

Caracterización de harina y almidón obtenidos a partir de plátano guineo AAAea (*Musa sapientum* L.)

Characterization of flour and starch from guineo plantain AAAea (*Musa sapientum* L.)

Juan Carlos Lucas¹, Víctor Dumar Quintero¹ y Carlos Andrés Cárdenas Valencia¹

¹Programa de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ciencias Agroindustriales, Universidad del Quindío. Dirección para correspondencia: jclucas@uniquindio.edu.co

Rec.: 11.07.12 Acep.; 09.11.13

Resumen

En el estudio se caracterizaron las propiedades química, térmica, funcional y morfológica de la harina y el almidón de guineo AAAea (*Musa sapientum* L.). Los resultados mostraron un rendimiento de 33.33% para harina y 3.61% para almidón. El porcentaje de proteína en la harina fue de 5.43% y en almidón de 2.17%. La fibra soluble en harina fue de 19.85% y de grasa en el almidón de 4.11 %. El análisis térmico de la harina mostró que la etapa de descomposición varía desde 141.33 °C hasta 388.30 °C con una pérdida de peso de 55.85%. Para el almidón esta misma condición ocurrió entre los 248 °C y 327 °C con una pérdida de peso de 74.15%. Las temperaturas de gelatinización para harina y almidón fueron de 68 y 66.41 °C, respectivamente, con entalpías de gelatinización 2.38 J/g para harina y 6.06 J/g para almidón. En el análisis de RVA durante el período de enfriamiento, tanto la harina como el almidón presentaron buena viscosidad. La mayor parte de los gránulos de almidón mostraron formas irregulares, aunque algunos tienen forma esférica u oval. Los tamaños varían desde 4.17 µm hasta 42.11 µm.

Palabras clave: Almidón, caracterización química, térmica, funcional y morfológica, guineo, harina.

Abstract

This study consisted of obtaining guineo's AAAea (*Musa sapientum* L.) flour and starch and its chemical, thermal, functional and morphological characterization, respectively. The results indicated a yield of 33.33% for flour and 3.61% for starch. The protein percentage for flour was 5.43% while for the starch was 2.17%, the analysis of soluble fiber to flour yielded a result of 19.85% and fat analysis in the starch was 4.11%. Thermal analysis shows that the flour stage of decomposition ranges from 141.33 °C to 388.30 °C where there is a weight loss of 55.85%. For the same starch sample stage is between 248 °C to 327 °C where weight loss is 74.15%. The gelatinization temperatures for flour and starch were 68 °C and 66.4 °C respectively, gelatinization enthalpies 2.38 J/g for flour and 6.06 J/g for starch. In the RVA analysis during the cooling period, the flour and starch had a good viscosity. Starch granules are irregularly shaped mostly although some have spherical or oval forms. Sizes range from 4.17 µm to 42.11 µm.

Key words: Chemical, thermal, functional and morphological characterizations, guineo, flour, starch.

Introducción

La harina de trigo es común en el mercado de hogares y en las industrias alimenticias como base para la elaboración de productos de panadería, coladas y sopas instantáneas. Las harinas provenientes de otras materias primas como plátano, maíz y arroz no son muy solicitadas por los consumidores debido al poco conocimiento de sus características (Louis y Nwokocha, 2009). El almidón es utilizado en diferentes sectores de la industria, sobre todo en el de alimentos; las industrias textil, papel, plásticos, manufactura de dextrinas y colas, entre otras. Actualmente existe una tendencia hacia la búsqueda de nuevas alternativas de almidones nativos o de almidones modificados física o químicamente (Mohapatra *et al.*, 2009; Aurore *et al.*, 2009) en especial aquellos provenientes de productos de zonas tropicales como mafafa, papa criolla, arracacha, yuca, plátano y todas las variedades de musáceas, entre otros (Mohapatra *et al.*, 2010).

El guineo AAAea (*Musa sapientum*) es una Musácea que pertenece al grupo de plátanos de cocción no-Plantain, un cultivo poco propagado a nivel mundial, aunque es un fruto común en la zona tropical. En Colombia es utilizado en estado fresco para el consumo humano y la alimentación animal. En varios estudios se demostró que el guineo pertenece a *Musa sapientum* y subgrupo *Mutika-Lujugira*, la cual corresponde a una clasificación genética AAAea. (Gibert *et al.*, 2009; Dufour *et al.*, 2008 - 2009).

Según Dufour *et al.* (2008) en las parcelas de los pequeños agricultores es frecuente la presencia de diferentes grupos genéticos de musáceas, generalmente destinados al consumo familiar y no se encuentran en los mercados locales o nacionales. En Colombia, exceptuando el grupo Plantain, se producen y consumen localmente alrededor de 400,000 t de plátano de cocción, entre los cuales se destacan AAB (guayabo), ABB (cachaco, pelipita), plátano de altura AAAea (guineo), entre otros. Los híbridos desarrollados por la Fundación Hondureña para la Investigación Agrícola (FHIA) son productivos y resistentes a enfermedades, no obstante no

han sido lo suficientemente adoptados por falta de sabores y aromas. De otra parte, se reconoce la amplia diversidad de productos tradicionales elaborados con base en plátano y banano, pero muy pocos autores citan la preferencia varietal de los consumidores en término de usos de las musáceas, en particular sobre las variedades menores cultivadas por los pequeños agricultores (Dufour *et al.*, 2008). De acuerdo con lo anterior, se consideró necesario determinar las características químicas, térmicas, morfológicas y funcionales del guineo y conocer el uso potencial como materia prima alternativa para la fabricación de harina y almidón con destino a la industria de alimentos.

Materiales y métodos

Extracción y rendimiento de almidón y harina

La materia prima utilizada (guineo, *Musa sapientum*) fue recolectada en la finca La Esperanza, municipio de Calarcá, departamento del Quindío, a 1400 m.s.n.m.

El porcentaje de rendimiento de harina de guineo fue determinado mediante la selección de tres manos de 500 g cada una. Cada guineo en forma individual fue pesado, pelado y cortado en rodajas, antes de llevarlo a estufa de secado (Memmert UL40) a 40 °C durante 48 h y molerlo (molino IKA 2870900 MF 10.1, USA) con el fin de obtener la harina con un tamaño de partícula < 100 µm (Mestres, 1993).

Para la extracción de almidón, se adicionó agua a las rodajas en relación 1:1 (volumen/volumen (v/v) ó peso/peso) y a continuación se homogenizó a 6000 r.p.m. durante 1 min, antes de pasar la solución resultante a través de una malla de 100 µm con adición constante de agua destilada. Finalmente, la mezcla se centrifugó (J. P. Selecta - Medifriger BL-S, España) a 10,000 r.p.m. durante 1 min a 25 °C y el precipitado se filtró a través de una membrana con tamaño de poro de 100 µm para proceder al secado en estufa de recirculación a 40 °C por 48 h.

Composición química

En las harinas y los almidones aislados y nativos de guineo se determinaron por

triplicado la proteína cruda (N x 6.25) por micro-Kjeldahl (Método 46-13, AACC, 2000), la humedad (Método 925.10, AOAC, 2000), la grasa (Método 30-25, AACC, 2000) y las cenizas (Método 08-01, AACC, 2000).

Propiedades térmicas

Análisis termogravimétrico (TGA). Este análisis se realizó en un equipo TA Instruments TGA Q500, en presencia de una atmósfera de nitrógeno para un rango desde la temperatura ambiente hasta 800 °C, con una velocidad de calentamiento de 5 °C/min en muestras de 6 ± 0.50 mg (Pineda-Gómez *et al.*, 2011).

Calorimetría diferencial de barrido (DSC). La determinación de la temperatura y la entalpía de gelatinización (T_p y ΔH_p) de la harina y del almidón se hizo en un equipo TA Instruments DSC-Q100, en muestras de (10.00 \pm 0.50 mg) con un contenido de humedad del 80%, para una velocidad de calentamiento de 5 °C/min, desde temperatura ambiente hasta 100 °C, en atmósfera de nitrógeno (Pineda-Gómez *et al.*, 2011).

Análisis morfológico

Microscopía electrónica de barrido. La morfología de la harina y el almidón se realizó con un microscopio electrónico de barrido (Marca JEOL, Modelo JSM-6060LV, Japón) con alto vacío y una resolución de 5 nm en modo de alta tensión. Los análisis fueron realizados a 20 kV de tensión de aceleración de electrones y 12 - 20 Pa de presión de la cámara en las muestras, obteniendo imágenes en las superficies de fractura con la señal de electrones secundarios (Delpeuch y Favier, 1980; Jane *et al.*, 1994).

Difracción de Rayos-X. Las muestras fueron reducidas a un polvo fino y pasadas a través de una malla de 150 μ m, posteriormente fueron empacadas densamente dentro de un recipiente de aluminio. Los patrones de difracción de rayos-X se obtuvieron usando un difractómetro Bruker D8 advance, con una línea de radiación Cu K α ($\lambda = 1.5418$ Å), con una diferencia de potencial de 30 kV y una densidad de corriente de 20 mA. Las muestras fueron registradas entre 5 y 40 grados (2θ) con un paso angular de 0.050 y un

tiempo de conteo por paso angular de 15 seg. El material se colocó en un porta-muestra de aluminio de área de 30 x 30 mm a temperatura ambiente y baja humedad (Rojas-Molina *et al.*, 2007).

Análisis funcional

Viscoamilografía. Se utilizó un viscoanalizador rápido RVA-4 (Newport Scientific PTY LTD, Sydney, Australia, 1998). Para este análisis se prepararon sendas pastas acuosas, una solución que contenía 8% de harina con un inhibidor de α -amilasa (AgNO₃ 0.002 mol/lit) y, otra con 7% de almidón sin inhibidor. Cada solución fue calentada con agitación constante desde 50 °C hasta 90 °C con un incremento de calentamiento de 6 °C por minuto, seguido de temperatura constante de 90 °C durante 5 min y finalmente reducida hasta 50 °C a una tasa de 6 °C por minuto (Dufour *et al.*, 2009)

Resultados y discusión

Análisis químico

El rendimiento promedio de harina de guineo fue de 33.33% y el porcentaje de rendimiento de la extracción de almidón de 3.61%. Los porcentajes de cenizas en harina y almidón de guineo fueron, respectivamente, de 2.76 ± 0.16 y 0.61 ± 0.06 (Cuadro 1), valores cercanos a los encontrados por Yadav *et al.* (2005) en harina de papa y por Gibert *et al.* (2009) en harina de guineo. Los porcentajes de proteína fueron más altos en la harina (5.43%) que en el almidón (2.17%) y coinciden con los revelados por Gibert *et al.* (2009) para harina de guineo, no obstante son inferiores a los hallados por Willard y Hix (1987) en harina de papa (Willard y Hix, 1987). El contenido de humedad, tanto en la harina como en el almidón, posiblemente fue afectado por el ambiente en el laboratorio donde se realizaron los análisis, lo que explica los altos valores de la D.E. encontrados; estos contenidos son similares a los señalados por Zakpaa *et al.*, (2010) para harina de papa. El porcentaje de grasa fue más alto que el revelado por Zakpaa *et al.* (2010) para harina de *Musa sapientum* L. y por Willard y Hix (1987) para harina de papa; por el contrario, los carbohidratos pre-

Cuadro 1. Análisis proximal de harina y almidón de guineo AAAea (*Musa sapientum*).

| Componente | | Harina | Almidón |
|---------------|-----------|--------------|-------------|
| | | (%) | (%) |
| Cenizas | | 2.76 ± 0.16 | 0.61 ± 0.06 |
| Proteína | | 5.43 ± 0.00 | 2.17 ± 0.00 |
| Fibra | Soluble | 0.60 ± 0.00 | 0.12 ± 0.00 |
| | Insoluble | 18.48 ± 0.03 | – |
| Humedad | | 4.92 ± 0.71 | 8.15 ± 2.35 |
| Grasa | | 1.05 ± 0.02 | 4.11 ± 0.81 |
| Carbohidratos | | 66.76 ± 0.00 | – |

sentes en las muestras analizadas fueron más bajos que los reportados por estos mismos investigadores en estos cultivos.

Al comparar la composición proximal de la harina de guineo perteneciente al grupo de plátanos de cocción no-Plantain, en el cual figuran también las variedades guayabo, hua moa, cachaco y pelipita, con otros grupos de musáceas como bananos de postre (bocadillo, primitivo, Cavendish, Gros-Michel, rollizo, tafetán morado), híbridos de postre (FHIA 17, 1, 18 y 25), híbridos de cocción (FHIA 20 y 21), plátanos del grupo Plantain (Africa, Dominico, Dominico Hartón, Hartón, Cubano blanco, Hartón Maqueño) (Dufour *et al.*, 2009; Gibert *et al.*, 2009), se observó que el contenido de ceniza en general en todos los grupos varió entre un rango de 2.3% y 4.3%, coincidiendo con los hallazgos en el presente estudio. Los contenidos de fibra cruda y proteína total entre los diferentes grupos de musáceas fluctuaron entre 1.8% y 5% y entre 2.1% y 4.9%, respectivamente, valores inferiores a los obtenidos en el presente trabajo, en especial la fibra que presentó valores > 18%. Un comportamiento similar observaron Da Mota *et al.* (2000) para la variedad Mysore (AAB), en la cual el contenido de fibra fue superior a 15%, principalmente en la fracción insoluble, que fue dos veces superior a la de las variedades Nanica y Nanicão (AAA) ampliamente consumidas. Es importante resaltar que la fibra insoluble ayuda a reducir el tiempo de tránsito en el intestino y la interacción entre las sustancias mutagénicas y el epitelio intestinal; en consecuencia, ayuda a proteger contra enfermedades de colon, mientras que la fibra soluble tiene un efecto

hipocolesterolémico debido a su capacidad de absorber ácidos biliares.

El porcentaje de proteína en almidón de guineo fue > 2%, un valor alto para una materia prima con usos agroindustriales y similar al encontrado por Olayide *et al.* (2008) y Núñez Santiago *et al.* (2004). El contenido de cenizas en almidón de guineo (0.61%) en este estudio fue similar al revelado por Núñez-Santiago *et al.* (2004) para almidón de plátano macho (0.54%) y mayor que los encontrados por Olayide *et al.* (2008) para almidón nativo de plátano (0.12%) y por Pacheco-Delahaye y Techeira (2009) para almidón nativo de ñame (0.43 %)

Finalmente, el contenido de humedad en almidones de guineo en este estudio fue similar al obtenido en almidones de plátano y ñame por los autores anteriores; mientras que los contenidos de grasa fueron variables entre estudios.

Propiedades térmicas

Durante los procesos de cocción y procesado, las harinas y almidones por efecto del calor experimentan cambios físicos y químicos que influyen en la calidad del producto final. En general, las diferentes transformaciones que ocurren están relacionadas con la cantidad de agua presente, la temperatura y la razón de flujo calórico suministrado en el proceso. **Análisis termogravimétrico (TGA).** El termograma de la harina de guineo aparece en la Figura 1. Hasta 141.33 °C la pérdida de peso fue de 8.62 % con respecto al peso inicial de la muestra, lo que corresponde al contenido de agua presente en la harina. A partir de este punto comenzó otro evento de pérdida

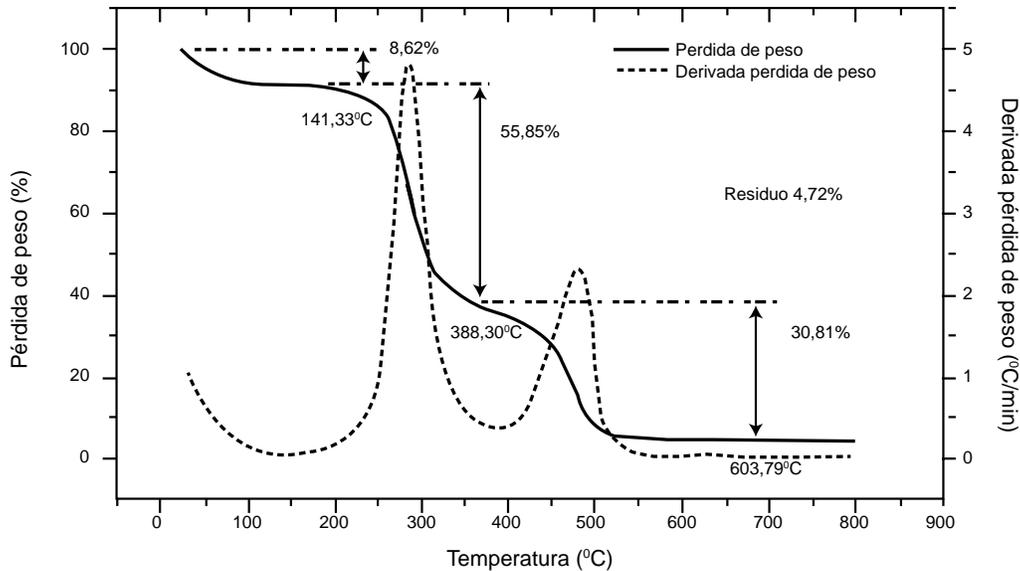


Figura. 1. Termograma de harina de guineo.

de peso que finalizó a 388.30 °C con una disminución de peso de 55.85%, momento en el cual son eliminados los carbohidratos de bajo peso molecular y el almidón. Durante la última fase, que finaliza a 603.79 °C, se elimina el 30.81% que corresponde a grasa, proteína y el resto de componentes de alto peso molecular presentes en la muestra. A partir de este punto no se observan cambios significativos y se obtiene un residuo de 4.72% correspondiente a los materiales inorgánicos de la muestra analizada. Con esta técnica es posible medir la cantidad y la celeridad de los cambios de la masa de un material como función de la temperatura o tiempo en una atmósfera controlada, medidas que son utilizadas principalmente para determinar la composición de un material y predecir su estabilidad térmica a temperaturas hasta de 1000 °C y para determinar el porcentaje de almidón en harinas (Pineda-Gómez *et al.*, 2011).

Ciesielski *et al.* (1998) encontraron temperaturas similares a las de este estudio para la fase de deshidratación (135 °C) y de descomposición (400 °C) en harina de maíz. La harina de guineo es estable térmicamente y alcanza la fase de descomposición a una temperatura moderada. La curva de la derivada de pérdida de peso en la fase 1 (286.13 °C) presentó una tasa de

4.83%/min, y en la fase 3 de 2.32%/min a 482.87 °C.

En la curva termogravimétrica (Figura 2) del almidón de guineo AAAea (*M. sapientum*) se observa que la muestra en la fase 1 a una temperatura de 248.63 °C elimina 12.99% del peso inicial correspondiente al contenido de agua en la muestra. A esta temperatura comienza la fase 2 o de descomposición hasta alcanzar 327.88 °C donde se elimina el 74.15%, correspondiente a los carbohidratos, los cuales son el principal componente de los almidones. La fase 3 llega hasta 630.96 °C con una pérdida de 12.63% del peso de la muestra y, finalmente, hasta 800 °C cuando no se presentaron cambios relevantes en el peso y se obtiene un residuo del 0.23% del peso inicial que corresponde a materiales inorgánicos (minerales). La curva de la derivada de pérdida de peso muestra en la fase 2 una velocidad máxima de 12.39%/min a 308.37 °C, lo que significa una rápida descomposición de los carbohidratos presentes en la muestra.

Según Liu *et al.* (2008) la temperatura en la fase de deshidratación para almidón de maíz se encuentra entre 60 ° y 100 °C, la cual es más alta en la medida que el contenido de humedad es mayor. Los puntos máximos bien definidos en estas curvas permiten identificar el inicio y la finalización del evento co-

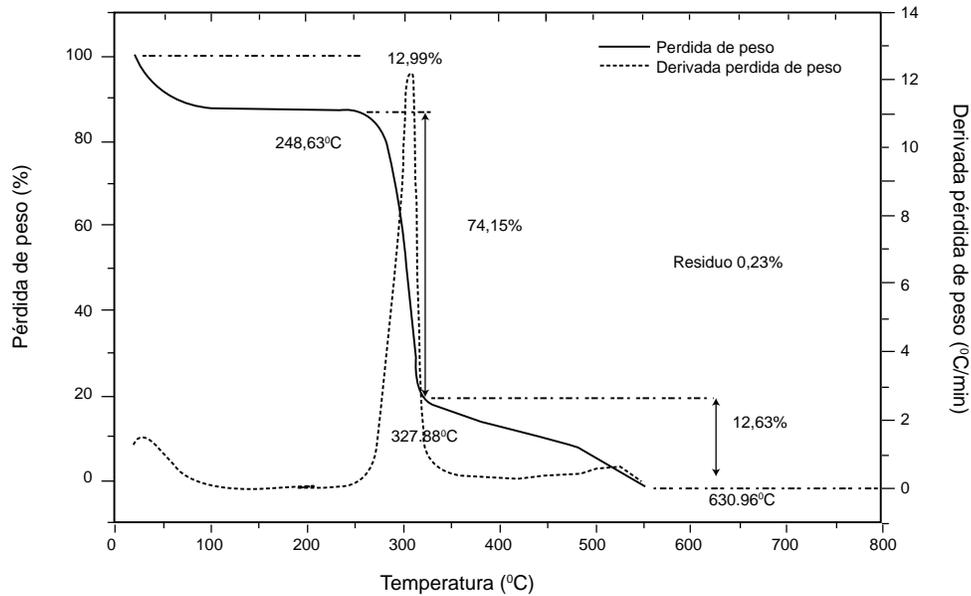


Figura 2. Curva termogravimétrica (TGA) y derivada DTG de almidón de guineo AAAea (*M. sapientum*).

rrespondiente a la degradación térmica. Liu *et al.* (2008) consideran que en estas etapas las cadenas principales se rompen cuando ocurre quiebre en los enlaces C-C-H, C-O y C-C y se produce la reacción de combustión H_2O , CO y CO_2 . Las curvas de TGA muestran únicamente un pico indicando la presencia de un único mecanismo de degradación, lo cual envuelve la pérdida de la estructura del polímero de almidón (amilosa y amilopectina). Un pico angosto y largo indica un proceso

rápido de degradación de amilosa; mientras que uno ancho y pequeño a temperaturas por encima de 200 °C muestra la degradación de la amilopectina. Para el guineo se puede observar un pico alto y angosto, lo que indica la presencia en una mayor proporción de amilosa, aspecto que se puede contrastar con los análisis de XRD

Calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Al conocer el proceso de gelatinización, fue posible determinar la cantidad de almidón

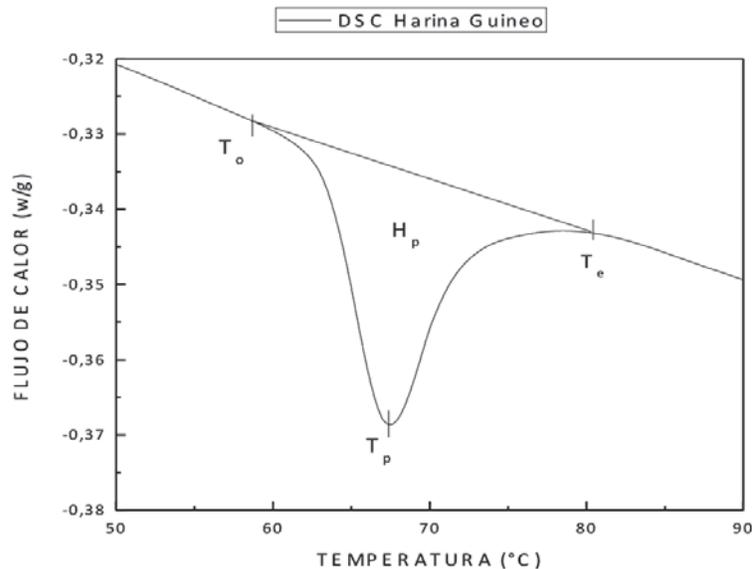


Figura 3. Termograma DSC de harina de guineo.

disponible para el consumo humano, ya que el almidón gelatinizado tiene un mayor porcentaje de digestibilidad (Pineda-Gómez *et al.*, 2011). En la Figura 3 aparece un termograma DSC para harina de guineo AAAea (*M. sapientum*), en el cual se muestra la gelatinización como un pronunciado pico endotérmico sobre la línea base del termograma y la temperatura inicial T_0 de 58.8 °C donde comienza el proceso de transición de fase y la muestra empieza un cambio que puede resultar casi imperceptible. En esta primera transición de fase, el agua actúa como plastificante. A esta temperatura, los polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de la amilosa, comienzan a separarse del gránulo del almidón. A medida que la temperatura aumenta, los gránulos de almidón colapsan hasta que finalmente la parte amorfa (amilosa) queda totalmente solubilizada, mientras que la cristalina del almidón se mantiene en la solución acuosa (Pineda-Gómez *et al.*, 2011). La temperatura en pico T_p fue de 67.48 °C y es en este punto donde se registran los valores más altos de absorción de calor y donde la muestra empieza a pasar a un estado gomoso gracias al inicio de la ruptura de los gránulos de almidón. Cuando el proceso está finalizando regresa a un estado en el cual no ocurren cambios en la fase ni en la

composición de la muestra. La entalpía de gelatinización H_p es la energía absorbida en el proceso, su valor fue de 2.38 J/g, que se calcula como el área bajo la curva del pico de gelatinización y la temperatura final del proceso T_e que fue de 80.41 °C.

Esta transformación va acompañada de cambios estructurales no reversibles, inducidos por tratamientos térmicos en el almidón, entre ellos: absorción de agua, hinchazón del grano, fusión de la parte cristalina, pérdida de la birrefringencia, y aumento en viscosidad y solubilidad del gránulo. La fase inicial del proceso de gelatinización y el rango durante el cual se lleva a cabo son gobernados principalmente por la concentración del almidón en solución, el método de observación, origen y forma del gránulo, y la homogeneidad dentro del grano (Rodríguez *et al.*, 2009). Dufour *et al.* (2008) encontraron que la T_0 para harina de guineo fue de 64.40 °C; no obstante Nimsung *et al.* (2007) hallaron un promedio de 74 °C para musáceas, Nimsung *et al.* (2007) y Yadav *et al.* (2005) revelaron valores de 78 °C para harina de musáceas y de 82 °C para harina de papa y valores de entalpías de gelatinización entre 15 y 16 J/g para las musáceas y de 13.70 J/g para la harina de papa.

El almidón de guineo también presentó un comportamiento endotérmico (Figura 4).

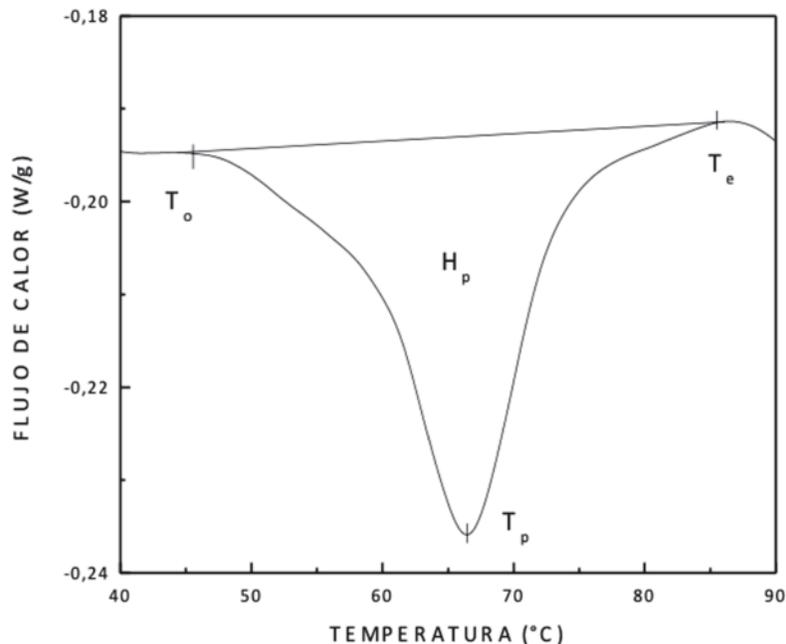


Figura 4. Termograma DSC de almidón de guineo.

De forma similar a lo que sucedió con la harina, la T_0 fue de 45.53 °C, un valor inferior a 68.08 °C hallado por Nwokocha y Williams (2008) en otros trabajos con musáceas; pero similar al anotado por Rodríguez *et al.* (2005) en arracacha amarilla (49.26%). Cuando ocurre el proceso de gelatinización se presenta una transición dependiente de la temperatura y el tiempo y no de la capacidad calorífica, por tanto no existe un cambio significativo en la línea base una vez finaliza la transición. Esta es una característica que identifica las transiciones de fase de primer orden. Por otro lado, el almidón gelatinizado es un material predominantemente amorfo, con un posible entrecruzamiento físico entre los componentes del gránulo. Este entrecruzamiento agrega rigidez a las regiones amorfas y tiene un efecto similar al entrecruzamiento químico (Pineda *et al.*, 2011).

Cuando se comparan las temperaturas de almidón de guineo en picos T_p (66.41 °C) y en T_e (85.53 °C) y la energía absorbida (6.06 J/g) con los hallazgos de Nwokocha y Williams (2008) en plátano amarillo ($T_p = 68.68$ °C y $T_e = 73.90$) y en plátano blanco ($T_p = 71.88$ °C y $T_e = 77.15$ °C) se observa que las temperaturas del primero se encuentran dentro del mismo rango que el encontrado por estos investigadores para almidón de plátano amarillo. Estas temperaturas indican la transición de las fases de la harina y del almidón al inicio de la gelatinización de las muestras cuando son sometidas a temperaturas de cocción, lo que facilita el conocimiento de los cambios durante los diferentes procesos a los que ambos productos son sometidos en las industrias alimenticias y no alimenticias (Dufour *et al.*, 2008, 2009). Los bajos valores en las entalpías encontrados en la harina y en el almidón de guineo se deben posiblemente a la falta de homogeneidad de las estructuras ordenadas dentro de los gránulos.

El análisis por DSC muestra las transiciones de fase para el almidón. En este caso ocurre a una temperatura aproximada de 75.4 °C, alrededor de la cual el agua actúa como un plastificante y los polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de la amilosa, empiezan a separarse del gránulo del almidón. A medida que la temperatura

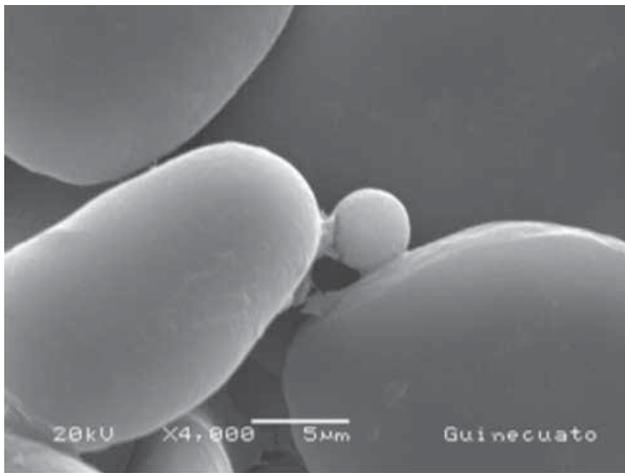
aumenta, los gránulos comienzan a colapsar hasta que finalmente la parte amorfa (amilosa) queda totalmente solubilizada, mientras que la parte cristalina se mantiene en la solución acuosa. El almidón presenta una temperatura inicial más baja que la harina, lo que se debe a la presencia en esta última de diferentes componentes. Con la temperatura final ocurre lo contrario, siendo mayor para el almidón debido a la gomosidad de la muestra después de la absorción de calor.

Análisis morfológico

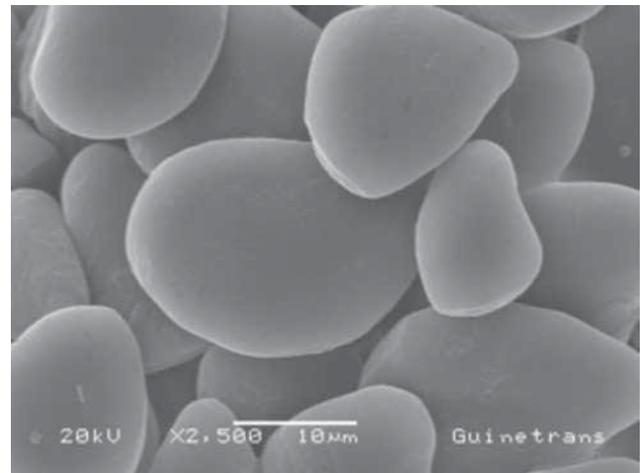
La morfología de los gránulos de almidón puede ser atribuida al origen botánico, a la bioquímica de los amiloplastos, el grado de maduración del fruto y la fisiología de la planta. El tamaño de los gránulos de almidón influye sobre sus propiedades funcionales, así, cuanto más pequeños sean, mayor será su digestibilidad; además son resistentes a procesos con altas temperaturas como la esterilización. En algunos almidones el tamaño de sus gránulos muestra relación con la proporción amilosa/amilopectina (Delpeuch y Favier, 1980).

Las microfotografías en la Foto 1 muestran la morfología del almidón nativo de guineo AAAea (*M. sapientum*) sin gelatinizar, donde se pueden observar gránulos con formas irregulares, en algunos casos esféricas y en otros ovals. Se observan diferentes tamaños de gránulos, los más pequeños tienen un promedio de 4.17 μm , los medianos de 16.52 μm y los más grandes alcanzan un promedio de 42.11 μm . Estos valores se hallan dentro del rango encontrado por Coulibaly *et al.* (2006) para tres tamaños de gránulos. Los tamaños de gránulos influyen en algunas características fisicoquímicas, funcionales y nutricionales, los más grandes desarrollan una alta viscosidad en pasta y los pequeños son más digeribles (Espinoza *et al.*, 2009).

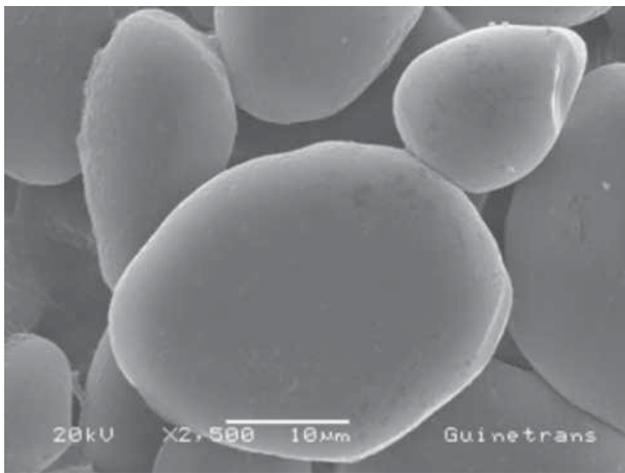
La superficie de los gránulos presentó una textura suave sin presencia de poros, lo que indica un alto grado de pureza y excelente calidad sin daño aparente. Las microfotografías muestran gránulos libres de material contaminante, lo cual indica que el proceso de extracción fue eficiente y las características del material y su naturaleza no fueron



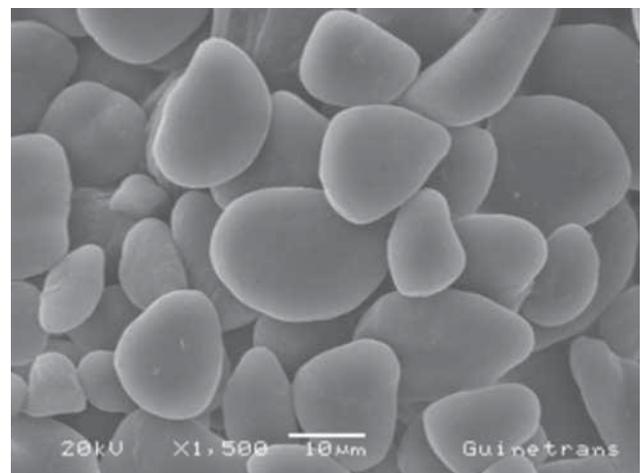
a



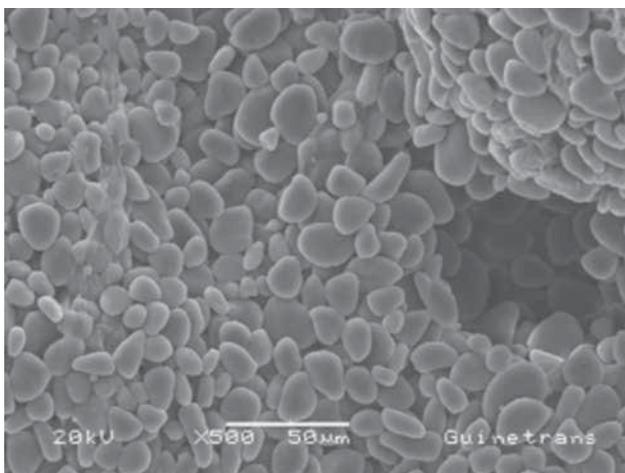
b



c



d



e

Foto 1. Microfotografías del almidón de Guineo AAAea (*Musa sapientum*) a diferentes aumentos:(a) X4, 000-1; (b) X2, 500-2; (c) X2,500-4; (d) X1,500-2; (e) X500-2

afectadas (Foto 1a, b, c). Se ha observado que los gránulos pequeños pueden absorber mayor cantidad de agua que los gránulos grandes debido a la mayor área de contacto (Millán-Testa *et al.*, 2005).

El almidón está compuesto por dos macromoléculas, amilosa y amilopectina, las cadenas lineales de los dos polímeros pueden formar hélices con seis moléculas de glucosa por cada ciclo. En el caso de la amilopectina,

los enlaces α -D-(1 \rightarrow 6) son puntos de ruptura para la formación de las hélices; las de tipo corto únicamente se forman con las partes lineales de la molécula, en cambio aquellas constituidas por 120 moléculas de glucosa pueden formarse con la amilosa. La forma como están empaquetadas las dobles hélices en la molécula de amilopectina y el contenido de agua son parámetros determinantes del tipo de polimorfismo. Las dobles hélices que presentan los cristales tipo A están empaquetadas en forma monoclinica y presentan de 4 a 8 moléculas de agua; mientras que los cristales tipo B muestran dobles hélices arregladas en forma hexagonal y con un contenido de agua de 36 moléculas indicando que, por ejemplo, el almidón de chachafruto conserva una estructura menos compacta al pertenecer al patrón C, cuando se compara con los patrones A y B, en los que existe mayor empaquetamiento de las dobles hélices de la amilopectina (Duprat *et al.*, 1980).

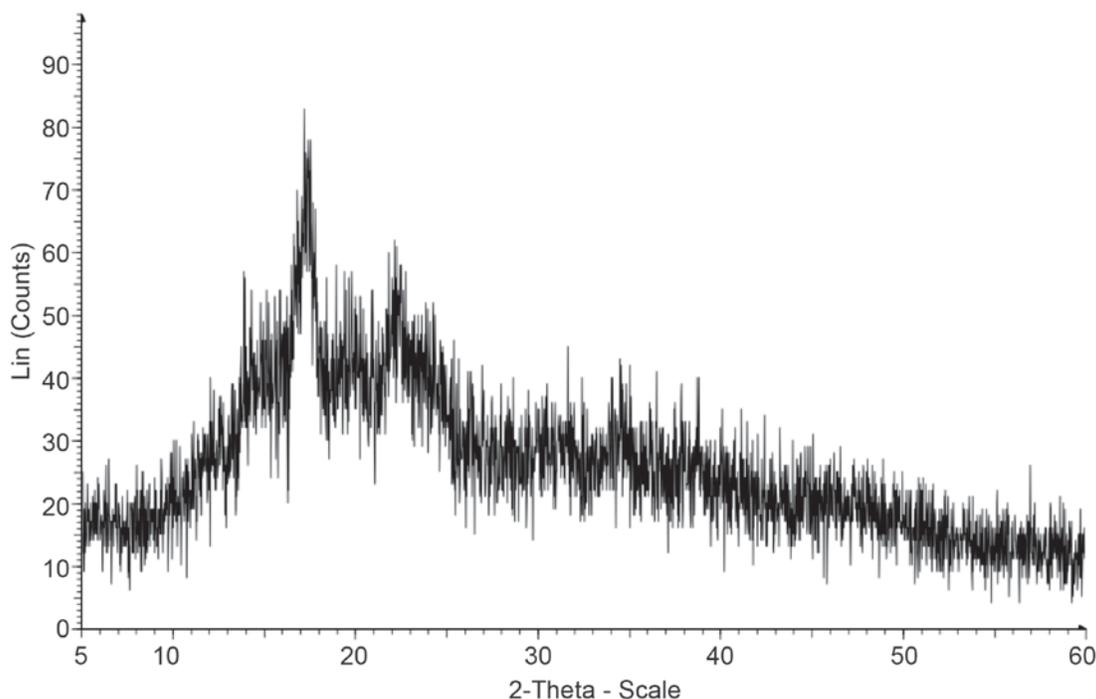
En este estudio, la harina de guineo (*M. sapientum*) presentó una estructura semicristalina debido posiblemente a sus diferentes componentes. Se han reportado patrones de tipo B para harinas de banano (Pingyi *et*

al., 2004), un patrón que no tiene una doble hélice como los de tipo A, pero hay una columna de agua que la reemplaza con una longitud de la cadena de amilopectina más extensa que los de tipo A. En la Figura 5 se observa que la harina en el presente estudio presentó picos de intensidad para los ángulos (2 Theta) a 12°, 14°, 17°, 18°, 19°, 20°, 22°, 24° y 25°, aproximadamente.

El almidón de guineo (*M. sapientum*) (Figura 6), al igual que la harina, presentó un patrón tipo B, pero su estructura es cristalina, como es característico en los polímeros. También se puede observar que los picos de intensidad se presentan a los 14°, 15°, 17°, 18°, 20°, 23°, 24° y 25°, similares a los de la muestra de harina analizada.

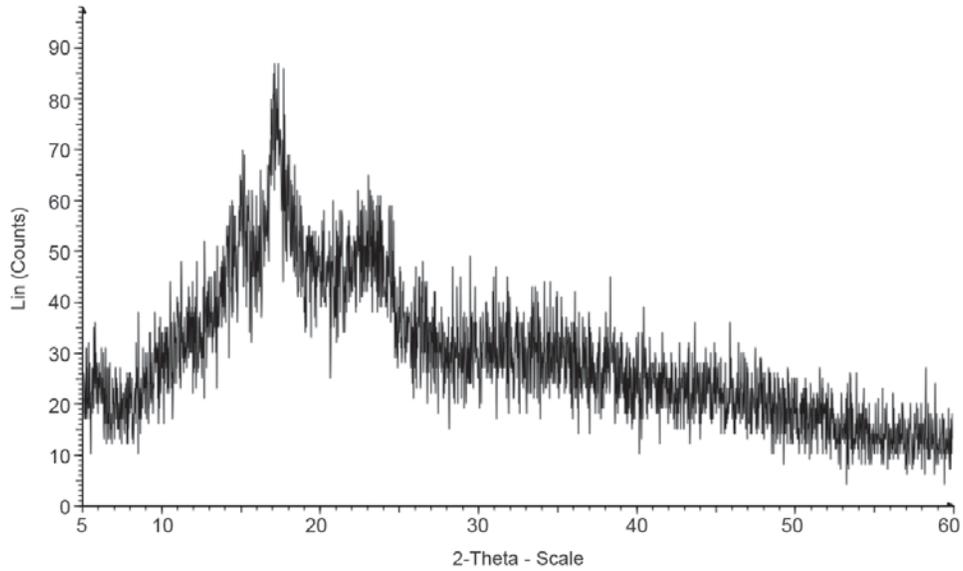
Análisis funcional

En la Figura 7 se observa el comportamiento reológico de la harina de guineo. La temperatura de empastamiento ocurrió a 69.28 °C después de transcurridos 4.22 min. La viscosidad máxima fue de 877 cP con una temperatura de 90.05 °C y un tiempo de 10.20 min. El pico de viscosidad presentó una caída hasta 860 cP, la diferencia entre el pico máxi-



Harina de guineo-File: Harinaguineo. raw-Type: 2Th/ locked-Start: 5.000° - End: 60.000° - Step: 0.020° - Step time: 2.8 - 2-Theta: 5.000° - Anode: Cu - WL1: 1.5406 - WL2: 1.54439 - Operations: Import

Figura 5. Patrón de difracción de rayos-X de harina de guineo.



Almidon de guineo-File: Almidon de guineo. raw-Type: 2Th/Th locked-Start: 5.000^o - End: 60.000^o - Step: 0.020^o - Step time: 2.8 - 2-Theta: 5.000^o - Theta: 2.500^o Anode: Cu - WL1: 1.5406 - WL2: 1.54 Operations: Import

Figura 6. Patrón de difracción de rayos X de almidón de guineo.

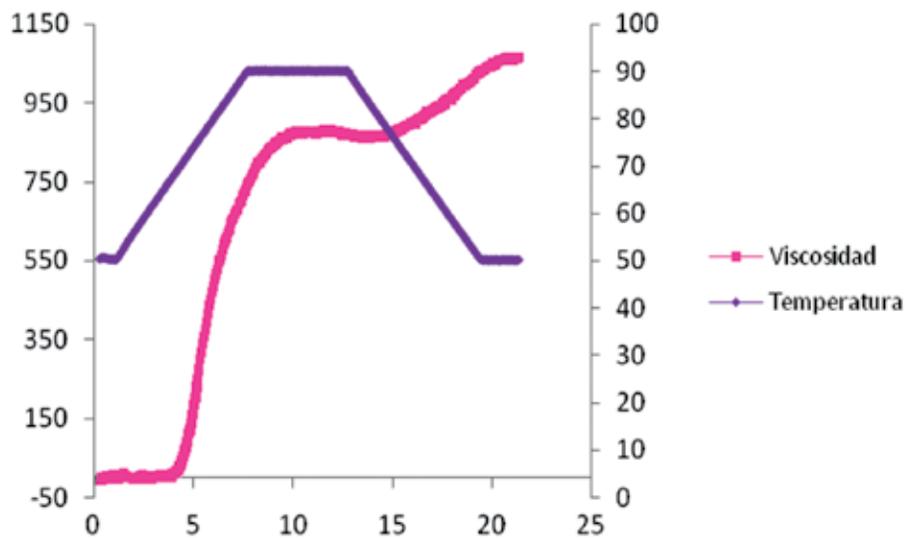


Figura 7. Curva de viscosidad (RVA) de la harina de guineo AAAea.

mo y el mínimo de viscosidad o 'Breakdown' fue de 17 cP. La viscosidad de la pasta caliente se encontró en 872 cP. Cuando la temperatura se redujo a 50 °C se consiguió una viscosidad final de 1028 cP y la diferencia entre las viscosidades mínima y final ('Setback') fue de 168 cP, una consistencia de 151 cP con una facilidad de cocción de 5.98 min.

Dufour *et al.* (2008, 2009) encontraron en harina de guineo una temperatura de em-

pastamiento o hinchamiento de los gránulos de 71.60 °C, una viscosidad máxima de 1622 cP y una viscosidad final de 2128 cP. La facilidad de cocción fue óptima a 3.73 min. Da Mota *et al.* (2000) en harinas de diferentes variedades de banano encontraron viscosidades máximas promedio de 414 cP, viscosidad mínima de 330 cP y viscosidad final de 423 cP. La temperatura de empastamiento fue de 51 °C, aproximadamente.

De acuerdo con lo reportado por Dufour *et al.* (2008, 2009) la temperatura de gelatinización entre los diferentes tipos de musáceas varió entre 59.7 y 67.8 °C, valores observados en Tafetán morado y Dominicó, respectivamente. El análisis mostró diferencias ($P < 0.01$) para la temperatura de gelatinización de los bananos de postre e híbridos FHIA, con el sub-grupo Plantain y con los plátanos de cocción diferentes a Plantain (guineo). Las temperaturas de gelatinización observadas fueron: banano de postre (63.2 °C), plátano de cocción diferentes al Plantain (65.7 °C), híbridos FHIA (66.6 °C), Plantains (67.1 °C). Esta diferencia de comportamiento en gelatinización de los almidones refleja las diferencias de comportamiento en cocción y contribuye a explicar las diferencias entre variedades y grupos genéticos (Da Mota *et al.*; 2000), (Zhang *et al.*; 2005). Por tanto los Plantains necesitan más energía para poder gelatinizar y tardan más para cocinarse y ablandarse.

Los valores de gelatinización de guineo reportados en el presente estudio fueron similares a los obtenidos por Yadav *et al.* (2005) para harina de papa, los cuales corresponden a un pico de viscosidad de 803 cP y a una viscosidad final fue de 826 cP. En la Figura 8 se incluye el viscoamilograma del almidón de guineo AAaA (M. sapientum) donde se ob-

serva que la temperatura de empastamiento fue de 72.35 °C, a 4.73 min. La viscosidad máxima (2191 cP) se alcanzó a una temperatura de 89.95 °C y un tiempo de 8.07 min y disminuyó a 1797 cP lo que produjo un 'breakdown' de 394 cP. La viscosidad de la pasta caliente fue de 1812 cP y la final de 2194 cP con un 'setback' de 397 cP. Yadav *et al.* (2005) para harina de papa indican que la consistencia de la pasta fue de 3 cP y la facilidad de cocción se encontró a 3.34 min. La viscosidad del almidón de guineo es mayor que la de la harina debido a su cristalinidad y a los diversos componentes que hacen que sus comportamientos sean diferentes.

La temperatura de empastamiento para el almidón fue alta, lo que indica un alto grado de asociación entre las macromoléculas presentes en el interior del gránulo de almidón; no obstante la harina presentó un tiempo y una temperatura más altas en la fase de pico, debido a la presencia de otros compuestos diferentes al almidón. Cuando la temperatura se mantuvo a 90 °C por 5 min, la viscosidad del almidón reveló una mayor disminución que la de la harina, este fenómeno se presenta gracias a la capacidad de hinchamiento que tienen los gránulos del primero y a la marcada reducción de la viscosidad reflejada en su menor estabilidad durante la cocción.

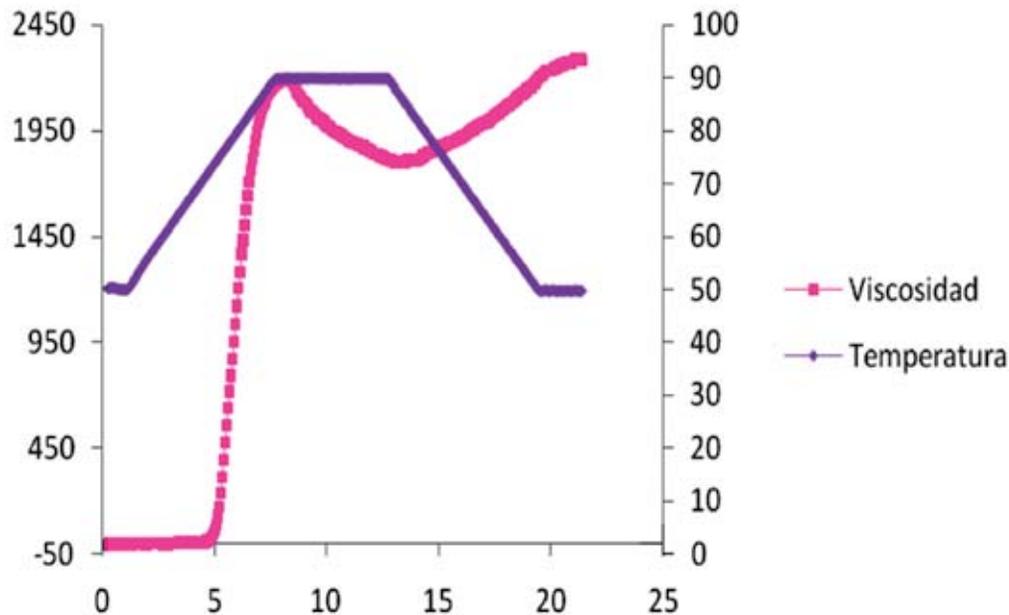


Figura 8. Curva de viscosidad (RVA) del almidón de guineo AAaA

En el período de enfriamiento, tanto la harina como el almidón presentaron una buena retrogradación, lo que puede estar relacionado con componentes como gránulos hinchados y moléculas de almidón dispersas, presentes en la pasta caliente. Es posible que el almidón tenga un mayor contenido de amilosa lo que produce una mayor retrogradación. La consistencia de la harina presentó un valor más alto lo que significa una mayor variación de la viscosidad, aunque el almidón reporta una mayor facilidad de cocción.

Conclusiones

- El guineo aparentemente no es una buena fuente para extraer almidón debido a su bajo rendimiento (3.61%), no obstante presenta un buen porcentaje de proteína (2.17%), por lo que podría ser utilizado en la industria como aditivo para la elaboración de diferentes tipos de alimentos.
- El análisis químico del almidón de guineo mostró un porcentaje de grasa de 4.11% y una viscosidad (RVA) aceptable en harina, por lo que este es un producto con mayor estabilidad en el proceso de cocción que el almidón. Ambos tienen una buena retrogradación, siendo mayor la del almidón y por tanto puede ser la base para elaborar otros productos como sopas, salsas, cremas, horneados, pastas alimenticias, pudines, entre otros. Los análisis de rayos X mostraron que los patrones de difracción del almidón de guineo son característicos para almidones solubles como es el caso de yuca y papa, por lo que es posible utilizarlo como aditivo para aumentar la viscosidad en sistemas acuosos como salsas y compotas. La microscopía electrónica de barrido confirmó los resultados obtenidos con la difracción y viscoamilografía ya que en los almidones cuanto mayor sea su tamaño, más ovalados y uniformes, tendrán mayor capacidad de retención de agua.
- Por sus propiedades térmicas y especialmente por sus temperaturas de transición de fase (DCS), las harinas y almidones de guineo no deben ser sometidos a tratamientos térmicos agresivos como horneado y fritura, ya que estos productos se retro-

gradan a temperaturas bajas, produciendo cambios estructurales no reversibles que no permiten la obtención de un producto físico-químicamente estable.

Referencias

- AACC (American Association of Cereal Chemist)s. 2000. Approved methods, 46-13. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, EE.UU.
- AOAC (Official Methods of Analysis). 17th Ed. Methods 925.10, 65.17, 974.24, 992.16. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, EE.UU.
- AACC (Official Methods of Analysis). 2000. Approved Methods 08-01 30-25 and 46-13. American Association of Cereal Chemists, 368 St. Paul, 369 MN, EE.UU.
- Aurore, G.; Parfait, B.; y Fahrasmane, L. 2009. Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends Food Sci. Tech.* 20:78 - 91.
- Bello, L. A.; Romero, R.; y Paredes, O. 2000. Preparation and properties of physically and chemically modified banana starch prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Starch/Stärke.* 52:154 - 159.
- Ciesielski, W.; Achremowicz, B.; Tomasik, P.; Baczkowicz, M.; y Korus, J. 1998. Starch radicals. Part II: Cereals-native starch complexes. *Carboh. Pol.* 34(4):304 - 307.
- Coulibaly, S., Nemlin, J. G., & Amani, G. N'G. (2006). Isolation and partial characterisation of native starches of new banana and plantain hybrids (*Musa* spp.) in comparison with that of plantain variety Orishele. *Starch/Stärke,* 58(7), 360-370.
- Da mota, R. V.; Lajolo, F. M.; Ciacco, C.; y Cordeunsi, B. R. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch/Stärke* 52(2 - 3):63 - 68.
- Delpeuch, F. y Favier, J. C. 1980. Caractéristique des amidons de plantes alimentaires tropicales: action de l'alpha-amylase, gonflement et solubilité. *Paris. Ann. Technol. Agric.* 29(1):53 - 67.
- Dufour, D.; Giraldo, A.; Gibert, O.; Sánchez, T.; Reyes, M.; González, A.; Fernández, A.; y Díaz, A. 2008. Propiedades físico-químicas y funcionales de los bananos de postre, plátanos de cocción y FHIA híbridos: preferencia varietal de los consumidores en Colombia. En: Borja, J. S.; Nogales, C.; Orrantia, C.; Paladines, R.; Quimi, V.; y Tazan, L. (eds.). CD-Proceedings, Acobat 2008, XVIII International Meeting, November 11-14/2008, Guayaquil, Ecuador. p. 33.
- Dufour, D.; Gibert, O.; Giraldo, A.; Sánchez, T.; Reyes, M.; Pain, J. P.; González, A.; Fernández, A.; y Díaz, A. 2009. Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 2. Thermal and

- functional characterization of cultivated colombian Musaceae (*Musa* sp.). *J. Agric. Food Chem.* 57(17):7870 - 7876.
- Duprat, F., Gallant D., Guilbot A., Mercier C., y Robin J. P. 1980. In les polymères végétaux eds. Monties B., Gautier-villars. p. 176 - 231.
- Espinoza-Solis, V.; Jane, L. J.; y Bello-Perez, L. A. 2009. Physicochemical characteristics of starches from unripe fruits of mango and banana. *Starch/Stärke.* 61:291 - 299.
- Gibert, O.; Dufour, D; Giraldo, A.; Sánchez, T.; Reyes, M.; Pain, J.-P.; González, A.; Fernández, A. y Díaz, A. 2009. Differentiation between cooking bananas and dessert bananas. 1. Morphological and compositional characterization of cultivated colombian Musaceae (*Musa* sp.) in relation to consumer preferences. *J. Agric. Food Chem.* 57(17):7857 - 7869.
- Jane, J.; Kasemsuwan, T.; Lees, S.; Zobel, H. F.; y Robyt, J. F. 1994. Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. *Starch/Starke* 46:121 - 129.
- Mestres, C. 1993. Comparison of various processes of making maize pasta. *J. Cereal Sci.* 17:277 - 290.
- Millán-Testa, C. E.; Méndez-Montealvo, M. G.; Ottenhof, M. A.; Farhat, I. A.; y Bello-Pérez, L. A. 2005. Determination of the molecular and structural characteristics of okenia, mango and banana starches. *J. Agric. Food Chem.* 53:495 - 501.
- Mohapatra, D.; Mishra, S.; y Meda, V. 2009. Plantains and their postharvest uses: An overview. *Stewart Postharvest Review* 5 (4):1 - 11.
- Mohapatra, D.; Mishra, S.; Singh, C. B.; y Jayas, D. S. 2010. Post-harvest processing of banana: Opportunities and Challenges. *Food Bioprocess Technol.* DOI 10.1007/s11947-010-0377-6
- Nimsung, P.; Thongngam, M.; y Naivikul, O. 2007. Compositions, morphological and thermal properties of green banana flour and starch. *Kasetsart J.* 41:324 - 330.
- Núñez-Santiago, M. C.; Bello-Pérez, L. A.; y Tecante, A. 2004. Swelling-solubility characteristics, granule size distribution and rheological behavior of banana (*Musa paradisiaca*) starch. *Carbohydrate Polymers* 56:65 - 75.
- Nwokocha, L. M.; y Williams, P. A. 2008. Some properties of white and yellow plantain (*Musa paradisiaca*, Normalis) starches. *Carbohydrate Polymers* 76:133 - 138.
- Louis M. y Nwokocha, P. A. (2009). New starches: Physicochemical properties of sweetsop (*Annona squamosa*) and soursop (*Annona muricata*) starches. *Carbohydrate Polymers* 462 - 468
- Olayide, L.; Olusegun, O.; Awokoya, K.; y Ogunkunle, A. O. 2008. The low-substituted propylene oxide etherified plantain (*Musa paradisiaca normalis*) starch: Characterization and functional parameters. *Carbohydrate Polymers* 74(4):717 - 724.
- Pacheco-Delahaye, E. y Techeira, N. 2009. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea Alata*). *Interciencia* 35(4):280 - 285.
- Pineda-Gómez, P.; Coral, D F.; Ramos-Rivera, D.; Rosales-Rivera, A.; y Rodríguez-García, M. E. 2011. Thermo-alkaline treatment. A process that changes the thermal properties of corn starch. *Procedia Food Science.* 1:370 - 378.
- Pingyi Zhang, R. L.; Whistler, J. N.; y Bemiller, B. R. 2004. Banana starch: production, physicochemical properties and digestibility –a review. *Carbohydrate Polymers* 59(4):443 - 458.
- Quintero, D. A. y García, V. M. 2008. Saberes y sabores. El plátano en el norte del Cauca. Proyecto: Estrategias que contribuyan a la competitividad de los mercados de productos de musáceas cultivadas en Colombia: valor nutricional y nutracéutico, mejoramiento y desarrollo de productos de interés para el sector industrial de alimentos. Informe final. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.
- Rodríguez, P.; San Martín, M. E.; y González de la Cruz, G. 2009. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Superficies y Vacío* 13:61 - 65.
- Rojas-Molina, I.; Gutiérrez-Cortez, E.; Palacios-Fonseca, A.; Baños, L.; Pons - Hernández, J. L.; Guzmán-Maldonado, S. H.; Pineda-Gómez, P.; y Rodríguez, M. E. 2007. Study of structural and thermal changes in endosperm of quality protein maize during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem.* 84 (4):304 - 312.
- Willard, M. J. y Hix, V. M. 1987. Potato flour. En: W.F. Talburt y O. Smith (eds.). *Potato Processing.* 4th ed. Van Nostrand Reinhold. Nueva York. p. 665 - 681.
- Yadav, A. R.; Guha, M.; Reddy, S. Y.; Tharanathan, R. N.; y Ramteke, R. S. 2005. Physical properties of acetylated and enzyme-modified potato and sweet potato flours. *J. Food Sci.* 72 (5):E249 - E253.
- Zakpaa, H. D.; Mak-Mensah, E. E.; y Adubofour, J. 2010. Production and characterization of flour produced from ripe 'apem' plantain (*Musa sapientum* L. var. *paradisiaca*); French horn) grown in Ghana. *J. Agric. Biotech. Sustainable Develop.* 2(6):92 - 99.
- Zhang, P.; Whistler, R. L.; BeMiller, J. N.; y Hamaker, B. R. 2005. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility - a review. *Carbohydrate Polymers* 59(4):443 - 458.