

Determinación de las propiedades térmicas y composicionales de la harina y almidón de chachafruto

Determination of Thermal Properties and Compositional Flour and Starch Chachafruto (*Erythrina Edulis Triana ex Micheli*)

Recibido: junio 12 de 2012
Aprobado: agosto 20 de 2012

Víctor Dumar Quintero Castaño*,
Juan Carlos Lucas Aguirre** y Erika Natalia Álzate Carvajal***

Resumen

En este trabajo se presenta un estudio sobre las propiedades químicas, térmicas y estructurales de las harinas y almidones de chachafruto. Se realizó un análisis proximal tanto a la harina como al almidón de chachafruto (*Erythrina Edulis Triana Ex Micheli*) determinando parámetros como humedad, minerales, proteína, grasas, fibra y porcentaje de almidón. Las propiedades térmicas se determinaron con las técnicas de calorimetría diferencial de barrido, análisis termogravimétrico y análisis por viscoamilografía rápida y las estructurales se determinaron por difracción de rayos X y por microscopía electrónica de barrido. El análisis proximal para la harina presentó: humedad 12,33%, cenizas 1,55%, proteína 18,5%, extracto etéreo 2,50%. Para el almidón: humedad 12,60%, cenizas 0,90%, extracto etéreo 1,82% y proteína 0,8%. Los gránulos de almidón presentaron formas esféricas y ovoides. El TGA para la harina presentó una temperatura de pérdida de humedad de 119,99°C, la temperatura máxima de descomposición se presentó en los 272,5°C y finalmente el proceso termina en 581°C. Para el almidón se presentó la descomposición del agua a 200,94°C, la temperatura máxima de descomposición presentó un pico en 300°C y el proceso finalizó a 584,72°C. Al realizar el análisis por DSC para la harina se encontró que las temperaturas características para el proceso de gelatinización

* M.Sc. Químico, profesor, programa de Ingeniería Industrial, Corporación Universitaria Empresarial Alexander von Humboldt. E-mail: vquintero@cue.edu.co

** M. Sc. Ingeniero agroindustrial, Universidad del Quindío. Profesor, programa Ingeniería de Alimentos, Universidad del Quindío. E-mail: jlucasaguirre@gmail.com

*** Ingeniera agroindustrial, Universidad la Gran Colombia, Armenia.

son $TO = 62,06^{\circ}C$, $TP = 70,98^{\circ}C$, $TF = 78,62^{\circ}C$ y para el almidón se obtuvo que $TO = 56,65^{\circ}C$, $TP = 70,06\%$, $TF = 85,12^{\circ}C$.

Palabras clave

Chachafruto, harinas, almidones.

Abstract

This paper presents a study on the chemical, thermal and structural chachafruto flour and starch. Proximal analysis was performed both flour and starch of chachafruto (*Triana ex Micheli Erythrina Edulis*) determining parameters such as moisture, minerals, protein, fat, fiber and starch percentage. The thermal properties were determined with the techniques of differential scanning calorimetry, thermogravimetric analysis and Rapid Viscoamulography Analysis and structural were determined by X-ray diffraction and scanning electronic microscopy. The proximal analysis presented to flour: moisture 12.33%, ash 1.55%, 18.5% protein, ether extract 2.50%. For starch: Moisture 12.60%, 0.90% ash, ether extract 1.82% and 0.8% protein. Starch granules spherical and ovoid forms submitted. The TGA for flour showed a temperature of moisture loss of $119.99^{\circ}C$, the maximum temperature of decomposition was presented in the $272.5^{\circ}C$ and finally the process ends at $581^{\circ}C$. For the starch the decomposition of water is present at $200.94^{\circ}C$, the maximum temperature of decomposition showed a peak at $300^{\circ}C$ and the process ended at $584.72^{\circ}C$. When performing the DSC analysis for the flour was found that the characteristic temperatures for the process of gelatinization are $TO = 62.06^{\circ}C$, $TP = 70,98^{\circ}C$, $TF = 78.62^{\circ}C$ and the starch was obtained that $TO = 56.65^{\circ}C$, $TP = 70.06\%$, $TF = 85.12^{\circ}C$.

Keywords

Chachafruto, flour, starch.

I. Introducción

Para nutrir de manera adecuada a una población, debe haber en el país una suficiente cantidad y variedad de alimentos inocuos y de buena calidad. Por lo tanto, en la mayoría de los países que tienen bajos ingresos y déficit alimentario, una estrategia fundamental de política alimentaria es mejorar y aumentar la producción de los alimentos, campo pertinente para expertos en agricultura. Claramente, quienes toman decisiones en el sector agrícola necesitan tener conciencia sobre las necesidades nutricionales de la población y entender las implicaciones nutricionales de sus acciones (Latham, 2002).

La mayoría de los alimentos en el mundo provienen de los cereales, el segundo gran conjunto de alimentos provienen de cosechas de raíces y el tercero de legumbres o leguminosas. En cifras redondas, el mundo produce aproximadamente 2000 millones de toneladas de cereales, 600 millones de toneladas de cosechas de raíces y 60 millones de toneladas de legumbres por año. Además, cada año en el mundo entero se producen aproximadamente 85 millones de toneladas de grasas y aceites y 180 millones de tonela-

das de azúcares. Los países en desarrollo producen más cantidad de todos estos artículos que los países industrializados. En contraste, los países industrializados producen más alimentos de origen animal, carne, leche y huevos, por ejemplo que los países en desarrollo (Young y Pellet 1994).

En las últimas décadas, se han registrado adelantos verdaderamente notables que han influido en la producción alimentaria. La investigación agrícola ha desarrollado y ofrece nuevas variedades de los principales cereales: arroz, maíz y trigo. Estas nuevas variedades producen rendimientos mucho más grandes por hectárea que las variedades tradicionales. Algunos tienen un período más corto entre la siembra y la cosecha, y algunos son relativamente resistentes a las plagas (Latham 2002 y Ruskin 1989).

Las proteínas, como los carbohidratos y las grasas, contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, pero también contienen nitrógeno y a menudo azufre. Son muy importantes como sustancias nitrogenadas necesarias para el crecimiento y la reparación de los tejidos corporales. Las proteínas son el principal componente estructural de las células y los tejidos, y constituyen la mayor porción de sustancia de los músculos y órganos (aparte del agua) (Young y Pellet 1994).

Una de estas especies promisorias y que ha sido objeto de estudios por parte del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, es el chachafruto (*Erythrina edulis* Triana ex micheli), el cual por sus múltiples potencialidades es de gran importancia desde el punto de vista de la conservación y seguridad agroalimentaria tanto para consumo humano como animal. El chachafruto (*Erythrina edulis* Triana ex Micheli) es una de las más versátiles especies de las *Erythrina* identificadas de la familia Fabácea, subfamilia papilionoidae; es una leguminosa multipropósito con un amplio espectro de usos, debido a su concentración de almidón, y según el reporte de algunos autores por su alto contenido de proteína.

Generalmente la población mundial y la industria demandan grandes cantidades de proteína y almidón, lo que ha estado limitado a unos pocos cultivos tradicionales como maíz, papa, trigo, arroz, yuca y algunas leguminosas como frijol, lenteja, quinua (Ruskin 1989).

En este artículo se pretende realizar una caracterización y evaluación de las propiedades físico-químicas, funcionales y estructurales del almidón y harina extraídos a partir del fruto del Chachafruto con el fin de determinar sus potencialidades alimentarias.

II. Materiales y métodos

El chachafruto fue recolectado de la zona cafetera de Colombia, de acuerdo con los criterios del productor teniendo en cuenta: tamaño, color y estado fitosanitario de las vainas y fue transportado bajo condiciones de refrigeración al laboratorio.

La harina de chachafruto se obtuvo separando las semillas de la vaina, luego se cortaron en rodajas y se secaron en estufa a (45 °C; 48 horas), posteriormente se molieron y

se tamizaron; la harina se almacenó en bolsas plásticas selladas para análisis posteriores (Dufour et ál., 2009).

Extracción de almidón. La materia prima cortada en rodajas, se licuó con agua destilada por un minuto a baja velocidad, el homogenizado se pasó a través de una malla de 54 μ m, con adición de agua destilada hasta que el agua de lavado estuviera completamente limpia; a continuación el filtrado se centrifugó a 10800 x g por 10 min. El sedimento correspondiente al almidón se secó en un horno de convección a 40°C por 24h, para posteriormente almacenarlo a 12°C y 92 % de humedad en refrigeración.

La harina y el almidón de Chachafruto se estudiaron, la proteína cruda (N x 6.25) se midió por el micro-Kjeldahl (Método 46-13, AACC 2000), la humedad (método 925.10, AOAC 2000), el éter de extracto seco total (Método 30-25, AACC 2000) y cenizas (Método 08-01, AACC 2000), la fibra dietética insoluble, la fibra dietética soluble y fibra dietética total (método 992.16, AOAC 2000). Todas las mediciones se llevaron a cabo tres veces.

Espectroscopia de absorción atómica. El contenido de calcio de la harina de chachafruto se determinó por el procedimiento de incineración en seco 968.08 (AOAC 2000). La concentración de minerales se midió con un espectrómetro de absorción atómica de doble haz (Perkin Elmer 300, EE. UU.) equipado con una lámpara de deuterio, corrector de fondo y una lámpara de cátodo hueco. El equipo fue operado con 12 psi de aire seco, 70 psi de acetileno, una llama de 422,7 nm, una lámpara de 65 mA de corriente, y una anchura de la rendija 0,7 nm. El fósforo en la harina de chachafruto se determinará según el método oficial AOAC 965.17.

La determinación de la *Temperatura y la Entalpia de Gelatinización* (T_p y DH_p): Se llevó a cabo por medio de un calorímetro diferencial de barrido (TA Instruments DSC-Q100), en muestras de (10 \pm 0.5) mg con un contenido de humedad del 80%, para una velocidad de 5°C/min, desde temperatura ambiente hasta 100°C, en atmósfera de nitrógeno y en charolas herméticamente selladas. La descomposición térmica de las harinas y almidones fue estudiada a través de la técnica de análisis termogravimétrico (TA Instruments TGA Q500), realizando los experimentos en presencia de una atmósfera de nitrógeno para un rango de temperaturas desde ambiente hasta 800°C a 5°C/min y en muestras de (6 \pm 0.5) mg.

El análisis de la *morfología de los gránulos de almidón* de chachafruto fue realizada en un microscopio electrónico de barrido (SEM) a bajo vacío (LV-SEM, JSM 5600LV): con resolución de 5 nm en el modo LV, acoplado con un espectrómetro de dispersión de energía de rayos X (Noran model Voyager 4.2.3). Antes del análisis, las muestras fueron pulidas con diferentes tipos de papel lija (Fandeli SIC A-99-600, 1200). Este tratamiento garantiza que la estructura observada no se vea afectada por el corte de la máquina. Después de este procedimiento, las muestras fueron limpiadas con aire para remover el papel lija y el exceso de materiales orgánicos. Estas muestras no son materiales conductores, sin embargo, fue necesario recubrir la muestra con una capa de oro. Las muestras fueron fijadas sobre el portamuestras de cobre con una tapa de

carbono. Las condiciones de análisis usadas para la obtención de las imágenes sobre diferentes superficies con la señal electrónica retrodispersa fueron: un voltaje de 15 kV, una presión de 12-20 Pa en el portamuestras. El análisis fue hecho en cortes internos y transversales.

Para la caracterización con *difracción de rayos X*, las muestras del almidón nativo del fruto y de la harina de chachafruto fueron reducidas a un polvo fino y pasadas a través de una malla de 150 μm de tamaño de poro. Las muestras en polvo fueron empacadas densamente dentro de una montura de aluminio. Los patrones de difracción de rayos X se obtuvieron usando un equipo Siemens D5000, con una línea de radiación Cu Ka ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$), con una diferencia de potencial de 30 kV y una densidad de corriente de 20 mA. Las muestras se registraron entre 5 y 40 grados (2θ) con un paso angular de 0.050 y un tiempo de conteo por paso angular de 15 segundos. El material se colocó en un portamuestra de aluminio de área de 30 mm por 30 mm a temperatura ambiente y baja humedad.

Las propiedades funcionales de las harinas y almidones, se realizaron utilizando un analizador rápido de viscosidad RVA-4 (Viscoamilograma RVA Rapid Visco Analyser, Newport Scientific Narabeen, NSW, Australia): con perfil definido de temperatura (50 hasta 90°C a 6°C/min., para mantener la temperatura durante 5 minutos y luego enfriar hasta 50°C a 6°C/min.), para las harinas se utiliza una suspensión al 8% (b.s.) en presencia de inhibidor de α -amilasa (AgNO_3 ; 0.002 mol/l) y los almidones solo con el volumen de agua respectivo y una concentración del 7%, se determinó el tiempo y la temperatura de inicio de empastamiento (temp y Temp), la viscosidad máxima (Vmax), el tiempo para llegar al pico máximo (tVmax), la temperatura en el pico máximo (TVmax), la viscosidad de la pasta caliente (después de 5 minutos a 90°C) (VPC), la viscosidad mínima (Viscosidad más baja después de Vmax (Vmin), la viscosidad de la pasta después del enfriamiento a 50°C (VPE); Viscosidad final (Vfin). En base a estos datos se estimaron 4 parámetros: facilidad de cocción (FC) estimado como (tVmax - temp); breakdown (BD), calculado como (Vmax - VPC); setback (SB), calculado como (VPE - Vmax); consistencia (CS), calculado como (VPE - VPC) (Dufour et ál., 2009).

III. Resultados y discusión

En la tabla 1, se muestran las longitudes de las vainas de chachafruto entre de 10 a 26 cm de largo, con pesos promedios por vaina de 115 gr, y porcentajes de cáscara y semilla del 50.65% y 48.96% respectivamente, mientras que el promedio de semillas y/o granos por vaina es de 4.

Variable	Peso promedio (g)	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Vaina	115,23	14,11	12,25
% Cáscara	50,65	4,55	8,99
% Semilla	48,96	4,54	9,27
N.º de semillas / vaina	4,33	0,82	18,84

Tabla 1. Características de las vainas de chachafruto

A. Análisis químicos

En la tabla n.º 2 se presentan los resultados de la caracterización química de la harina y el almidón de chachafruto.

Al analizar los resultados obtenidos por el análisis proximal para la harina de chachafruto, se observan altos contenidos de proteína y almidón equivalentes al 18.5% y 13.1% respectivamente.

Análisis	Harina de chachafruto (%)	Almidón de chachafruto (%)
Humedad	12.50	12.60
Cenizas	1.50	0.90
Proteína	18.5	0,8
Grasas	2.50	1,82
Fibra	0.50	ND
% almidón	13.1	
Fósforo mg / 100gr	81.0	ND
Hierro (mg/ml)	0.98	ND
Calcio mg / 100gr	13	ND
Vitamina A mg / 100grs	0	ND
Vitamina C mg / 100grs	7.8	ND

Tabla 2. Caracterización química de la harina y el almidón de chachafruto. ND: No Determinado

Donde el porcentaje de proteína comparado entre diferentes especies vegetales, como se muestra en la tabla 3, es muy superior al de los cereales incluida la harina de trigo y el maíz, muy utilizados en la industria alimentaria; y con valores inferiores al de otras leguminosas.

Alimento	Contenido proteico (%)
Cereales	
Maíz	9,4
Arroz (blanco)	7,1
Harina de trigo	10,3
Mijo	11,0
Legumbres	
Fríjoles	23,6
Arvejas	23,5
Maní	25,8
Hortalizas	
Tomate	0,9
Calabaza	1,2
Pimiento dulce	0,9
Yuca	1,3
Patata	2,1

Tabla 3. Contenido de proteínas de diferentes especies vegetales. Fuente: Adaptado de Young y Pellett, 1994.

B. Análisis físicos

En la figura 2, se muestran las fotomicrografías de los gránulos de almidón de chachafruto donde se observa una matriz proteica que envuelven los gránulos de almidón en forma de una red cristalina, estas se observan en los cortes longitudinales de la semilla de chachafruto. Igualmente se evidencia la ruptura de los sacos de proteicos que envuelven los gránulos de almidón en el momento en que se hace el corte transversal. Las micrografías muestran para el almidón de chachafruto gránulos de superficie lisa, sin fracturas ni roturas.

Los gránulos de almidón de chachafruto presentaron tamaños variables donde se encuentran diámetros longitudinales que van desde $10\mu\text{m}$ hasta $18.3\mu\text{m}$ y transversales que van desde $11\mu\text{m}$ hasta $22.3\mu\text{m}$; con formas ovaladas y semiesféricas. Además se observan grupos de gránulos de proteína con dimensiones promedio de $4.54\mu\text{m}$. Estos gránulos de proteína se encuentran agrupados a los costados de los gránulos de almidón presentando estructuras variables entre las que se encuentran algunas poliédricas.

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. Algunos autores han reportado que el tamaño del granulo de almidón tiene una influencia sobre las propiedades funcionales, mientras más pequeños sean los gránulos, mayor es su digestibilidad y son considerados como los más resistentes a procesos con altas temperaturas como la esterilización. En algunos almidones, el tamaño de los gránulos de almidón muestra relación con su proporción amilosa/amilopectina (Delpeuch y Favier, 1980). La forma general del gránulo de almidón de chachafruto se aproxima a elipses y/o esferas, en ocasiones truncadas, como si hubiese recibido cortes en direcciones aleatorias en solo uno de sus extremos.

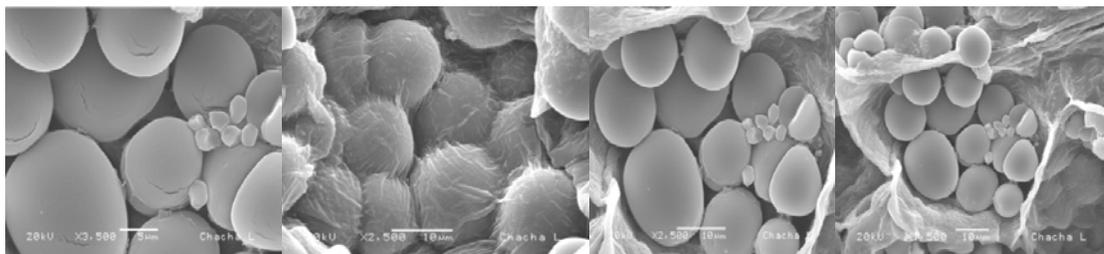


Figura 2. Fotografías de microscopía electrónica de barrido del almidón de chachafruto.

Mediante el análisis con microscopía electrónica de barrido SEM, se observa una distribución de los gránulos de almidón, donde aproximadamente el 7,14% de los gránulos presentan tamaños entre $11-14\mu\text{m}$; el 57,14% de gránulos tienen tamaños entre 14 y $17\mu\text{m}$ y el 35,71% restantes, presentan tamaños mayores a $17\mu\text{m}$.

Análisis térmico. El proceso de gelatinización es la pérdida del orden molecular (colapso molecular) que se manifiesta dentro del gránulo del almidón. Esta transformación va acompañada de cambios irreversibles en sus propiedades como: absorción de agua, hinchazón del grano, fusión de la parte cristalina, pérdida de la birrefringencia, aumento en la viscosidad y la solubilidad del gránulo, son solo algunos de los cambios estructurales inducidos por tratamientos térmicos en el almidón. La fase inicial del proceso de

gelatinización y el rango durante el cual se lleva a cabo es gobernada principalmente por la concentración del almidón en solución, el método de observación, origen y forma del gránulo, y la homogeneidad dentro del grano (Biliaderis, 1992).

En la figura 3 y tabla 4, se presenta el termograma DSC y datos arrojados de la harina de chachafruto, donde se presenta la transición térmica de gelatinización, comenzando con un suave pico endotérmico sobre la línea base del termograma. El proceso, aquí representado, empieza a 61.95°C; esta temperatura se conoce como temperatura inicial (T_0), la temperatura de pico (T_p) es la temperatura donde se registran los valores más altos de absorción de calor para la harina de chachafruto esta temperatura es de 70.7°C y la temperatura de finalización (T_e) de la gelatinización con 79.1°C que se presenta a medida que el proceso finaliza, el sistema regresa a un estado en el cual no hay cambios en la fase ni en la composición de la muestra. La energía necesaria para completar el proceso se conoce como entalpía de gelatinización, que se calcula como el área bajo la curva del pico de gelatinización, (ΔH_p) y para la harina de chachafruto su valor es de 0.814 J/g; donde además se analizan los cambios estructurales y químicos que influirán en la calidad de los productos que se derivan de esta materia prima (Biliaderis, 1992).

Mientras que en los gránulos de almidón de chachafruto (ver tabla 4 y figura 4), es evidente la presencia de una transición endotérmica entre los 55.85°C y 84.66°C, que es característico de la transición endotérmica de almidón, el pico se encuentra a 60.07°C. La entalpía de este proceso fue 4,86 J/g, que es un indicativo de almidón con orden cristalino. Como puede apreciarse, aparece una transición de fase característica del almidón.

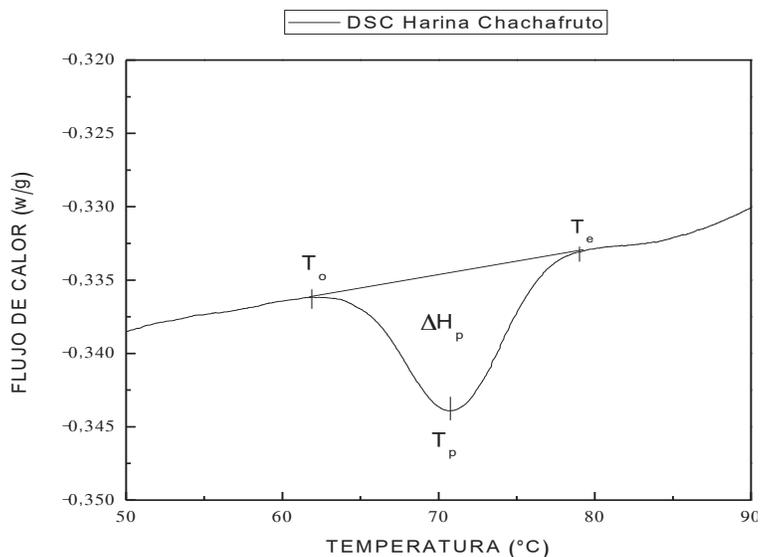


Figura 3. Termograma DSC para harina de chachafruto.

Muestra	T_0 (°C)	T_e (°C)	T_p (°C)	ΔH_p (J/g)
Harina	61.95	79.1	70.7	0.814
Almidón	55.85	84.66	60.07	4.866

Tabla 4. Parámetros de gelatinización (DSC) Harinas y almidones de chachafruto.

En la primera transición de fase, el agua actúa como un plastificante. A esta temperatura, los polímeros con bajo peso molecular, particularmente las moléculas de la amilosa, empiezan a separarse del gránulo del almidón. Conforme la temperatura aumenta, los gránulos del almidón comienzan a colapsar hasta que finalmente la parte amorfa (amilosa) queda totalmente solubilizada, mientras que la parte cristalina del almidón se mantiene en la solución acuosa (Coral, 2007).

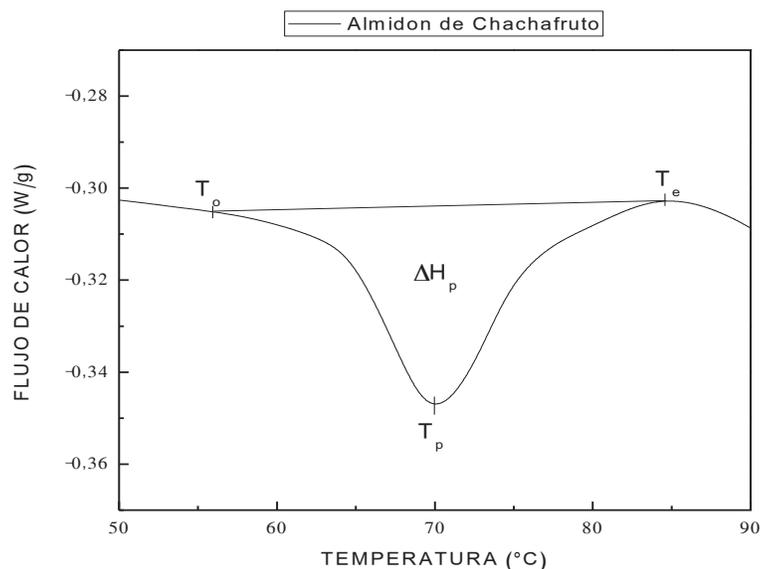


Figura 4. Termograma DSC para almidón de chachafruto

El análisis termogravimétrico (TGA) permite medir la cantidad y la velocidad de cambio de la masa de un material como función de la temperatura o tiempo en una atmósfera controlada, dichas medidas son utilizadas principalmente para determinar la composición de un material y para predecir su estabilidad térmica a temperaturas hasta de 1000°C; para el caso de harina también se ha utilizado como una técnica confiable y práctica para la determinación del porcentaje de almidón (Vega, 1996).

La figura 5, muestra el termograma TGA (línea continua) de la curva de degradación térmica y su primera derivada (línea punteada) para la harina de chachafruto, donde se observan tres regiones diferentes relacionadas con las pérdidas de masa más pronunciadas.

Producto	Eventos térmicos	Rango (°C)	Porcentaje de peso (%)	Temperatura de pico en derivada (°C)
Harina	Primero	25 -121.06	7.84	119.79
	Segundo	121.06 - 371.58	50.88	273.17
	Tercero	371.58 - 544.83	32.1	466.8
	Residuo		8.3	
Almidón	Primero	50 - 250	10.92	200,94
	Segundo	246 -364	68.52	301.21
	Tercero	373.82 - 584.72	19.41	493.4
	Residuo		1.15	

Tabla 5. Temperaturas de descomposición térmica de la harina y almidones de chachafruto

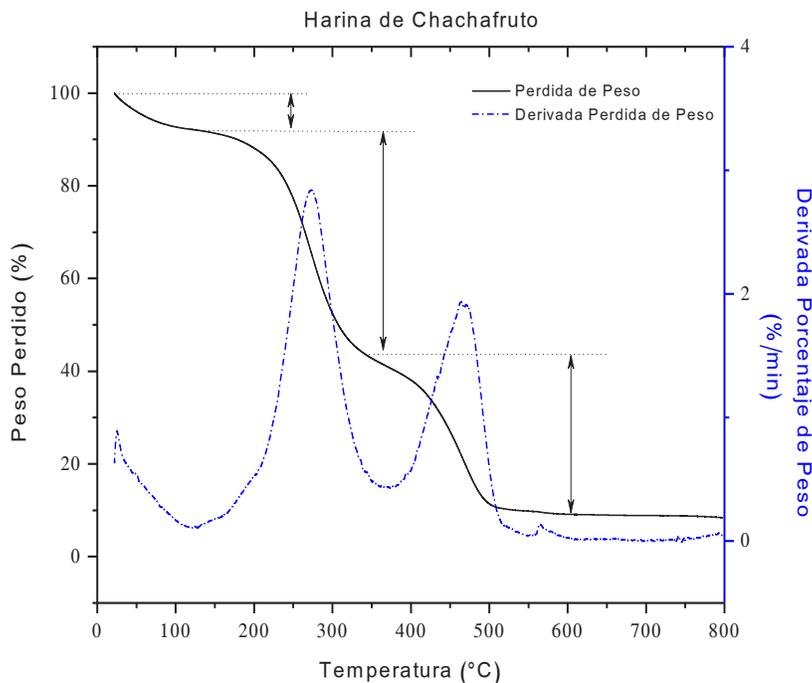


Figura 5. Termograma (TGA) para harina de chachafruto

La zona uno corresponde a la pérdida de masa representada por la humedad presente en la muestra donde la cantidad de agua disponible fue de 7,84%, esta disminución se presentó entre los 25 y 121.6°C presentando su mayor pico alrededor de los 119.79°C (ver tabla 5).

La pérdida de peso más representativa se presentó en la zona 2 que se presenta en rango de temperaturas entre 121.6°C y 371.58°C, teniendo su pico máximo en 273.17°C, basándose en la composición química de la muestra de harina de chachafruto; en este punto se descomponen carbohidratos, péptidos de bajo peso molecular, descomponiéndose el almidón y la proteína presente en la muestra, ya que esta pérdida de peso se encuentra en el rango de temperaturas donde se da la degradación de ambos. En esta fase la harina de chachafruto presentó una pérdida de peso de 50.88%.

Para este estudio es de gran importancia esta zona que representa la mayor pérdida de masa de la muestra, ya que se presenta como una curva característica de descomposición simple o de un solo paso como se presenta en la gráfica.

En la zona 3, con un rango de temperaturas entre 371.42°C a 544.83°C con un pico máximo presentado en 466.8°C se descomponen polisacáridos de alto peso molecular como proteínas, lípidos entre otros compuestos orgánicos. En este punto la harina presentó una pérdida de peso de 32.1%.

El porcentaje de residuos presentados en el termograma son del 8.39%. Este valor es alto, lo que indica que la harina de chachafruto contiene altas concentraciones de minerales y lo que pueden ser al igual sales acopladas.

En cuanto a los almidones de chachafruto la figura 6 y tabla 5, muestran la curva y datos de degradación térmica correspondiente a los experimentos dinámicos y su primera derivada, encontrándose tres regiones diferentes. En la región I, con la pérdida de masa de alrededor de 10,92% característico de la pérdida del contenido de humedad de la muestra. La región II, con pérdida de masa de 68,52% en el intervalo de temperatura entre 246 a 364°C corresponden a la fase de descomposición pirolítica de los biopolímeros (amilosa y amilopectina). Esta etapa de descomposición presenta su máxima velocidad de reacción en 301,21°C, como lo indica el pico en la curva derivada DTG (línea punteada).

Para la región III, es evidente la descomposición de un 19,41% de la masa, que se puede interpretar como una recombinación de los productos de combustión con sales inorgánicas. El residuo de 1,15% corresponde al componente inorgánico de la muestra. Los resultados TGA indican que el almidón de chachafruto es térmicamente estable a temperaturas inferiores a 246°C donde inicia el proceso de degradación térmica.

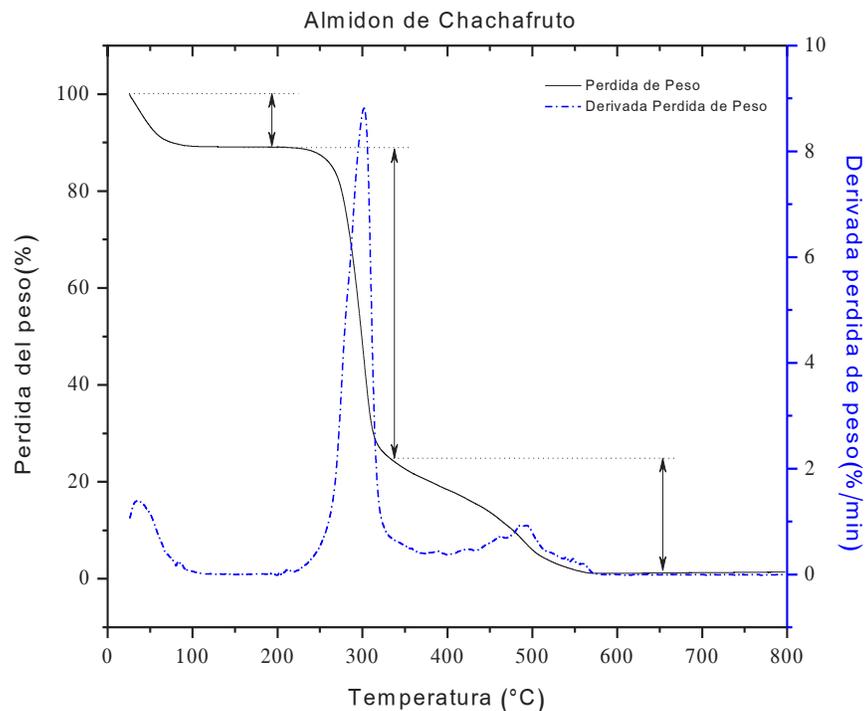


Figura 6. Termograma TGA para almidón de chachafruto.

Difracción de rayos X: Esta técnica aplicada al estudio de materiales cristalinos, permite obtener en forma no destructiva, información sobre las fases presentes, orientaciones cristalinas preferenciales, defectos cristalográficos, tensiones residuales.

La forma en que 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, presentan dobles hélices arregladas en forma hexagonal y con un contenido de agua de 36 moléculas,

indicando que el almidón de chachafruto presenta una estructura menos compacta al pertenecer al patrón C, y comparándolo frente a los patrones A y B, en los que hay mayor empaquetamiento de las dobles hélices de la amilopectina (ver figura 7).

El endospermo se forma principalmente por almidón (amilosa y amilopectina) y la configuración estructural de estos polímeros se pueden estudiar a través de patrones de difracción de rayos-X. La figura 7, muestra los patrones de difracción de rayos X, de la amilosa, la amilopectina y el almidón de chachafruto. La amilopectina exhibe la mejor calidad de cristalinidad relativa, mientras que la amilosa constituye la fase menos cristalina del almidón. Claramente, las macromoléculas amilopectina en los gránulos de almidón tienen un mejor orden cristalino que se amilosa (Hermansson y Svegmarm 1996).

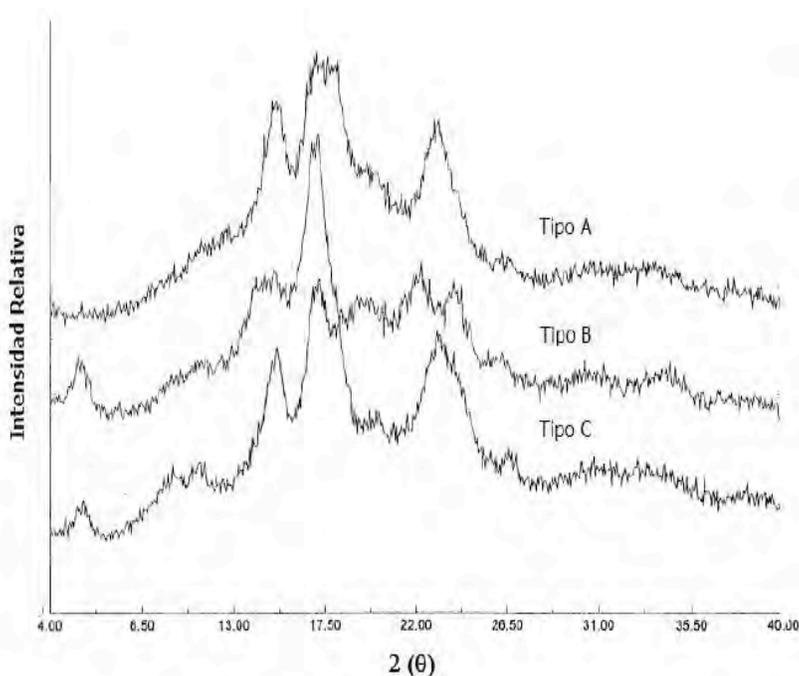


Figura 7. Patrones de difracción de rayos x para almidones

Los gránulos de almidón nativos exhiben dos tipos principales de diagrama (ver figura 7) el tipo A para almidones de cereales y el tipo B para tubérculos y almidones ricos en amilosa. Otro tipo de diagrama de difracción es el C, el cual se muestra como una mezcla de diagramas A y B, es característico de la mayoría de almidones de legumbres y también de cereales que crecen en condiciones específicas de temperatura e hidratación.

Mediante la inspección directa de la figura 8, es posible determinar que el endospermo de chachafruto podría ser formado principalmente de amilosa. Esta es la manera de identificar las estructuras utilizando datos de difracción de rayos X. De acuerdo con datos de difracción de polvo de amilosa (α -amilosa 43-1858) (Imberty 1998), esta estructura no presenta los picos situados en 15.214 ($d = 5,8191 \text{ \AA}$), 21.154 ($d = 3,8382 \text{ \AA}$) en la escala 2θ que son característicos para la identificación amilopectina (Rojas-Molina, 2007).

El patrón de difracción del almidón de chachafruto analizado, podría considerarse como una mezcla de los tipos A y B (ver figura 7), ya que el patrón B presenta dos picos característicos $2\theta=5^\circ$ y $2\theta=18^\circ$, mientras que en este estudio sólo se encontró el segundo $2\theta = 18^\circ$, además, se encontraron picos característicos del patrón A, para el cual se han establecido los siguientes: $2\theta = 15, 17, 23^\circ$.

Como se ha mencionado, los gránulos de almidón son una mezcla de amilosa y amilopectina, por lo tanto, las variaciones en la proporción de estos polisacáridos y sus propiedades e interacciones con otros componentes, pueden explicar las diferencias en el comportamiento del hinchamiento de los gránulos y la funcionalidad de los almidones de diferentes orígenes (Hermansson y Svegmarm 1996).

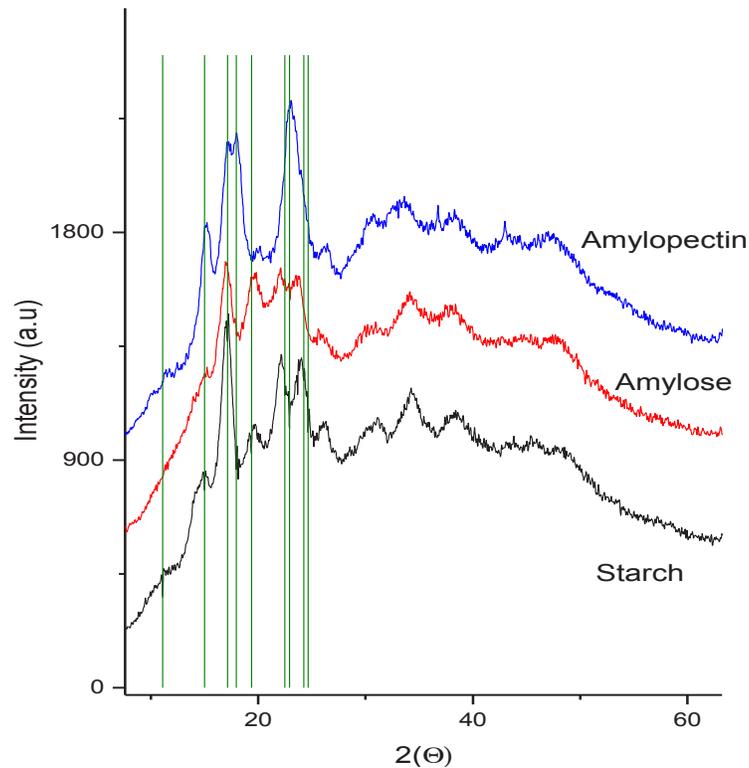


Figura 8. Diffractograma para almidón de chachafruto

El comportamiento reológico en RVA, de las harinas y almidones de chachafruto, se muestran en la figura 9, donde se observa inicialmente que los almidones desarrollaron normalmente su viscosidad al someterlos al tratamiento hidrotérmico, mientras que en las harinas no se presentó este fenómeno, por lo que solo se analizarán los almidones.

El viscoamilograma permite evaluar la temperatura de inicio y el tiempo de inicio de gelatinización (temp y Temp) de los gránulos de almidón, en la cual se observa un inicio de incremento de la viscosidad, cuyos valores son 73.77°C y 4.99 minutos, respectivamente, valores estos parecidos a los reportados en Musáceas con valores entre 74.7 y 76°C y 5.1 – 5.4min (Lucas et ál., 2010). Al necesitarse temperaturas

más altas y por ende mayores tiempos para que se inicie el proceso de gelatinización de los almidones, mayor es el consumo de energía para que los gránulos de almidón se comiencen a hinchar.

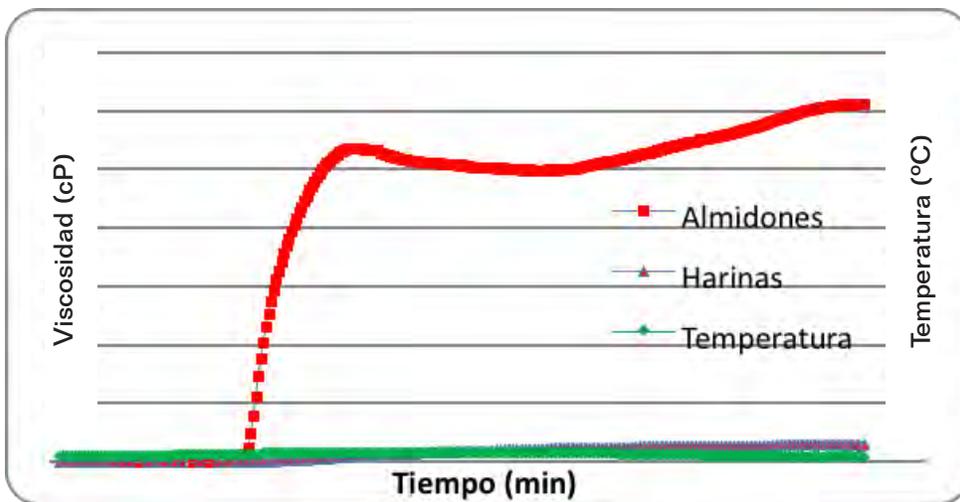


Figura 9. Perfiles viscoamilográficos de las harinas y almidones de chachafruto

Al seguir analizando el viscoamilograma (ver figura 9), en las variables viscosidad máxima (V_{max}), tiempo (tV_{max}) y temperatura (TV_{max}) para llegar al pico máximo, los datos obtenidos fueron 2689cP, 89.9°C, 8min respectivamente, encontrándose que los almidones de chachafruto desarrollan viscosidades más altas, que incluso el almidón de yuca (1553.7cP), almidón de papa dulce (1593.6cP), almidón de trigo (399,6cP) (Zaidul et ál., 2007).

Entre más altos sean los valores de las variables tiempo (tV_{max}) y temperatura (TV_{max}) para llegar al pico máximo, se puede deducir que los almidones se demoran más en llegar al punto de viscosidad máxima, incidiendo directamente en la variable facilidad de cocción (FC) estimado como ($tV_{max} - temp$), cuyo valor es de 3.01min, por lo que al demandar mayor tiempo, se necesita de más energía para alcanzar hinchamiento de todos los gránulos, desde el momento en que se inicia este, obteniéndose datos muy parecidos a las musáceas que reportan valores entre 2.5 – 3.6min (Lucas et ál., 2010).

Al terminar el calentamiento durante las pruebas de RVA, con relación a la variable viscosidad de la pasta caliente (VPC) y durante el proceso de enfriamiento la viscosidad mínima (V_{min}), los valores obtenidos equivalen a 2497 y 2495cP, respectivamente.

En la variable viscosidad de la pasta fría (VPE), la cual tiene que ver con la tendencia o habilidad de las suspensiones para formar una pasta viscosa o gel después de cocción o enfriamiento, el dato obtenido fue de 2957cP.

La inestabilidad del gel (Breakdown: BD) (figura 9), la cual es un indicativo de qué tan estables y resistentes al cizallamiento son los geles en procesos agroindustriales y representa la fragmentación de los gránulos, entre más bajo sea el valor muchos más

estables son los geles a la fragmentación mecánica, lo que ocurre con los almidones de chachafruto con un valor de 192cP.

En la variable reorganización (Setback: SB), que define la reasociación de los polímeros de almidón solubles y los fragmentos granulares insolubles durante la fase de enfriamiento, se asocia a la retrogradación. Entre más alto el valor, los almidones son más susceptibles de sufrir retrogradación, lo que no ocurre con el chachafruto con valores de 268cP. Y en la variable consistencia (CS), el valor arrojado es de 460cP.

En general las viscosidades más altas en cada una de las variables dependientes como viscosidad máxima (Vmax), Viscosidad de la pasta caliente (VPC), Viscosidad mínima (Vmin), Viscosidad de la pasta fría (VPE), son mayores en el almidón de chachafruto, que en las musáceas (Lucas et ál., 2010), lo cual da un indicio del uso potencial al que se destinaría como es la elaboración de las sopas por la facilidad de cocción y la alta viscosidad preferida por los consumidores.

Además de los bajos valores obtenidos en las variables estabilidad a la fragmentación mecánica y su resistencia a la retrogradación y consistencia, también podrían ser evaluadas en la elaboración de productos que requieran de altas temperaturas para su procesamiento como alimentos enlatados, alimentos para niños, salsas, productos de panificación, jaleas, caramelos y embutidos cárnicos; pero no es viable utilizarlos en productos que se almacenen a condiciones de refrigeración y congelación.

Con respecto al comportamiento de las harinas en el análisis reológico, en la figura 9, se observa que estas no desarrollan viscosidad durante el tratamiento hidrotérmico, entre una de las posibles causas está el alto contenido de taninos, que son comunes encontrarlos en frutas (uva, caqui, arándanos, etc.), en el té, el chocolate, en los forrajes de leguminosas (trébol, etc.), en los árboles de leguminosas (Acacia spp., Sesbania spp., etc.), en pastos (sorgo, maíz, etc.).

Los taninos son polifenoles naturales de la planta, estos pueden tener una gran influencia sobre el valor nutritivo de muchos alimentos consumidos por los seres humanos. Se componen de un grupo muy diverso de oligómeros y polímeros y su principal característica es que pueden formar complejos con proteínas, almidón, celulosa y minerales produciendo así la formación de complejos insolubles repercutiendo esto en la imposibilidad de generar viscosidad por parte del almidón en los tratamientos térmicos a los cuales se puede someter la harina de chachafruto.

Los taninos, de hecho, no sólo se unen y precipitan las proteínas, sino que se encuentran principalmente en las vacuolas o cera de la superficie de las plantas, en estos sitios que no interfieran con el metabolismo de la planta. Sólo después de descomposición y muerte celular pueden actuar y tener efectos metabólicos.

Una de las partes donde se encuentran, son los tejidos de semillas, ubicada fundamentalmente en una capa entre el tegumento externo y la capa de aleurona (www.ansci.cornell.edu/plants/.../tannin.html).

IV. Conclusiones

El análisis proximal realizado a la harina de chachafruto presentó como resultado un contenido de humedad de 12,33%, cenizas 1,55%, proteína 18,5%, extracto etéreo 2,50%. En cuanto al análisis realizado para determinar el porcentaje de minerales contenidos en la harina de chachafruto encontramos que para el fósforo presentó 81 mg/100gr, hierro 0,98 mg/100gr y calcio 13mg/100gr. Para el almidón de chachafruto se encontró que el contenido de humedad es de 12,60%, cenizas 0,90%, extracto etéreo 1,82% y proteína 0,8%.

Los gránulos de almidón de chachafruto presentaron formas esféricas y ovoides principalmente lo que indica que el contenido de amilosa para el almidón de chachafruto está entre los rangos normales ya que al encontrar gránulos de almidón con formas geométricas más variables y con presencia de protuberancias indica un contenido alto de amilosa. Con la ayuda de la técnica microscópica SEM se concluye que el almidón evaluado es un almidón nativo sin ningún grado de gelatinización, revelando de esta manera que sus propiedades funcionales no han sido alteradas durante el proceso de extracción el cual se puede afirmar que fue eficiente por la ausencia de impurezas.

El análisis termogravimétrico TGA realizado para harina de chachafruto se encontró que el proceso inicio a 26,25°C, la pérdida de humedad de la muestra presento en un pico de temperatura de 119,99°C, la temperatura máxima de descomposición se presentó en los 272,5°C y finalmente el proceso termina en 581°C. Para el almidón de chachafruto durante el proceso térmico se presentó un inicio de descomposición a 25°C, la descomposición del agua disponible se presentó a 200,94°C, la temperatura máxima de descomposición presentó un pico en 300°C y el proceso finalizó a 584,72°C.

Al realizar el análisis por medio de calorimetría diferencial de barrido DSC para harina de chachafruto se encontraron las temperaturas características para el proceso de gelatinización que son $T_O = 62,06^\circ\text{C}$, $T_P = 70,98^\circ\text{C}$, $T_F = 78,62^\circ\text{C}$ y una entalpia de gelatinización $\Delta H_p = 0,8144 \text{ J/g}$. Del termograma DSC para almidón de chachafruto se obtuvo que $T_O = 56,65^\circ\text{C}$, $T_P = 70,06^\circ\text{C}$, $T_F = 85,12^\circ\text{C}$ y una entalpia de gelatinización $\Delta H_p = 4,866 \text{ J/g}$.

Referencias

- AACC International. 2000. Approved Methods of American Association of Cereal Chemists, 10th Ed. Method 08-01, Method 30-25 and Method 46-13. The Association: St. Paul, MN.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 16th ed. Maryland USA, Official Method 968.08: Association of Official Analytical Chemists. 1998
- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th Ed. Method 925.10, 920.86, 992.16 and 965.17. 2000. The Association: Gaithersburg, MD. USA.
- Biliaderis, C.G. Structures and Phase Transitions of Starch in Food Systems. *Food Technology*, 145. 1992.
- Coral, D.F. *Caracterización térmica de biopolímeros derivados del maíz: almidón*. Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- Delpeuch, F. y Favier, J. C. Caractéristique des amidons de plantes alimentaires tropicales: action de l'alpha-amylase, gonflement et solubilité. Paris, *Ann. Technol. Agric.*, 29(1), 1980, 53-67.
- Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A. Sánchez, T., Reynes, 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.*)». *Journal of Agriculture and Food Chemistry*.

- Dufour, D., Gibert, O., Giraldo, A., Sánchez, T., Reyes, M., Pain, J. P., González, A., Fernández, A. y Díaz, A. «Differentiation between cooking bananas and dessert Bananas. 2. Thermal and functional characterization of cultivated colombian Musaceae (*Musa sp.*)». *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 2009.
- Hermansson, Anne-Marie y Svegmarm Karin. «Developments in the understanding of starch functionality». *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 71, 1996.
- Imberty, A., Chanzy, H., Pérez, S., Burleon, A., and Tran, V. «The double-helical nature of the crystalline part of A-starch. J.». *Mol. Biol.* 201: 1988, 365-378.
- Latham, Michael. «Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación». Colección FAO: Alimentación y Nutrición, n.º 29, 2002, Roma.
- Lucas, A. J. C., Dufour, D. y Díaz, A. (2010). *Caracterización físico-química y evaluación de las curvas de empastamiento de tres variedades de plátano: Hartón (Musa AAB), Cubano blanco (Musa AAB), Cachaco (Musa ABB)*. ACORBAT, Medellín-Colombia.
- Rojas-Molina, I., Gutiérrez-Cortéz, E., Palacios-Fonseca, A., Baños, L., Pons - Hernández, J. L., Guzmán-Maldonado, S.H., Pineda-Gómez, P., Rodríguez, M.E., «Study of structural and thermal changes in endosperm of quality protein maize during traditional nixtamalization process». *Cereal Chem.* 84 (4), 2007, 304-312.
- Ruskin, F. R. Basul. In *Lost crops of the Incas*. Washington: National Academy Press, 1989. pp. 164-71.
- Vega, D., Villar, M. A., Failla, M. D., Valles, E. M. *Polymer Bulletin* 37, 1996, 229-235.
- Young, V. R. y Pellet, P. L. «Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition». *Am. J. Clin. Nutr.*, 59 (Suppl.): 1994, 1203S-1212S.
- Zaidul, I. S. M., Nik Norulaini, N. A., Mohd. O. A.K., Yamauchi, H. y Noda, T. «RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches». *Carbohydrate Polymers* 69: 2007, 784-791.



The image shows the cover of the journal 'INGENIUM'. On the left is the logo of the University of San Buenaventura, which is a circular seal containing a figure and the text 'SANCTI BONAVENTURAE 1708 SIGILLUM UNIVERSITATIS'. Below the logo, the text 'UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA BOGOTÁ' is written. The main title 'INGENIUM' is displayed in large, stylized, orange-outlined letters with a blue gradient background. Below the title, it says 'REVISTA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA'. At the bottom, the word 'SUSCRÍBASE' is written in large, white, bold letters.