

Efecto del método de extracción del almidón de *Canna indica* L. sobre sus propiedades físico-químicas¹

Dania Fonseca-López²; Lily Monroy-Fonseca³; Carlos-Eduardo Rodríguez-Molano⁴

Resumen

Introducción. En Colombia el almidón de *Canna indica* L. se extrae por métodos artesanales, pero se desconoce si estos influyen en sus propiedades físico químicas.

Objetivo. Evaluar el efecto de dos métodos de extracción del almidón de *Canna indica* L. sobre sus propiedades físico químicas.

Materiales y métodos. Se extrajo el almidón por licuado y por rallado, y se evaluó su índice de absorción de agua, solubilidad en agua, poder de hinchamiento, temperatura de gelatinización (TG) y viscosidad en buffer a diferente pH. También se determinó su calidad composicional y la del rizoma. Se empleó un diseño completamente al azar, y el análisis de los datos de las características químicas del almidón se hizo por comparación de medias de dos poblaciones normales con t student ($P < 0.05$).

Resultados. Se observó que la viscosidad en medios ácidos y la TG del almidón extraído por el método rallado fue mayor (75.6 ± 1.91 °C), comparado con el almidón extraído por licuado (62.08 ± 1.83 °C) ($p \leq 0.05$). **Conclusión.** El

almidón extraído por rallado soporta mayor temperatura y tolera mejor los medios ácidos, lo que demuestra que el tratamiento físico del almidón influye en las propiedades TG y la resistencia del almidón a la acidez.

Palabras clave: almidón, extracción de almidón, propiedades fisicoquímicas

Effect of the method of extraction of *Canna indica* L. starch on its physicochemical properties

Abstract

Introduction. In Colombia the starch of *Canna indica* L. is extracted by artisan methods, but it is unknown if this influences its physical and chemical properties. **Objective.** Evaluate the effect of the two methods of extraction of *Canna* starch indicates L. on its physical and chemical properties. **Materials and methods.** The starch was extracted by liquefying and by

1 Artículo original derivado del proyecto de investigación *Diseño de sustituto lácteo para terneros a partir de diferentes concentraciones de suero en mezcla con varios ingredientes*, realizado entre febrero y diciembre del año 2017, financiado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC, sede Tunja, Colombia, por la convocatoria 39 Jóvenes investigadores.

2 Magíster en Ciencias Veterinarias, investigador del grupo GIBNA de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. ORCID: 0000-0003-3877-3730

3 Magíster en Docencia de la Química, docente en la Escuela de Ciencias Químicas, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

4 Magíster en Ciencias Biológicas, docente investigador del grupo GIBNA de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. ORCID: 0000-0002-0862-3478

Autor para la correspondencia: Dania Fonseca-López. Correo electrónico: correodania@gmail.com

Recibido: 18-12-2018 Aceptado: 03-02-2020

scratching, and its water absorption index, water solubility, swelling power, the gelatinization temperature (TG) and viscosity in buffer at different pH were evaluated. Also, its compositional quality and that of the rhizome were determined. A completely random design was used, and the analysis of the data on the chemical characteristics of the starch was made by comparing the means of two normal populations with student t ($P < 0.05$). **Results.** It was observed that the viscosity in acid media and the TG of the starch extracted by the striped method were higher (75.6 ± 1.91 °C) compared to the starch extracted by liquefying (62.08 ± 1.83 °C) ($p \leq 0.05$). **Conclusion.** The starch extracted by scratching endures higher temperature and better tolerates acidic media, which shows that the physical treatment of starch influences the TG properties and the resistance of starch to acid.

Keywords: Starch, starch extraction, physicochemical properties

Efeito do método de extração do amido da *Canna indica* L. sobre as suas propriedades físico-químicas

Resumo

Introdução. Na Colômbia o amido da *Canna indica* L. é extraído pelos métodos artesanais, mas é desconhecido se estes influenciam nas suas propriedades físico-químicas. **Objetivo.** Avaliar o efeito de dois métodos de extração do amido da *Canna indica* L. sobre as suas propriedades físico-químicas. **Materiais e métodos.** Foi extraído o amido pela liquefação e pelo ralagem, e foi avaliado seu índice de absorção da água, solubilidade em água, o poder de inchamento, a temperatura de gelatinização (TG) e a viscosidade em tampão a diferentes pH. Também foi determinada a sua qualidade

composicional e a do rizoma. Empregou-se um desenho completamente aleatório, e o análise dos dados das características químicas do amido se realizou pela comparação de médias das duas populações normais com o t student ($P < 0.05$). **Resultados.** Observou-se que a viscosidade em meios ácidos e a TG do amido extraído pelo método de ralagem foi maior (75.6 ± 1.91 °C), comparado com o amido extraído pela liquefação (62.08 ± 1.83 °C) ($p \leq 0.05$). **Conclusão.** O amido extraído pelo ralagem suporta maior temperatura e tolera melhor os meios ácidos, demonstrando que o tratamento físico do amido influencia nas propriedades TG e a resistência do amido à acidez.

Palavras chave: amido, extração de amido, propriedades físico-químicas.

Introducción

El almidón se usa en la preparación de alimentos como agente espesante, es decir, que proporciona textura, apariencia y forma (Saartrat, Puttanlek, Rungsardthong y Uttapap, 2005; Agudelo, Sepúlveda y Restrepo, 2015). Es extraído comúnmente de cereales, pseudocereales y de rizomas como el sagú, también conocido como achira, risgua, arawac, imocoma, chisgua, maraca y capacho que es una planta perenne de la familia cannaceanativa de los Andes en América del Sur (Andrade-Maecha, Tapia-Blácido y Menegalli, 2012; Wafa et al., 2016). Es cultivada en países latinoamericanos como Bolivia, Ecuador (Garcés y Carbo, 2013), México, Brasil y Perú (Hernández-Medina et al. 2008) y en países asiáticos (Andrade-Maecha et al., 2012). En Colombia, tiene fines comerciales, ornamentales (Andrade-Maecha et al., 2012) y se usa para la fabricación de productos especializados de pan y sus derivados (Ayala, Agudelo y Vargas, 2012). Se encuentra distribuido en la región andina colombiana y es promisorio debido a

su rusticidad, tolerancia a plagas (Garcés y Carbo, 2013) y rendimiento de producción hasta de 3.42 ton ha⁻¹, mayor a la batata (1 ton ha⁻¹) (Rojas-Mercado y Seminario-Cunya, 2014). Su extracción se ha mecanizado, pero también se realiza a mano; el proceso inicia con el lavado de las raíces, liberación del almidón, tamizado, sedimentación y secado. Algunas variaciones incluyen rallado (Ayala et al., 2012), licuado (Pérez-Rea et al., 2012; Fuentes et al., 2019) y con molino (Fatima, Umali y Tayobong, 2019, Andrade-Maecha et al., 2012) utilizando como disolventes agua, etanol, éter dietílico o éter de petróleo, pero con rendimientos máximos en agua (Gaur, 2014). Además, se reporta el uso de K₂S₂O₅ tanto para limpieza como para evitar la oxidación del material cuando es cortado (Andrade-Maecha et al., 2012). Pese a reportarse diferentes métodos de extracción, poca atención se ha prestado al impacto que ejercen en las características funcionales y composicionales del almidón. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dos métodos de extracción (licuado y rallado) de almidón de *canna indica* L. sobre sus propiedades fisicoquímicas.

Materiales y métodos

Materiales

Se utilizaron rizomas de *canna indica* L. de un cultivo establecido en la granja La María ubicada en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia con sede en la ciudad de Tunja, Departamento de Boyacá, coordenadas 5 ° 33 ' 7" N y 73 ° 21 ' 23 " W a una altura de 2730 msnm, temperatura media de 21 ° C.

Proceso de extracción del almidón

Los rizomas se lavaron con agua destilada y se les retiró la capa externa; se dividieron en

dos partes, la primera se utilizó para extraer almidón por el método de licuado (LI) con una licuadora (Oster®, modelo 4655, EE. UU.) de tres velocidades y la otra mitad por el método de extracción por rallado (RA). El material se recogió y se depositó en vasos de precipitado de 250 mL con 150 mL de agua destilada. Se dejó en suspensión por 3 h, se retiró la fibra y el almidón sedimentado se filtró. Luego, se hicieron tres lavados con 150 mL de agua destilada cada uno. En el método por LI, el almidón se secó a 60 ° C, y en el método por RA a temperatura ambiente (21 ° C) por 48 h, este último fue secado tal como se realiza en las condiciones de extracción tradicional.

Caracteres evaluados

Calidad composicional

Tanto en el almidón como en el rizoma, se determinó el contenido de: materia seca (%) (MS) a partir de muestras dejadas a 60 ° C durante 48 h en una estufa universal (Memmert®, modelo UN55, Alemania), y el contenido de humedad (%) (H) por diferencia de peso; cenizas (%) (CEN), incinerando las muestras a 550 ° C en una mufla (Thermolyne®, modelo F48010-33, EE. UU.), extracto etéreo (%) (EE) por el método Soxhlet y proteína cruda (%) (PC) por el método de Kjeldahl. El contenido de azúcares reductores (mg.g⁻¹) y no reductores (mg.g⁻¹) se halló por la prueba cuantitativa de Benedict (Chen, Klemm y Jeng, 1989) pero en este último se agregó 1 mL de HCl y 5 mL de NaOH a las soluciones problema.

Índice de absorción de agua (g agua.g⁻¹almidón) (IAA), solubilidad en agua (%) (ISA), poder de hinchamiento del almidón (g agua.g⁻¹ almidón) (PI) y temperatura de gelatinización (° C) (TG)

El IAA, el ISA y el PI del almidón se determinaron por el método propuesto por Anderson, Conway, y Peplinski (1970), a partir de una solución con 1.2 g de almidón en 50 mL de agua destilada que se depositó en un tubo de centrifuga, y se calentó a 60° C con agitación constante durante 30 minutos y posteriormente se centrifugó a 2000 rpm el mismo tiempo. El IAA se calculó mediante la diferencia entre el peso del gel precipitado (p1) que se formó después del tratamiento térmico y el peso de la muestra de almidón utilizado inicialmente (p2). Mientras que el ISA se determinó a partir del peso del sobrenadante residual suspendido (p3) que fue secado a 60° C durante 24 h. El poder de hinchamiento se calculó por la siguiente expresión matemática:

$$\frac{p1}{p2(g)-p3(g)}$$

Y la temperatura de gelatinización se halló con el método propuesto por Narayama y Narasinga-Rao (1982) a partir de muestras de 1 g de almidón en un volumen de 50 mL de agua destilada.

Viscosidad en medios ácidos del almidón (d Pa•s)

Se determinó a partir de la metodología de Santos, Bonomo, Fontan, Santos y Silva (2009), en soluciones de 20 g L⁻¹ con un buffer (0.1 M) elaborado con citrato de sodio y ácido cítrico a pH de: 3; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 y 7. Tres buffer (3; 3,5; 4,5) se mezclaron con almidón extraído por el método RA y tres (5,5; 6,5 y 7) con almidón extraído por el método LI. Todas las muestras se calentaron a 80° C y se leyó su viscosidad a 21° C con un viscosímetro (Brookfield Ametek ® modelo LVDVE 115, EE. UU.) y aguja 0.2.

Variación del pH en el sobrenadante de extracción del almidón

Se evaluó la variación del pH en el sobrenadante de extracción con 1 h de intervalo, durante 3 h con un potenciómetro (OAKTON® modelo pH 50, EE. UU.) y al finalizar este tiempo se retiró el almidón sedimentado.

Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar con seis tratamientos que corresponden a la combinación de dos métodos de extracción (licuado y rallado) y tres pH diferentes para cada método (Tabla 1) cada tratamiento tuvo tres repeticiones, y cada unidad experimental correspondió a un frasco donde se depositó el almidón extraído de doce rizomas.

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

| Tratamiento | Método de extracción | pH |
|-------------|----------------------|---------------|
| T1 | Rallado | Buffer pH 3 |
| T2 | Rallado | Buffer pH 3.5 |
| T3 | Rallado | Buffer pH 4.5 |
| T4 | Licuado | Buffer pH 5.5 |
| T5 | Licuado | Buffer pH 6.5 |
| T6 | Licuado | Buffer pH 7 |

Fuente: elaboración propia

Se hizo un análisis de varianza y donde hubo diferencia, se aplicó la prueba de comparación de promedios DMS (p<0,05). Para el análisis de las características químicas del almidón se usó la prueba de comparación de medias de dos poblaciones normales (licuado y rallado) con el estadístico t student (P ≤ 0,05). Asimismo, se estableció si existía correlación entre el pH del sobrenadante y la viscosidad con la prueba de Pearson. Todos los análisis se realizaron en el software SigmaPlot12®.

Resultados

Calidad composicional

La Tabla 2 muestra los resultados composicionales del almidón y rizoma de *canna indica* L., se observa que este último presentó alto contenido de humedad (49.59 ± 2.76) relacionada con tendencia a putrefacción, que se caracteriza por un proceso de oxidación y cambio de coloración en la superficie una vez se extrae el almidón.

Tabla 2. Características composicionales del almidón extraído y del rizoma completo de *canna indica* L.

| Característica composicional | Almidón extraído | Rizoma completo |
|------------------------------|------------------|-----------------|
| Materia seca (%) | 93,01 ± 1,96 | 50,41 ± 2,76 |
| Humedad (%) | 6,99 ± 1,96 | 49,59 ± 2,76 |
| Cenizas (%) | 0,22 ± 0,02 | 4,66 ± 0,03 |
| Proteína (%) | 1,75 ± 0,01 | 3,51 ± 0,02 |
| Extracto etéreo (%) | 0,43 ± 0,02 | 0,29 ± 0,01 |
| AR (mg. g ⁻¹) | 0,12 ± 0,01 | 0,14 ± 0,01 |
| ANR (mg. g ⁻¹) | 0,08 ± 0,01 | 0,10 ± 0,01 |
| pH | 5,91 ± 0,01 | 6,43 ± 0,01 |

AR: azúcares reductores, ANR: azúcares no reductores, ±: error estándar (n=3)

Fuente: elaboración propia.

Características químicas del almidón

Los valores de IAA (g agua. g⁻¹ almidón), ISA (%), PI (g agua. g⁻¹ almidón) y TG (° C) se presentan en la Tabla 3. Solo hubo diferencias significativas (p <0,01) en la TG (° C) del almidón de acuerdo al método de extracción.

Tabla 3. Características químicas del almidón de *canna indica* L. obtenido con diferente método de extracción

| Característica química del almidón | LI | RA | P-valor |
|---|----------------|---------------|---------|
| TG (°C) | 62,08 ± 1,83 b | 75,6 ± 1,91 a | 0,01 |
| IAA (g agua. g ⁻¹ almidón) | 4,41 ± 0,1 a | 4,37 ± 0,2 a | 0,06 |
| ISA (%) | 0,14 ± 0,01 a | 0,15 ± 0,01 a | 0,06 |
| Poder de hinchamiento (g agua. g ⁻¹ almidón) | 4,43 ± 0,1 a | 4,39 ± 0,2 a | 0,07 |

TG: temperatura de gelatinización IAA: índice de absorción de agua, ISA: índice de solubilidad de agua, LI: extracción por licuado, RA: extracción por rallado. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas con la prueba de t student (p<0,05) para cada variable. ±: error estándar.

Fuente: elaboración propia

Viscosidad en medios ácidos del almidón (d Pa•s)

Se incrementó con el aumento de la velocidad de agitación logrando mantenerse por encima de 11 N.m a partir de 50 rpm. Esto se debe a que las fuerzas generadas por agitación a alta velocidad actúan en los gránulos hinchados y los interrumpen (Saartrat et al., 2005). Se presentaron diferencias estadísticas entre las viscosidades a distinto pH y entre el método de extracción (p <0,01) pero no existió ninguna correlación (p >0,05). Se observó que la viscosidad en el almidón extraído por RA y secado a temperatura ambiente (21 °C) aumentó con el pH de la solución, contrario al almidón extraído por LI y secado a 60 °C que fue expuesto a los buffer 5,5; 6,5 y 7, como se observa en la Tabla 4.

Tabla 4. Viscosidad del almidón de sagú a diferente pH

| Solución | Viscosidad (dPa*s) a 50 rpm | Viscosidad (dPa*s) a 60 rpm | Viscosidad (dPa*s) a 100rpm |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| RA. Buffer pH 3 | 38,2 ± 2,22 a | 38,4 ± 2,05 a | 40,6 ± 2,33 a |
| RA. Buffer pH 3.5 | 39,6 ± 3,95 a | 40,2 ± 3,53 a | 42,9 ± 2,75 a |
| RA. Buffer pH 4.5 | 45,9 ± 8,23 a | 45,4 ± 6,88 a | 46,1 ± 4,11 a |
| LI. Buffer pH 5.5 | 22,8 ± 0,26 b | 24,1 ± 0,15 b | 28,5 ± 0,19 b |
| LI. Buffer pH 6.5 | 27,5 ± 0,90 b | 28,8 ± 0,95 b | 33,7 ± 1,12 b |
| LI. Buffer pH 7 | 22,0 ± 0,72 b | 24,9 ± 2,4 b | 28,2 ± 0,93 b |

RA: tratamiento por rallado, LI: tratamiento por licuado. rpm: revoluciones por minuto. Promedios seguidos de letras diferentes presentan diferencias estadísticas entre columnas con la prueba DMS de Fischer ($p < 0.05$). ±: error estándar.

Fuente: elaboración propia

Variación del pH en el sobrenadante de extracción del almidón

En el sobrenadante de extracción el pH disminuyó con tendencia lineal en 0,0267 con intervalos de una h en el método RA, mientras que en de LI fue mayor con 0,3533 con diferencias estadísticas a las 3 h ($p \leq 0,05$) (Figura 1).

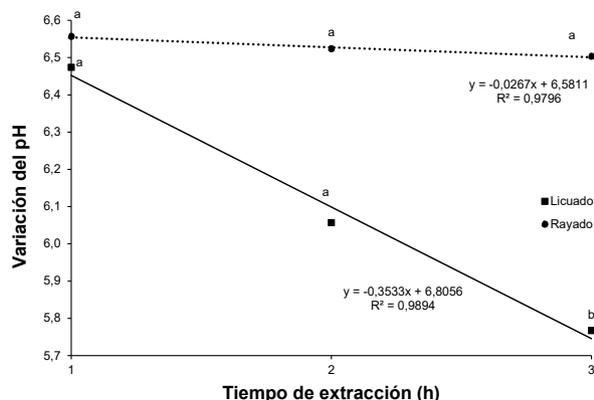


Figura 1. Variación del pH del sobrenadante de extracción del almidón por método RA y LI. Promedios seguidos de letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas según prueba t student ($p < 0,05$) en cada punto de muestreo.

Fuente: elaboración propia

Discusión

El rizoma de *canna indica* L. obtuvo 4,66 ± 0,03 % de cenizas, mayor a lo reportado por Mohan y Kalidass (2010) (3,14 ± 0,01%). Se observó bajo contenido de grasa (0,29 ± 0,01 %) y de proteína (3,51 ± 0,02 %) aunque estos valores pueden variar entre 4,31 – 4,35 % y 4,81 – 6,34% respectivamente (Okonwu y Ariaga, 2017; Mohan y Kalidass, 2010). Las características composicionales del almidón de *canna indica* L. se encuentran dentro de los parámetros de buena calidad de acuerdo a los estándares Codex, con valores similares a los observados por Fatima et al., (2019) en almidón extraído con molino (0,24 ± 0,04% de proteína cruda, 0,24 ± 0,01% de grasa cruda, 2,21 ± 1,03 % de proteína cruda) y con Ayala et al., (2012) en almidón extraído con el método de rallado (0,24 ± 0,01% cenizas, 0,60 ± 0,11% proteína cruda, 0,38 ± 0,05% grasa cruda), de modo que el proceso de extracción no afectó la calidad nutricional, la cual está relacionada con el manejo del cultivo, el lugar de origen y con las condiciones agroecológicas por influencia en el metabolismo de las plantas (Thitisaksakul, Jiménez, Arias y Beckles, 2012). La presencia de proteína y lípidos en el almidón no es deseable debido a que forman el

complejo amilosa-lípidos que inhibe el poder de hinchamiento y la gelatinización (Lindeboom, Chang y Tyler, 2004), y la amilosa que es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4) y algunos enlaces α (1-6), no es soluble en agua (Hernández-Medina et al., 2008) y puede retardar la hidrólisis (Guillén, Oria y Salvador, 2018). Por ello, bajo contenido de proteína en el almidón de *canna indica* L. es ideal porque acelera su gelatinización cuando se realiza cocción (BeMiller y Whistler, 2009).

La TG cambió de acuerdo con el método de extracción: $62,08 \pm 1,83$ °C (LI) y $75,6 \pm 1,91$ °C (RA) ($p < 0,01$) (Tabla 3). Los valores están entre el rango reportado en almidón colombiano ($59,9 \pm 0,1 - 71,6 \pm 0,9$ °C) (Andrade-Maecha et al., 2012), pero fueron inferiores a lo observado por Fatima et al., (2019) ($76,33 \pm 3,06$ °C) para almidón extraído con molino. Dicha variación se relaciona con la altitud en la que crecen las plantas (Fuentes et al., 2019) y con los diferentes grados de reducción de la resistencia del almidón, por destrucción de la barrera física durante la extracción como se sucede con la molienda y la hidrólisis de proteasas por un efecto enzimático (Ma y Boye, 2016), acompañado con variación del pH en el sobrenadante como en este estudio. Aunque no se descarta un efecto protector por el contenido de proteína y grasa en el almidón (Andrade-Maecha et al., 2012). Por otro lado, el IAA ($4,41 \pm 0,1$ y $4,37 \pm 0,2$ g agua/ g⁻¹ almidón), el ISA ($0,14 \pm 0,01$ % y $0,15 \pm 0,01$ %) y el PI ($4,43 \pm 0,1$ y $4,39 \pm 0,2$ g agua. g⁻¹ almidón) no presentaron cambios significativos de acuerdo al método de extracción ($p \geq 0,05$). Pero son menores a lo observado por Fatima et al., (2019) de $9,81 \pm 0,10$ % ISA, $6,63 \pm 1,42$ (g agua/ g⁻¹ almidón) IAA, en almidón extraído con molino. El IAA fue similar a lo observado por Andrade-Maecha et al., (2012) en almidón colombiano ($4,4-45,7$ g agua/ g⁻¹ almidón IAA) pero superior a almidón de *canna indica* de Brasil ($2,4-24,0$ g agua/ g⁻¹ almidón IAA), extraídos ambos con molino.

Estas variaciones en el IAA, ISA y el PI, se deben a que dichos parámetros dependen de la relación amilosa / amilopectina, estructura, tamaño y peso del gránulo (Lindeboom et al. 2004), pero a partir de 60 °C los valores de estas características aumentan y llegan al máximo valor a los 90 °C (Hernández-Medina et al. 2008). El IAA es mayor en almidones con menos complejos lipídicos por una menor disposición cristalizada de las cadenas de polisacáridos en B-gránulos (una mayor proporción de zonas amorfas más accesible para el agua) (Lindeboom et al. 2004), pero mayor en almidones con presencia de celulosa y aminoácidos polares hidrofílicos (Andrade-Maecha et al., 2012), lo que a su vez puede influir en la viscosidad, la cual es directamente proporcional al pH del medio, es decir que a medida que el pH disminuye también la viscosidad, sin embargo, el almidón extraído por rallado obtuvo valores más altos en medios más ácidos ($40,6 \pm 2,33$ dPa•s, pH 3), lo que puede deberse al mayor tamaño de los gránulos por efecto mecánico durante la extracción, en comparación con almidón extraído por rallado ($28,5 \pm 0,19$ dPa•s, pH 3) lo que se asocia con el rompimiento de la estructura del almidón (Saartrat et al. 2005).

Conclusiones

El método de extracción de almidón afectó la temperatura de gelatinización (TG) y la viscosidad por un efecto mecánico y por influencia en la variación en el pH del sobrenadante. Con la extracción por licuado se necesitó menor temperatura para que el almidón de *canna indica* L. se gelatinizara (TG $62,08 \pm 1,83$ °C) comparado con el método rallado (TG $75,6 \pm 1,91$ °C). La viscosidad varió con diferentes buffer y velocidades de agitación, el mayor valor se obtuvo para el método rallado a pH 4,5 y 100 rpm ($46,1 \pm 4,11$); y en el método licuado se obtuvo mayor viscosidad con pH 6,5 y 100 rpm ($33,7 \pm 1,12$). Por la baja retención de

agua del almidón de *canna indica* L. extraído por licuado ($4,41 \pm 0,1$ g agua. g^{-1} almidón) o rallado ($4,37 \pm 0,2$ g agua. g^{-1} almidón) no es recomendable en productos donde se pueda presentar retracción del almidón.

Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló en el laboratorio de química de alimentos y en el laboratorio de nutrición animal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Referencias

- Agudelo, J., Sepúlveda, J. y Restrepo, D. (2015). Efecto de la adición de dos tipos de almidones en las propiedades texturales de queso análogo. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 68 (1), 7545-7555.
- Anderson, R., Conway, H. y Peplinski, A. (1970). Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Cereal Science Today*, 22 (4), 130-135.
- Andrade-Maecha, M., Tapia-Blácido, D. y Menegalli, F. (2012). Physical-chemical, thermal, and functional properties of achira (*Canna indica* L.) flour and starch from different geographical origin. *Starch*, 64(5), 348-358.
- Ayala, G., Agudelo, A. y Vargas, R. (2012). Comparative study and characterization of starches isolated from unconventional tuber sources. *Journal of Polymer Engineering*, 32 (8-9), 531-537.
- BeMiller, J. y Whistler, R. (2009). *Starch: Chemistry and technology*. (Tercera edición). New York: Academic Press.
- Chen, Q., Klemm, N. y Jeng, I. (1989). Quantitative benedict test using bichinchonic acid. *Analytical Biochemistry*, 182 (1), 54-57.
- Fatima, A., Umali, A., y Tayobong, R. (2019). Physicochemical and functional properties of starch from Philippine edible Canna (*Canna indica* L.) rhizomes. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 9 (1), 34-37.
- Fuentes, C., Perez-Rea, D., Bergenståhl, B., Carballo, S., Sjöo, M. y Nilsson, L. (2019). Physicochemical and structural properties of starch from five Andean crops grown in Bolivia. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 829-838.
- Garcés, F. y Carbo, J. (2013). Primer reporte de *Puccinia thaliae* en *Canna* spp. en Ecuador. *Bioagro*, 25 (3), 207-210.
- Gaur, A. (2014). Nutritive value of rhizome of the *Canna indica* Linn. and characteristics of various extracted materials from the rhizome. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 5 (4), 644-648.
- Guillén, S., Oria, R. y Salvador, M. (2018). Impact of cooking temperature on in vitro starch digestibility of rice varieties with different amylose contents. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 68 (4), 319-325.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J., Chel-Guerrero, L. y Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28 (3), 718-726.
- Lindeboom, N., Chang, P. y Tyler, R. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis

- on small granule starches: A review. *Starch-Staerke*, 56 (3-4), 89-99.
- Ma, Z. y Boye, J. (2016). Research advances on structural characterization of resistant starch and its structure-physiological function relationship: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58 (2), 1-25.
- Mohan, V. y Kalidass, C. (2010). Nutritional and antinutritional evaluation of some unconventional wild edible plants. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 12 (3), 495-506.
- Narayama, K. y Narasinga-Rao, N. (1982). Functional properties of raw and processed winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) flours. *Journal of Food Science*, 47 (5), 1534-1538.
- Okonwu, K. y Ariaga, C. (2017). Nutritional evaluation of various parts of *Canna indica* L. *Annual Research & Review in Biology*, 11 (4), 1-5.
- Pérez-Rea, D., Rojas, C., Carballo, S., Aguilar, W., Bergenståhl, B. y Nilsson, L. (2012). Enzymatic hydrolysis of *Canna indica*, *Manihot esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium* native starches below the gelatinization temperature. *Starch*, 66 (1-2).
- Rojas-Mercado, L., y Seminario-Cunya, J. (2014). Productividad de diez cultivares promisorios de papa chaucha (*Solanum tuberosum*, grupo Phureja) de la región Cajamarca. *Scientia Agropecuaria*, 5 (4), 165-175.
- Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V. y Uttapap, D. (2005). Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydrate Polymers*, 61 (2), 211-221.
- Santos, L., Bonomo, R., Fontan, R., Santos, W. y Silva, A. (2009). Gelatinization temperature and acid resistance of jackfruit seed starch. *CyTA-Journal of Food*, 7 (1), 1-5.
- Thitisaksakul, M., Jiménez, R., Arias, M. y Beckles, D. (2012). Effects of environmental factors on cereal starch biosynthesis and composition. *Journal of Cereal Science*, 56 (1), 67-80.
- Wafa, S., Taha, R., Mohajer, S., Mahmad, N. y Ahmed, B. (2016). Organogenesis and ultrastructural features of in vitro grown *Canna indica* L. *BioMed Research International*, 20, 1-9.