. Padilla, "Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56(4), 375-383. Recuperado en 17 de mayo de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000400010&lng=es&tln=es.

[25] C. Granados, C. Guzmán, L. E. Acevedo, D. Díaz, y A. Herrera, "Propiedades funcionales del almidón de sagu (*Maranta arundinacea*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 90-96. Retrieved May 17, 2020, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612014000200010&lng=en&tln=es, 2014.

- [26] E. Rodríguez, A. Fernández, L. Alonso, y B. Ospina, “Reología de suspensiones preparadas con harina pre cocida de yuca”. *Ingeniería & Desarrollo Universidad del Norte*, 19, 17-30, 2006.
- [27] P. Martínez, A. Málaga, I. Betalleluz, A. Ibarz y C. Velezmoro, “Caracterización funcional de almidones nativos obtenidos de papas (*Solanum phureja*) nativas peruanas”. *Scientia Agropecuaria*, 6(4), 291-301, 2015. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.06>.
- [28] N. Lindeboom, P. Chang, y R. Tyler, “Aspectos analíticos, bioquímicos y fisicoquímicos de tamaño de los gránulos de almidón, con énfasis en los pequeños almidones granulares”. *Almidón*, 89-99, 2004.