

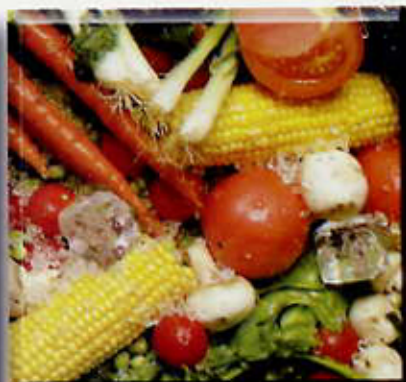
Publicación Anual del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos



Convenio cooperativo UCR-MICT-MAG

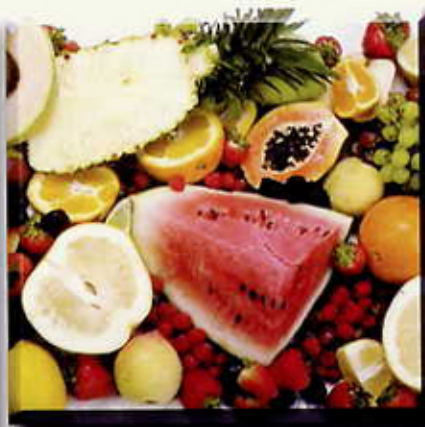
volumen 8-2001

ISSN 1022-0321



Reviteca

Revista de Tecnología y Ciencia Alimentaria



Revista anual publicada por el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Directora del CITA

Floribeth Viquez Rodríguez

Editor

Lic. Vera García Cortés

Consejo Editorial

M. Sc. Floribeth Viquez Rodríguez

M. Sc. Ruth De la Asunción Romero

Ph. D. Ana Ruth Bonilla Leiva

Lic. Vera García Cortés

Diseño de Portada

Carlos Fernández

Diagramación

Guiselle Cascante Salazar

La responsabilidad de los trabajos firmados es de sus autores y no del CITA, excepto cuando se indique expresamente lo contrario.

La mención de cualquier empresa o procedimiento patentado no supone su aprobación por parte del CITA.

Los artículos incluidos en REVITECA pueden reproducirse libremente siempre y cuando se haga mención expresa de su procedencia y se envíe copia al Consejo Editorial.

Correspondencia para canje y suscripciones Universidad de Costa Rica - Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos REVITECA

San José - Costa Rica

Email: cita@cita.ucr.ac.cr

Tels. 207-4701/207-3457 / 207-3431 / 207-3457

La presente edición de REVITECA es patrocinada por la Fundación para la Investigación Agroindustrial Alimentaria (FIAA).

Reducción de *Salmonella senftenberg* y *Escherichia coli* en piel de cerdo utilizando soluciones de dióxido de cloro gaseoso

1

Wong, Eric
Linton, Richard H.

Programa de rondas interlaboratorios de análisis de alimentos (PRIDAA): evaluación del desempeño analítico en el periodo 1998-2000

7

Lois, Mónica

Efecto del almacenamiento en refrigeración sobre las características químicas del coco (*Cocos nucifera* Linn.)

15

Pineda, María Lourdes
Kopper, Gisela

Calidad sanitaria del camarón (*Penaeus brevivirostris*, *Solenocera agassizi* y *S. florea*) que se expende en el Área Metropolitana de San José

21

Zúñiga, Cira
Vargas, Elizabeth
García, Vera

Extracción y caracterización parcial del almidón de banano verde utilizando una pectinasa

28

Bonilla, Ana Ruth
Morúa, Glenn

Nota Técnica

Los "acaritos blancos" (Insecta: Psocoptera): una plaga erróneamente interpretada en la industria de Costa Rica

36

Jirón, Luis Fernando
Vargas, Mario

EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN PARCIAL DEL ALMIDÓN DE BANANO VERDE UTILIZANDO UNA PECTINASA

Bonilla, Ana Ruth* y Morúa, Glenn**

ABSTRACT

Extraction and partial characterization of green banana starch using a pectinase

Yields of starch from green banana pulp (*Musa cavendish*) utilizing a pectinase were determined. Extractions with and without addition of sodium bisulfite (0,5%) before adding the enzyme (500 and 1000 ppm) were tested. Pectinase concentrations 0, 250, 500, 750, 1000 and 2000 ppm, and the following hydrolytic conditions: pH 6,0 and 4,5; temperature 25 °C and 35 °C and time of 1 h and 5 h, were evaluated on the starch extractions. Starch obtained using optimal conditions was partially characterized.

Addition of sodium bisulfite prior to treatment with pectinase showed optimal yields. Starch extraction increased from 46%, without addition of sodium bisulfite, to 78% with sodium bisulfite, utilizing 500 ppm pectinase ($p < 0,05$). With 1000 ppm pectinase concentration, yield increased from 49% without bisulfite to 83% with bisulfite ($p < 0,05$). From the five enzyme concentrations an equation relating percentage of extracted starch and enzyme concentration was established. There was no significant difference in starch extraction yields due to different pH concentrations, temperature and time ($p > 0,05$). Optimal conditions for extraction were: addition of sodium bisulfite (0,5%), pectinase (1000 ppm), 25 °C, pH 6,0 and 1h incubation. Starch damage value was 0,5% and estimated starch size ranged from 10 μ m to 23,3 μ m. Thermal properties were: $T_o = 73,2$ °C, and $T_p = 76,5$ °C and an enthalpy change of 23,0 J/g. The Brabender viscoamylgraph at 8% was similar to patterns produced by cereal starches. The extracted starch showed a C-type X-ray diffraction pattern.

Key words: banana, bisulfite, starch, pectinase.

RESUMEN

Se estudió el efecto que produce el tratamiento de la pulpa de banana verde (*Musa cavendish*) con una enzima pectinolítica sobre el rendimiento de la extracción de almidón. Inicialmente se evaluó el rendimiento agregando o no una disolución de bisulfito de sodio 0,5% previo a la adición de la enzima pectinolítica (500 y 1000 ppm). Posteriormente, utilizando bisulfito de sodio, se evaluó el efecto que produjeron cinco concentraciones de enzima (0, 250, 500, 750, 1000 y 2000 ppm) y las siguientes condiciones de hidrólisis enzimática: pH 6,0 y 4,5; temperatura 25 °C y 35 °C y tiempo 1 h y 5 h, sobre la cantidad de almidón extraído. El almidón extraído utilizando las mejores condiciones establecidas se caracterizó parcialmente.

Al tratar la pulpa con 500 ppm de enzima, el rendimiento de extracción aumentó de 46%, sin la adición de bisulfito, a 78 % con adición de bisulfito ($p < 0,05$) y de 49%, sin bisulfito, a 83% ($p < 0,05$) con bisulfito, al utilizar 1000 ppm de pectinasa.

A partir de las cinco concentraciones de enzima utilizadas se estableció una ecuación que explica la relación entre el porcentaje de almidón extraído y la concentración de la enzima empleada. No se encontró diferencia entre los rendimientos de extracción obtenidos al utilizar las diferentes condiciones de pH, temperatura y tiempo de acción enzimática ($p > 0,05$). Las mejores condiciones de extracción fueron: adición de bisulfito de sodio (0,5%), pectinasa (1000 ppm), pH 6,0, 25 °C y 1 h de hidrólisis. Bajo estas condiciones el valor de almidón dañado fue 0,5 % y el ámbito global de los gránulos estimado a través de microscopía electrónica de barrido fue de 10 μ m a 23,3 μ m. Los resultados de las propiedades térmicas analizadas fueron: $T_o = 73,2$ °C y $T_p = 76,5$ °C y un cambio en entalpía de 23,0 J/g. La curva de viscosidad de Brabender al 8 % se asemeja al del almidón de cereales. El estudio de difracción por rayos X señaló que el almidón muestra un patrón de tipo C.

Palabras claves: almidón, banana, pectinasa, bisulfito.

* Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos
** Escuela de Tecnología de Alimentos

INTRODUCCIÓN

A pesar de que la actividad bananera constituye una de las operaciones agrícolas más importantes y tecnificadas del mundo, presenta grandes cantidades de excedentes no utilizados que los países exportadores no pueden valorar en un alto porcentaje. En Costa Rica el banano es el segundo producto de exportación y el primero del sector agrícola, representando el 40% de las exportaciones totales de este sector (Procomer, 2001). A pesar de esto, esta actividad tradicionalmente ha generado aproximadamente un 16% de desecho (Viquez, 1995). Esta situación ha empeorado debido a la actual crisis bananera que ha hecho que la exportación de banano disminuya drásticamente en los últimos años (Procomer, 2001).

El almidón es un componente importante del banano verde (Bello *et al.*, 2000), encontrándose en concentraciones de 14-23 % (Da Mota *et al.*, 2000), por lo que se puede considerar como una buena fuente de almidón para la industria alimentaria (Da Mota *et al.*, 2000; Aguilar, 1995). Además, debido a que carece de gluten este almidón podría ser ampliamente utilizado en la industria farmacéutica (Abadía, 1979).

En el banano los gránulos de almidón se encuentran en el interior de las células que constituyen la pulpa, las cuales se ubican principalmente en la parte central y a todo lo largo del fruto. Estas células se unen unas con otras por medio de sustancias pécticas, polímeros que las rodean proporcionándoles rigidez y textura; por consiguiente, los gránulos de almidón también se encuentran rodeados o atrapados por estos polímeros, lo cual dificulta su extracción (Von Loesecke, 1950; Siddappa y Shantha 1970; Soto, 1992).

La hidrólisis de las sustancias pécticas ha sido utilizada como alternativa para mejorar el rendimiento de extracción del almidón de banano verde. Chiang *et al.* (1987) obtuvieron rendimientos de extracción de almidón del 46% sin utilizar enzimas pectinolíticas y, por otra parte, Abadía (1979) obtuvo un 78% de extracción utilizando una enzima pectinolítica. Sin embargo, las extracciones de almidón de banano verde con enzimas pectinolíticas presentan un inconveniente debido a la presencia de compuestos polifenólicos (taninos) que tienen un efecto inhibitorio sobre las enzimas, pues forman complejos estables con polipéptidos y proteínas (Hulme, 1970; Gous *et al.*, 1987).

Estos compuestos polifenólicos también reaccionan con otros compuestos como el bisulfito de sodio, lo que permite utilizarlo en la extracción para eliminar el efecto inhibitorio sobre la acción enzimática (Abadía, 1979; Amerine y Ough, 1980).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del tratamiento de la pulpa de banano verde con una enzima pectinolítica, sobre el proceso de extracción del almidón, así como la caracterización parcial del almidón extraído.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Se utilizó banano (*Musa cavendish*) cosechado 14 semanas a partir de la florecencia (Chacón *et al.*, 1987; Soto, 1992) provenientes de una sola finca bananera situada en Pococí, Limón.

Determinación de la concentración de almidón

Inicialmente se determinó la concentración de almidón en 6 lotes de banano verde después de un día de cosechado. Para la determinación del contenido de almidón se utilizó el método descrito por Tomkinson (1986), que consiste en hidrolizar el almidón hasta moléculas de glucosa utilizando una enzima α -amiloglucosidasa por un tiempo de 24 h. La concentración de glucosa se determinó en muestras hidrolizadas y sin hidrolizar mediante un método enzimático (Tico Lab SA, 1995) que produce un complejo color fucsia (fenol más 4-aminofenazona oxidada) al reaccionar con la glucosa, el cual se midió a 505 nm en un espectrofotómetro Shimadzu UV-240. Se preparó una curva de calibración con glucosa. La diferencia en concentración de glucosa entre la muestra sin hidrolizar e hidrolizada proporcionó la concentración de glucosa debida a la hidrólisis del almidón. El porcentaje de almidón en la muestra se determinó multiplicando la concentración de glucosa por un factor de 0,9 (AOAC, 1990).

Se pesó 1,0 g de muestra y se homogeneizó con 10 mL de agua destilada. La muestra se gelatinizó en baño de agua hirviendo por 3 min. Se agregó 10 mL de NaOH (1N) y 10 mL de HOAc (1N), homogeneizando por 2 min, posterior

a la adición de cada reactivo. Se ajustó el pH a 4,5 adicionando HCl al 3% y se adicionó 10 mL de una disolución amortiguadora de acetato de sodio/ácido acético 0,04M de pH 4,5. Se trasvasó a un balón de 200 mL. Se agregó 0,3mL de enzima α -amiloglucosidasa (NOVO AMG-300L, Novo Nordisk) y se incubó en baño de agua a 55 °C con agitación por 24 h. Se aforó y se filtró. Simultáneamente se trató una muestra sin adicionar α -amiloglucosidasa. Se determinó la concentración de glucosa en los filtrados. Todos los análisis se realizaron por duplicado.

Evaluación de la adición de bisulfito de sodio sobre la extracción del almidón

La extracción de almidón se llevó a cabo utilizando dos concentraciones de la enzima pectinolítica (500 y 1000 ppm), en tres lotes de banano y por duplicado, con un día de cosechado, aplicando el método mecánico propuesto por Kayisu *et al.* (1981). La extracción sin agregar bisulfito de sodio se realizó como se describe a continuación, pero sustituyendo la disolución de bisulfito por agua. Se licuó aproximadamente 100,0 g de muestra (banano verde) con 300 mL de una disolución de bisulfito de sodio al 0,5 % durante 5 min. La pulpa licuada se trasvasó a frascos (500 mL) de centrífuga y se centrifugó por 10 min (877 x g). El líquido sobrenadante se descartó y el residuo sólido se mezcló de nuevo con 300 mL de la disolución de bisulfito de sodio. Posteriormente se centrifugó (1972 x g) durante 10 min y se descartó nuevamente el líquido sobrenadante. El residuo sólido se mezcló con 300 mL de agua destilada y se centrifugó (1972 x g). El líquido sobrenadante se descartó y el residuo sólido se trasvasó a un erlenmeyer de 1,0 L con 300 mL de agua destilada, el cual se colocó en un baño de agua a 35 °C con agitación. Cuando este alcanzó la temperatura de 35 °C se le adicionó la enzima pectinolítica, Pectinex Ultra SP-L (Novo Nordisk, 1994).

Después de 1 h de hidrólisis enzimática, la pulpa se tamizó utilizando una malla de 100 mesh (150 mm). El residuo sólido que se depositó sobre la malla fue lavado con 900 mL de agua desionizada en tres lavados de 300 mL cada uno. Posteriormente el sólido remanente sobre la malla se descartó y el líquido lechoso se volvió a tamizar utilizando una malla de 270 mesh (53 mm). El residuo sólido que se depositó sobre la malla fue lavado nuevamente con 900 mL de agua desionizada en tres lavados de 300 mL

cada uno. El sólido remanente sobre la malla (270 mesh) fue descartado y el líquido de apariencia lechosa se dejó sedimentar por 24 h. Una vez decantado, el residuo extraído (precipitado) se secó en estufa de vacío a 45°C y una presión de $8,5 \times 10^4$ N/m² hasta peso constante.

Evaluación de las condiciones para la hidrólisis enzimática sobre la extracción del almidón

Una vez establecido el efecto de la adición del bisulfito sobre la extracción del almidón se procedió a evaluar, utilizando el mismo método de extracción (Kayisu *et al.*, 1981), el efecto de las variables que se mencionan a continuación. Las pruebas se realizaron con tres lotes de banano, por duplicado y utilizando en todos los casos la disolución de bisulfito de sodio al 0,5%.

Concentración de la enzima: se estudió la extracción de almidón utilizando cinco diferentes concentraciones de enzima (250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm y 2000 ppm) y como control, se realizó una extracción sin utilizar enzima. La hidrólisis enzimática se llevó a cabo a 35 °C durante 1 h. El experimento se realizó según un diseño de bloques aleatorios. La variable independiente fue la concentración de enzima y la variable respuesta fue la cantidad de almidón extraído. Los resultados fueron evaluados estadísticamente por medio de un análisis de varianza utilizando un nivel de confianza del 95 %. Además se determinó la correlación entre la concentración de enzima y el porcentaje de almidón extraído (Montgomery, 1991).

pH, temperatura y tiempo de hidrólisis enzimática: para la determinación de estas condiciones se hizo la extracción de almidón utilizando una concentración de enzima de 1000 ppm. Se procedió a comparar la cantidad de almidón que se extrae al aplicar el método a dos diferentes condiciones de pH (4,5 y 6,0) y temperatura (25 °C y 35 °C) según un diseño factorial completo de 2² en un modelo de efectos fijos, donde la variable respuesta fue el contenido de almidón extraído. Posteriormente se comparó la cantidad de almidón extraído a pH 6 y 25 °C después de 1 h y 5 h de tratamiento enzimático. Para determinar el efecto del tiempo de acción enzimática, se contrastaron los valores de la cantidad de almidón extraído para ambos tiempos utilizando una prueba t con un nivel de confianza del 95% (Montgomery, 1991).

Caracterización del almidón extraído

Evaluación del tamaño promedio de los gránulos de almidón: esta evaluación la llevó a cabo la Unidad de Microscopía Electrónica de la Universidad de Costa Rica. Se disolvió 1 mg de muestra en agua destilada, y se observó una alícuota de 10 mL en un microscopio electrónico de barrido Hitachi 2360N operado a 10 KV. Se tomaron 5 micrografías con una ampliación de 150X, se cuantificó la población de gránulos en cada micrografía y se estimó el tamaño promedio de los gránulos.

Propiedades térmicas, almidón dañado y patrón de difracción de rayos X: los siguientes análisis los realizó el Departamento de Ciencia de Alimentos de la Universidad de Iowa, EUA. El porcentaje de almidón dañado se determinó según el método 76-30A de la AACCC (1983). Las propiedades térmicas del almidón se determinaron utilizando un calorímetro diferencial de barrido (DSC-7, Perkin Elmer). Se tomaron 3,00 mg de almidón y 6,00 mg de agua desionizada y se sellaron herméticamente en utensilios de aluminio. Estos recipientes se dejaron de 2 a 4 h a 25 °C para equilibrar la distribución de la humedad en las muestras (Jane *et al.*, 1992a). Se usó como referencia un recipiente de aluminio vacío. Para obtener el viscoamilograma de una solución de almidón al 8% se utilizó un viscoamilógrafo Brabender, modelo VA-VE equipado con un cartucho de 700 cm-g (CW Brabender Instruments). Se utilizó agua destilada para hacer una dispersión de 400 g de almidón. La fuerza de corte fue establecida a 75 rpm y la dispersión se calentó de 29 °C a 95 °C a una velocidad de 1,5 °C/min, se mantuvo por 30 min a 95 °C y se enfrió hasta 50 °C a una velocidad de 1,5 °C/min. El perfil obtenido por difracción de rayos X se determinó utilizando un difractómetro de rayos X, D-500 (Siemens) usando radiación de Cu K α . Se registró la señal del ángulo de reflexión 2 θ , de 4 a 30°. La muestra de almidón se equilibró en una cámara de humedad relativa saturada por un día a 25 °C (Zobel, 1964).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El banano verde con 14 semanas de edad presentó una humedad promedio de 71,58%, (σ_{n-1} 0,33) y una concentración promedio de almidón de 22% (σ_{n-1} 10,7).

Otros autores (Da Moto *et al.*, 2000; Guaman, 1997) han representado valores similares a los obtenidos en este estudio.

La Figura 1 señala el efecto que tiene el bisulfito de sodio en la eliminación de los compuestos polifenólicos (inhibidores de la actividad enzimática) presentes en la pulpa de banano verde. Al utilizar 500 ppm de pectinasa la extracción del almidón aumentó, de 46,21% sin la adición de bisulfito, a 78,40% con la adición de este ($p < 0,05$). De igual manera al utilizar 1000 ppm de enzima, la extracción aumentó de 48,87%, sin la adición de bisulfito, a 82,98% cuando se agregó éste ($p < 0,05$). Gous *et al.* (1987) encontraron un efecto similar al tratar puré de banano con una enzima pectinolítica comercial, logrando una reducción en la viscosidad de un 36% respecto al control, mientras que cuando trataron puré de banano al que se le había eliminado los compuestos polifenólicos se produjo una reducción en la viscosidad de 71% respecto al control.

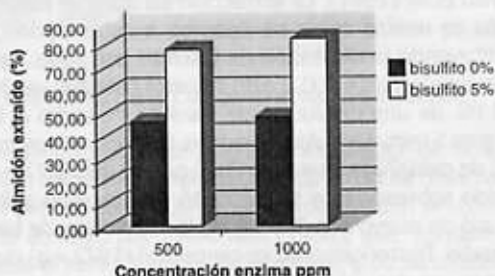


Figura 1. Efecto de la adición de bisulfito de sodio (0,5%) sobre el rendimiento de extracción de almidón de banano verde utilizando dos concentraciones de pectinasa (Pectinex Ultra SP-L) por 1 h a 35°C. Promedio de 3 lotes.

Como se observa en la Figura 2 con la adición de todas las concentraciones de la enzima pectinolítica utilizadas, después de agregar la disolución de bisulfito de sodio al 0,5%, se produjo un aumento en el porcentaje de almidón extraído con respecto al 42% obtenido sin la adición de la enzima ($p < 0,05$). Con las concentraciones de enzima de 1000 ppm y 2000 ppm se obtuvieron los mayores porcentajes de extracción 82,98% y 82,50% respectivamente, pero no hubo diferencia significativa entre estos valores ($p > 0,05$). Además, con los resultados que

se presentan en la Figura 2 se logró establecer que los rendimientos de extracción de almidón, al variar la concentración de la enzima, pueden ser explicados con un ajuste polinomial por la ecuación: % almidón extraído = (conc. enzima)^{0,08089} * 46,8339 ($r=0,9892$) para concentraciones de la enzima pectinolítica mayores a 0 ppm.

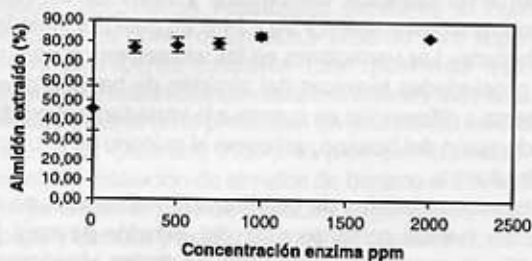


Figura 2. Efecto de la concentración de pectinasa sobre el rendimiento de la extracción de almidón de banano verde en muestras tratadas previamente con bisulfito de sodio (0,5%), después de 1 h de hidrólisis a 35 °C. Promedio de 3 lotes.

Al comparar los resultados obtenidos para las diferentes condiciones de pH y temperatura (Cuadro 1), no se encontró diferencia significativa ($p>0,05$) entre los rendimientos del almidón extraído utilizando las condiciones recomendadas por el fabricante para la enzima Pectinex Ultra SP-L (pH 4,5 y temperatura 35 °C) y las condiciones de pH 6,0 y temperatura 25 °C estudiadas. Este resultado es favorable para el proceso de extracción de almidón de banano verde en el nivel industrial, ya que no sería necesario controlar ni la temperatura ni el pH. Cabe mencionar que la pulpa de banano verde utilizada para esta investigación presentó un pH entre 5,8 y 6,0.

Cuadro 1. Rendimientos de extracción de almidón de banano verde utilizando 1000 ppm de pectinasa durante 1 h y dos diferentes condiciones de pH y temperatura

Temperatura (°C)	pH	Rendimiento de extracción %*
25	4,5	75,16 (4,26)
25	6,0	74,15 (1,53)
35	4,5	74,93 (2,00)
35	6,0	76,06 (0,62)

*Promedio de 3 repeticiones y (desviación estándar)

Por otra parte al comparar los resultados del almidón extraído después de 1 h y 5 h de hidrólisis enzimática (Cuadro 2) no se encontró diferencia significativa ($p>0,05$) entre los rendimientos de extracción con los tiempos evaluados. Esto también es de beneficio en el nivel industrial, ya que no sería necesario prolongar el tiempo de la hidrólisis enzimática más allá de una hora.

Cuadro 2. Rendimientos de extracción de almidón de banano verde utilizando 1000 ppm de pectinasa durante 1 h y 5 h, a pH 6,0 y a 25°C

Tiempo de hidrólisis h	Rendimiento de extracción %*
1	81,96 (3,61)
5	84,28 (2,69)

*Promedio de 3 repeticiones y (desviación estándar)

Con base en los resultados obtenidos se establecieron como las mejores condiciones para la extracción del almidón las siguientes: tratamiento de la pulpa del banano verde con una enzima pectinolítica (1000 ppm), previa adición de una disolución de bisulfito de sodio (0,05%), a pH 6,0, una temperatura de 25 °C y un tiempo de hidrólisis de 1 h.

Caracterización del almidón extraído bajo las condiciones establecidas

El valor de almidón dañado fue de 0,5%, (σ_{n-1} 0,2) lo que indica que el proceso de extracción no causó mucho daño a los gránulos. Valores similares fueron reportados por Kayisu *et al.* (1981) y Lii *et al.* (1982) utilizando procesos de extracción mecánica.

Al evaluar cinco micrografías obtenidas por medio de microscopía electrónica de barrido (de las cuales se presenta una en la Figura 3), se pudo observar que los gránulos de almidón presentaron formas irregulares de óvalo o de óvalo elongado. Formas similares a estas han sido reportadas por otros autores (Lii *et al.*, 1982, Bello *et al.*, 2000). Además se estimó que el ámbito global de los gránulos fue de 10 µm a 23,3 µm. Lii *et al.* (1982) reportan valores entre 6 y 80 µm, con la mayoría entre 20 µm y 60 µm y Bello *et al.*

(2000) encontraron que los gránulos medían de 20 μm a 60 μm . El tamaño promedio del gránulo del almidón de banano verde encontrado en este estudio (16,6 μm) se asemeja al reportado para el almidón de maíz 15 μm , y se encuentra en un rango menor que el reportado para el del trigo (20-35 μm) por Jane *et al.* (1992b).



Figura 3: Micrografía del almidón de banano. Ampliación: 150 X. Ámbito global del tamaño de los gránulos 10 μm a 23,3 μm . Barra = 200 μm .

Los almidones nativos son insolubles en agua a temperaturas inferiores a la de gelatinización (Swinkels, 1985). La temperatura de gelatinización es un rango pequeño de temperatura en el cual el gránulo de almidón empieza a hincharse, pierde cristalinidad y la viscosidad del medio aumenta. Una técnica ampliamente utilizada para evaluar el fenómeno de la gelatinización es la calorimetría diferencial de barrido (Ghiasi *et al.*, 1982; Swinkels, 1985). El rango de temperaturas de gelatinización se define entre la temperatura de inicio, T_o ; la temperatura pico, T_p ; y la temperatura final, T_c . El calor de gelatinización (ΔH , J/g) se calcula como el área bajo la endoterma obtenida (Da Mota *et al.*, 2000).

Las propiedades térmicas del almidón analizadas en este estudio (Cuadro 3) muestran que la temperatura de inicio de la gelatinización (T_o) es 73,2 $^{\circ}\text{C}$, la temperatura pico (T_p) es 76,5 $^{\circ}\text{C}$ y que hay un cambio en entalpía (ΔH) de

23,0 J/g. Diversos autores han encontrado variaciones en cuanto al rango de temperatura de gelatinización del almidón de banano que oscilan entre 64-72 $^{\circ}\text{C}$ para T_o y 69-72 $^{\circ}\text{C}$ para T_p (Da Mota *et al.*, 2000; Bello *et al.*, 2000). En cuanto a los valores en el cambio de entalpía, Faisant *et al.* (1995) reportaron cambios de 17,1 J/g y Bello *et al.* (2000) encontraron valores de 13 J/g y 14,8 J/g para dos variedades de banano. Las variaciones en los valores reportados para las propiedades térmicas del almidón de banano pueden deberse a diferencias en cuanto a la variedad y el grado de maduración del banano, así como al método de extracción utilizado.

Las temperaturas de gelatinización obtenidas en este estudio fueron cercanas a las del almidón de maíz (62-72 $^{\circ}\text{C}$), y un poco mayores que las de los almidones de trigo (57-64 $^{\circ}\text{C}$) y papa (59-68 $^{\circ}\text{C}$). El cambio en entalpía es mayor que el reportado para los almidones de maíz (12 J/g), trigo (12 J/g) y papa (20 J/g) (Jane *et al.*, 1992c).

Cuadro 3: Propiedades térmicas del almidón de banano verde determinadas por calorimetría de barrido diferencial

$T_o^{1,2}$ $^{\circ}\text{C}$	$T_p^{1,3}$ $^{\circ}\text{C}$	$\Delta H^{1,4,5}$ J/g
73,2 (0,3)	76,5 (0,2)	23,0 (0,7)

Fuente: Departamento de Ciencia de Alimentos de la Universidad de Iowa, EUA

1.- Promedio y (desviación estándar de 6 medidas).

2.- Temperatura inicial de gelatinización.

3.- Temperatura pico de gelatinización.

4.- Cambio de entalpía. 5 En base seca.

Los cambios de viscosidad que sufren los engrudos de almidón al cocinarse debido al hinchamiento y posterior rompimiento de los gránulos son muy importantes desde el punto de vista tecnológico ya que suministran información, tanto acerca de las características de gelatinización del almidón, como de la pasta enfriada. Estos cambios de viscosidad se analizan generalmente con un viscoamilógrafo Brabender y se expresan en unidades arbitrarias Brabender (BU, por sus siglas en inglés) (Thomas y Atwell, 1999).

El viscoamilograma obtenido para el almidón de banano al 8 % (Figura 4) se asemeja al de los almidones de cereales.

Presentó un pico pronunciado de viscosidad a 1550 BU, seguido de un descenso moderado. El pico representa la mayor viscosidad que se logra durante la cocción de un engrudo de almidón y es un indicador del poder de espesamiento. Varios investigadores (Kayisu *et al.*, 1981; Lii *et al.*, 1982), utilizando la misma concentración de almidón, obtuvieron resultados similares al nuestro reportando los primeros un pico a 1200 BU y los segundos a 1500 BU. Otros estudios han mostrado que las evaluaciones realizadas con concentraciones más bajas de almidón de banano no presentan un pico de viscosidad (Lii *et al.*, 1982; Guaman, 1997). El pico de viscosidad que presenta la disolución de almidón de banano al 8% es similar al de los almidones de tapioca y sagú, menor al de los de papa y camote y mayor que los de cereales no cerosos (Kayisu *et al.*, 1981). La última parte de la curva Brabender muestra como se comporta el engrudo al enfriarse de 95 °C a 50 °C. Un aumento en la viscosidad durante el enfriamiento es un indicador de la retrogradación debido a la asociación de las moléculas de almidón. Al igual que los cereales, el almidón de banano presenta una pronunciada retrogradación durante el enfriamiento. La tasa de retrogradación depende de la cantidad de amilosa presente en el almidón (Guaman, 1997), la cual ha sido reportada para el de banano como el 20% del almidón total (Da Mota, 2000).

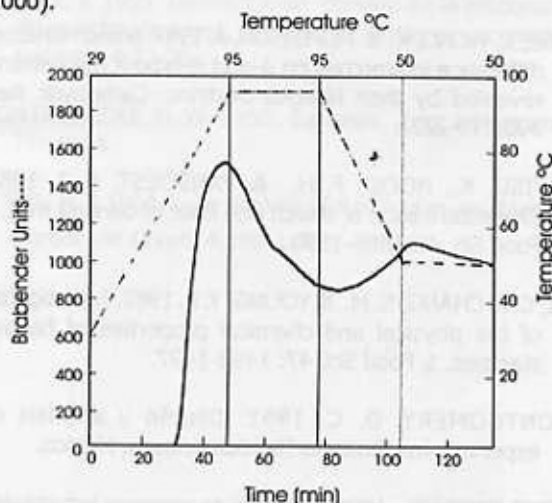


Figura 4. Viscoamilograma de una muestra al 8 % de almidón extraído de banano verde. Fuente: Departamento de Ciencia de los Alimentos, Universidad de Iowa.

Cuando un cristal es irradiado con rayos X, estos se separan produciendo un patrón distintivo de la estructura cristalina. El patrón general de rayos X de los almidones nativos se ha identificado por medio de este método (Thomas y Atwell, 1999). En este estudio (Figura 5) se encontró que el almidón de banano mostró un patrón de tipo C. En general los almidones de cereales tales como maíz, arroz, trigo y avena presentan patrones de tipo A y el de papa de tipo B. Los tipos A y B son considerados independientes, pero se ha sugerido que el tipo C representa una mezcla de A y B. La mayoría de los almidones provenientes de leguminosas presentan patrones de tipo C (Hizukuri, 1996; Bello *et al.*, 2000). Los estudios de difracción por rayos X realizados en almidón de banano verde han mostrado diferentes resultados. Algunos lo reportan como tipo A (Bello *et al.*, 2000), otros como tipo B (Lii *et al.*, 1982; Faisant *et al.*, 1995) y otros como tipo C (Jane *et al.*, 1997).

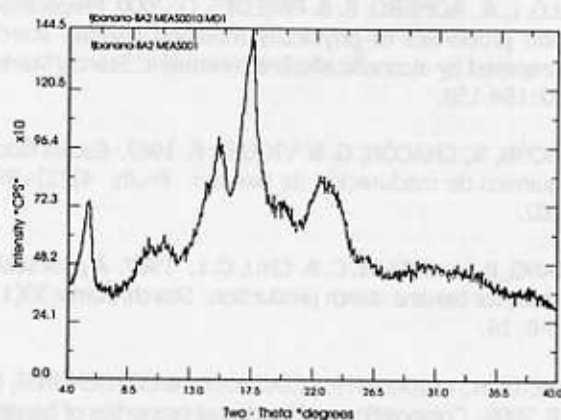


Figura 5: Difracción por rayos X del almidón extraído de banano verde. Fuente: Departamento de Ciencia de los Alimentos, Universidad de Iowa.

Como puede apreciarse, los resultados de los estudios de caracterización del almidón de banano difieren entre sí, lo que indica la necesidad de llevar a cabo estudios para definir si la variedad, el grado de maduración y el método de extracción afectan estas propiedades. Es importante también llevar a cabo estudios sobre la modificación del almidón de banano y evaluar su uso en productos industriales.

BIBLIOGRAFIA

- ABADÍA, 1979. Producción de almidón de banano por método enzimático. Tesis Lic. en Ingeniería Química. Universidad de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Química. San José.
- AGUILAR, F. 1995. Posibilidades de utilizar el rechazo bananero. *ASBANA* 12(29): 14-17. Costa Rica.
- AMERINE, M. A. & OUGH, C. S. 1980. Methods for analysis of must and wines. Wiley-Interscience, New York.
- AACC. 1983. Approved Methods of the AACC, 8 ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota.
- AOAC. 1990. Official methods of analysis. 15 ed. Association of Official Analytical Chemists, Virginia.
- BELLO, L. A., ROMERO, R. & PAREDES, O. 2000. Preparation and properties of physically modified banana starch prepared by alcoholic alkaline treatment. *Starch/Stärke* 52:154-159.
- CHACÓN, S., CHACÓN, G. & VÍQUEZ, F. 1987. Escala físico químico de maduración de banano. *Fruits* 42(2): 95-102.
- CHIANG, B. H., CHU, W. C. & CHU, C. L. 1987. A pilot scale study for banana starch production. *Starch/Stärke* 39(1): 5-8, 16.
- DA MOTA, R., LAJOLO, F. M., CIACCO, C. & CORDENUNSI, B. R. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch/Stärke* 52(2-3):63-68.
- FAISANT, N., BULEON, P., COLONNA, P., MOLIS, C., LARTIGUE, S., GALMICHE, J. P. & CHAMP, M. 1995. Digestion of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: structural features of resistant starch. *Br. J. Nutri.* 73. 111-123.
- GHIASI, K., HOSENEY, R. & VARRIANO, E. 1982. Gelatinization of wheat starch. III. Comparison by differential scanning calorimetry and light microscopy. *Cereal Chem.* 59:258-262.
- GUAMAN, R. 1997. Paste viscosity and retrogradation of banana starch. M.Sc. thesis. Department of Food Science and Technology. University of Georgia. Athens.
- GOUS, F., WYK, P. & MCGILL, A. 1987. The use of commercial enzymes in the processing of bananas. *Lebensm. -Wiss. U. Technol.* 20: 229-232.
- HIZUKURI, S. 1996. Starch: Analytical Aspects. In Eliasson, A.C., ed. *Carbohydrates in Food*. Marcel Dekker, New York.
- HULME, A. C. 1970. The biochemistry of fruits and their products. v I y II. Academic Press. New York.
- JANE, J. L., SHEN, L., CHEN, J., LIM, S., KASEMSUWAN, T. & NIP, W.K. 1992a. Physical and chemical studies of taro starch and flours. *Cereal Chem.* 69(5):528-535.
- JANE, J., SHEN, L., WANG, L. & MANNINGAT, C. 1992b. Preparation and properties of small-particle corn starch. *Cereal Chem.* 69 (3):280-283.
- JANE, J., SHEN, L. & AGUILAR, F. 1992c. Characterization of peji-baye starch. *Cereal Chem.* 69(1):96-100.
- JANE, J., WONG, K. & MCPERSON, A. 1997. Branch-structure difference in starches on A-and B-type X ray patterns revealed by their Naegeli dextrans. *Carbohydr. Res.* 300:219-227.
- KAYISU, K., HOOD, F. H. & VANSOEST, P. J. 1981. Characterization of starch and fiber of banana fruit. *J. Food Sci.* 46:1885-1890.
- LII, C.Y., CHANG, S. M. & YOUNG, Y. L. 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. *J. Food Sci.* 47: 1493-1497.
- MONTGOMERY, D. C. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Editorial Iberoamericana, México.
- NOVO NORDISK. 1994. Enzimas de procesos industriales. Ficha técnica para AMG 300L, α -amiloglucosidasa Novo. Representantes para Costa Rica, Trisan SA.

- PROCOMER. 2001. Promotora del comercio exterior de Costa Rica. Directorio de Exportadores e importadores de Costa Rica. San José.
- SIDDAPPA, G. S. & SHANTHA, H. S. 1970. Accumulation of starch in banana pseudostem and fruit. *J. Food Sci.* 35: 74-77.
- SWINKELS, J. J. 1985. Sources of starch, its chemistry and physics. *In* Van Beynum, G. and Roels, eds. Starch conversion technology. Marcel Dekker, New York.
- SOTO, M. 1992. Bananos: cultivo y comercialización. 2 ed. Litografía e Imprenta Lil. San José, Costa Rica.
- THOMAS, D. J. & ATWELL, W. A. 1999. Starches. Handbook Series. Eagan Press, Minnesota.
- TICO LAB. S. A. 1995. Kit enzimático de análisis de glucosa. Hoja descriptiva. Apdo. 360. Tibás, Costa Rica.
- TOMKINSON, R. A. 1986. Studies on the indigestible and fermentable components of dry bean grains. M.Sc. thesis. Michigan State University.
- VÍQUEZ, F. 1995. Utilización de banano en la elaboración de mezclas de jugos, néctares de frutas y concentrado. *Reviteca* 4:23-29.
- VON LOESECKE, H. W. 1950. Bananas. 2 ed. Interscience, New York.
- ZOBEL, H. F. 1964. X-ray analysis of starch granules. *Methods Carbohydr. Chem.* 4:109-113.

RECONOCIMIENTO

Esta investigación fue financiada por el CONICIT a través del préstamo de recuperación contingente N° 90-377-BID (383-RC).

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Lic. Vera García por todo el apoyo recibido en la revisión del manuscrito.