

---

# CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y FUNCIONAL DE LOS SUBPRODUCTOS OBTENIDOS DURANTE LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE MUSÁCEAS, RAÍCES Y TUBÉRCULOS

---

Yasmin Román, Nora Techeira, José Yamarte, Yusley Ibarra y Marinelva Fasendo

## RESUMEN

Las raíces, tubérculos y musáceas son rubros estrechamente ligados a la cultura del venezolano, los cuales se consumen principalmente como alimento fresco o bajo la forma de harinas y almidones. Sin embargo, durante su procesamiento se generan una serie de subproductos ricos en azúcares, fibras alimentarias, proteínas y polifenoles, componentes que pueden ayudar a incrementar el valor agregado de diferentes productos alimenticios. En el presente estudio se evaluaron las características físico-químicas, la composición química y las propiedades funcionales de los subproductos obtenidos durante la extracción del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C.), batata (*Ipomoea batatas* L.), topocho (*Musa ABB*) y cambur (*Musa AAA*), de acuerdo a la metodología oficial. Los resultados obtenidos indican que todas las cáscaras evaluadas cuentan con un eleva-

do contenido de fibra dietética, polifenoles y minerales, mientras que la torta que queda como remanente de la extracción del almidón presenta altos valores de fibra, cantidades apreciables de proteína de alta digestibilidad y contenidos significativos de almidón resistente. En cuanto a las propiedades funcionales, destacan los altos valores de viscosidad, capacidad de retención de agua y poder de hinchamiento de los residuos obtenidos, principalmente de aquellos derivados de la extracción de los almidones de yuca y batata. La caracterización hecha demuestra la factibilidad de su uso en la elaboración de diferentes productos alimenticios, tanto para consumo humano como animal, pudiendo utilizarse como ingredientes en la elaboración de alimentos funcionales por su alto contenido de fibra dietética y almidón resistente a la digestión.

---

## Introducción

Los procesos agroindustriales generan subproductos y residuos que si no son reciclados o procesados apropiadamente generan problemas ambientales. Algunos son quemados o vertidos en rellenos sanitarios produciendo liberación de dióxido de carbono, contaminación de cursos de aguas, molestias por presencia de olores, proliferación de ratas, moscas y otros insectos; y su eliminación supone un problema de gestión para las empresas productoras. Sin embargo, estos materiales son fuentes

especialmente atractivas por su contenido en compuestos químicos (como azúcares, pigmentos, fibra alimentaria, proteína, polifenoles y lignina) y son potencialmente útiles cuando se transforman en productos que poseen un valor agregado (Barragán, *et al.*, 2008). En este sentido, existe un gran número de subproductos de la agroindustria que podrían ser utilizados como materia prima no convencionales en la formulación de alimentos funcionales, entre los cuales destacan los obtenidos durante la extracción de almidones de raíces, tubérculos y musáceas.

Las raíces y tubérculos, así como las musáceas, son productos estrechamente ligados a la cultura de nuestra región. Gran parte de los mismos se consumen cocidos bajo la forma de sopas, mientras que otra porción se procesa para obtener diferentes productos alimenticios, y una tercera fracción, generalmente de inferior calidad, se utiliza para fines industriales (Camaño y Caro, 2011). Son rubros característicos de la zona tropical y forman parte de la dieta diaria de quienes viven en estas regiones; son principalmente consumidos como sustitutos del arroz, y

al deshidratarse bajo la forma de harinas y almidones pueden ser utilizados en la elaboración de productos como sopas deshidratadas, galletas, panes, bebidas instantáneas y pudines, entre otros (Frison y Sharrock, 1998; Vargas y Hernández, 2012).

En Venezuela, a pesar de que existen estudios y publicaciones acerca de la diversificación del uso de estos cultivos, aún no se ha logrado optimizar su viabilidad comercial como material para propósitos industriales (Mejía-Agüero *et al.*, 2012). Se ha dado mayor énfasis a la investigación con relación a las

---

## PALABRAS CLAVE / Extracción de Almidón / Musáceas / Raíces / Residuos / Tubérculos /

Recibido: 03/03/2014. Modificado: 27/03/2015. Aceptado: 08/04/2015.

**Yasmin Román.** Ingeniera Agrónoma, Universidad Central de Venezuela (UCV), Magíster en Educación, Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela. Profesora, UCV, Venezuela. Dirección: Laboratorio de Productos Lácteos, Departamento e Instituto de

Química y Tecnología, Facultad de Agronomía, UCV. Apartado Postal 4579 Maracay 2105, Venezuela. e-mail: yasmin2436@gmail.com  
**Nora Techeira.** Ingeniera Agrónoma, Magíster y Doctora Ciencia y Tecnología de Alimentos, UCV, Venezuela. Profesora, UCV, Venezuela.

**José Yamarte.** Estudiante de Ingeniería Agronómica, UCV, Venezuela. Pasante, Laboratorio de Bioquímica de Alimentos, Facultad de Agronomía. UCV, Venezuela.  
**Yusley Ibarra.** Estudiante de Ingeniería Agronómica, UCV, Venezuela. Pasante, Laboratorio de Bioquímica de

Alimentos, Facultad de Agronomía. UCV, Venezuela.  
**Marinelva Fasendo.** Estudiante de Ingeniería Agronómica, UCV, Venezuela. Pasante, Laboratorio de Bioquímica de Alimentos, Facultad de Agronomía. UCV, Venezuela.

## PHYSICO-CHEMICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERIZATION OF BYPRODUCTS OBTAINED DURING STARCH EXTRACTION FROM ROOTS, TUBERS AND MUSACEAE

Yasmin Román, Nora Techeira, José Yamarte, Yusley Ibarra and Marinelva Fasendo

### SUMMARY

Roots, tubers and Musaceae are staples that are closely associated to the culture of Venezuelans, and are consumed mainly as fresh food or as flour and starch. However, during their processing, several byproducts rich in sugars, fiber, proteins and polyphenols, which are components that can increase the value of different foods are produced. In this study the physico-chemical characteristics, chemical composition and functional properties of byproducts obtained during native starch extraction from tapioca (*Manihot esculenta* C.), sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) and bananas (*Musa AAA* and *ABB*) were evaluated according to the official methodology. The results indicate that all the tested skins have high contents

of dietetic fiber, polyphenols and minerals, while the cake remaining from the starch extraction shows high values of fiber, appreciable quantities of highly digestible protein and significant content of resistant starch. Regarding functional properties, the high viscosity, water retention capacity and swelling capacity of the obtained residues stand out, particularly in those derived from the tapioca and sweet potato starch extraction. The characterization performed shows the feasibility of the usage in the elaboration of food products, both for human consumption as for feed, and can be used as ingredients in functional foods due to their high contents of dietetic fiber and digestion-resistant starch.

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E FUNCIONAL DOS SUBPRODUTOS OBTIDOS DURANTE A EXTRAÇÃO DO AMIDO DE MUSÁCEAS, RAÍZES E TUBÉRCULOS

Yasmin Román, Nora Techeira, José Yamarte, Yusley Ibarra e Marinelva Fasendo

### RESUMO

As raízes, tubérculos e musáceas são itens estreitamente ligados à cultura do venezuelano, os quais se consomem principalmente como alimento fresco ou sob a forma de farinhas e amidos. No entanto, durante seu processamento é gerada uma série de subprodutos ricos em açúcares, fibras alimentícias, proteínas e polifenóis, componentes que podem ajudar a incrementar o valor agregado de diferentes produtos alimentícios. No presente estudo foram avaliadas as características físico-químicas, a composição química e as propriedades funcionais dos subprodutos obtidos durante a extração do amido nativo de mandioca (*Manihot esculenta* C.), batata (*Ipomoea batatas* L.), banana "topocho" (*Musa ABB*) e banana nanica (*Musa AAA*), de acordo a metodologia oficial. Os resultados obtidos indicam que todas as cascas avaliadas contam com um

elevado conteúdo de fibra dietética, polifenóis e minerais, enquanto que a torta que fica como remanente da extração do amido apresenta altos valores de fibra, quantidades apreciáveis de proteína de alta digestibilidade e conteúdos significativos de amido resistente. Quanto às propriedades funcionais, destacam-se os altos valores de viscosidade, capacidade de retenção de água e poder de inchamento dos resíduos obtidos, principalmente de aqueles derivados da extração dos amidos de mandioca e batata. A caracterização feita demonstra a factibilidade de seu uso na elaboração de diferentes produtos alimentícios, tanto para consumo humano como animal, podendo utilizar-se como ingredientes na elaboração de alimentos funcionais por seu alto conteúdo de fibra dietética e amido resistente a digestão.

propiedades genéticas y agronómicas de los cultivos tropicales, pero poco se ha estudiado acerca de darles valor agregado; por ejemplo, la producción de harinas y de almidones es una de las actividades agroindustriales más importantes en el ámbito mundial y su aplicación no sólo es en la industria de alimentos, sino también en otras industrias, tales como textil, de papel, fármacos y petróleo, entre otros. Aunado a esto, gran cantidad de subproductos y residuos que se generan durante la obtención de harinas y almidones permiten formular y desarrollar nuevos productos con la finalidad de

satisfacer las exigencias del público consumidor (Villarreal *et al.*, 2000).

El uso de residuos y subproductos del procesamiento de raíces, tubérculos y musáceas ha sido reportado por Apori (1994), quien señala que las cáscaras de yuca y plátano sometidas a un proceso de secado y molienda se utilizan como alimento de la población, aportando cantidades significativas de fibra, lignina y compuestos nitrogenados; por Gopinath (1995), que indica que los pseudotallos tiernos de plantas de banana se cocinan en la India hasta ablandar, consumiéndose como parte de la dieta;

Mora y Polanco (2002), quienes elaboraron y caracterizaron tres tipos de aderezos a partir del yare de yuca amarga; García *et al.* (2013), que utilizaron harina de residuos foliares de musáceas en alimentación de cerdos; y por Mosquera *et al.* (2012), quienes señalan que la cáscara del plátano es empleada en forma de ensilaje para alimentación de aves.

No obstante, cabe destacar que las nuevas tendencias en la tecnología de alimentos están orientadas al desarrollo de productos que generen beneficios a la salud y prevenir enfermedades crónicas tales como cáncer, enfermedades

cardiovasculares, hipertensión, diabetes y osteoporosis, entre otras; surgiendo el fenómeno denominado auto-cuidado o *self-care*, que motiva al consumidor a la compra de alimentos saludables, factor que determina el crecimiento de la industria de los alimentos funcionales (Hollingworth, 1999; Silva y Verdalet, 2003; García, 2007; Bellido *et al.*, 2011).

En países en vías de desarrollo como Venezuela, donde los problemas nutricionales afectan a una proporción considerable de sus habitantes, el mejoramiento nutricional de alimentos de alto consumo, tales como productos de panadería, pastas alimenticias,

‘arepas’ y arroz, entre otros, puede representar una alternativa para mejorar la calidad nutricional y funcional de la dieta. La fortificación y el enriquecimiento también puede dirigirse a alimentos desarrollados para grupos específicos de la población, como los niños, embarazadas y adultos mayores, quienes tienen requerimientos específicos de determinados nutrientes que normalmente no son aportados en su alimentación habitual (Granito y Ascanio, 2009).

En definitiva, una sana alimentación conduce a una serie de beneficios para las personas, no sólo a nivel corporal sino también mental, emocional y psicológico. Aumentar la calidad de vida y bienestar son razones más que suficientes para promover, de manera constante, el consumo de alimentos funcionales (Silva y Verdalet, 2003).

La utilización de los subproductos obtenidos a partir de la elaboración de harinas y extracción de almidones de raíces, tubérculos y musáceas como materia prima en la obtención de alimentos funcionales dirigidos a personas con regímenes especiales de alimentación, es una forma de incentivar e incrementar la producción y demanda de estos rubros, pero además permite generar productos con mayor valor agregado destinados a un sector de la población que se encuentra desatendido (Fioreze y Morini, 2000; Akissoe *et al.*, 2004; Pérez y Pacheco, 2005; Avalos *et al.*, 2012).

Por ello se planteó como objetivo de la presente investigación determinar las características físico-químicas y funcionales de las cáscaras y tortas fibrosas que quedan como remanente de la extracción del almidón de yuca, batata, cambur y topocho, con el fin de evaluar su posible uso como ingrediente en el desarrollo de alimentos funcionales.

## Materiales y Métodos

### Materia prima

La materia prima utilizada fueron las cáscaras y la torta

fibrosa remanente de la extracción del almidón, obtenidos a partir de tubérculos de batata (*Ipomoea batatas* Lam) y raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), cosechados a los 4 y 12 meses de su siembra en la estación experimental de “Samán Mocho” de la Universidad Central de Venezuela, así como del proceso de obtención del almidón de frutos de cambur (*Musa AAA*) y topocho (*Musa ABB*), suministrados por el banco de germoplasma de musáceas del INIA-Maracay, Venezuela.

### Acondicionamiento de los subproductos obtenidos, para su utilización en la elaboración de los alimentos funcionales

Los subproductos del procesamiento de las musáceas, raíces y tubérculos en estudio (cáscaras y torta fibrosa de la extracción del almidón) derivados de los procesos de obtención de harinas y almidones nativos, fueron secados por convección, molidos y tamizados hasta alcanzar el tamaño de partícula deseado (250µm).

Las condiciones óptimas de temperatura y tiempo se determinaron en base al análisis de las curvas de secado, curvas de velocidad de secado y valores de humedad de las muestras en el equilibrio, que fueron obtenidos al someter a las raíces, tubérculos y musáceas seleccionadas a un proceso de secado por convección forzada, bajo condiciones de velocidad de aire de secado y humedad absoluta constantes. Las temperaturas evaluadas fueron 70, 80 y 90°C; y el contenido de humedad inicial para las cáscaras de yuca, batata, cambur y topocho, fue de 26,68; 27,30; 31,11 y 32,43%, respectivamente; mientras que para las tortas fibrosas fue de 54,32 (yuca); 53,27 (batata); 59,48 (cambur) y 57,09% (topocho).

### Evaluación de la calidad físico-química, composición química y valor nutricional de los subproductos obtenidos

El pH y la acidez titulable se determinaron de acuerdo a los

métodos N° 943.02 y 975.11 de AOAC (2000) y la densidad aparente según Smith (1964).

Para la determinación de la composición química se siguió la metodología descrita por la AOAC (2000), evaluando el contenido de humedad (N° 925.09), cenizas (N° 923.03), proteína cruda (N° 979.09) y grasa cruda (N° 920.39); y la establecida por McCready *et al.* (1950) y por Juliano (1971), para la evaluación del contenido de almidón y amilosa, respectivamente. La proporción de azúcares reductores y totales se determinó según el método de Lane y Eynon (1923); mientras que la cantidad de fibra dietética y de polifenoles totales fueron evaluados siguiendo la metodología de la AOAC (2000), de Kaluza *et al.* (1980) y N° 985.29. Todos los análisis fueron realizados por triplicado.

La digestibilidad del almidón presente en la torta fibrosa se evaluó según Holm *et al.* (1985), el contenido de almidón resistente de acuerdo a Goñi *et al.* (1996) y la digestibilidad de la proteína siguiendo la metodología de Akenson y Stahmann (1964).

### Evaluación de las propiedades funcionales de los subproductos obtenidos

La capacidad de absorción de agua, solubilidad en agua y poder de hinchamiento se determinó según Anderson (1982). La solubilidad en agua fría según el método de Eastman y Moore (1984), modificado por Bello *et al.* (2002); mientras que la estabilidad y claridad de las pastas, y la viscosidad aparente solo se evaluó para las suspensiones de las tortas residuales de almidón, de acuerdo a Bello *et al.* (2002).

## Resultados y Discusión

### Acondicionamiento de los subproductos para la elaboración de alimentos funcionales

De las curvas de secado de las cáscaras y de las tortas fibrosas remanentes de la

extracción de los almidones de batata, yuca, cambur y topocho se obtuvieron los siguientes tiempos y temperaturas óptimas de secado para cada uno de los subproductos:

– Para las cáscaras de yuca y batata, el tiempo óptimo de secado a 90°C fue de 180min; mientras que para las cáscaras de cambur y topocho se requirió de un tiempo mayor (210 y 260min, respectivamente), debido posiblemente a que éstas últimas presentaban un mayor contenido de humedad inicial, así como mayores cantidades de almidón y fibra dietética, componentes que favorecen la retención de agua. A la temperatura de 80°C, el tiempo óptimo de secado fue de 210min para las cáscaras de yuca y batata, y de 240min para las de cambur y topocho; mientras que a 70°C fue de 270min para todos los rubros en estudio.

– Para las tortas fibrosas remanentes de la extracción del almidón de yuca y batata, el tiempo de secado a 90°C fue de 210min, a 80°C de 240min y a 70°C de 270min, mientras que las de musáceas necesitaron de un mayor tiempo de secado para cada una de las temperaturas evaluadas: a 90 y 80°C, requieren de 240 y 270min, respectivamente, mientras que a 70°C de 330min. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado con los subproductos derivados de cambur y topocho, ya que éstos requieren de un mayor tiempo de secado a las diferentes temperaturas (3,5-5,5h) que el utilizado para rubros como la yuca y batata (3-4,5h).

De acuerdo a los resultados e interés de la investigación, el secado más conveniente fue a 90°C, donde se logró obtener un material precocido. Además, el uso de una mayor temperatura permitió obtener los productos deshidratados en un menor tiempo, lo cual implica un menor gasto de energía y un proceso tecnológico más eficiente. Estos subproductos fueron los sometidos a las distintas evaluaciones que se presentan a continuación.

*Evaluación de la calidad físico-química y composición de las cáscaras y tortas fibrosas*

Los resultados obtenidos para la caracterización físico-química se presentan en la Tabla I, mientras que la composición química de las muestras en estudio se reporta en la Tabla II.

En cuanto a la caracterización físico-química, el pH y la acidez titulable presentaron diferencias estadísticamente significativas entre muestras a un 95% de confianza, siendo la torta fibrosa obtenida como residuo de la extracción del almidón de yuca la que reportó el menor valor de pH (4,5) y uno de los valores más altos de acidez (0,26%), lo cual podría atribuirse a la presencia de una mayor proporción de ácidos orgánicos libres con mayor capacidad de disociación en solución. No obstante, las muestras correspondientes a las cáscaras de yuca y topocho fueron las que presentaron los valores más altos de acidez (0,39 y 0,36%, respectivamente), indicativos de una mayor cantidad de ácidos orgánicos libres en estas muestras, que no necesariamente

tienen un gran poder de disociación, debido a los valores elevados de pH (5,80 y 5,40), ya que de acuerdo a Sierra *et al.* (2007) la acidez titulable no está directamente relacionada con el pH. Cabe destacar que al comparar los resultados obtenidos entre los subproductos de un mismo material vegetal, los valores de pH más bajos se observan en las tortas fibrosas, debido posiblemente al tratamiento con ácido cítrico durante el proceso de extracción de almidón, lo que contribuye a disminuir el pH.

En lo que se refiere a los valores de densidad relativa determinados para las muestras en estudio, también se observaron diferencias estadísticamente significativas, con valores que oscilan desde 0,45 hasta 0,58g·ml<sup>-1</sup>, reportándose para las tortas fibrosas de cambur y topocho los valores más altos. Por lo tanto, los valores de densidad obtenidos para los subproductos en estudio cuentan con una granulometría fina, apta para el consumo y de fácil envasado (Bedolla y Rooney, 1984).

En cuanto a la composición química, para el contenido de

humedad se encontró que existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras, con valores entre 3,39 y 8,69%. Estas diferencias pudieran atribuirse al hecho de que se trata de distintos rubros, los cuales antes de ser sometidos al proceso de secado, presentaban diferencias en el contenido de humedad inicial, tal como se señaló en la sección de métodos. Los valores de humedad obtenidos se encuentran dentro de los límites establecidos por las Normas COVENIN N° 2135 (1996) para harina de maíz y la N° 217 (2001) para harina de trigo, las cuales señalan que el porcentaje de humedad máximo no debe ser superior a 13,5 y 15%, respectivamente. Contenidos de humedad inferiores a 15% proporcionan un nivel reducido de actividad de agua y en consecuencia un mayor tiempo de vida útil (Njintang y Mbofung, 2003).

Respecto al contenido de cenizas, también se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas, obteniéndose los valores más bajos para las tortas (de 1,14 a 1,50%) y los más altos para las cáscaras

de cambur (10,21%) y topocho (10,79%), presentando posiblemente estas últimas un mayor contenido de minerales y sales inorgánicas (Thomas y Atwell, 1999; Pérez y Pacheco, 2005).

En cuanto a la fracción de proteína cruda existen diferencias ( $p < 0,05$ ). Las cáscaras de yuca, cambur y topocho fueron las que reportaron los valores más altos (5,62; 5,51 y 9,06%, respectivamente), por lo que podrían ser consideradas para la sustitución parcial o total de ingredientes con alto valor proteico en la elaboración de productos alimenticios, considerando la digestibilidad de dichas proteínas. Las tortas fibrosas remanentes de la extracción del almidón, en cambio, presentaron una menor cantidad de proteína (de 1,14 a 3,98%).

Para el contenido de grasa cruda no se observaron diferencias significativas entre las muestras en estudio ( $p \geq 0,05$ ). La torta residual de la extracción del almidón de batata, así como su cáscara, presentaron valores ligeramente superiores (0,68 y 0,56%). Sin embargo, todos los resultados obtenidos fueron bajos, ya que se trata

TABLA I  
CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS CÁSCARAS Y TORTAS RESIDUALES OBTENIDAS

Características	CY	RY	CB	RB	CT	RT	CC	RC
pH	5,80 ±0,00 b	4,45 ±0,15 a	5,65 ±0,05 b	5,35 ±0,05 b	5,40 ±0,00 b	5,15 ±0,05 b	5,40 ±0,00 b	5,35 ±0,15 b
Acidez titulable *	0,39 ±0,07 d	0,26 ±0,00 c	0,11 ±0,05 b	0,06 ±0,00 a	0,36 ±0,04 d	0,12 ±0,02 b	0,14 ±0,00 b	0,11 ±0,05 b
Densidad (g·ml <sup>-1</sup> )	0,53 ±0,00 a	0,45 ±0,00 a	0,51 ±0,01 a	0,51 ±0,01 a	0,47 ±0,01 a	0,58 ±0,01 b	0,51 ±0,00 a	0,58 ±0,01 b

CY: cáscaras de yuca, RY: torta residual de yuca, CB: cáscaras de batata; RB: torta residual de batata, CT: cáscaras de topocho, RT: torta residual de topocho, CC: cáscaras de cambur, y RC: torta residual de cambur.

Letras iguales en una misma fila indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre muestras, a un 95% de confianza (\* (% ácido cítrico))

TABLA II  
COMPOSICIÓN QUÍMICA EN BASE SECA DE LAS CÁSCARAS Y TORTAS RESIDUALES OBTENIDAS

Composición (%)	CY	RY	CB	RB	CT	RT	CC	RC
Humedad	6,72 ±0,22 b	8,69 ±0,17 c	6,75 ±0,09 b	8,29 ±0,04 c	3,44 ±0,14 a	3,39 ±0,12 a	8,12 ±0,88 c	7,25 ±0,35 b
Cenizas	5,55 ±0,08 c	1,50 ±0,02 a	3,28 ±0,06 b	1,24 ±0,03 a	10,79 ±0,13 d	1,14 ±0,03 a	10,21 ±0,23 d	1,21 ±0,01 a
Proteína cruda	5,62 ±0,00 c	1,33 ±0,00 a	2,81 ±0,00 b	1,14 ±0,00 a	9,06 ±0,00 d	3,98 ±0,00 b	5,51 ±0,00 c	3,95 ±0,00 b
Grasa cruda	0,48 ±0,02 a	0,41 ±0,01 a	0,56 ±0,05 a	0,68 ±0,02 a	0,25 ±0,00 a	0,35 ±0,05 a	0,44 ±0,03 a	0,47 ±0,05 a
Almidón	35,08 ±1,79 a	61,22 ±3,89 c	37,90 ±6,70 a	44,89 ±0,74 b	30,28 ±2,16 a	46,58 ±3,46 b	37,76 ±0,00 a	62,59 ±1,73 c
Amilosa	21,61 ±0,94 b	37,19 ±1,09 d	33,39 ±0,61 c	41,72 ±7,58 d	16,43 ±2,04 a	34,36 ±0,60 c	23,89 ±4,40 b	34,23 ±1,57 c
Amilopectina	78,39 ±0,94 c	62,81 ±1,09 a	66,61 ±0,61 b	58,28 ±7,58 d	83,57 ±2,04 d	65,64 ±0,60 b	76,11 ±4,40 c	65,77 ±1,57 b
Fibra dietética	19,01 ±2,40 a	22,03 ±0,65 a	32,82 ±2,03 b	17,44 ±0,70 a	42,64 ±1,94 c	25,52 ±2,08 b	39,30 ±3,06 c	22,48 ±1,52 a
Azúcares totales	29,53 ±0,31 c	12,28 ±0,87 b	20,66 ±0,05 b	30,46 ±0,32 c	5,63 ±0,20 a	18,03 ±0,30 b	4,57 ±0,09 a	7,76 ±0,15 a
Azúcares reductores	1,98 ±0,56 a	ND	6,50 ±0,04 c	3,10 ±0,34 b	4,20 ±0,02 b	2,53 ±0,47 a	1,93 ±0,01 a	3,08 ±0,13 b
Polifenoles	1,34 ±0,07 c	ND	0,48 ±0,10 b	0,14 ±0,00 a	0,15 ±0,02 a	0,08 ±0,01 a	0,35 ±0,02 b	ND

CY: cáscaras de yuca, RY: torta residual de yuca, CB: cáscaras de batata; RB: torta residual de batata, CT: cáscaras de topocho, RT: torta residual de topocho, CC: cáscaras de cambur, y RC: torta residual de cambur.

Letras iguales en una misma fila indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre muestras, a un 95% de confianza.



de subproductos obtenidos a partir de raíces y tubérculos, los que por su naturaleza muestran una menor cantidad de grasa que los cereales (2-5%; Latham, 2002).

Entre los componentes químicos de mayor importancia entre los productos y subproductos obtenidos a partir de raíces y tubérculos destaca el almidón, responsable de la mayoría de las propiedades funcionales que determinan su utilización como ingredientes en la elaboración de diversos productos alimenticios. La proporción de almidón en las muestras en estudio reportó diferencias estadísticamente significativas, obteniéndose los valores más altos en las tortas fibrosas (44,89 a 62,59%); no obstante, para las cáscaras de cada uno de los rubros se obtuvieron valores elevados (30,28-37,90%). El alto contenido de almidón, así como la fracción de azúcares totales presentes (entre 4,57 y 30,46%), permiten considerar a estos como subproductos con un gran valor energético.

En cuanto al contenido de amilosa se puede apreciar que éste es superior en las tortas obtenidas como subproducto de la extracción del almidón, con valores entre 34,23 y 41,72%, los que permiten suponer que se trata de un almidón resistente o de lenta digestión, y pueden ser considerados como ingredientes aptos para la elaboración de alimentos con un bajo índice glucémico, beneficioso para las personas diabéticas y los atletas (Bello, 2000).

Los resultados para la fibra dietética muestran diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), con valores comprendidos entre 17,44 y 42,64%, obteniéndose los más altos para las cáscaras de cambur y topocho. Estos resultados permiten inferir que dichos productos pudieran utilizarse en pequeñas cantidades como ingrediente en la elaboración de productos de panadería, a fin de mejorar su contenido de fibra, ya que el consumo de la misma ha sido relacionado con una baja incidencia de diabetes, hipertensión arterial y obesidad,

entre otros (Gil, 2010; Campbell y Farrell, 2004).

En lo que se refiere al contenido de polifenoles para las cáscaras de yuca, batata y cambur los valores encontrados son significativos, ya que éstas presentaron entre 0,35 a 1,34% de polifenoles en su composición. La presencia de estos compuestos permite suponer que dichos materiales cuentan con propiedades antioxidantes. Por lo tanto, el consumo de productos alimenticios elaborados a partir de los mismos sería beneficioso, en busca de disminuir el efecto de las reacciones mediadas por radicales libres, las cuales están involucradas en procesos degenerativos o patológicos tales como el envejecimiento, cáncer, enfermedades coronarias y el mal de Alzheimer (Roberts *et al.*, 2003; Calvo *et al.*, 2011).

#### *Evaluación de la calidad nutricional de las cáscaras y tortas fibrosas*

La susceptibilidad de las diferentes muestras a la acción de la  $\alpha$ -amilasa pancreática se presenta en la Figura 1. Se puede observar que a medida que transcurre el tiempo se incrementa el porcentaje de hidrólisis enzimática, siendo las tortas remanentes de la extracción del almidón de cambur y topocho, las que presentaron los valores más altos (78,21 y 79,83%, respectivamente) de digestibilidad *in vitro* a los 120min de incubación.

Las diferencias existentes para la hidrólisis enzimática de almidones provenientes de diferentes fuentes botánicas han sido atribuidas a la interacción de muchos factores, entre los cuales se encuentran la forma y el tamaño del gránulo, la relación amilosa-amilopectina, la longitud de la molécula de almidón, el grado de asociación intramolecular, el grado de cristalinidad y la formación de complejos lípidos-amilosa (Jayakody *et al.*, 2007).

En lo que se refiere a la proporción de almidón resistente, los resultados indican que existen diferencias

estadísticamente significativas entre muestras, encontrándose los valores más bajos en las tortas fibrosas de cambur y topocho (28,11 y 25,53%), valores que coinciden con los mayores porcentajes de digestibilidad (Figura 1), mientras que el mayor contenido de almidón resistente se reportó en las cáscaras de yuca, batata, cambur y topocho (69,70; 63,89; 61,12 y 52,35%, respectivamente).

Desde el punto de vista nutricional, las bajas tasas de hidrólisis de almidón *in vitro* y el alto contenido de almidón resistente determinado en las cáscaras, son fundamentales para recomendar su utilización como ingrediente en alimentos dirigidos a personas con regímenes especiales de alimentación, tales como diabéticos y obesos, quienes pueden beneficiarse con los bajos niveles de digestibilidad del almidón. Además, una alta proporción de almidón resistente contribuye a incrementar el volumen fecal y el tiempo de tránsito intestinal, disminuyendo los niveles de colesterol y triglicéridos en plasma (Guraya *et al.*, 2001).

#### *Evaluación de las propiedades funcionales de las cáscaras y tortas fibrosas*

En cuanto al poder de hinchamiento y capacidad de absorción de agua de las suspensiones de las muestras en estudio (Figuras 2a y b), se observó que el incremento en estos índices se hace evidente a partir de los 70°C, con excepción de la

torta residual de topocho, que presenta un incremento de los mismos desde los 60°C, obteniendo incluso los valores más altos de poder de hinchamiento y absorción de agua a todas las temperaturas evaluadas. Este comportamiento podría atribuirse a la presencia de fuerzas intragranulares más débiles, que permitieron el paso de las moléculas de agua a esa temperatura; a diferencia de los residuos de yuca, batata y cambur, que probablemente presentan una estructura intragranular más organizada, que dificulta la accesibilidad de las moléculas de agua hacia la zona amorfa del gránulo (Akisoe *et al.*, 2004; Jayakody *et al.*, 2007; Sandoval *et al.*, 2007).

Las cáscaras de cada uno de los rubros fueron las que reportaron los valores más bajos de poder de hinchamiento y absorción de agua, debido probablemente a la menor cantidad de almidón presente.

En cuanto a la solubilidad (Figura 2c), los valores más altos para cada una de las muestras evaluadas, se obtuvieron en el intervalo entre 75 y 95°C, ya que a medida que progresa el calentamiento, el gránulo gelatiniza, provocando la ruptura del orden molecular intragranular, y la liberación y solubilización de las moléculas de amilosa y amilopectina en el medio dispersante (Gutiérrez y Schulz, 1992). Los mayores valores de solubilidad a 95°C fueron para la torta residual de yuca (40,17%), cáscara de batata (30,03%), cáscara de

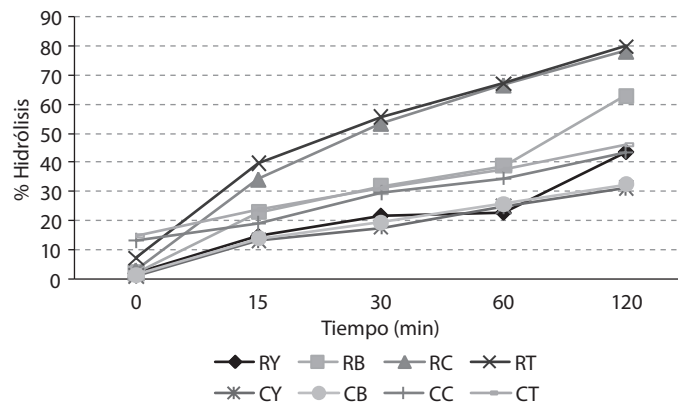


Figura 1. Hidrólisis enzimática por  $\alpha$ -amilasa pancreática del almidón contenido en las cáscaras y en los residuos.

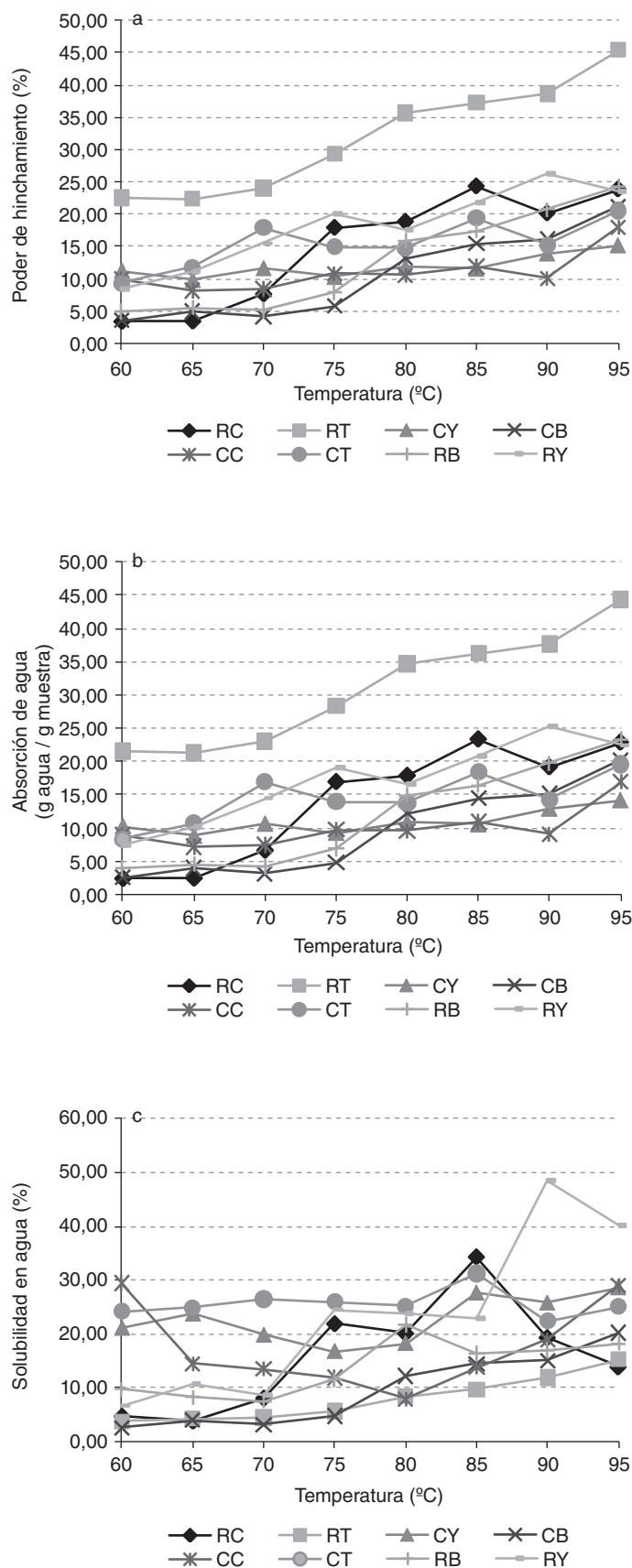


Figura 2. a: poder de hinchamiento (%), b: índice de absorción de agua (g agua / g muestra), y c: solubilidad en agua fría (%) de las cáscaras de yuca (CY), batata (CB), topocho (CT) y cambur (CC), así como de los residuos de yuca (RY), batata (RB), topocho (RT) y cambur (RC).

cambur (29,08%) y cáscara de yuca (28,65%).

Los resultados obtenidos en la determinación de la solubilidad en agua fría indican que existen diferencias significativas entre muestras, siendo las cáscaras de yuca y topocho las que presentaron los valores promedio más altos de solubilidad (14,42 y 10,72%), debido posiblemente a que los granúlos de almidón presentes en estas muestras presentan un menor grado de orden intragranular, lo que facilita la dispersión en agua de los componentes moleculares del gránulo incrementando su solubilidad (Cooke y Gidley, 1992; Han y Hamaker, 2002; Freitas *et al.*, 2004). Además, es probable que en dichas muestras exista una mayor proporción de fibra dietética soluble, lo cual estaría facilitando su dispersión en agua.

La estabilidad y claridad de las pastas, expresada como % de transmitancia, solo fue evaluada para las tortas residuales de la extracción del almidón. Los resultados indican que se produce una disminución en los valores de transmitancia tanto a temperatura ambiente (25°C) como bajo refrigeración (4°C) a medida que transcurre el tiempo, lo que se traduce en mayores valores de absorbancia para todas las muestras evaluadas, y por consiguiente en la obtención de suspensiones más opacas, debido a la reorganización y reforzamiento de los enlaces existentes principalmente en la fracción de

almidón, que conducen al incremento en la opacidad de las muestras (Bello *et al.*, 2002; Pacheco *et al.*, 2008).

En la Figura 3 se muestran los valores de viscosidad obtenidos a una velocidad de deformación constante de 30rpm, a 30, 50 y 90°C. Se puede apreciar que la torta de yuca desarrolló los mayores valores de viscosidad, mientras que los más bajos correspondieron a la torta de cambur. Asimismo, cabe destacar que las tortas de yuca, cambur y topocho disminuyen sus valores de viscosidad conforme aumenta la temperatura, mientras que la de batata mantiene su viscosidad constante, independientemente de la temperatura de proceso, por lo que se recomienda su aplicación en alimentos sometidos a procesos de calentamiento y posterior enfriamiento, tales como puré de frutas, salsas, sopas y bebidas instantáneas.

### Conclusiones

La evaluación de las características físico-químicas y de la composición química de las cáscaras de yuca, batata, cambur y topocho reveló que dichas muestras cuentan con un elevado contenido de fibra dietética y polifenoles, mientras que las tortas residuales de la extracción del almidón presentan altos valores de fibra, cantidades apreciables de proteína de alta digestibilidad y contenidos significativos de almidón resistente. En cuanto a las

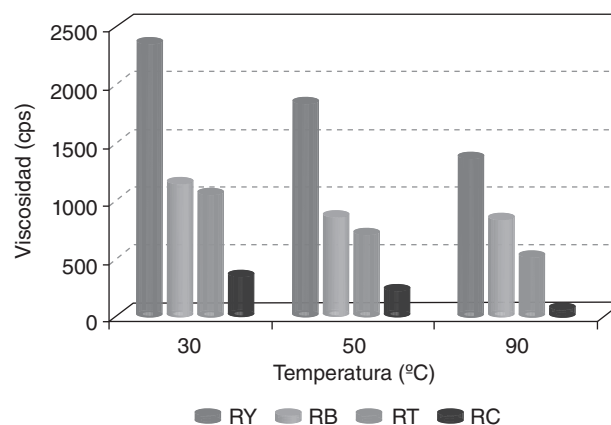


Figura 3. Viscosidad aparente de los residuos de yuca (RY), batata (RB), topocho (RT) y cambur (RC).

propiedades funcionales, destacan los altos valores de viscosidad, capacidad de retención de agua y poder de hinchamiento de los subproductos obtenidos, principalmente de aquellos derivados de la extracción de los almidones de yuca y batata. La caracterización realizada demuestra la factibilidad de su uso en la elaboración de diferentes productos alimenticios destinados tanto al consumo humano como animal, pudiendo utilizarse incluso como ingredientes en la elaboración de alimentos funcionales por su alto contenido de fibra dietética y almidón resistente a la digestión.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo para el Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV) por el financiamiento de este trabajo, enmarcado en el Proyecto N° PG-01-8144-2011/1.

#### REFERENCIAS

Apori S (1994) Cambios bioquímicos que ocurren en las cáscaras de plátano verde y yuca secadas al sol. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 1817-1828.

Akensow W, Stahmann M (1964) A pepsin pancreatic digest index of protein quality evaluation. *J. Nutr.* 83: 257-261.

Akissoe N, Hounhouigan J, Mestres C, Nago M (2004) Effect of tuber storage and pre and post blanching treatments on the physicochemical and pasting properties of dry yam flour. *Food Chem.* 85: 141-149.

Anderson R (1982) Water Absorption and solubility and amylographic characteristic of roll cooked small grain product. *Cereal Chem.* 59: 265-269.

AOAC (2000) *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, EEUU.

Avalos V, Harrar A, Rodríguez J (2012) Propuesta de aplicación de técnicas de decisión multicriterio en el desarrollo de alimentos funcionales en Venezuela. XVI Congreso de Ingeniería de Proyectos. Caracas, Venezuela.

Barragán B, Téllez Y, Laguna A (2008) Utilización de residuos agroindustriales. *Rev. Sist. Ambient.* 2: 44-50.

Bedolla S, Rooney L (1984) Characteristics of U.S. and Mexican instant maize flours for

tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World* 29: 732-735.

Bellido V, Bellido D, De Luis D, García J (2011) Alimentos funcionales: dianas terapéuticas actuales. *Nutr. Clín. Med.* 3: 140-151.

Bello J (2000) *Ciencia Bromatológica. Principios Generales de los Alimentos*. Díaz de Santos. Madrid, España. 573 pp.

Bello L, Contreras S, Romero R, Solorza J, Jiménez A (2002) Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano (*Musa paradisiaca* L.) (var. macho). *Agrociencia* 36: 169-180.

Calvo S, Gómez C, López C, Royo M (2011) *Nutrición, Salud y Alimentos Funcionales*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, España. 631 pp.

Camaño J, Caro J (2011) *Subproductos de Tubérculos Raíces y Plátanos*. <http://tirsomestre.blogspot.com/2010/05/subproductos-de-tuberculos-raices-y.html>

Campbell M, Farrell S (2004) *Bioquímica*. Thompson. México. 718 pp.

Cooke D, Gidley M (1992) Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization. *Carbohydr. Res.* 227: 103-112.

COVENIN (1996) *Harina de Maíz Precocida Norma 2135*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

COVENIN (2001) *Harina de Trigo Norma 217*. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Caracas, Venezuela.

Fioreze R, Morini B (2000) Yam drying with different cuts and temperatures: Experimental and simulated results. *Cienc. Tecnol. Alim.* 20: 262-266.

Freitas R, Paula R, Feitosa J, Rocha S, Sierakowski M (2004) Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilisima*) starches. *Carbohydr. Polym.* 55: 3-8.

Frison E, Sharrock S (1998) The economic, social and nutritional importance of banana in the World. En Picq C, Fouré E, Frison EA (Eds.) *Bananas and Food Security*. INIBAP. Montpellier, Francia. pp. 21-35.

García M (2007) La alimentación del futuro: Nuevas tecnologías y su importancia en la nutrición de la población. *Anal. Venez. Nutr.* 20: 108-114.

García A, Camino Y, Ly J (2013) Comportamiento de cerdos jóvenes alimentados con harina de residuos foliares de plátano (*Musa spp.*) incluida en concentrados. Nota técnica. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 47: 51-53.

Gil A (2010) *Tratado de Nutrición*. Tomo II. Composición y calidad

nutritiva de los alimentos. Médica Panamericana. Madrid, España. 765 pp.

Goñi I, García-Díaz L, Mañas E, Saura-Calixto F (1996) Analysis of resistant starch: a method for foods and food products. *Food Chem.* 56: 445-449.

Gopinath C (1995) Cómo cocinar pseudotallos de musa. *Infomusa* 4(2): 31.

Granito M, Ascanio V (2009) Desarrollo y transferencia tecnológica de pastas funcionales extendidas con leguminosas. *Arch. Latinoam. Nutr.* 59: 71-77.

Guraya H, James CH, Champagne E (2001) Effect of enzyme concentration and storage temperature on the formation of slowly digestible starch from cooked debranched rice starch. *Starch/Stärke* 53: 131-139.

Gutiérrez B, Schulz E (1992) Características físicas y químicas de harina blanca y almidón de yuca (*Manihot esculenta* C.). *Rev. Fac. Agron. UCV* 18: 95-105.

Han X, Hamaker B (2002) Functional and microstructural aspects of soluble corn starch in pastes and gels. *Starch/Stärke* 52: 76-80.

Hollingworth P (1999) Food priorities for aging America. *Food Technol.* 53: 38-40.

Holm J, Björck I, Asp N, Sjöberg L, Lundquist I (1985) Starch availability in vitro and in vivo after flaking, steam cooking and popping of wheat. *J. Cereal Sci.* 3: 193.

Jayakody L, Hoover R, Liu Q, Donner E (2007) Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea spp.*) starches in Sri Lanka. *Carbohydr. Polym.* 10: 1016-1023.

Juliano (1971) A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Sci. Today* 16: 334-360.

Kaluza W, McGrath R, Roberts, T, Shoroder H (1980) Separation of phenolics of sorghum bicolor. *J. Agric. Food Chem.* 28: 1191-1196.

Lane H, Eynon L (1923) Determination of reducing sugar by means of Fehling's solution with methylene blue as internal indicator. *J. Soc. Chem. Indust.* 42: 32-37.

Latham L (2002) *Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo*. Alimentación y Nutrición N° 29. FAO. Roma, Italia. 531 pp.

McCready RM, Guggolz J, Silveira V, Owens H (1950) Determination of starch and amylose in vegetables: application to peas. *Anal. Chem.* 22: 1156-1158.

Mejía-Agüero L, Galeno F, Hernández O, Matehus J, Tovar J (2012) Starch determination, amylose content and susceptibility to in

vitro amylolisis in flours from the roots of 25 cassava varieties. *J. Sci. Food Agric.* 92: 673-678.

Mora M, Polanco D (2002) *Elaboración y Caracterización de Tres Aderezos con Base en el Yare de Yuca Amarga (Manihot esculenta Crantz)*. Tesis. Universidad Central de Venezuela. 83 pp.

Mosquera D, Martínez M, Medina H, Hinestroza L (2012). Caracterización bromatológica de especies y subproductos vegetales en el trópico húmedo de Colombia. *Acta Agron.* 62: 326-332.

Njintang Y, Mbongung C (2003) Development of taro (*Colocassia esculenta*) flour as an ingredient for processing: effect of gelatinization and drying temperature on the drying kinetics and colour of flour. *J. Food Eng.* 58: 259-265.

Pacheco E, Techeira N, García A (2008) Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*). *Rev. Chil. Nutr.* 35: 452-459.

Pérez E, Pacheco E (2005) Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de *Ipomoea batatas*. *Acta Cient. Venez.* 56: 12-20.

Roberts A, O'Brien M, Subak G (2003) *Nutraceuticos*. Robinbook. Barcelona, España. 206 pp.

Sandoval A, Farha I, Fernández A (2007) Comportamiento reológico de harinas y almidones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) durante un proceso de extrusión. *Rev. Fac. Quím. Farm. UNAL* 14: 6-15.

Sierra I, Morante S, Pérez D (2007) *Experimentación en Química Analítica*. Dykinson. Madrid, España. 163 pp.

Silva E, Verdalet I (2003) Revisión: alimentos e ingredientes funcionales derivados de la leche. *Arch. Latinoam. Nutr.* 53: 333-347.

Smith RJ (1964) *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Academy Press. Nueva York, EEUU. Vol. IV. pp. 101-103.

Thomas D, Atwell W (1999) *Starches. Practical Guide for the Food Industry*. Eagan Press. Handbook Series. St. Paul. MN, EEUU. 1-12.

Vargas P, Hernández D (2012) Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampi: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnol. en Marcha* 26: 37-45.

Villarreal M, Acevedo C, Yanez E, Biolley E (2000) Propiedades funcionales de la fibra del musgo *Sphagnum magellanicum* y su utilización en la formulación de productos de panadería. *Arch. Latinoam. Nutr.* 53: 400-406.