

Extracción y caracterización del almidón de banano verde y de su residuo de pulpa

Flor de María Núñez Rueda

Honduras
Diciembre, 2003

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Extracción y caracterización del almidón de banano verde y de su residuo de pulpa

Trabajo de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por

Flor de María Núñez Rueda

Honduras
Diciembre, 2003

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor

Flor de María Núñez Rueda

Honduras
Diciembre, 2003

Extracción y caracterización del almidón de banano verde y de su residuo de pulpa

presentado por

Flor de María Núñez Rueda

Aprobado:

Gladys Fukuda, M.Sc.
Asesor Principal

Claudia García, Ph.D.
Coordinadora de la Carrera
de Agroindustria

Raúl Espinal, Ph.D.
Asesor

Antonio Flores, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios, mi fuente de fortaleza y dirección.

A mi madre y hermanos, mi tesoro más querido.

A mi abuelita Sabina.

A mi padre, mi apoyo silencioso.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiarme en este camino con su sabiduría, amor y fortaleza.

A mi madre, por brindarme todo amor, dedicación y apoyo, además de ser el ejemplo más grande de fortaleza y perseverancia en mi vida.

A mis hermanos Tania, Jesús, Guille, Yalile y a mi abuelita Sabina, por compartir conmigo sus vidas y su amor.

A mis asesores, la Lic. Gladys Fukuda y el Dr. Raúl Espinal, por brindarme sus oportunos consejos, amistad y compartir conmigo su sabiduría.

A mi asesor en pasantía externa, Dr. Stephen Talcott, y al resto de estudiantes en el laboratorio, por creer en mí y brindarme su amistad.

A Iván e Isabel, por su gran ayuda y por los momentos compartidos en el laboratorio.

A Cynthia Machado, por toda la ayuda brindada desde Purdue.

A toda mi familia, por siempre estar conmigo y ser fuente de consejos.

A los Maier, en especial a Luis Manuel, Manú y Tuca, por abrazarme dentro de su familia y brindarme su cariño.

A Ilisa Lean y Carolina Jakobsen, por esa amistad, sinceridad, apoyo y cariño compartido a través de tantos años.

A los padrinos de la Residencia Washington, Ing. Rogel Castillo y Suyapa de Castillo, por ser mi familia en Zamorano y por todos los consejos brindados.

A mis compañeros de laboratorio, por apoyarme y compartir momentos inolvidables en noches de desvelo.

A mis amigos y colegas de Zamorano: Lorelly Almendarez, Wilson Wong, Byron Jara, Andrea Ontaneda, Mariela Medina, Yamile Martinez, Tamara Recinos, Brenda Inestroza, Vanesa Piedra, Francisco Endara, Adriana Banderas, Fanny Ramos, Marco del Valle, Heidi Cáceres, Santiago Saa, Marvin Martinez y Luis Monroy, por brindarme su amistad sincera y compartir conmigo tantos momentos especiales. Siempre los llevaré conmigo.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

Al Fondo Dotal Hondureño y a la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) por la contribución financiera brindada para la realización de mis estudios en Zamorano.

A la Standard Fruit company, por donarme las muestras de banano, en especial al Ing. Juan Fernandez, Ing. Luis García, Ing. Nelson Luris y al Ing. Roberto Salinas, por todo el apoyo brindado.

Al Centro Whistler para la Investigación en Carbohidratos de la Universidad de Purdue, en especial al Dr. James BeMiller, por los ensayos realizados al almidón.

Al Centro Interdisciplinario para la Investigación en Biotecnología de la Universidad de Florida, en especial al Dr. Gregory Erdos y a Fred Benett, por las microfotografías y la capacitación en el uso del microscopio electrónico de barrido.

A Novozymes México por la donación de las enzimas necesarias para la extracción del almidón de banano.

Agradezco a mi madre por el apoyo financiero brindado durante todo el programa de estudios en Zamorano.

RESUMEN

Núñez, Flor. 2003. Extracción y caracterización del almidón de banano verde y de su residuo de pulpa. Trabajo de graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria. Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.

El cultivo del banano representa para Honduras el segundo rubro de importancia en exportaciones. La Standard Fruit Company, trasnacional más importante, descarta 20% de su producción (39,600 toneladas anuales) como banano no exportable que podría ser industrializado localmente. Este estudio consistió en la extracción y caracterización física, química y funcional del almidón del banano y la evaluación nutricional de su residuo de extracción. Se evaluó la forma y tamaño de los gránulos, el color, composición química, curvas de viscosidad, temperaturas de gelatinización y relación amilosa: amilopectina del almidón; además la claridad, poder de hinchamiento, estabilidad a congelación/descongelación y textura de la pasta de almidón. Los resultados indicaron un rendimiento del 20% de almidón y 87% de tasa de recuperación en la extracción. El almidón presentó una pureza del 97 %. Los gránulos son ovalados, de 14 a 64 μ , color blanco amarillento y de tipo C (0.4:0.6 de amilosa:amilopectina). Su temperatura de gelatinización fue de 69 a 73°C y pico de viscosidad de 3,682 cP en la pasta, que al enfriarse presentó retrogradación. Los análisis de claridad de pasta y de estabilidad indicaron que al enfriarse se opaca y resulta inestable a ciclos de congelación y descongelación, formando un gel que exuda 19% de agua (sinéresis). La pasta a temperatura ambiente fue cremosa y brillante, de color ligeramente café. El residuo de la extracción de almidón resultó altamente calórico (2.81 Mcal/kg), con 9.5% de proteína cruda, 19.4% de fibra cruda y muy digerible para rumiantes. El uso del almidón de banano es limitado en alimentos, por su color e inestabilidad en frío; sin embargo, podría mejorarse evitando el oscurecimiento durante la extracción y aumentando su estabilidad y funcionalidad por modificación química o física.

Palabras clave: almidón, claridad de pasta, gelatinización, gránulos, poder de hinchamiento, relación amilosa:amilopectina, residuo de extracción, retrogradación, sinéresis, viscosidad.

Gladys Fukuda, M.Sc.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatoria.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
	Resumen.....	vii
	Contenido.....	viii
	Índice de Cuadros.....	xi
	Índice de Figuras.....	xii
	Índice de Anexos.....	xiii
1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.1.1	Objetivo general.....	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
2	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	GENERALIDADES DEL BANANO	3
2.1.1	Composición química y valor nutricional del banano	3
2.1.2	Aplicación comercial de la fruta del banano	4
2.1.3	Aplicación de los desechos del cultivo del banano	4
2.2	EL ALMIDÓN	4
2.2.1	Definición de almidón.....	4
2.2.2	Aplicaciones comerciales de los almidones.....	4
2.2.3	Los almidones tropicales.....	5
2.3	MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LOS ALMIDONES	5
2.3.1	Viscosidad de la pasta de almidón	5
2.3.2	Temperaturas de gelatinización	7
2.3.3	Estructura del gránulo (Amilosa: Amilopectina).....	7
2.3.4	Claridad de pasta.....	9
2.3.5	Poder de hinchamiento	9
2.4	ESTUDIOS SOBRE EL ALMIDÓN DE BANANO	9
3	MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1	LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO	11
3.2	MATERIALES Y EQUIPO	11
3.3	MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y FUNCIONAL DEL ALMIDÓN	12

3.3.2	Extracción del almidón de banano verde.....	12
3.3.3	Caracterización física del almidón.....	12
3.3.3.1	Evaluación del tamaño y forma de los gránulos del almidón	12
3.3.3.2	Color	13
3.3.4	Caracterización química del almidón	13
3.3.4.1	Análisis químico proximal	13
3.3.4.2	Contenido de almidón.....	13
3.3.5	Caracterización funcional del almidón.....	13
3.3.5.1	Curvas de viscosidad	13
3.3.5.2	Temperaturas de gelatinización.....	14
3.3.5.3	Estructura cristalina del almidón.....	14
3.3.5.4	Claridad de pasta.....	14
3.3.5.5	Poder de hinchamiento.....	14
3.3.5.6	Estabilidad a congelación y descongelación de pasta.....	15
3.3.5.7	Textura y apariencia de la pasta cocida a temperatura ambiente, refrigerada y congelada.....	15
3.3.6	Caracterización química del residuo de la extracción del almidón.....	15
3.3.6.1	Análisis químico proximal.....	15
3.3.6.2	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la materia orgánica y energía digerible	15
3.4	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	15
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
4.1	RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN	16
4.2	CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL ALMIDÓN.....	16
4.2.1	Evaluación de la forma y tamaño de los gránulos de almidón	16
4.2.2	Color.....	17
4.3	CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN	18
4.3.1	Composición química del almidón de banano.....	18
4.3.2	Contenido de almidón y composición química de la pulpa de banano....	19
4.4	CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL ALMIDÓN.....	20
4.4.1	Curvas de viscosidad.....	20
4.4.2	Temperaturas de gelatinización.....	21
4.4.3	Estructura cristalina del almidón.....	22
4.4.4	Claridad de pasta.....	23
4.4.5	Poder de hinchamiento.....	23
4.4.6	Estabilidad a congelación y descongelación de la pasta.....	24
4.4.7	Textura de la pasta cocida a temperatura ambiente, refrigerada y congelada.....	25
4.5	CARACTERIZACIÓN QUÍMICO-NUTRICIONAL DEL RESIDUO DE LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN.....	25
5	CONCLUSIONES	27
6	RECOMENDACIONES	28

7	BIBLIOGRAFÍA.....	29
8	ANEXOS.....	31

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		
1.	Composición química de la pulpa de banano verde en base fresca.....	3
2.	Rendimientos de extracción y tasa de recuperación de almidón de banano verde.....	16
3.	Promedios de color obtenidos en las muestras de almidón de banano verde....	17
4.	Composición química promedio del almidón de banano verde, en base fresca.	18
5.	Composición química promedio del almidón de banano verde en base seca, comparado con las de otros autores.....	19
6.	Composición química de la pulpa de banano, en base fresca.....	20
7	Características de pasteo de una solución al 10% de almidón.....	21
8.	Propiedades térmicas del almidón de banano verde, en base seca, determinadas por calorimetría diferencial de barrido.....	22
9.	Estabilidad a congelación y descongelación de la pasta de almidón de banano	25
10.	Composición química y valor nutricional del residuo de la extracción del almidón.....	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		
1.	Curva de viscosidad de un gránulo de almidón usando el viscoamilógrafo de Brabender.....	6
2.	Tipos de almidones de acuerdo a su estructura cristalina.....	8
3.	Microfotografías de los gránulos del almidón de banano a): 500X (Barra = 60 μm) y b): 150 X (Barra = 200 μm).....	20
4.	Curvas de viscosidad de pastas al 10% de almidón realizado en la Universidad de Purdue.....	21
5.	Patrón de difracción de rayos X de una solución al 10% de almidón de banano (circulado), comparado con otras fuentes, realizado en Universidad de Purdue	22
6.	Efecto del tiempo de reposo en refrigeración de la pasta de almidón sobre la claridad de la pasta.....	23
7.	Poder de hinchamiento de la pasta de almidón de banano a distintas temperaturas, comparado a los resultados de Lii <i>et al.</i> (1982).....	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos		
1.	Proceso de extracción de almidón de banano verde (Bonilla y Morúa, 2001)....	32
2.	Determinación del contenido de almidón (Tomkinson, 1982).....	35
3.	Características de pasteo de una solución al 10% de almidón de banano.....	37
4.	Propiedades térmicas en base seca del almidón de banano.....	38
5.	Curva de calorimetría de barrido diferencial del almidón de banano.....	39
6.	Patrón de difracción de rayos X de una solución al 10% de almidón de banano	40
7.	Efecto del tiempo de reposo sobre claridad de pasta de almidón de banano.....	41
8.	Poder de hinchamiento de la pasta de almidón de banano a distintas temperaturas.....	42

1. INTRODUCCIÓN

El banano es un cultivo de gran importancia a nivel mundial, constituye una fuente importante de nutrición para más de 400 millones de personas en los países tropicales. Actualmente, su cultivo se encuentra en cuarto lugar después del arroz, maíz y trigo. Su producción representa el 12% del total de frutas cosechadas en el mundo (ANON, 2002).

Para Honduras, el banano ocupa el segundo lugar después del café en los ingresos procedentes de la exportación. El valor de las exportaciones es de \$ 133 millones por año, los cuales representan un volumen de exportación de 18 millones de cajas (40 lb/caja) por año (Banco Central de Honduras, 2002).

La Standard Fruit Company, principal compañía transnacional dedicada a la producción de banano en Honduras, exporta variedades de *Musa cuminata* pertenecientes al subgrupo Cavendish, especialmente las Grand Nain y Giant Cavendish. Las plantaciones no son cultivos genéticamente modificados, debido a políticas estrictas de la compañía en este aspecto.

Los productores de banano independientes y en especial las compañías transnacionales producen grandes cantidades de banano de recuse. El "recuse" es el banano no exportable, que no cumple con los requisitos de exportación ya sea por tamaño, forma, daño u otros. Por lo general este banano de "recuse" se consume a nivel local, se utiliza como abono para el suelo o en la alimentación animal. En las compañías transnacionales del país, esta fruta se regala generalmente a los trabajadores de la zona; sin embargo, las cantidades son bastante grandes. El volumen de "recuse" sólo de la Standard Fruit Company se estima en un promedio del 20%, lo que equivale a un total de 11 toneladas por hectárea por año y totaliza aproximadamente 39,600 toneladas anuales¹.

El banano verde tiene un alto contenido de almidón, por ello puede ser procesado para obtener harina o almidón, como recurso importante en la industria alimentaria y no alimentaria. Además de darle un valor agregado al banano, resultados de este estudio causarían un impacto positivo sobre la rentabilidad del cultivo. A nivel social, la industria dedicada a la extracción de almidón de banano sería una fuente de trabajo para la población aledaña, brindando mayor bienestar social y promoviendo el desarrollo de la región.

¹ Comunicación personal: Ingeniero Juan Fernández. Standard Fruit Company. La Ceiba, Honduras.

Actualmente, existen en el mercado muchos almidones modificados, que se lanzan al mercado para satisfacer las exigencias de una gran gama de productos alimenticios. Sin embargo, una de las desventajas de los almidones modificados es la mala imagen que de ellos tiene el consumidor, al ser considerados como aditivos y deben ser declarados en la etiqueta (Conferencia Internacional Almidón, 1996). Además, la gran mayoría de fuentes de almidones provienen de cultivos que han sido genéticamente modificados.

La tendencia moderna es buscar nuevas alternativas de almidones nativos o almidones tratados física o químicamente, que se encuentren disponibles y en cantidades suficientes para reemplazar los almidones modificados. Actualmente, se están haciendo muchos adelantos en investigación de los almidones tropicales provenientes de la yuca, el taro y el camote, entre otros. La ventaja competitiva que estos almidones tienen frente a los almidones comerciales más dominantes es que éstos, en su mayoría, no provienen de plantas que hayan sido modificadas genéticamente.

En este estudio se propone una alternativa de valor agregado al desecho de banano verde, éste consistió en la extracción y caracterización del almidón nativo de la pulpa y el estudio del valor nutritivo de los residuos de dicha extracción. Con esta información se pretende recomendar la aplicación del almidón en la industria alimentaria y no alimentaria; y del residuo de la extracción del mismo en alimentación animal.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Extraer el almidón de banano verde y caracterizarlo desde el punto de vista físico, químico y funcional.

1.1.2 Objetivos específicos

- Extraer el almidón de banano verde a nivel de laboratorio y evaluar su rendimiento.
- Determinar las características físicas, químicas y funcionales del almidón de banano verde.
- Evaluar la composición química y valor nutricional para rumiantes del residuo de la extracción del almidón.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 GENERALIDADES DEL BANANO

2.1.1 Composición química y valor nutricional del banano

La composición química del banano varía con el tipo de cultivar y el estado de madurez. Uno de los principales carbohidratos que constituye el banano verde es el almidón (Bello *et al.*, 2000); sin embargo cuando la fruta madura y se vuelve amarilla, el almidón se hidroliza y forma glucosa, razón por la cual el banano maduro es más dulce. 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 con otras por medio de sustancias pécticas, polímeros que las rodean proporcionándoles rigidez y textura; por consiguiente, los gránulos de almidón se encuentran rodeados o atrapados por estos polímeros, lo cual dificulta su extracción (Soto, 1992; citado por Bonilla *et al.*, 2001).

El banano está compuesto por una gran cantidad de nutrimentos; contiene una pequeña cantidad de aceite, el cual no sufre cambio alguno durante la maduración. Es una fuente de calcio y hierro, además de ser rico en potasio, sodio, magnesio y fósforo (Cuadro 1). Inclusive la cáscara es una fuente potencial de pectina (ANON, 2002).

Cuadro 1. Composición química de la pulpa de banano verde en base fresca

Nutriente	en 100 g de pulpa
Energía (Calorías)	110.00
Humedad (g)	69.00
Proteína (g)	1.40
Grasa (g)	0.20
Carbohidratos totales (g)	28.70
Fibra (g)	0.70
Ceniza (g)	0.90
Ca (mg)	8.00
P (mg)	17.00
Fe (mg)	0.80
Vitamina A (mcg)	45.00

Ácido ascórbico (mg)	9.00
----------------------	------

Fuente: INCAP (1996), adaptado por el autor.

2.1.2 Aplicación comercial de la fruta del banano

Algunas de las aplicaciones comerciales más populares del banano son: papillas infantiles, tajadas de banano (bocaditos, frituras), banano deshidratado (harina, pasa), almidón y bebidas (jugos, bebidas alcohólicas) (ANON, 2002).

2.1.3 Aplicación de los desechos del cultivo del banano

Las distintas partes de la planta, tanto del banano verde como del maduro, tienen diversos usos como alimento para humanos y ganado, así como en la industria no alimentaria y como fuente de sustancias con propiedades medicinales. Las hojas de la planta de banano se usan para tamales, techos, sombra y fibra; los tallos se usan para alimentación de ganado y como fibra; y la cáscara de banano para compost y fibra (ANON, 2002).

2.2 EL ALMIDÓN

2.2.1 Definición de almidón

El almidón es el segundo carbohidrato más abundante en la naturaleza, solamente superado por la celulosa. Se puede encontrar en hojas verdes, tallos, semillas o frutos (ARANAL, 1999). Las características físicas, químicas, funcionales y nutricionales del almidón lo diferencian del resto de los carbohidratos. Se considera la reserva de alimento predominante en plantas y provee del 70 al 80% de las calorías consumidas por los humanos a nivel mundial; además se considera entre los carbohidratos más digeribles (Whistler y BeMiller, 1997). El hombre ha encontrado muchas aplicaciones para el almidón, extendiendo su diseño original como fuente de energía (Aranal, 1999).

El almidón es único entre los carbohidratos, pues está formado por pequeñas partículas, llamadas gránulos. Las características de los gránulos se diferencian bastante entre sus diferentes fuentes. Los gránulos de almidón son relativamente densos, insolubles y se hidratan ligeramente en agua a temperatura ambiente. Otra característica única de el almidón es que sus gránulos están compuestos de una combinación de dos polímeros de glucosa: amilosa (un polisacárido lineal) y amilopectina (un polisacárido ramificado) (Whistler y BeMiller, 1997).

2.2.2 Aplicaciones comerciales de los almidones

Los almidones comerciales se obtienen de semillas como el maíz, trigo y el arroz; pero también de tubérculos o raíces, en especial la papa, camote y yuca. El almidón es utilizado en productos alimenticios o farmacéuticos para impartir o controlar

características como: textura, consistencia y estabilidad durante el almacenamiento. También puede usarse para aglutinar, desintegrar, expandir o apelmasar, clarificar u opacar, atrapar humedad o repelerla, modificar textura, estabilizar emulsiones. La aplicación de sus usos es enorme, por eso se considera un ingrediente multifuncional en la industria de alimentos (Aranal, 1999).

2.2.3 Los almidones tropicales

Durante muchos años, los almidones tropicales como la yuca, el taro, el ñame y papa han sido una fuente de alimento básico en las regiones cálidas y húmedas; sin embargo, su uso se ha limitado sólo para ese fin. Según un estudio reciente del Servicio de Agroindustria y Gestión Post cosecha, del Departamento de Agricultura de la FAO, los cultivos tropicales no se han beneficiado del tipo de investigación de valor agregado, necesario para que sean competitivos internacionalmente. Por lo tanto, los almidones de maíz, trigo y papa siguen dominando los lucrativos mercados mundiales de almidones para las industrias alimentarias y no alimentarias (Agricultura 21, 1998).

La ventaja de muchos almidones tropicales es que provienen de plantas que no han sido modificadas genéticamente, característica que le daría un alto valor agregado y una ventaja competitiva, pues el mercado tiende a orientarse a productos que no sean transgénicos. En el caso en particular del banano en Honduras, las variedades producidas por la Standard Fruit Company no han sido alteradas genéticamente.

2.3 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DE LOS ALMIDONES

2.3.1 Viscosidad de la pasta de almidón

La viscosidad de la pasta de un almidón es en gran medida la característica más importante de los almidones, pues determina a qué tipo de productos se puede aplicar. La estabilidad de la viscosidad durante su procesamiento es de suma importancia, pues el almidón deberá mantener su viscosidad durante los diferentes tratamientos térmicos o mecánicos que sufre la muestra durante su procesamiento (Conferencia Internacional Almidón, 1996).

Los dos métodos más utilizados para medir la viscosidad en los engrudos o pastas de almidón son el viscoamiloógrafo de Brabender o el **Rapid Viscoanalyzer** (RVA) de Newport Scientific. Estos métodos nos indican la temperatura en que el almidón empieza a ligar agua, que tan estable es la viscosidad en el período de agitación a temperatura constante de 90°C y cómo se comporta el almidón durante el enfriamiento. Un almidón ideal será aquel que una vez alcanzó su máximo de viscosidad, lo mantenga estable durante la agitación y el enfriamiento.

Una desventaja de este método es que el tratamiento mecánico que sufre la pasta de almidón no es representativo de las fuerzas cortantes que tienen lugar en un intercambiador industrial. Por esta razón es necesario complementar la caracterización a nivel de laboratorio con ensayos pilotos o industriales que reflejen más precisamente las condiciones de esfuerzo cortante que sufre la muestra (Conferencia Internacional del Almidón, 1996).

El método de RVA tiene tres etapas: calentamiento, mantenimiento y enfriamiento. En la primera etapa del procedimiento, ocurre un calentamiento hasta cerca de los 95°C, en el cual la viscosidad de la pasta de almidón debe incrementar hasta llegar a su pico de viscosidad. El incremento en viscosidad se debe al hinchamiento de los gránulos de almidón al calentarse. Los puentes de hidrógeno más débiles en el área amorfa se rompen y el gránulo se hincha progresivamente a medida que se hidrata (Aranal, 1999). Luego el gránulo pierde su cristalinidad al gelatinizarse. El pico de viscosidad (Peak) es el punto donde la pasta alcanza su máxima viscosidad.

Durante la etapa de mantenimiento, a una temperatura de 95°C con agitación constante, la pasta empieza a perder su viscosidad. La viscosidad disminuye debido a la ruptura de los gránulos hinchados por la agitación. Al romperse los gránulos, algunas moléculas de amilosa se salen del gránulo y se solubilizan (Figura 1).

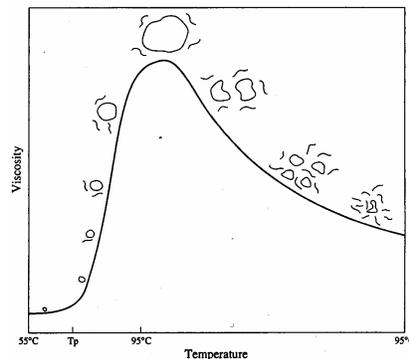


Figura 1. Curva de viscosidad de un gránulo de almidón usando el viscoamilógrafo de Brabender (Whistler y BeMiller, 1997).

Finalmente, en la etapa de enfriamiento (la temperatura baja desde 95 a 50°C), la viscosidad vuelve a aumentar ligeramente. Esto sucede por el fenómeno de retrogradación, que sucede a consecuencia del enfriamiento de la pasta, en la cual las moléculas solubilizadas de amilosa se reagrupan y se precipitan a bajas concentraciones o se gelifican a altas concentraciones. A continuación se definen las características de pasteo que dan como resultados del análisis en el RVA o en viscoamilógrafo de Brabender (Conferencia Internacional del Almidón, 1996).

Definición de características de pasteo:

- “Peak”: Pico máximo de viscosidad alcanzado
- “Trough”: Pico mínimo de viscosidad después de la gelatinización.
- “Breakdown”: Caída. Diferencia en viscosidad entre el “peak” y el “trough”. Demuestra cuánto baja la viscosidad durante la etapa de mantenimiento.
- “Final viscosity”: Viscosidad final, la que se da al final de la etapa de enfriamiento.
- “Setback”: Retrogradación. Diferencia en viscosidad entre el “final viscosity” y el “trough”. Marca el aumento en viscosidad que se da durante la retrogradación.
- “Pasting temperature”: temperatura de pasteo (Whistler y BeMiller, 1997).

2.3.2 Temperaturas de gelatinización

El término *gelatinización* se refiere a la ruptura del orden molecular, dentro de los gránulos de almidón, cuando se calientan en presencia de agua. Las temperaturas de gelatinización se consideran como rangos que cubren las temperaturas entre las cuales se inicia la pérdida de estructura cristalina de los gránulos de almidón y permanece menos de un 10% de ésta. Los gránulos grandes se gelatinizan primero y después los gránulos pequeños. Este rango de temperatura está fuertemente influenciado por las fuerzas aglutinantes del gránulo, lo que varía de acuerdo a la especie. Las fuentes de almidón que tienen alto contenido de amilosa (ej: algunas variedades de maíz) tienen mayor fuerza de enlace que otros tipos debido al alto grado de linealidad en el gránulo, lo que hace que formen geles más fuertes (Aranal, 1999).

La gelatinización del almidón es un proceso de absorción de energía que puede ser examinado por medio de la **calorimetría de barrido diferencial**, o “differential scanning calorimetry” (DSC), que mide la temperatura y la entalpía de gelatinización (Whistler y BeMiller, 1997).

En el DSC, se obtienen los rangos de temperaturas de gelatinización, que se definen entre la temperatura inicial (T_0), la temperatura pico (T_p) y la temperatura final. El calor de gelatinización (ΔH , J/g) se calcula como el área bajo la endoterma obtenida (Da Mota *et al.*, 2000).

2.3.3 Estructura del gránulo (Amilosa: amilopectina)

Como se mencionó anteriormente, los gránulos de almidón están compuestos de una mezcla de dos polímeros: amilosa y amilopectina. La amilosa es esencialmente un polímero lineal, constituido por moléculas de glucosa ligadas por enlaces α (1 \rightarrow 4) y contiene más o menos 1,000 moléculas de glucosa. La amilopectina es en cambio, un polímero ramificado y está presente en todos los almidones conocidos constituyendo el 75% de ellos. Los almidones que están compuestos enteramente de amilopectina se llaman almidones cerosos. La amilopectina tiene de un 5 a 6% de enlaces α (1 \rightarrow 6), y está constituida de alrededor de 100,000 moléculas de glucosa (Conferencia Internacional del Almidón, 1996).

Las partes lineales de los dos polímeros pueden formar hélices con 6 moléculas de glucosa por cada ciclo. Esta propiedad es muy importante para explicar los estados físicos del almidón. En el caso del almidón nativo, las hélices se agregan para formar cristales (Conferencia Internacional del Almidón, 1996). Este arreglo radial y ordenado de moléculas de almidón en un gránulo le da su naturaleza casi cristalina, evidenciado por la cruz de polarización (birrefringencia) vista al utilizar un microscopio polarizado.

Por medio del método de **difracción de rayos X**, utilizando un difractómetro, se pueden definir dos tipos de arreglo cristalino de los almidones. Los almidones de cereales producen un patrón de rayos X tipo A, que es indicativo de hélices dobles paralelas separadas por agua intersficial. En los almidones de tubérculos y raíces, con los patrones B de rayos X, hay una columna de agua que reemplaza las hélices dobles (Whistler y BeMiller, 1997). Los almidones tipo C son una combinación de los tipo A y B. El almidón de yuca es un ejemplo de tipo C. La Figura 2 muestra las diferencias estructurales entre los dos tipos de arreglos cristalinos.

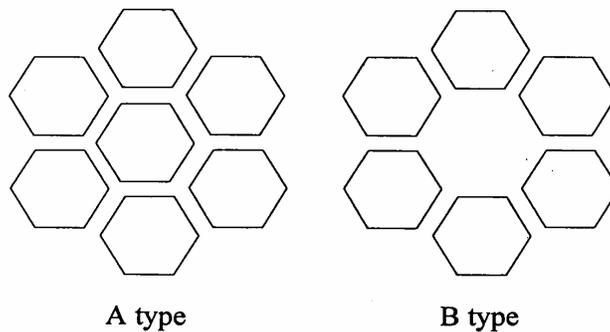


Figura 2. Tipos de almidones de acuerdo a su estructura cristalina (Whistler y BeMiller, 1997).

En la difracción de rayos X se definen los tipos de arreglos cristalinos según la posición de los picos de difracción.

- El tipo A tiene mayores picos de intensidad para los ángulos (2θ) a 15,17,18 y 23°.
- El tipo B tiene mayores picos de intensidad para los ángulos (2θ) a 5.6, 15, 17, 22 y 24°.
- El tipo C es una mezcla de los dos espectros precedentes (Conferencia Internacional del Almidón, 1996).

Se puede calcular la cristalinidad a partir del área de los picos de difracción. La interpretación de los espectros de difracción de rayos X permite calcular la estructura molecular de los dos tipos cristalinos.

2.3.4 Claridad de pasta

Después de la viscosidad, la cualidad estética más importante de las pastas y geles de almidón es su apariencia visual que se considera por su claridad, transparencia u opacidad. Por ejemplo, en casos en que el almidón es usado como agente espesante en salsas y aderezos, la opacidad es deseable ya que resalta el color brillante de los productos. Pero en otros casos una máxima transparencia es deseable. En general, la claridad de las pastas y geles está relacionada con el estado de dispersión de los solutos y la tendencia a retrogradar del almidón. Esta propiedad se mide por la capacidad que tengan las pastas o geles de almidón para transmitir la luz cuando son sometidos al paso de un haz radiante (CYTED, 2000).

2.3.5 Poder de hinchamiento

La pérdida de la estructura cristalina produce un hinchamiento del gránulo, una solubilización parcial de los polímeros e inducen la aparición de las propiedades viscoelásticas. Estos cambios se dan después de la gelatinización, en un gran intervalo de temperatura (Conferencia Internacional del Almidón, 1996).

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría. Sin embargo, la abundancia de grupos hidroxilo en su molécula hace que éste absorba agua cuando se expone a ella. Debido a la insolubilidad de los gránulos, sólo pueden absorber una cantidad relativamente baja de agua que va acompañada de un determinado hinchamiento en su tamaño, que hasta cierto punto puede ser reversible. Cuando una suspensión acuosa de almidón se calienta, los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen y los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua durante el proceso de gelatinización. En estas condiciones se favorece el hinchamiento tangencial de los gránulos (CYTED, 2000).

2.4 ESTUDIOS SOBRE EL ALMIDÓN DE BANANO

Anteriormente se han hecho estudios sobre la extracción y caracterización del almidón de banano, tanto del nativo como del modificado químicamente. En el Instituto Tecnológico de Veracruz, Unidad de Investigación y Desarrollo de Alimentos, se estudió el almidón nativo del banano. El objetivo de este estudio fue caracterizar algunas propiedades físico-químicas del almidón y el efecto del tratamiento físico y modificaciones químicas sobre tales propiedades. Se utilizó banano verde sin madurar (*Musa valeria* de 90 días de floración) y se encontró que las modificaciones químicas y físicas le dieron a la pasta mayor claridad y estabilidad al congelamiento y descongelamiento. Se concluyó que el almidón de banano es una excelente fuente no convencional de almidón para la industria de alimentos (Waliszewski *et al.*, 2002).

En el Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos de Costa Rica, Bonilla y Morúa (2001) extrajeron y caracterizaron el almidón de banano verde utilizando una

pectinasa y estudiaron el efecto de ciertas variables para optimizar la extracción del mismo. Estas variables fueron concentración de enzima pectinolítica a usar, adición o no de bisulfito de sodio, pH, temperatura y tiempo de hidrólisis enzimática. Se utilizó banano (*Musa cavendish*) cosechado 14 semanas a partir de la inflorescencia. Las mejores condiciones para la extracción fueron: tratamiento de la pulpa del banano verde con una enzima pectinolítica (1000 ppm), previa adición de una solución de bisulfito de sodio (0.05%), pH 6.0, temperatura de 25°C y tiempo de hidrólisis de 1 hora.

En esta investigación se concluyó que los resultados de la caracterización del almidón del 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. Se menciona la importancia de llevar a cabo estudios sobre la modificación del almidón de banano y evaluar su uso en productos industriales.

Otra manera de estudiar el almidón de banano es a partir de la harina. En la Universidad de Sao Paulo (Brasil), se efectuó un estudio sobre la harina de banano de distintos cultivares. La harina de banano se obtuvo de la homogenización de la pulpa de banano verde, con una solución extractora buffer que contenía 1% de ácido ascórbico y 0.185% de EDTA. El homogenizado de la pulpa y los reactivos fueron congelados y liofilizados y se analizó su composición química, viscosidad, temperatura de gelatinización y forma de los gránulos (Cordenunsi *et al.*, 1999).

La harina de banano resultó además rica en gránulos de almidón que mostraron propiedades similares a las del almidón aislado. El pico de gelatinización y la composición química varió de acuerdo al cultivar. Además, todas ellas mostraron un incremento en la viscosidad durante el enfriamiento. Considerando que la producción de harina es más fácil que el aislamiento del almidón, utilizar este método sería más práctico.

En México, Bello *et al.* (1999) compararon dos variedades de banano, al extraerles el almidón y caracterizarlo. Se efectuaron análisis químicos, físicos y funcionales. Algunas pruebas realizadas fueron claridad de pasta, efecto de la congelación/descongelación, capacidad de retención de agua, análisis químicos y viscosidad aparente. En la prueba de descongelación y congelación se concluyó que el almidón nativo de banano tiene una pobre estabilidad a estos ciclos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El desarrollo del estudio se llevó a cabo en el Centro de Evaluación de Alimentos de la Escuela Agrícola Panamericana, departamento de Francisco Morazán, Honduras. Parte de la caracterización se llevó a cabo en el Centro Whistler de Investigación en Carbohidratos (Universidad de Purdue) y en el Centro Interdisciplinario de Investigación en Biotecnología (Universidad de Florida).

3.2 MATERIALES Y EQUIPO

3.1 Los materiales y equipos utilizados en el estudio para cada etapa del proceso se detallan a continuación.

Materiales utilizados para el proceso de extracción:

- 8 kg de banano verde variedad Enano Ecuatoriano, provisto por la Standard Fruit Company (La Ceiba, Honduras). Dos envíos: diciembre 2002 (105 días de edad) y mayo 2003 (81 días de edad).
- Enzima Amylase AG 300 L (Novozymes, México).
- Enzima Pectinex Ultra SP-L (Novozymes, México).
- Bisulfito de sodio.
- Agua desionizada.

Materiales utilizados en análisis químicos:

- Soluciones de NaOH (1N) y ácido acético (1N).
- Reactivo alcalino.
- Reactivo de Nelson.
- Agua desionizada.
- Bolsas plásticas.
- Reactivos para Análisis Químico Proximal y Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica (DIVMO).

Equipos utilizados

- Balanza.
- Tamiz (100 mesh).
- Procesador de alimentos.
- Centrífuga.

- Potenciómetro.
- Hornos (60 y 105°C).
- Colorflex (Hunterlab).
- Espectrofotómetro (Spectronic 20).

3.3 MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN FÍSICA, QUÍMICA Y FUNCIONAL DEL ALMIDÓN

3.3.1 Preparación de la muestra

Los bananos utilizados se lavaron y luego se pelaron manualmente con un cuchillo, retirando por completo cualquier residuo de la cáscara. Se cortaron en trozos de aproximadamente 2 cm de grosor.

3.3.2 Extracción del almidón de banano verde

La extracción de almidón se hizo en dos lotes, uno en diciembre del 2002 y el otro en mayo del 2003. En cada lote se procesaron 3 repeticiones de banano. El lote de banano enviado en diciembre tenía una edad de 105 días a partir de la floración, mientras que el lote enviado en mayo tenía una edad de 80 días desde la floración. En diciembre se procesó 1 kg por cada lote, mientras que en mayo se procesó 0.5 kg por cada lote. Cabe destacar que los bananos fueron procesados al momento de ser recibidos para evitar la maduración de la fruta.

Se utilizó el método descrito por Bonilla y Morúa (2001) y que se detalla en el Anexo 1. El método de extracción de almidón lleva una hidrólisis enzimática de pectinas para facilitar la separación y una vez purificado se seca a 60°C por 24 horas.

Rendimiento de extracción y tasa de recuperación de almidón. Se hicieron los cálculos de rendimiento (g almidón extraído/100 g pulpa fresca) y tasa de recuperación de almidón (peso de almidón extraído de 1 kg de pulpa/ 200 g de almidón que teóricamente tiene 1 kg x 100), haciendo balances de materia para cada lote de extracción.

3.3.3 Caracterización física del almidón

3.3.3.1 Evaluación del tamaño y forma de los gránulos del almidón. Se tomaron microfotografías usando el microscopio electrónico de barrido (Hitachi S-4000 FE-SEM) de la Universidad de Florida, con aumentos de 100, 200 y 500X, con las que se estimó el rango de tamaños de los gránulos (mediciones en el diámetro mayor de cada gránulo) y se caracterizó sus formas.

3.3.3.2 Color. Se utilizó el Colorflex (Hunterlab) para determinar por duplicados el color del almidón extraído en cada lote.

3.3.4 Caracterización química del almidón

3.3.4.1 Análisis químico proximal. Se siguieron los procedimientos según la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1997).

3.3.4.2 Contenido de almidón. La determinación del contenido de almidón se hizo con la técnica de Tomkinson (1986) en la muestra homogenizada de pulpa de banano verde. En este método se hidroliza el almidón hasta glucosa utilizando una enzima (amiloglucosidasa) por un tiempo de 24 h. El procedimiento de determinación del contenido de almidón según Tomkinson (1986) y adaptado por el autor se detalla en el Anexo 2.

3.3.5 Caracterización funcional del almidón

Los ensayos de curvas de viscosidad, temperaturas de gelatinización y la relación de amilosa y amilopectina fueron realizados en la Universidad de Purdue. Se enviaron tres muestras de almidón que corresponden a las tres réplicas del lote de diciembre del 2002. Los análisis fueron corridos por duplicado para cada muestra enviada.

Los estudios de claridad de pasta, estabilidad a congelación/descongelación, poder de hinchamiento y caracterización química del almidón y la pulpa de banano se efectuaron en el Centro de Evaluación de Alimentos. Las muestras fueron de los 2 lotes de almidón extraído (3 muestras de cada envío en dic. 2002 y mayo 2003). Los análisis se hicieron por duplicado para cada muestra

3.3.5.1 Curvas de viscosidad. Para estudiar el comportamiento de la viscosidad de las soluciones de almidón de banano durante la cocción, se utilizó como equipo un Rapid Viscoanalyzer (RVA, modelo 4, Newport Scientific Pty. Ltd, Australia) en la Universidad de Purdue.

Se pesaron 2.8 g de almidón y se mezclaron con 25.2 g de agua para dar una dispersión de 10% (base seca) de sólidos totales de almidón. El RVA fue programado para tener tres periodos de temperatura: calentamiento, mantenimiento y enfriado. Durante el periodo de calentamiento, la temperatura se incrementó desde 50 hasta 95°C hasta el minuto 4:45. Durante el periodo de mantenimiento, la temperatura se mantuvo en 95°C por 2 minutos y 30 segundos. En el periodo de enfriamiento, las temperaturas se disminuyeron desde 95 hasta 50°C en 3:45 minutos. Al principio del periodo de calentamiento, la dispersión se homogenizó con alta cizalla (960 rpm), luego se hizo constante (160 rpm) durante todo el programa de temperaturas. Los datos fueron

recolectados y analizados utilizando el programa de cómputo Thermocline ®, el cual graficó las curvas de viscosidad.

3.3.5.2 Temperaturas de gelatinización. Las propiedades térmicas de las muestras del almidón de banano fueron analizadas con el equipo de calorimetría de barrido diferencial, Analyzer 2920 Modulated DSC (TA Instrument, New Castle, DE) de la Universidad de Purdue, equipado con una estación de análisis de datos. Para preparar la muestra se utilizó una proporción 1:2 de almidón y agua, respectivamente.

Se pesaron 4 mg de almidón (base seca) en un platillo de aluminio del DSC, al cual se le agregaron 8 µl de agua desionizada. Después de sellar el platillo, el almidón fue gelatinizado. Todas las pruebas fueron calentadas a una tasa de 10°C por minuto desde 30 hasta 110°C. Los parámetros de DSC para estos experimentos fueron: temperatura de inicio (To), temperatura pico (Tp) y cambio en entalpía (ΔH (J/g)).

3.3.5.3 Estructura cristalina del almidón. Se determinó el tipo de almidón por medio de difracción de rayos X. Los datos sobre intensidad fueron recolectados a temperatura ambiente en un difractómetro Philips PW3710 con una amplitud de 0.01° en cada punto, en el rango 2θ de 10 - 35°. El tiempo invertido en cada punto fue de tres segundos. El programa PC-APD (versión 3.6) fue utilizado para analizar los datos. Los perfiles de cada muestra fueron suavizados antes del análisis. Los parámetros con los cuales se hicieron las gráficas de los datos fueron intensidad y ángulo (10 - 35°). Las gráficas de las muestras se compararon con las de otros tipos de almidones.

3.3.5.4 Claridad de pasta. Se prepararon suspensiones de 1% de almidón, al mezclar 50 mg de muestra con 5 ml de agua en tubos de ensayo con tapa rosca. Los tubos fueron colocados en un baño de agua hirviendo por 30 minutos, agitándolos vigorosamente cada 5 minutos. Después de enfriar las muestras a temperatura ambiente (25°C) por 20 minutos, éstas fueron transferidas a tubos de espectrofotómetro y luego refrigeradas a 2°C por 72 horas. Posteriormente se diluyeron las muestras hasta 0.1% de almidón (modificación del procedimiento). Se leyó el porcentaje de transmitancia a 650 nm, usando agua como blanco, cada 24 horas en un espectrofotómetro (Waliszewski *et al.*, 2002).

3.3.5.5 Poder de hinchamiento. Se prepararon suspensiones de almidón al 1%, al mezclar 1 g de muestra con 100 ml de agua en beakers. Las suspensiones fueron calentadas a 50, 60, 70, 80 y 90°C, respectivamente y por 30 min, mezclándolas cada 5 min. Posteriormente, fueron centrifugadas a 3000 rpm por 15 min, descartando el sobrenadante y pesando el residuo sólido. El residuo sólido se secó a 130°C por 2 h y se determinó el contenido de agua por diferencia de pesos (Waliszewski *et al.*, 2002).

3.3.5.6 Estabilidad a congelación y descongelación de pasta. Suspensiones de 25 ml de almidón al 5% fueron calentadas rápidamente con agitación a 73°C (temperatura de gelatinización) y gelatinizadas por 10 minutos. Los geles fueron transferidos a tubos de centrifuga y enfriados a temperatura ambiente por 30 minutos. Luego fueron sometidos a congelamiento a -18°C por 18 horas, luego descongelados a temperatura ambiente (25°C) por 6 horas. El agua exudada fue determinada gravimétricamente agitando los geles en vortex por 15 segundos y luego centrifugándolos a 3,000 rpm por 10 minutos (Bello *et al.*, 1999). El peso de agua separada después del ciclo de congelación-descongelación fue medido y expresado como el porcentaje de agua separada del gel (Waliszewski *et al.*, 2002).

3.3.5.7 Textura y apariencia de la pasta cocida a temperatura ambiente, refrigerada y congelada. Este procedimiento se hizo durante el estudio de estabilidad a congelación y descongelación, después de la gelatinización de las suspensiones. Se determinó la textura físicamente, con las yemas de los dedos; la apariencia de las pastas cocidas, enfriadas a distintas temperaturas (ambiente, refrigeración y congelación), se determinó visualmente.

3.3.6 Caracterización química del residuo de la extracción del almidón

El objetivo de estos análisis fue determinar la composición química y valor nutricional del residuo para así recomendar su uso en animales. Una vez separado el almidón, se secó el residuo del proceso de extracción, para ser sometido a los siguientes análisis:

3.3.6.1 Análisis químico proximal Con el fin de evaluar su potencial como alimento para animales, se determinaron los componentes nutricionales del residuo fibroso de la extracción del almidón (AOAC, 1997).

3.3.6.2 Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica y energía digerible. Esta información revela el valor nutritivo de este residuo para rumiantes, y se utilizó el método de Menke *et al.* (1982).

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un diseño completamente al azar. Los tratamientos o lotes fueron las dos fechas de extracción: diciembre del 2002 y mayo del 2003 con tres réplicas por lote. Se realizó un análisis estadístico univariado para determinar si los datos tienen una distribución normal. Se hizo un Análisis de Varianza para determinar diferencias significativas entre ambas extracciones a través de una separación de medias Student-Newman-Keuls (SNK) al 5% utilizando el programa Sistemas de Análisis Estadísticos (SAS®).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RENDIMIENTO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

Los rendimientos de extracción de almidón de banano y la tasa de recuperación de almidón para ambas extracciones se muestran en el Cuadro 2. Estos son valores intermedios de rendimiento si se comparan con los de Bello *et al.* (1999), que reportaron rendimientos de 43.8% y 11.8% para dos variedades de banano; según los autores, las diferencias en rendimiento se deben al grado de madurez, donde la textura de la pulpa juega un papel importante.

Cuadro 2. Rendimientos de extracción y tasa de recuperación de almidón¹ de banano verde.

Lote	Rendimiento (%)	Tasa de recuperación (%)
Dic. 2002	19 ^a	85 ^a
Mayo 2003	20 ^a	88 ^a

¹ Promedios con letras iguales ($P>0.05$) en la misma columna indican que no hay diferencias significativas ($n = 3$).

En la extracción del lote de mayo hubo un 88% de recuperación del almidón de banano; comparado al 85% en diciembre; esto se debe a que se contaba con más experiencia y se pudo realizar un mejor proceso en la segunda extracción. En ésta el lavado del residuo fue más eficiente; pues se terminó hasta que el agua que pasara a través del tamiz fuera transparente, lo que resultó en un residuo con menos almidón residual y un mayor rendimiento. Sin embargo, a pesar de la mejora en el proceso, los resultados muestran que no hubo diferencias significativas, en rendimiento ni en recuperación entre los lotes.

4.2 CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL ALMIDÓN

4.2.1 Evaluación de la forma y tamaño de los gránulos de almidón

Al evaluar tres aumentos (150, 200 y 500X) en las microfotografías tomadas, se pudo observar que los gránulos de almidón presentan formas irregulares de óvalos alargados. Se han reportado formas similares por otros autores (Lii *et al.*, 1982; Bello *et al.*, 2000; Bonilla y Morúa, 2001). El rango de tamaño de los gránulos varió desde 14 hasta 64 μ ,

siendo el tamaño promedio 33μ . Lii *et al.* (1982) reportaron un rango de tamaño de 6 hasta 80μ , con la mayoría entre 20μ y 60μ ; mientras que Bonilla y Morúa (2001) encontraron un rango menor, desde 10 hasta 23.3μ .

El almidón de banano tiene gránulos grandes, comparables a los de los almidones de raíces y tubérculos, que son más grandes que los almidones de semillas o cereales (Whistler y BeMiller, 1997). Algunos gránulos de papa pueden medir hasta 100μ en su eje mayor. El tamaño promedio de un gránulo de almidón de maíz es de 15μ (Bonilla y Morúa, 2001). Las Figuras 3a y 3b muestran las microfotografías tomadas de los gránulos del almidón de banano de diciembre 2002.

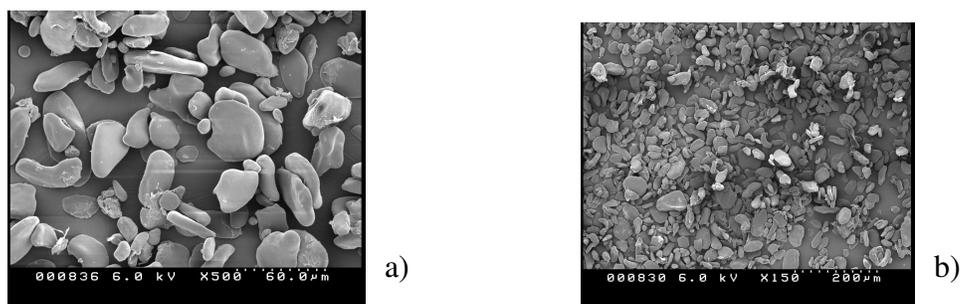


Figura 3. Microfotografías de los gránulos del almidón de banano. a): 500X (Barra = 60μ) y b): 150 X (Barra = 200μ).

4.2.2 Color

La escala de valores presentada por el instrumento Colorflex sigue un modelo que utiliza el valor L^* para indicar luminosidad y dos valores a^* y b^* , que indican color. Las coordenadas definen la ubicación del color en el plano Cartesiano. El valor a^* define el eje rojo-verde; si el valor es positivo tiende a rojo y si es negativo a verde. El valor b^* define el eje de azul-amarillo; si el valor es positivo tiende a amarillo y si es negativo tiende a azul. El valor L^* le adiciona la tercera dimensión al plano cartesiano. El Cuadro 3 muestra los resultados promedio obtenidos en los análisis de color.

Cuadro 3. Promedios¹ de color obtenidos en las muestras de almidón de banano verde

Lote	Escala CIE ²		
	L^*	a^*	b^*
Dic. 2002	$80.16^a \pm 0.58$	$4.25^a \pm 0.10$	$11.72^a \pm 0.10$
Mayo 2003	$82.90^b \pm 0.51$	$2.04^b \pm 0.26$	$9.72^b \pm 0.22$

¹ Promedios con letras diferentes ($P < 0.05$) en la misma columna indican diferencias significativas ($n = 3$).

² CIE = Comisión Internationale d' Eclariage

El almidón de banano presentó un color blanco con tono amarillento. Se obtuvo un valor más alto en L, comparado al reportado por Waliszewski *et al.* (2002), que reportaron 73.60, debido a una mayor oscuridad y color amarillento. Bello *et al.* (1999) reportaron diferencias en oscuridad del polvo entre dos variedades de banano. En el presente estudio se notaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la oscuridad del almidón. En la extracción de mayo, a simple vista el color del almidón era mucho más claro que en el de diciembre.

Posibles explicaciones de este oscurecimiento en color son la oxidación inmediata de polifenoles y la presencia residual de impurezas durante el procesamiento de la pulpa. De ahí la importancia del uso de bisulfito de sodio u otros antioxidantes para evitar el oscurecimiento. Cabe destacar que la preparación de la pulpa de banano en mayo 2003 se hizo de manera más rápida y con mayor cuidado, que en el lote de diciembre 2002. Los trozos de banano se sumergieron de manera más inmediata a la solución de bisulfito de sodio durante el proceso, resultando en un menor oscurecimiento de la pulpa. Además, se efectuó una mejor eliminación de impurezas durante el decantado del almidón.

4.3 CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN

4.3.1 Composición química del almidón de banano

En el Cuadro 4 se muestran los resultados del análisis químico proximal, realizados a las los dos lotes del almidón. Se promediaron los resultados de las tres réplicas para cada lote, de diciembre y de mayo.

Cuadro 4. Composición química promedio¹ del almidón de banano verde, en base fresca.

Componente (%)	Lote	
	Dic. 2002	Mayo 2003
Humedad	8.50 ^a ± 0.27	11.27 ^b ± 0.27
Ceniza	0.13 ^a ± 0.02	0.11 ^a ± 0.06
Proteína cruda	1.41 ^a ± 0.20	1.27 ^a ± 0.18
Extracto etéreo	0.41 ^a ± 0.04	0.25 ^b ± 0.01
Fibra cruda	0.18 ^a ± 0.04	0.25 ^b ± 0.03
Extracto libre de nitrógeno	89.37 ^a ± 0.52	86.85 ^b ± 0.15

¹ Promedios con letras diferentes ($P < 0.05$) en la misma fila indican diferencias significativas ($n = 3$).

Hubo diferencias significativas entre el lote de diciembre 2002 y el de mayo 2003 para el contenido de humedad, grasa, fibra y extracto libre de nitrógeno (ELN). Esto se debe, en mayor parte, a diferencias en el tratamiento de las muestras durante la extracción. Como se mencionó anteriormente, hubo una mejora en el proceso de extracción en mayo. El tiempo y temperatura del secado también juegan un papel importante para las diferencias en humedad, lo que puede repercutir en el contenido de los demás componentes. Bello *et al.* (1999) reportaron una humedad de 12.9%, similar al almidón de mayo 2003. Hay un efecto de la humedad ambiental sobre las harinas, en este caso el lote de diciembre es más seco probablemente porque hubo una humedad relativa más baja en el ambiente.

El ELN es el componente mayoritario del almidón de banano (más del 86%) porque representa en este caso a los almidones. Al expresar los resultados de composición química en base seca se obtiene el Cuadro 5, en donde se observa que los valores hallados para ELN son parecidos a los de otros autores. En general, el almidón extraído en el presente estudio es de alta pureza; tiene menor concentración de minerales, proteína y grasa que los de Bello *et al.* (1999); pero mayor que el de Lii *et al.* (1982).

Cuadro 5. Composición química promedio¹ del almidón de banano verde en base seca, comparado con las de otros autores.

Lote	Componente (%)				
	Ceniza	Proteína	Grasa	Fibra	ELN ²
Presente estudio:					
Dic. 2002	0.14 ^a	1.54 ^a	0.45 ^a	0.20 ^a	97.66 ^a
Mayo 2003	0.08 ^b	1.43 ^b	0.28 ^b	0.28 ^b	97.92 ^a
Otros autores:					
Bello, <i>et al.</i> , 1999	0.43	1.95	2.3	----	98.1
Lii <i>et al.</i> , 1982	0.06	0.09	0.11	----	----

¹ Promedios con letras diferentes (P<0.05) en la misma columna indican diferencias significativas (n = 3).

² ELN = Extracto libre de nitrógeno

4.3.2 Contenido de almidón y composición química de la pulpa de banano

En el Cuadro 6 se muestra la composición química en base fresca de la pulpa del banano procesado en mayo. Este banano verde (*Musa cuminata*, var. Enano ecuatoriano) de aproximadamente 11 semanas de edad presentó una humedad promedio de 68.19%, en comparación con Bonilla y Morúa (2001), quienes reportaron una humedad de 71.58%. Además, presentó en promedio un 20% de almidón; Bonilla y Morúa (2001) reportaron un contenido de almidón de 22% para banano *Musa cavendish* de 14 semanas.

Cuadro 6. Composición química de la pulpa de banano, en base fresca.

Componente (%)	Presente estudio	INCAP (1996)
Humedad	68.2	69.0
Cenizas	1.12	0.70
Proteína cruda	1.35	1.40
Extracto etéreo	0.11	0.20
Fibra cruda	0.26	
Extracto libre de nitrógeno (ELN)	24.85	28.70 ¹

¹ Carbohidratos totales = Fibra cruda + ELN

Fuente: INCAP (1996).

La composición química de la pulpa de banano en base fresca presenta valores similares a los reportados por el INCAP (1996) y Lii *et al.* (1982). El valor de 28.7% del INCAP se refiere a la suma de fibra cruda y extracto libre de nitrógeno, que representan los carbohidratos totales. La composición química de la pulpa de banano, sobre todo el contenido de almidón y de azúcares, están fuertemente relacionadas con su grado de madurez.

A medida que el banano va madurando, su contenido de almidón disminuye y se convierte a otro tipo de azúcares solubles, como la glucosa (Prabha *et al.*, 1998). Lii *et al.* (1982) hicieron un estudio sobre la composición química del almidón de banano con diferentes grados de madurez, en donde reportan un descenso del contenido de almidón y un incremento en azúcares reductores y sucrosa a medida que la fruta madura; el resto de los componentes se mantienen. Por esta razón se extrae el almidón del banano verde recién cosechado, pues tiene mayor cantidad de almidón.

4.4 CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL DEL ALMIDÓN

4.4.1 Curvas de viscosidad

En el Cuadro 7 se resumen los resultados de las características de pasteo de las curvas de viscosidad del RVA realizadas en la Universidad de Purdue. La pasta presentó una temperatura de pasteo a los 65°C. Los gránulos se hinchan muy rápidamente entre los 3 a 4 minutos de calentamiento y llegan a su máxima viscosidad alrededor de 3,868 cP. En la etapa de agitación a temperatura constante, los gránulos se revientan y la viscosidad disminuye a 2,602 cP. Con el enfriamiento, la pasta recupera viscosidad llegando hasta 3,284 cP. Los resultados completos de las características de pasteo se muestran en el Anexo 3.

Cuadro 7. Características de pasteo de una solución al 10% de almidón.

Lote	Peak	Trough	Breakdown	Final viscosity	Setback	Peak time	Pasting Temperature (°C)
Dic. 2003	3862	2602	1260	3284	682	4.7	65

Realizado en: Purdue University.

n = 3

El comportamiento en viscosidad de las pastas se muestra en la Figura 4, donde se observa que los seis ensayos correspondientes a las tres replicas por duplicado son muy consistentes.

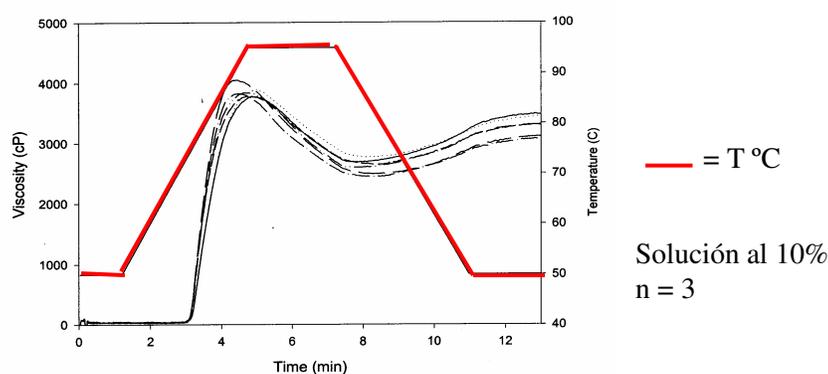


Figura 4. Curvas de viscosidad de pastas al 10% de almidón realizado en la Universidad de Purdue

4.4.2 Temperaturas de gelatinización

Según los resultados de la calorimetría diferencial de barrido (DSC) que se observan en el Cuadro 8, las propiedades térmicas de los lotes de almidón de diciembre analizados muestran que la temperatura inicial (T_0) fue de 69.1 °C, la temperatura pico (T_p) fue de 73.2 °C y existió un cambio en entalpía (ΔH) de 18.9 J/g (Anexo 4). En el Anexo 5 se muestra la curva de calorimetría de barrido diferencial para el almidón de banano verde.

Los autores han encontrado variaciones en cuanto al rango de temperaturas de gelatinización del almidón de banano, las cuales oscilan entre 64-73 °C para T_0 y 69-77 °C para T_p (Da Mota *et al.*, 2000; Bello *et al.*, 2000; Bonilla *et al.*, 2001; Waliszewski, *et al.*, 2002). En cuanto a valores de entalpía también existen variaciones: Bonilla *et al.* (2001) reportaron cambios de entalpía de 23 J/g, Waliszewski *et al.* (2002) de 5 J/g y Bello *et al.* (2001) de 13 J/g y 14.8 J/g para dos variedades de banano. Según otros autores, variaciones en los valores de propiedades térmicas del almidón de banano

pueden deberse a diferencias en variedad, grado de maduración o procedimiento de extracción.

Las temperaturas de gelatinización obtenidas en este estudio fueron cercanas a las del maíz (62 -72°C), y un poco mayores que las de los almidones de trigo (57- 64°C) y papa (59 -68°C). El cambio de entalpía es mayor que el reportado para los almidones de maíz (12 J/g), trigo (12 J/g) y papa (20 J/g) (Bonilla *et al.*, 2001).

Cuadro 8. Propiedades térmicas del almidón de banano verde, en base seca, determinadas por calorimetría diferencial de barrido.

Lote	T° de gelatinización		ΔH (J/g) ³
	Ti (°C) ¹	Tp (°C) ²	
Dic. 2003	69.1	73.2	18.9
Otros estudios:			
Bonilla <i>et al.</i> (2001)	73.2	76.5	23
Waliszewski <i>et al.</i> (2002)	69.5	74.6	5.2

Realizado en: Universidad de Purdue.

¹ To = Temperatura de inicio

² Tp = Temperatura pico

³ ΔH = Cambio en entalpía

4.4.3 Estructura cristalina del almidón

Cuando se irradia un cristal con rayos X, éstos se separan produciendo un patrón de su estructura cristalina. De acuerdo a la evaluación hecha por difracción de rayos X, la estructura del almidón de banano resultó ser un almidón tipo C. Bonilla *et al.* (2001) y Waliszweski *et al.* (2002) han señalado igualmente patrones tipo C; mientras que otros autores, lo han reportado como tipo A o tipo B (Bello *et al.*, 2000; Lii *et al.*, 1982). Los resultados de este estudio indican que el almidón de banano tiene una combinación de 40% de A y 60% de B, como se observa en la Figura 5, en donde el resultado se compara con resultados de almidones de otras fuentes. En el Anexo 6 se puede ver el patrón individual de una de las replicas de las muestras.

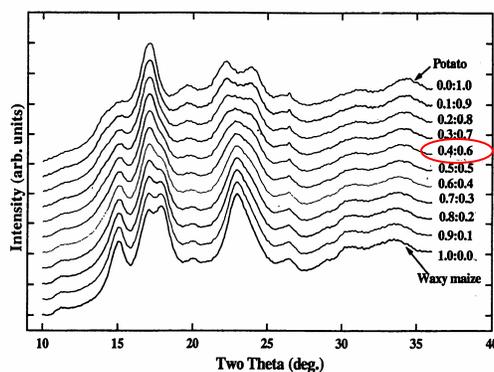


Figura 5. Patrón de difracción de rayos X de una solución al 10% de almidón de banano (encerrado en círculo), comparado con otras fuentes, realizado en la U. de Purdue.

4.4.4 Claridad de pasta

La Figura 6 muestra los resultados de claridad de pasta de las muestras de ambas extracciones. Se utilizó una solución de 0.1% almidón, a diferencia de otros autores (Bello *et al.*, 1999; Waliszewski *et al.*, 2002) que utilizaron soluciones de 1%. El procedimiento fue el mismo, sin embargo las lecturas en el espectrofotómetro a 650 nm no se podían hacer porque las pastas estaban muy concentradas.

Los resultados indican que a medida que transcurre el tiempo la claridad de la pasta disminuye, lo que concuerda con el patrón de disminución reportado por Waliszewski *et al.* (2002). Esto nos señala que la pasta sufre retrogradación por bajas temperaturas, volviéndose más opaca a medida que pasa el tiempo. No hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre ambos lotes, a excepción del control (hora 0). Sin embargo, hubo diferencias significativas entre los distintos tiempos ($P < 0.05$), a excepción de las 24 y 48 horas, que se mostraron iguales. Los resultados en detalle se muestran en el Anexo 7.

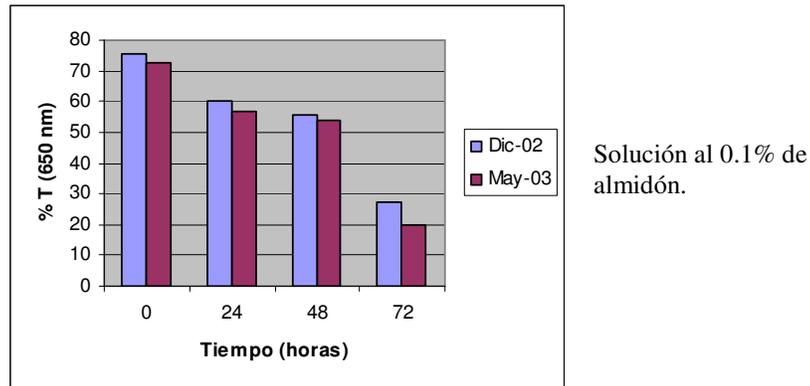


Figura 6. Efecto del tiempo de reposo en refrigeración de la pasta de almidón sobre la claridad de la pasta.

4.4.5 Poder de hinchamiento

El poder de hinchamiento indica cuánta agua puede absorber el almidón en función de la temperatura; esto se midió a intervalos de calentamiento de 10°C, desde 50 a 90°C. La Figura 7 muestra el poder de hinchamiento del almidón, medido como la cantidad de agua absorbida por 1 g de almidón a diferentes temperaturas. Los resultados indican que el almidón de banana tiene bajo poder de hinchamiento a menos de 65°C, coincidiendo con Lii *et al.* (1981) y Waliszewski *et al.* (2002). Se observa un incremento en la absorción de agua por el almidón a medida que la temperatura incrementa, pero el mayor incremento se empieza a dar alrededor de la temperatura inicial de gelatinización (69°C) del almidón. No hubo diferencias significativas entre los lotes (Anexo 8); sin embargo hubo diferencias significativas entre las distintas temperaturas ($P < 0.05$), a excepción de las temperaturas de 50 y 60°C, que se mostraron iguales.

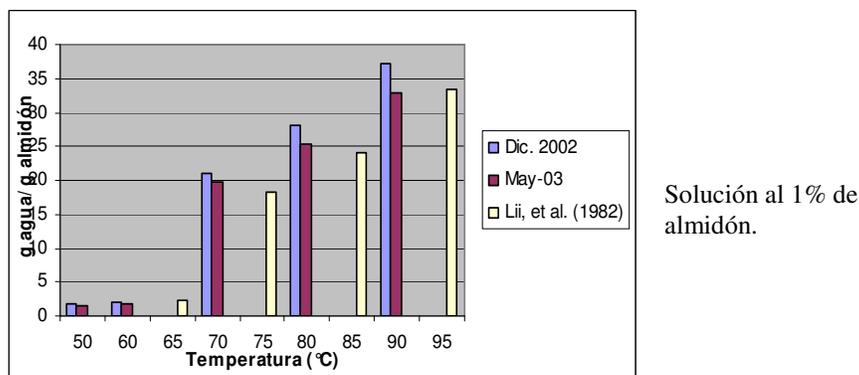


Figura 7. Poder de hinchamiento de la pasta de almidón de banano a distintas temperaturas comparado a los resultados de Lii *et al.* (1982).

El poder de hinchamiento del almidón de banano se asemeja más al del almidón de yuca, que tiene un poder de hinchamiento a 70°C de alrededor de 30 g agua/g almidón. El poder de hinchamiento de los almidones de cereales es menor que el de los almidones de tubérculos. Para un almidón de maíz, el hinchamiento a 70°C está cerca de 10 g agua/g almidón, mientras que para un almidón de papa, está cerca de 75 g agua/g almidón (Conferencia Internacional de Almidón, 1996).

4.4.6 Estabilidad a congelación y descongelación de la pasta

En este estudio, una suspensión de 5% de almidón fue cocida por 8 minutos a 73 °C (temperatura de gelatinización) y luego de congelada se descongeló y midió el agua de exudación (sinéresis). El Cuadro 9 resume los resultados del estudio de la estabilidad de la pasta, después de un ciclo de congelación y descongelación. En ambos lotes, la cantidad de agua exudada por los gránulos de almidón se acerca al 20% del volumen inicial de la suspensión de almidón. La pasta del lote de mayo fue más inestable, pues exudó más agua. En general, ambos lotes de pasta de almidón de banano presentaron una estabilidad pobre a la congelación, por lo que no se recomienda para productos alimenticios congelados.

Según Bello *et al.* (1999), no se han reportado resultados previos que indiquen estabilidad para el almidón de banano. Ellos encontraron una exudación de agua del 50%. Los almidones de maíz nativos también presentan una estabilidad pobre y esto es una limitante para su uso en productos congelados (Bello *et al.*, 1999).

Cuadro 9. Estabilidad a congelación y descongelación de la pasta de almidón¹ de banano.

Lote	% de agua exudada	
	Dic. 2002	Mayo 2003
Promedio	18.47 ^a ± 0.50	20 ^b ± 0.53
CV	2.73	2.64

¹ Promedios con letras diferentes (P<0.05) en la misma fila indican diferencias significativas (n = 3). Solución al 5% de almidón.

Hay mayor sinéresis en el lote de mayo 2003 posiblemente a error experimental. El método en sí recomienda pesar el agua exudada, pero en este estudio se extrajo con pipetas Pasteur y se midió el volumen y esto conllevó a un mayor error. Sin embargo, el coeficiente de variación fue bajo (Cuadro 9).

4.4.7 Textura de la pasta cocida a temperatura ambiente, refrigerada y congelada

Durante el estudio de estabilidad a congelación y descongelación de la pasta, después de la gelatinización a 73°C, se evaluó la textura y apariencia de la pasta enfriada a temperatura ambiente, la pasta refrigerada y el gel congelado.

La pasta enfriada a 25°C presentó una textura corta, cremosa y una apariencia brillante y translúcida. Además, presentó un color café claro, que no es deseable para productos alimenticios que necesiten geles de almidón transparentes e incoloros.

La pasta, al ser refrigerada a 2°C, formó un gel con el color menos pronunciado pero opaco e inestable (presentaba sinéresis o pérdida de agua). El gel congelado a -18°C presentó excesiva sinéresis al apretarse, lo que también demuestra la inestabilidad del almidón nativo de banano en productos alimenticios congelados.

4.5 CARACTERIZACIÓN QUÍMICO-NUTRICIONAL DEL RESIDUO DE LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

El Cuadro 10 muestra los resultados del análisis químico proximal, la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO) y de la energía digerible (ED) realizados al residuo de la extracción del almidón. Este residuo representó el 2.72% y el 0.58% del peso de la materia prima para los lotes de diciembre 2002 y mayo 2003, respectivamente.

Cuadro 10. Composición química y valor nutricional del residuo¹ de la extracción del almidón.

Componente (%)	Lote	
	Dic. 2002	Mayo 2003
Humedad	10.97 ^a ± 0.11	11.87 ^a ± 1.04
Cenizas	0.30 ^a ± 0.01	1.18 ^b ± 0.08
Proteína cruda	5.90 ^a ± 0.75	9.50 ^b ± 1.16
Extracto etéreo	0.47 ^a ± 0.06	0.29 ^a ± 0.28
Fibra cruda	6.23 ^a ± 1.00	19.43 ^b ± 3.06
Extracto libre de nitrógeno	76.13 ^a ± 1.80	57.86 ^a ± 0.81
DIVMO (%) ²	84.10 ^a ± 0.43	70.05 ^b ± 4.12
Energía digerible (Mcal/kg)	3.40 ^a ± 0.02	2.81 ^b ± 0.18

¹ Promedios con letras diferentes (P<0.05) en la misma fila indican diferencias significativas (n = 3).

² DIVMO = Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica.

El Cuadro 10 revela diferencias en composición química, y por lo tanto en valor nutricional, entre los residuos de la extracción de almidón de diciembre 2002 y mayo 2003. Hubo diferencias significativas en todos los componentes, a excepción de humedad.

Como ya se había señalado, la extracción en mayo fue más exhaustiva y por ello el residuo quedó con menor cantidad de almidón, consecuentemente tuvo mayor proteína, cenizas y fibra, menor digestibilidad de la materia orgánica y menor energía digerible para rumiantes.

Sin embargo, se puede concluir que este residuo de banano es un alimento energético con mayor proteína que el maíz, perfectamente recomendable para alimentación de rumiantes por su contenido en fibra: además su materia orgánica es bastante digerible (70%).

5. CONCLUSIONES

1. La pulpa de banano verde está constituida de 68.2% de agua, 1.1% de cenizas, 1.3% de proteína cruda, 0.1% de grasas, 0.3% de fibra y 25% de extracto libre de nitrógeno, que representa el almidón y otros azúcares.
2. El proceso de extracción de almidón de banano verde tuvo un rendimiento en fresco de 20% y una tasa de recuperación de almidón de 87%.
3. Los gránulos de almidón presentaron formas irregulares de óvalo alargado, con un rango de tamaño de gránulo de 14 a 64 μ .
4. El color del almidón de banano fue claro con tono amarillento, con valores promedio de L, *a, y *b de 81.53, 3.15 y 10.72, respectivamente.
5. El extracto libre de nitrógeno es el componente mayoritario del almidón de banano, representando un 96.3% de su composición química en base seca, el resto lo constituyen proteína (1.46%), cenizas (0.13%), grasa (0.36%) y fibra (0.24%).
6. La pasta de almidón de banano presentó una temperatura de formación de pasta de 65°C, con un pico de viscosidad de 3,862 cP y una viscosidad final de 3,284 cP al enfriar la pasta a 50°C.; mientras que el rango de temperatura de gelatinización del almidón fue de 69.1 a 73.2°C.
7. El almidón de banano tiene estructura cristalina tipo C, con una proporción 0.4: 0.6 de tipos A:B.
8. El poder de hinchamiento del almidón de banano incrementa a medida que incrementa la temperatura, debido a la absorción de agua por ruptura de la estructura cristalina.
9. Los análisis de claridad de pasta y estabilidad indican que la pasta de almidón de banano se vuelve opaca con el tiempo debido a la retrogradación y es inestable a los ciclos de congelación y descongelación.
10. El residuo de la extracción del almidón de banano tiene 9.5% de proteína, 19.4% de fibra, 57.7% de extracto libre de nitrógeno y 1.2% de minerales. Además es altamente digerible (70% de la digestibilidad de la materia orgánica) y es buena fuente de energía (2.8 Mcal/kg) para rumiantes.

6. RECOMENDACIONES

1. Evitar el empardeamiento del almidón extraído, sumergiendo el banano rápidamente en solución de bisulfito y lavando el residuo con abundante agua.
2. Realizar un estudio de factibilidad de la extracción de almidón de banano a nivel industrial y evaluar su impacto en la rentabilidad para las compañías trasnacionales o productores independientes.
3. Investigar las características físicas, químicas y funcionales de la harina de banano, como alternativa de uso del banano de recuse.
4. Estudiar las propiedades funcionales del almidón de banano modificado, para mejorar sus características.
5. Hacer un ensayo de consumo en animales del residuo del almidón de banano, para conocer su palatabilidad.
6. Investigar el uso de la cáscara de banano, ya sea como materia prima en industria (papel, cartón, fibra) o para la agricultura (abono).

7. BIBLIOGRAFÍA

ANON. 2002. Banana INIBAP international network for the improvement of banana and plantain (en línea). Consultado en agosto de 2002. Disponible en: <http://www.inibap.org>.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1997. Methods of Analysis of the AOAC International. 3rd ed. Volumen II, Maryland USA.

Agricultura 21. 1998. Los almidones tropicales no llegan al mercado. Consultado el 8 de agosto de 2002. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot3.htm>

Aranal. 1999. Tecnología de almidones para alimentos. México. (Folleto).

BANCO CENTRAL DE HONDURAS. 2002. Consultado el 18 de septiembre de 2002. Disponible en: <http://www.bch.hn/esteco/bpagos/comext.pdf>.

Bello, L.A.; Agama, E.; Sanchez, L.; Paredes, O. 1999. Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 854-857.

Bello, L.A.; Romero, R.; Paredes, O. 2000. Preparation and properties of physically and chemically modified banana starch prepared by alcoholic-alkaline treatment. *Starch* 52: 154-159.

Bonilla, A.; Morúa, G. 2001. Extracción y caracterización parcial del almidón de banano verde utilizando una pectinasa. CITA. *REVITECA*. vol 8.

Conferencia Internacional del Almidón: Propiedades físico-químicas, funcionales y nutricionales y sus usos. Memoria. 10 al 8 de mayo de 1996. Instituto de Investigación de Tecnología de la Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Cordenunsi, B.R.; Da Mota, R.V.; Lajolo, F.M. 1999. Chemical characterization of banana flour. São Paulo, Brasil. Consultado el 1 de septiembre de 2002. Disponible en: <http://www.confex.com/ift/99annual/abstracts/3784.htm>.

CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo). 2000. Métodos de caracterización de carbohidratos: Obtención y caracterización de

carbohidratos para su aplicación en regímenes especiales. Proyecto de investigación precompetitiva XI.8.

Da Mota, R.V.; Lajolo, F.M.; Ciacco, C.; Cordenunsi, B.R. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. *Starch* 52: 63-68.

INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). 1996. Tablas de composición de alimentos de Centroamérica. Organización Panamericana de la Salud.

Lii, C.Y.; Chang, S.M.; Young, Y.L. 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. *Journal of Food Science* 47: 1493-1497.

Menke, K.H.; Raab, L.; Fritz, D.; Schnaider, W. 1979. The estimation of digestibility and metabolized energy content of ruminant feeding stuff from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *J. Agric. Sci. Camb*, 93, 217-222.

NOVOZYMES. 2002. Enzimas de procesos industriales. Ficha técnica para Amylase AG 300L y Pectinex® Ultra SP-L. Novozymes México.

Prabha, T.N.; Bhagyalakshmi, N. 1998. Carbohydrate metabolism in ripening banana fruit. *Phytochemistry* 48: 915-919.

Tomkinson, R.A. 1986. Studies on the indigestible and fermentable components of dry bean grains. M. Sc. Thesis. Michigan State University.

Waliszewski, K.N.; Aparicio, M.A.; Bello, L.; Monroy, J.A. 2002. Changes of banana starch due to physical and chemical modifications. *Carbohydrate Polymers* 20: 1-6. Consultado en agosto de 2002. Disponible en: http://ift.confex.com/ift/2002/techprogram/paper_12816.htm.

Whistler, R.L.; BeMiller, J.N. 1997. Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. 1997. Gagan Press. St. Paul, Minnesota. 241 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Proceso de extracción de almidón de banano verde (Bonilla y Morúa, 2001)

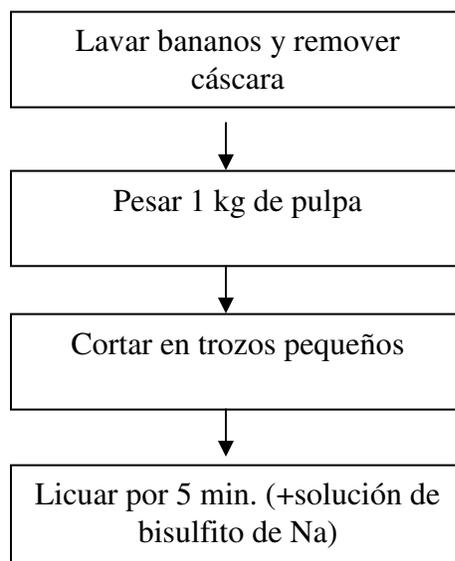
La extracción de almidón se hizo en dos tandas, una en diciembre del 2002 y la otra en mayo del 2003. En cada tanda se procesaron 3 lotes de banano. Los lotes de banano enviados en diciembre tenían una edad de 105 días, mientras que los lotes enviados en mayo tenían una edad de 80 días. En diciembre se procesó 1 kg para cada lote, mientras que en mayo se procesó 0.5 kg para cada lote. Cabe destacar que los bananos fueron procesados al momento de ser recibidos para evitar la maduración de la fruta.

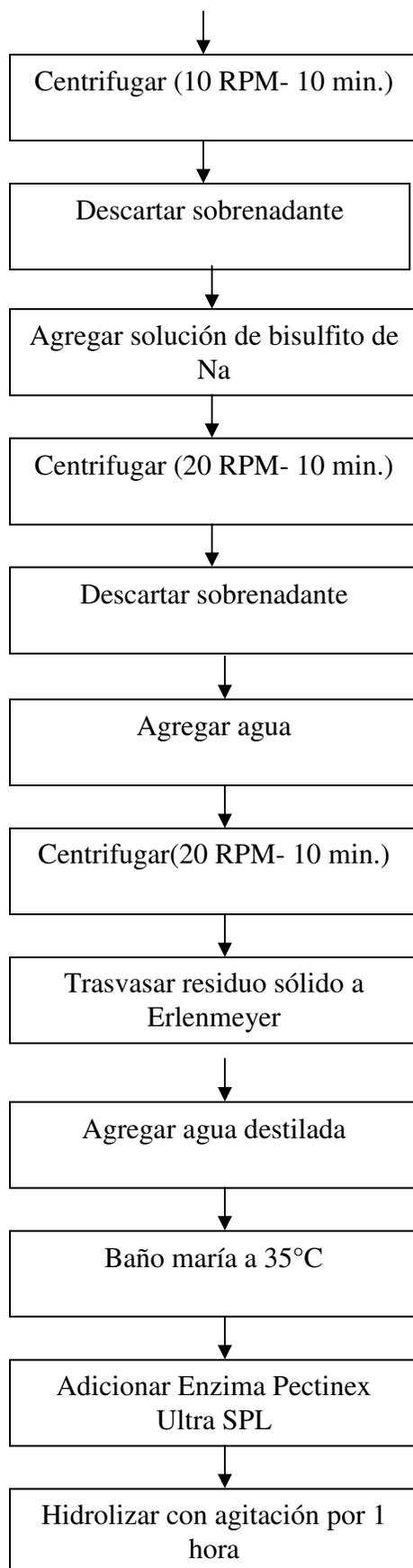
Se utilizó el método descrito por Bonilla y Morúa (2001). Básicamente ésta se llevó a cabo a través de la adición de una enzima pectinolítica.

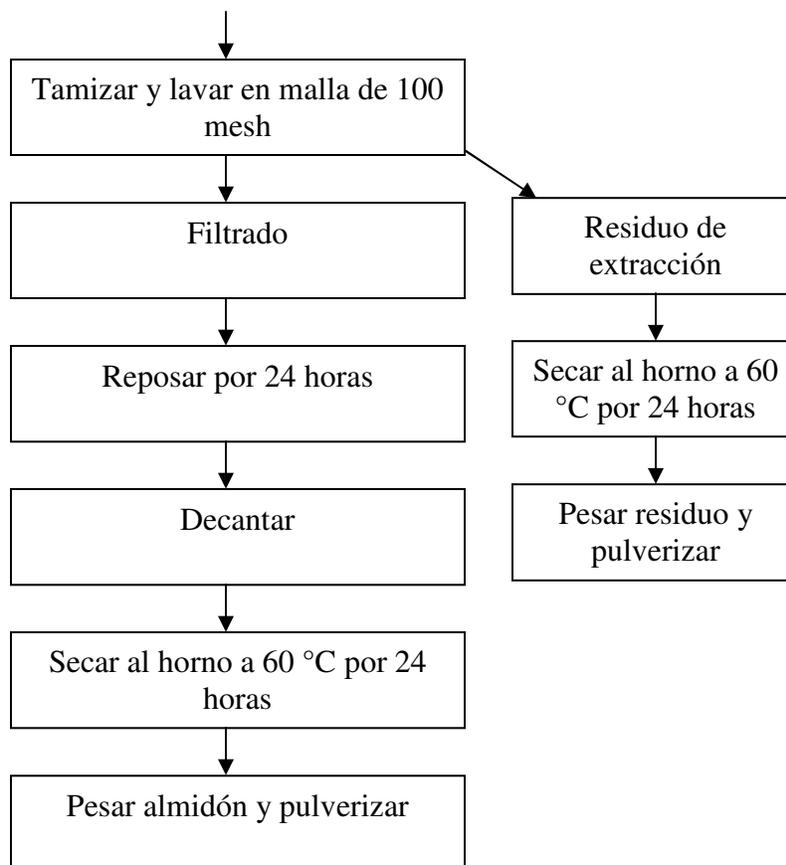
Se licuó aproximadamente 200 g de pulpa de banano verde en trocitos con 600 ml de solución de bisulfito de sodio al 0.5% durante 5 min. La pulpa licuada se trasvasó a frascos de centrífuga (250 ml) y se centrifugó a 10 rpm por 10 min. Se descartó el líquido sobrenadante y el residuo sólido se mezcló con 600 ml de solución de bisulfito de sodio y se centrifugó a 20 rpm por 10 min., descartando nuevamente el líquido sobrenadante. El residuo sólido se mezcló con 600 ml de agua destilada y se centrifugó a 10 rpm. El líquido sobrenadante se descartó y el residuo sólido se trasvasó a un erlenmeyer de 2.8 L con 600 ml de agua destilada, éste se colocó en un baño de agua a 35°C con agitación; cuando alcanzó la temperatura de 35° C, se le adicionó la enzima Pectinex Ultra SP-L (pectinolítica).

Después de una hora de hidrólisis enzimática, se tamizó la pulpa utilizando una malla de 100 mesh (150 mm). Se lavó el residuo que quedó sobre la malla con abundante agua desionizada. Luego se apartó el sólido que quedó sobre la malla. El líquido de apariencia lechosa se dejó sedimentar por 24 h. Una vez decantado, el residuo extraído se secó en un horno a 60 ° C por un periodo de 24 h. Finalmente, se pulverizó el almidón.

A continuación se muestra el diagrama de flujo para este procedimiento de extracción de almidón de banano:





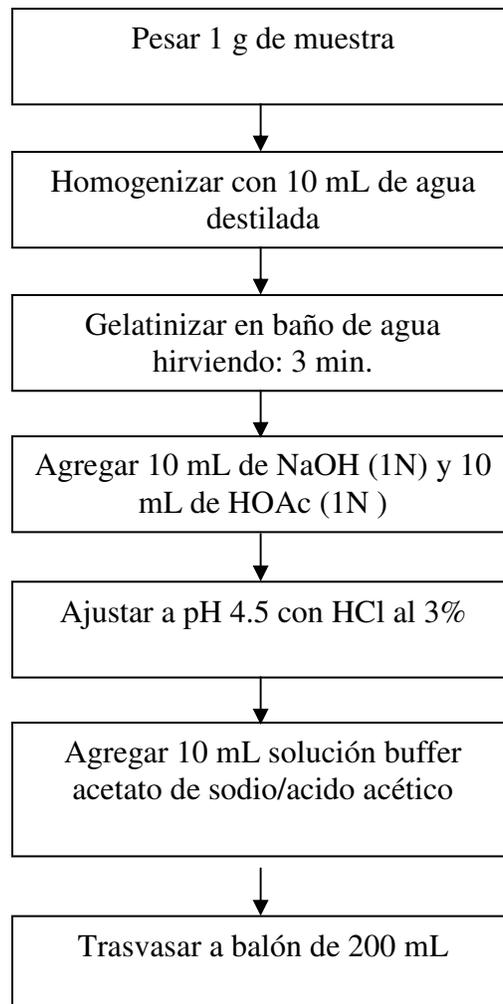


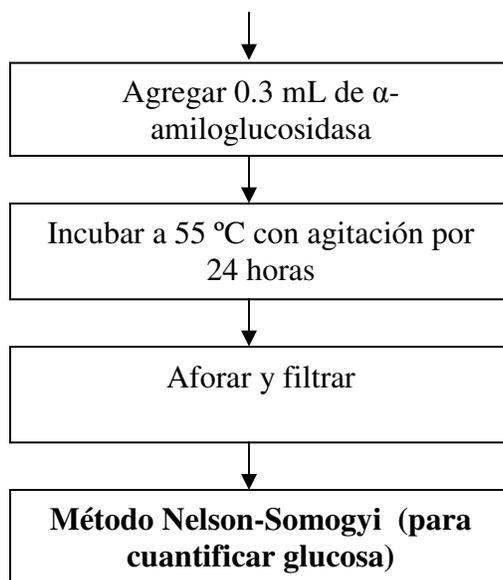
Anexo 2. Determinación del contenido de almidón (Tomkinson, 1982)

Se pesó 1.0 g de muestra y se homogenizó con 10 ml de agua destilada, para ser cocida en un baño con agua hirviendo. Se agregó 10 ml de NaOH (1N) y 10 ml de ácido acético (1N), homogenizando por 2 minutos después de adicionar cada reactivo. Se ajustó el pH a 4.5 agregando una solución HCl al 3%, luego se adicionó 10 ml de una solución buffer de acetato de sodio/ácido acético 0.04 M pH 4.5. Se pasó esto a un balón de 200 ml, se añadió 0.3 ml de enzima α -amiloglucosidasa y se incubó en baño de agua a 55 ° C con agitación por 24 h. Se aforó y se filtró.

Se determinó la concentración de glucosa en muestras hidrolizadas y muestras sin hidrolizar mediante el método Somogyi-Nelson de azúcares totales, utilizando una curva de calibración con glucosa. La diferencia entre la muestra hidrolizada y la muestra sin hidrolizar dio la concentración de glucosa, debido a la hidrólisis del almidón. Este valor se convirtió a términos de almidón multiplicando por el factor 0.9 (Bonilla y Morúa, 2001).

A continuación se muestra el diagrama de flujo para este método de cuantificación de almidón.





Anexo 3. Características de pasteo de una solución al 10% de almidón de banano

Réplica	Peak	Trough	Breakdown	Final Viscosity	Setback	Pasting T.
1	3832 ^a	2725 ^a	1107	3459 ^a	734	64.4 ^a
2	3818 ^a	2618 ^a	1201	3305 ^b	688	66.7 ^a
3	3936 ^a	2464 ^b	1472	3089 ^c	625	64.0 ^a

*Valores con letras diferentes (P <0.05) en la misma columna indican diferencias significativas

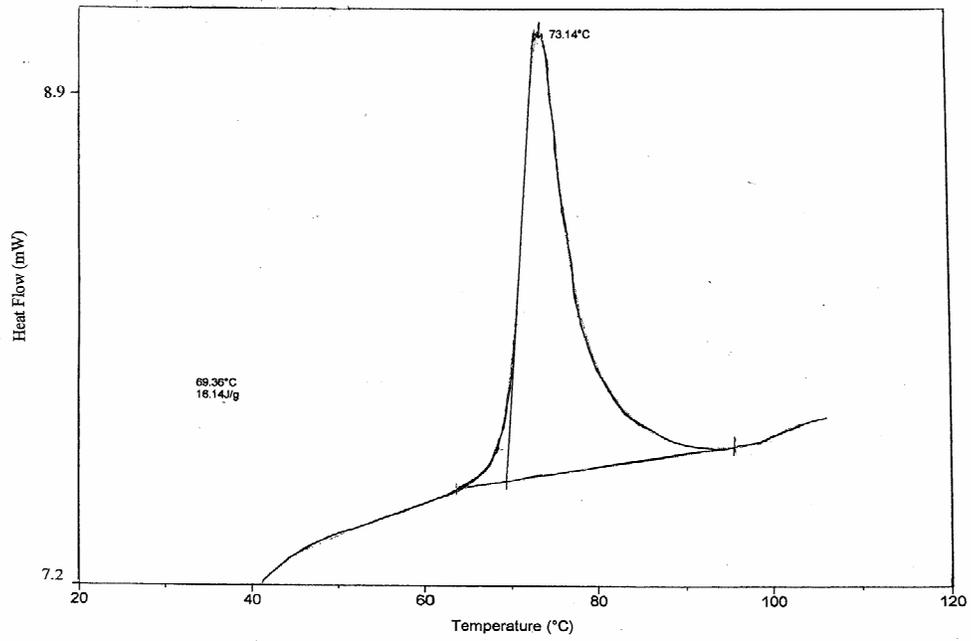
Lote: Diciembre 2003 (n = 3)

Anexo 4. Propiedades térmicas en base seca del almidón de banano

Réplica	Humedad (%)	Temperatura de gelatinización		ΔH (j/g)*
		Inicio (°C)	Pico (°C)	
1	13.1	69.4	73.1	19.2
2	11.7	68.9	73.0	19.0
3	12.6	69.1	73.5	18.5
Promedio	12.5	69.1	73.2	18.9
Otros estudios:				
Bonilla, <i>et al.</i> (2001)		73.2	76.5	23
Waliszewski, <i>et.al.</i> (2002)		69.5	74.6	5.2

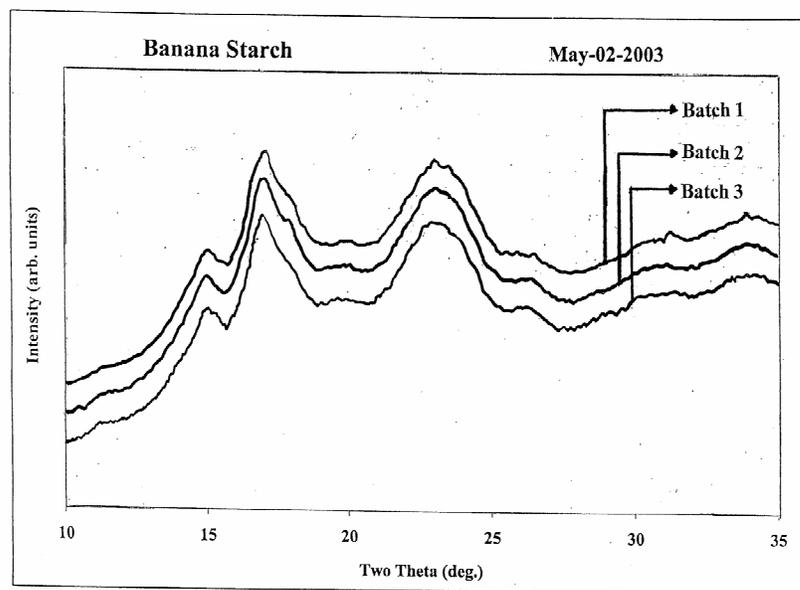
Lote: Diciembre 2003

* Cambio en entalpía

Anexo 5. Curva de calorimetría de barrido diferencial del almidón de banano

Lote: Diciembre 2003

**Anexo 6. Patrón de difracción de rayos X de una solución al 10% de almidón de
banano**



Lote: Diciembre 2003 (n = 3)

Anexo 7. Efecto del tiempo de reposo sobre claridad de pasta de almidón de banano¹

Hora	% Transmitancia (650 nm)		CV ³
	x ± DE ²		
	Dic. 2002	Mayo 2003	
0	75.33 ^a ± 1.75	72.59 ^b ± 1.94	2.5
24	60.17 ^a ± 1.18	56.92 ^a ± 4.71	5.86
48	55.67 ^a ± 2.63	54.17 ^a ± 6.79	9.37
72	27.25 ^a ± 2.25	19.67 ^a ± 10.91	33.58

¹ Promedios con letras diferentes (P <0.05) en la misma fila indican diferencias significativas.

² Promedio ± Desviación estándar

³ Coeficiente de variación

Anexo 8. Poder de hinchamiento de la pasta de almidón de banano a distintas temperaturas¹

T (° C)	Agua absorbida (g agua/ 1 g almidón)		CV ³
	x ± DE ²		
	Dic. 2002	Mayo 2003	
50	1.67 ^a ± 0.09	1.49 ^a ± 0.34	15.98
60	2.00 ^a ± 0.23	1.84 ^a ± 0.05	8.87
70	20.89 ^a ± 0.52	19.75 ^a ± 3.22	11.37
80	28.04 ^a ± 1.92	25.28 ^a ± 0.93	5.68
90	37.17 ^a ± 2.17	32.99 ^a ± 1.45	5.26

¹ Promedios con letras diferentes (P <0.05) en la misma fila indican diferencias significativas.

² Promedio ± Desviación estándar

³ Coeficiente de variación