

Recibido: 12 de mayo de 2015. Aceptado: 3 de junio de 2015

Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo fundamental estudiar el mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano de la especie *Musa sapientum* L. exportable del Ecuador. Se estudiaron las variedades Cavendish, Filipino, Valery y Orito, y a su vez, se estudió su potencial para ser añadido en alimentos que demanden características tecnológicas funcionales deseables como agentes espesantes, gelificantes y estabilizantes. También se determinó el tamaño, la forma de gránulos de almidón, temperatura de gelatinización y viscosidad máxima; obteniéndose los siguientes valores: de 25 a 35 μm ; 77,7 a 80 °C y de 259 a 270 UB, respectivamente. Según los resultados obtenidos, el almidón nativo de banano de las variedades estudiadas, puede ser incorporado en la elaboración de alimentos que demanden las características mencionadas.

Palabras clave: banano, evaluación funcional, gelatinización, pastificación, viscosidad.

Gelatinization mechanism of native starch from exportable banana of Ecuador

Abstract

The fundamental aim of this work was to research the mechanism of native starch gelatinization banana species *Musa sapientum* L., exportable Ecuador. Cavendish, Filipino, Valery and Orito, varieties were researched and in turn, we studied its potential to be added in foods that claim desirable functional technological features as thickening agents, gelling agents and stabilizers. The size, form starch granules, gelatinization temperature and maximum viscosity is also determined; obtaining the following values: 25 to 35 μm ; 77.7 to 80 °C and 259 to 270 UB, respectively. According to the results, the native banana starch varieties researched can be incorporated into food processing demanding such features.

Keywords: banana, assessment, gelatinization, pasting, viscosity.

Mecanismo de gelatinização do amido nativo de banana exportável do Equador

Resumo

A presente pesquisa teve como principal objetivo estudar o mecanismo de gelatinização do amido nativo da banana exportável do Equador (*Musa sapientum* L.). Foram estudadas as variedades de banana Cavendish, Filipino, Valery e Orito, também foi estudado seu potencial para ser adicionado em alimentos que requeiram características tecnológicas funcionais desejáveis como agentes espessantes, gelificantes e estabilizantes. Também foi determinado o tamanho, a forma dos grânulos de amido, temperatura de gelatinização e viscosidade máxima; foram obtidos os seguintes valores: 25 a 35 μm , 77,7 a 80 °C y 259 a 270 UB, respectivamente. Segundo os resultados obtidos, o amido nativo da banana das variedades estudadas, pode ser incorporado na elaboração de alimentos que demandem as características mencionadas.

Palavras chave: banana, avaliação funcional, gelatinização, pastificação, viscosidade.

Introducción

El Ecuador se encuentra entre los primeros países productores y exportadores del banano a nivel mundial. La exportación de banano constituye el 32% del comercio mundial de esta fruta y el 3,84% del producto interno bruto (PIB) total del país (1). Así mismo, la gran producción bananera del Ecuador genera trabajo para alrededor de un millón de familias ecuatorianas, de ahí la trascendencia social que tiene el banano. Se estima que existen más de 2,5 millones de personas localizadas en nueve provincias que dependen de la industria bananera ecuatoriana.

Las exportaciones bananeras de Ecuador están representadas por la comercialización del banano que cumple las exigencias normativas de primera calidad, estas son: longitud máxima de 18 cm y calibre 39–46 mm (1). Por otra parte, aquellos bananos que no cumplen los parámetros citados, se denominan bananos de rechazo y representan el 30% del volumen de la producción total. Estos se destinan en el Ecuador, principalmente, para la alimentación animal y en menor medida, como alimento humano.

El banano inmaduro es una fruta rica en almidón (2). La literatura plantea que de este fruto se puede obtener aproximadamente un 70% de rendimiento de este hidrato de carbono (3) y se señala que la incorporación de almidón nativo de banano aporta, a los alimentos que lo contenga, fibra dietética (que incluye almidón resistente) (4).

El almidón es un importante aditivo en la elaboración de alimentos, contribuye a formar la consistencia deseada en determinados productos alimenticios (5). Los almidones son los hidratos de carbono naturales que forman las reservas de nutrientes de las plantas y tienen la fórmula general $(C_6H_{10}O_5)_n$, donde n es probablemente no menor a 1000 (6). Estructuralmente, el almidón está constituido de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en la cual algunos enlaces α (1-6) pueden estar presentes. Esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas vecinas por puentes de hidrógeno y generar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar color azul por la formación de complejos con el yodo (7). Por su parte, la amilopectina es un polímero ramificado de unidades de glucosa constituida de 94 a 96% por enlaces α (1-4), y de 4 a 6% por uniones α (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente entre 15 y 25 unidades de glucosa. Asimismo, la amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce color rojizo violeta (8).

La viscosidad máxima es una característica funcional de los almidones como consecuencia del proceso de hinchamiento de los gránulos por la absorción de agua, ruptura de los gránulos y salida hacia el exterior de las cadenas de amilosa que posibilita la formación de estructuras tridimensionales (9). Contribuyen a esta propiedad térmica diversos factores: la morfología de los gránulos, el contenido de amilopectina, ya que la amilosa actúa tanto como diluyente e inhibidor del hinchamiento (10), los pesos moleculares promedio de la amilosa y la amilopectina, así como las condiciones que se realizan las mediciones: concentración de almidón, tasa de calentamiento, tasa de esfuerzo cortante (11); por esta razón la estimación de esta característica se realiza por la vía experimental.

Además, determinar las propiedades funcionales del almidón como la gelatinización y pastificación es importante al momento de usarlo como estabilizante y espesante en los alimentos. Durante el proceso de gelatinización el orden molecular dentro de los gránulos es destruido gradual e irreversiblemente, por esto la temperatura de gelatinización cambia para cada tipo de almidón y depende fundamentalmente de la transición vítrea de la fracción amorfa (12). Todo este proceso es endotérmico, requiere aproximadamente 10 J/g de almidón para efectuarlo, como lo han demostrado investigaciones con calorimetría diferencial de barrido (13).

Los gránulos de almidón, aunque provengan de la misma fuente botánica, tienen diferente relación amilosa/amilopectina y grado de cristalinidad, estas condiciones provocan que unos gránulos de almidón sean más resistentes a efectos de altas temperaturas que otros y llegan a presentar una diferencia de hasta 10 °C para alcanzar la gelatinización (14).

Existe una importante producción mundial de almidón 48,5 millones de toneladas al año (15), sin embargo a ello, existe una demanda insatisfecha del mismo. El presente trabajo tuvo como principal objetivo estudiar el mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador, temperatura de gelatinización y grado de pastificación, considerando las variedades: Cavendish, Filipino, Valery y Orito; y su potencial incorporación en la elaboración de alimentos que demanden características tecnológicas funcionales deseables como: agentes espesantes, gelificantes y estabilizantes.

Materiales y métodos

El almidón nativo se obtuvo del banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* L, de las variedades Filipino, Valery, Cavendish y Orito. El método de obtención de almidón (16) consistió en pesar lotes entre 100 y 150 kg del fruto y separar la cáscara de la pulpa, que fue cortada en rodajas e inmediatamente sumergidas en una solución de ácido ascórbico al 3% (p/v). Se realizó una molienda en húmedo, utilizando una licuadora industrial por 2 min a baja velocidad. El licuado se pasó a través de mallas de 0,841; 0,420; 0,149 y 0,074 mm. En cada malla, el residuo se lavó con agua potable hasta que el líquido de salida no presentara turbidez; a continuación el macerado se dejó reposar por 3 horas para que el sólido se sedimentara, es decir, descendiera y fuera posible su extracción por acción de la gravedad. El sedimento correspondiente al almidón, se secó en un horno a temperaturas entre 48 y 50 °C, por 48 h.

El tamaño y forma de los gránulos del almidón nativo de banano se determinaron por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) a 2000 aproximaciones. La temperatura pico de gelatinización se determinó siguiendo la metodología de Wiesenborn (17), a través de la Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB), se pasaron inicialmente 2 mg de muestra en un portamuestras de aluminio y se le adicionó agua con una microjeringa en relación 1:3 p/v (almidón/agua). Después de sellarse, los portamuestras se dejaron reposar por una hora y se aplicó la calorimetría en el equipo DSC 6 (Pyris Elmer) a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min desde 30 a 120 °C; se empleó un portamuestras vacío como referencia. La temperatura inicial (T_i), temperatura pico (T_p), temperatura final (T_f) y la entalpía de gelatinización (ΔH) se obtuvieron de los termogramas resultantes. Para la determinación de las propiedades de viscosidad máxima se siguió la metodología propuesta por Flórez (15), se midió en un vaso de precipitado de 500 mL, una cantidad de 400 mL de una suspensión de almidón al 6% (base seca). La suspensión se colocó en un Viscoamílografo Brabender, elevando la temperatura inicial de 30 °C hasta llegar a 95 °C a una velocidad de 1,5 °C/min; se mantuvo esta temperatura durante 15 min. Por último, se descendió la temperatura hasta 50 °C a una velocidad de 1,5 °C/min. La viscosidad máxima se calculó a partir de los amilogramas resultantes.

El tratamiento estadístico de los datos se realizó por medio del análisis de varianza, así como una prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia $p \leq 0,05$ para establecer las diferencias entre las medias. Este análisis se realizó utilizando SPSS® v 19 (SPSS Institute Inc. Cary NC) y para la elaboración de gráficas se utilizó el graficador ORIGIN 50°.

Resultados y discusión

Rendimiento en la extracción de almidón de banano

Los rendimientos de almidón obtenidos, al aplicarse el método de extracción de molienda húmeda, fueron similares con las variedades Orito, Cavendish y Valery, y ligeramente inferiores con la variedad Filipino, como se puede observar en la Tabla 1.

Estos rendimientos son muy cercanos al contenido de almidón del banano inmaduro reportado por otros autores (18,19), que están cerca del 70%. Esto demuestra que es muy elevada la recuperación del almidón nativo por el método húmedo, utilizada en la presente investigación.

Tamaño y forma de los gránulos de almidón

Las características morfológicas de los almidones de diferentes orígenes varían con el genotipo y las prácticas de cultivo. La variación en el tamaño y forma de los gránulos es atribuida al origen biológico (20) y ha sido empleada para su identificación. En la Figura 1, la forma de

Tabla 1. Rendimiento en almidón de banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* L de las variedades de exportación del Ecuador

Variedad de banano	% almidón*
Cavendish	65,79 ^a (0,76)
Valery	64,62 ^a (0,35)
Filipino	59,37 ^b (0,77)
Orito	67,63 ^a (0,36)

*base seca. Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores con letras distintas son significativamente diferentes (p < 0,05).

los gránulos de almidón nativo fue similar en todos los casos, con predominio de la forma ovalada y superficie alisada. Sin embargo, existieron ciertas diferencias en cuanto a las dimensiones: la variedad Cavendish presentó gránulos homogéneos de menor tamaño; de manera similar ocurrió con la variedad Valery, aunque estos fueron mayores; las variedades Orito y Filipino revelaron gránulos de mayor tamaño.

Al comparar con otras fuentes de almidón, los tamaños de los gránulos de almidón de las variedades de banano estudiadas, se encuentran en el mismo intervalo que el almidón de trigo 22–55 μm (21). Esta información favorece la homogeneidad de las formulaciones, cuando se utilizan sustituciones parciales de la harina de trigo por almidón de banano, en la elaboración de alimentos a bajo costo (22). La Tabla 2 muestra el tamaño de los gránulos de almidón nativo de las diferentes variedades de banano estudiadas.

Temperatura de gelatinización de los almidones de banano

Las transiciones que suceden durante el calentamiento de las suspensiones acuosas de almidón han sido extensamente investigadas mediante la Calorimetría Diferencial de Barrido, conocida por sus siglas en inglés como DSC. La Figura 2 muestra las curvas calorimétricas correspondientes a los almidones de banano estudiados. Se puede observar la simili-

Tabla 2. Tamaño de los gránulos de almidón de banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* L de las variedades de exportación del Ecuador

Muestra	Tamaño (μm)*
AF	25,10 ^a (1,82)
AC	25,12 ^a (0,74)
AV	30,23 ^a (2,41)
AO	35,11 ^b (3,00)

AF: Almidón Filipino; AV: Almidón de Valery; AC: Almidón de Cavendish; AO: Almidón de Orito; (*) μm micrómetros x 2000 aproximaciones. Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar (n = 3). Valores con letras distintas son significativamente diferentes (p < 0,05).

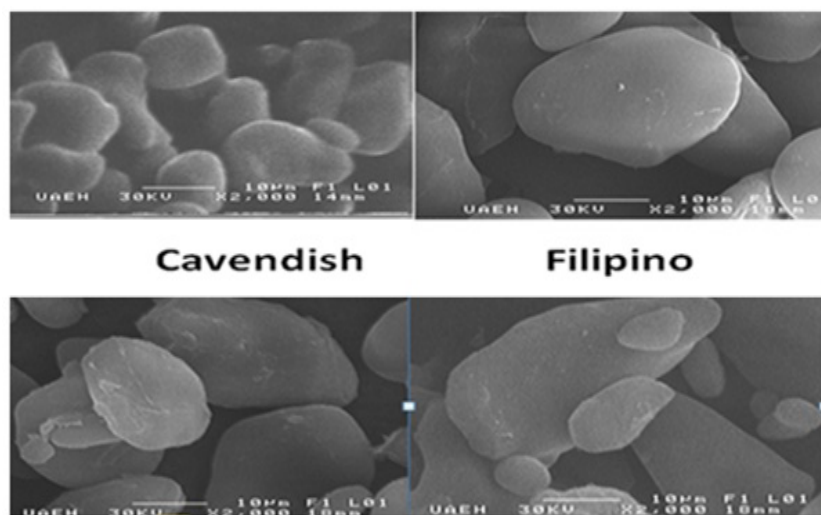


Figura 1. Aspecto de los gránulos de almidón de banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* de las variedades de exportación del Ecuador: Cavendish, Filipino, Valery y Orito. Microfotografías a 2.000 aproximaciones.

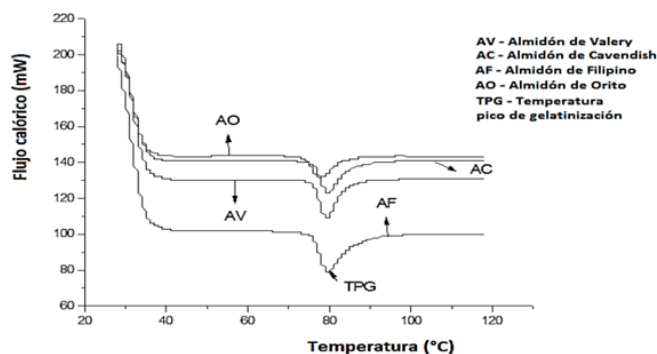


Figura 2. Curvas de transición de fase de los almidones de banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* de las variedades de exportación del Ecuador: Cavendish, Filipino, Valery y Orito; mediante calorimetría diferencial de barrido.

tud entre ellas, exhibiendo un solo pico endotérmico durante el barrido de temperatura que corresponde con la transición de gelatinización, en la que colapsa la estructura cristalina de los gránulos. El área bajo la curva permite calcular la entalpía de gelatinización, asociada a la energía necesaria para que los gránulos pierdan completamente su organización cristalina (23,24). La temperatura inicial de gelatinización (temperatura de transición), que se relaciona con el grado de cristalinidad (25), estuvo dentro de un mismo intervalo (72–75 °C). Esto indica que no hay diferencias de este atributo entre los almidones de las variedades de banano estudiadas, aunque es superior a otras fuentes sucedáneas, como por ejemplo el trigo (50–57 °C), arroz (57–62 °C) y maíz (62–66 °C) (26–28).

Los resultados sugieren que los gránulos de almidón de banano *Musa sapientum* L, exhiben mayor grado de cristalinidad que las otras fuentes de almidón mencionadas, haciéndolos más resistentes a la gelatinización, ya que esta ocurre inicialmente en las regiones amorfas, zona de la amilopectina, donde los enlaces por puente de hidrógeno son más débiles, debido a que la amilosa es propensa a lixiviar a los exteriores del gránulo de almidón (20).

El otro parámetro de interés es la temperatura pico de gelatinización, que tampoco dio diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las variedades de banano estudiadas (77–80 °C). Los resultados obtenidos fueron similares a los reportados por otros autores (29) en almidones de la especie *Musa paradisiaca* L, cuya temperatura de gelatinización es más elevada que la de los almidones de maíz, papa y trigo (26,28,30). Esta temperatura está asociada a la calidad de la estructura cristalina, mientras mayor sea, más cohesiva y estable es la región cristalina (31). Por lo tanto se puede afirmar, que los almidones de la especie estudiada (*Musa sapientum* L) poseen un elevado grado de cristalinidad (más regiones cristalinas), con estructuras más estables y coherentes que algunos cereales y tubérculos.

Finalmente, en cuanto a la entalpía de gelatinización se encontró que hay diferencias entre las variedades ($p < 0,05$), en el siguiente orden: Filipino y Cavendish < Valery < Orito, que también son superiores a las entalpías de los almidones de otras fuentes ya mencionadas, con valores de ΔH de gelatinización entre 9 y 17 J/g (20). La Tabla 3 resume los resultados del estudio mediante la DSC.

Viscosidad máxima de los almidones de banano

Los valores de viscosidad máxima de la suspensión de almidón de banano al 6% y a la temperatura de 95 °C, no fueron significativamente diferentes ($p > 0,05$), encontrándose entre 260–270 UB como se aprecia en la Tabla 4. La viscosidad máxima de los almidones estudiados es com-

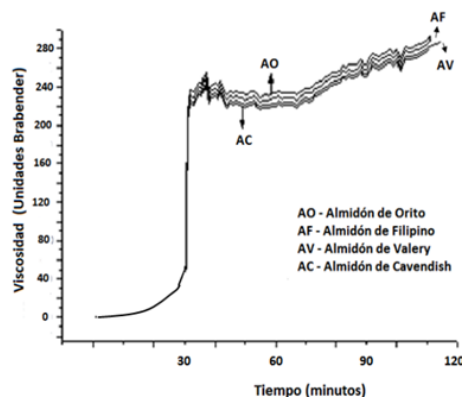


Figura 3. Viscoamilograma de los almidones de banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* de las variedades de exportación del Ecuador: Cavendish, Filipino, Valery y Orito.

parable con la de los almidones de trigo y de maíz (viscosidad media, alrededor de 300 UB), aunque menor que los almidones de papa y de mandioca, los cuales alcanzan valores superiores a 1000 UB (14).

Tabla 3. Temperatura pico de gelatinización del almidón de banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* L de las variedades de exportación del Ecuador

Muestra	Ti	TPG (°C)	Tf	ΔH (J/g)
AV	75,0 ^a (4,5)	79,6 ^a (2,8)	88,1 ^a (2,8)	26,0 ^a (2,0)
AF	73,4 ^a (3,3)	80,0 ^a (2,8)	98,2 ^b (3,3)	53,6 ^b (5,1)
AC	72,4 ^a (2,7)	79,9 ^a (3,7)	98,1 ^b (4,4)	36,8 ^c (3,5)
AO	72,1 ^a (5,4)	77,7 ^a (1,6)	87,0 ^a (4,3)	20,5 ^d (1,0)

AF: Almidón Filipino; AV: Almidón de Valery; AC: Almidón de Cavendish; AO: Almidón de Orito. Ti: Temperatura inicio gelatinización, TPG: Temperatura Pico de Gelatinización, Tf: Temperatura final gelatinización, ΔH : entalpía. Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar ($n = 3$). Valores con letras distintas en cada columna, son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Tabla 4. Viscosidad máxima a 95 °C de los almidones de banano inmaduro de la especie *Musa sapientum* L de las variedades de exportación del Ecuador

Muestra	Viscosidad máxima UB*
AF	265 ^a (13)
AV	259 ^a (17)
AC	261 ^a (22)
AO	270 ^a (14)

*Unidades Brabender. AF: Almidón de Filipino; AV: Almidón de Valery; AC: Almidón de Cavendish; AO: Almidón de Orito. Los valores informados corresponden a la media y la desviación estándar ($n = 3$). Valores con letras distintas en cada columna, son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

De acuerdo con este resultado, se puede plantear que los almidones de las variedades de banano estudiadas pueden ser empleados en aplicaciones similares donde se utiliza el almidón de maíz como agente modificador de la textura, específicamente cuando es usado como agente espesante; en la Figura 3 se muestran las curvas de viscosidad de cada variedad.

Debe señalarse otra propiedad importante de estos almidones, la estabilidad que exhiben a temperaturas elevadas ($> 90\text{ }^{\circ}\text{C}$), es decir, mantienen la viscosidad después de alcanzado el pico máximo, etapa en la curva de viscosidad en que se sostiene el esfuerzo cortante a la temperatura de $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ (corresponde al intervalo de 30-60 min como se demuestra en la Figura 3). Esta propiedad es útil en los procesos tecnológicos que involucren el bombeo en caliente del almidón gelatinizado, ya que no habrá disminución en la viscosidad debido a la desintegración de los gránulos.

Conclusiones

La viscosidad a $95\text{ }^{\circ}\text{C}$ no presentó diferencia significativa ($p > 0,05$) entre las diferentes variedades de almidón nativo de banano, se obtuvieron valores inferiores a los encontrados por otros autores. Los trabajos consultados no reportaron en que época del año se realizó la cosecha del banano, es decir, época seca o lluviosa, humedad relativa y terraza climática del cultivo. Sin embargo, para este trabajo vale la pena aclarar dichos datos: se cosechó en temporada seca, a 4 metros sobre el nivel del mar, humedad relativa del 80% y temperatura promedio de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura pico de gelatinización obtenida en la presente investigación, estuvo dentro de los promedios investigados por otros autores: $79\text{ }^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. En cuanto a la energía necesaria para alcanzar la temperatura pico de gelatinización del almidón nativo, estas presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$) para todas las variedades.

Según los resultados obtenidos, el comportamiento del almidón nativo de banano de las variedades estudiadas, puede ser incorporado en la elaboración de alimentos que demanden características tecnológicas funcionales deseables como agentes espesantes, gelificantes y estabilizantes a temperaturas de gelatinización mayores a $68\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Agradecimientos

Agradecimiento especial a la Dra. en Química Aplicada, Lenys Mercedes Fernández Martínez, profesora Titular y miembro del departamento de Química de la Universidad Simón Bolívar, Caracas-Venezuela, por su valiosa asesoría en la interpretación de los resultados obtenidos en la presente investigación.

Referencias

1. Banco Central del Ecuador. http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/comercioexterior.jsp. (Consultado el 22 de abril 2015)
2. Bello, L.A.; Romero, R.; Paredes, O. Preparation and properties of physically and chemically modified banana starch prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Starch*. **2000**, 52, 154-159. DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/1521-379x\(200006\)52:5<154::aid-star154>3.0.co;2-#](http://dx.doi.org/10.1002/1521-379x(200006)52:5<154::aid-star154>3.0.co;2-#)
3. Bello-Pérez, L. Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano *Musa paradisiaca* L. (var. Macho). *Agro ciencia*. **2002**, 36, 169-180.
4. Pacheco, A.; Giusepina, T. Evaluación Nutricional, Física y Sensorial de Panes de Trigo y Plátano Verde. *INTERCIENCIA*. **2005**, 30(5), 300-304.
5. Charley, H. *Tecnología de Alimentos*. Editorial Limusa: México, 2008; pp 163-164.
6. Kirk, R.; Sawyer, R.; Egan, H. *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. Compañía Editorial Mexicana, S. A.: México, 1996; p 363.
7. Knutzon, C.; Grove, M. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Cereal Chemical*. **1994**, 71(5), 469-470.
8. Guan, J.; Hanna, A. Extruding foams from corn starch acetate and native corn starch. *Biomacromolecules*. **2004**, 5, 2329-2339. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/bm049512m>
9. Henning, V. H. J.; Lechert, M.; Goemann, W. Examination of swelling mechanism of starch by pulsed NMR method. *Starch*, **1976**, 28, 10-13.
10. Tester, R. F.; Morrison, W. R. Swelling and gelatinization of cereal starches. *Cereal Chem*. **1990**, 67, 558-563.
11. Nurul, I. M.; Mohd-Azemi, B. M. N.; Manan, D. M. A. Rheological behaviour of sago (*Metroxylon sagu*) starch paste. *Food Chem*. **1999**, 64, 501-505. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146\(98\)00145-9](http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146(98)00145-9)
12. Deltour, J.; Eerlinger, R. Analytical implication of the classification of resistant starch as dietary fiber. *Cereal Foods World*. **1996**, 41, 85-86.
13. Biliaderis, C. Structures and phase transitions of starch in food system. *Food Technology*. **1992**, 46(6), 98-109.
14. Badui, S. *Química de los Alimentos*. Editorial PEARSON EDUCACION: México, 2006, p 85.
15. Flores, E.; García, J.; Flores, E.; Núñez, M.; González, R.; Bello, L. Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Estudio en planta piloto. *Acta Cient. Venez.* **2004**, 55(1), 86-90.
16. Ruales, J.; Nair, B. Effect of processing on in vitro digestibility of protein and starch in quinoa seed. Memorias del Simposio en Carbohidratos, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 1993.
17. Wiesenborn, D.; Orr P.; Casper H.; Tacke B. Potato starch paste behavior as related to some physical/chemical properties. *J. Food Sci.* **1994**, 59, 644-648. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb05583.x>
18. Amaya, C.; Osorio, F.; Agama, E.; Yee, H.; Bello, L. Physicochemical and digestibility properties of double-modified banana (*Musa paradisiaca* L.) starches. *Agric. Food Chem. J.* **2011**, 59, 1376-1382. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jf1035004>
19. Quitinguiña, C.; Santacruz, S. Obtención de jarabe de glucosa a partir de la hidrólisis enzimática del almidón de banano, *Musa cavendish*. *Rev. Bol. Quim.* **2012**, 29(1), 55-62
20. Svegmarm, K.; Hermansson, A. M. Microstructure and rheological properties of composites of potato starch granules and amylose: a comparison of observed and predicted structure. *Food Struct.* **1993**, 12, 181-193.
21. Murphy, P. *Handbook of hydrocolloids*, Eds.; G. O. Phillips; P. A. Williams. CRC Press: Boca Raton, Florida, 2000; pp 61-86.
22. Martínez, E. Sustitución parcial del granular durum por almidón de banano ecuatoriano en pastas alimenticias. Tesis Doctoral, Universidad de la Habana, Cuba, Abril 2015.
23. Krueger, B.; Knutson, C. A.; Inglett, G. E.; Walker, C. E. A differential scanning calorimetry study on the effect of annealing on gelatinization behaviour of corn starch. *J. Food Sci.* **1987**, 52, 715-718. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb06709.x>
24. Kim, S.; Wiesenborn, D.; Orr, P.; Grant, L. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.* **1995**, 60, 1060-1065. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb06292.x>

27. Barichello, V.; Yada, R.; Coffin, R.; Stanley, D. Low temperature sweetening in susceptible and resistant potatoes: starch structure and composition. *J. Food Sci.* **1990**, *54*, 1054-1059. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb01596.x>
28. Jane, J.; Chen, Y.; Lee, L.; McPherson, A.; Wong, K.; Radosavljevic, M.; *et al.* Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.* **1999**, *76*, 629-637. DOI: <http://dx.doi.org/10.1094/cchem.1999.76.5.629>
29. Sodhi, N.; Singh, N. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chem.* **2003**, *80*, 99-108. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146\(02\)00246-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0308-8146(02)00246-7)
30. Jenkins, P.; Donald, A. Gelatinization of starch: a combined SAXS/WAXS/DSC and SANS. *Carbohydr. Res.* **1998**, *308* (1), 133-147. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0008-6215\(98\)00079-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0008-6215(98)00079-2)
31. Tribess, T.; Hernández J.; Méndez M.; Menezes E.; Bello L.; Tadini C. . Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. *Food Sci. & Technol.* **2009**, *42*, 1022-1025. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.017>
32. Li, J.; Yeh, A. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. *Food Eng. J.* **2001**, *50*, 141-148. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774\(00\)00236-3](http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(00)00236-3)
33. Cooke, D.; Gidley, M. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization and origin of the enthalpic transition. *Carbohydr. Res.* **1992**, *227*, 103-112. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0008-6215\(92\)85063-6](http://dx.doi.org/10.1016/0008-6215(92)85063-6)

Article citation:

Martínez, O.; Lapo-Calderón, B.; Pérez-Rodríguez, J.; Zambrano-Cabrera, C.; Maza-Valle, F. Mecanismo de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Rev. Colomb. Quim.* **2015**, *44*(2), 16-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v44n2.55215>