

Características físicas, químicas y funcionales de las harinas obtenidas por secado del ñame, ocumo y mapuey

Physical, chemical and functional characteristics of flour of yam, taro and mapuey

Auris García¹, Elevina Pérez² y Rafael Dávila¹

Profesores. Universidad Central de Venezuela (UCV). ¹Facultad de Agronomía y ²Facultad de Ciencias. Maracay 2105. Estado Aragua. Venezuela.

Correo electrónico: aurisgarcia@hotmail.com

RESUMEN

Con el objetivo de estudiar la potencialidad de los tubérculos de ñame (*Dioscorea alata* L.), ocumo, (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) y mapuey, (*Dioscorea trifida* L.), cultivados en Venezuela, se evaluó el secado por convección a dos temperaturas, para obtener harinas como materia prima de uso agroindustrial. La metodología permitió determinar algunas características físicas, organolépticas, químicas y funcionales, siguiendo los métodos de la Association of Official Analytical Chemist. Los resultados indicaron que el tiempo promedio de secado de los tubérculos frescos a la temperatura de 60 y 80 °C, fue de 180 y 120 min, obteniendo harinas con bajos contenidos de humedad (2,32 a 7,44 g/100 g) y actividad de agua ($aw < 0,6$), que predijeron su alta estabilidad. El análisis químico indicó para las harinas de ñame, seguido de ocumo y mapuey deshidratadas a 60 °C, un mayor contenido de almidón (70,5 a 79,96 g/100 g), proteína (3,84 a 6,77g/100 g) y fibra dietaria (4,84 a 7,58 g/100 g), que al incluirlas en formulaciones de harinas compuestas, pueden elevar el valor nutricional. El rendimiento del proceso de secado para ambas condiciones fue entre 27, 26 a 30,44%, considerado aceptable para propósitos agroindustriales. En las características funcionales se encontró que las harinas de mapuey, seguida de ocumo y ñame deshidratadas a 80 °C, presentaron una alta capacidad de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento, ideales para elaborar geles con alta capacidad espesante y baja tendencia a la retrogradación, mientras las deshidratadas a 60 °C, resultaron convenientes para formular productos de alta consistencia.

Palabras clave: *Dioscorea alata* L., *Xanthosoma sagittifolium* L. Schott, *Dioscorea trifida* L., secado por convección, propiedades.

ABSTRACT

In order to study the potential of yam (*Dioscorea alata* L.), taro (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) and mapuey (*Dioscorea trifida* L.) for agro-industrial use, they were dry by convection at 60 and 80 °C to obtain flours. The methods of the Association of Official Analytical Chemist were used to evaluate some physical, chemical, sensorial and functional characteristics. The results shown that the average time of drying were 180 and 120 minute for 60 and 80 °C, respectively, which yield with low moisture content (from 2.32 to 7.44 g/100 g) and water activity ($aw < 0,6$): these flours showed a high stability. For yam, taro and mapuey dehydrated at 60 °C the starch content range from 70.5 to 79.96 g/100 g, the protein from 3.84 to 6.77g/100 g and the dietary fiber from 4.84 a 7.58 g/100 g, so that including these flours into mixed or composed flours would rise its nutritional value. The yield performance of the drying process ranged from 27.26 a 30.44% for both temperature and flours evaluated, which is acceptable for agroindustrial purpose. Also, it was found that mapuey, followed by taro and yam dehydrated 80 °C, showed a high water absorption capacity, and solubility and swelling power, which are ideal characteristics to produce gels with high thickener capacity and low tendency to retrogradation, while that dry at 60 °C were suitable for making products of high consistency.

Key words: *Dioscorea alata* L., *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott, *Dioscorea trifida* L., convection drying, properties.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, los rubros autóctonos del grupo de los tubérculos como el ñame (*Dioscorea alata* L.), el ocumo (*Xanthosoma sagittifolium* L. Schott) y el mapuey (*Dioscorea trifida* L), son considerados promisorios y recursos alimentarios de alta calidad que representan la sostenibilidad de la economía de las poblaciones rurales de las distintas regiones donde se cultivan, y que históricamente forman parte de la dieta de sus poblaciones originarias (De Melo, 2006).

Estos rubros adquieren un gran valor económico y estratégico para el sector agroindustrial, como posibles materias primas para la obtención de almidones y harinas (Montaldo *et al.*, 1992; Bou *et al.*, 2006), otras investigaciones demuestran que las propiedades funcionales que poseen algunos tubérculos, son compatibles para la producción agroindustrial de diversos tipos de alimentos de consumo masivo (Pacheco y Techeira, 2009; Pacheco *et al.*, 2008; Sandoval *et al.*, 2007; Bou *et al.*, 2006; Pérez y Pacheco, 2005; Rincón *et al.*, 2000).

Montaldo *et al.* (1992) y Rivera (2007) coinciden en señalar que la siembra de estos cultivos, como la mayoría de las raíces y tubérculos en el país, se establece en un amplio rango de temperaturas entre 15 a 30 °C, altitudes hasta 4.000 m s. n. m. y precipitación desde 500 a 1.500 mm anual, condiciones que aunque contribuyen a un desarrollo vegetativo lento, favorecen a la mayor acumulación de carbohidratos, materia seca entre 15 a 35 g/100 g y la formación de tubérculos con epidermis no endurecida y sin crecimiento secundario.

Tradicionalmente se cultivan en pequeñas superficies, menores a 10 ha, generalmente en forma asociada, adaptándose a una gran diversidad de textura de suelos franco, arenoso, franco-arenoso y franco-limoso, que favorecen el libre desarrollo de estos tubérculos y una menor resistencia mecánica para el proceso de la cosecha manual o semi-mecanizada.

Los cultivos de raíces y tubérculos presentan un ciclo vegetativo entre 9 a 14 meses, según la especie y una producción con rendimientos variables (4,9 a 18 t ha⁻¹). El índice de madurez varía de una especie a otra, pero desde el punto de

vista fisiológico, corresponde al mayor contenido de materia seca alcanzada al completarse el máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo (Tapia, 2001; Chacón *et al.*, 2005; Simón y Mariño, 2005).

Estos rubros son reconocidos como prececeros y la deshidratación por el método de secado a convección surge como una técnica alternativa para la reducción de las pérdidas físicas en la poscosecha, que a nivel mundial llegan hasta un 30%. Asimismo, para su aprovechamiento en la transformación de harinas que pueden ser utilizadas en la elaboración de alimentos de preparación rápida, tales como: galletas, mezcla para productos instantáneos, sopas, panquecas, bebidas, flanes o pudines, (Pérez y Pacheco, 2005; Sangronis *et al.*, 2006; García *et al.*, 2007; Pacheco *et al.*, 2008; Jimoh *et al.*, 2009; Palomino *et al.*, 2010). Esta alternativa contribuye a incentivar la producción y demanda de estos tubérculos, no sólo para el consumo directo, sino también para la industria de alimentos (Pérez, 2001).

El secado por convección, se produce por contacto directo del aire caliente sobre el material sólido húmedo, que por evaporación elimina el agua superficial tensoactiva y ligada, presente en el tejido hasta alcanzar un contenido de humedad de equilibrio en el sólido (Fioreze y Morini, 2000; Krokida *et al.*, 2003; Montes *et al.*, 2008). Además, Brennan *et al.* (1998), Roquel (2008); Montes *et al.* (2009) proponen el uso de secadores de bandeja con ventilación forzada, en el rango de temperaturas entre 60 a 80 °C, por originar un menor efecto en el detrimento de la calidad sensorial.

Por su parte, Yadav *et al.* (2006) señalan que el secado por convección origina modificaciones en la estructura del almidón, que conllevan a interacciones con otros constituyentes y a transiciones de fases (transiciones vítreas), donde las moléculas de amilosa-amilopectina pierden su organización molecular, resultando en un polímero parcialmente cristalinizado, plastificado por el agua y afectado tanto en su peso molecular promedio, como en sus propiedades funcionales de capacidad de absorción de agua, aceite y formación de las suspensiones acuosa, por presentar propiedades espesantes o gelificantes con una menor tendencia a la retrogradación.

Por lo expuesto, se propuso en esta investigación evaluar las características físicas, químicas y funcionales de las harinas de ñame, ocumo y mapuey obtenidos de material seco a 60 y 80 °C.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Procesos y Equipos Postcosecha del Instituto de Ingeniería Agrícola y en el Laboratorio de Bioquímica de Alimentos "Dra. Emperatriz Pacheco de Delahaye", Instituto de Química y Tecnología, de la Facultad de Agronomía en la Universidad Central de Venezuela, núcleo Maracay, estado Aragua. El material de estudio se basó en tubérculos de ñame, ocumo (ambos del morfotipo criollo blanco) y mapuey (morfotipo morado), procedentes de los principales centros de producción del estado Portuguesa, municipio Ospino; estado Monagas, municipio Bolívar y Amazonas, municipio Atures, respectivamente.

La colecta de las muestras se hizo siguiendo la norma COVENIN N° 1769-81, referida al plan de muestreo global reducido, estableciendo dos lotes de 20 kg cada uno, por duplicado del tubérculo, para ser sometidos al proceso de secado con el método de convección a la temperatura de bulbo seco de 60 y 80 °C, con la finalidad de obtener dos tipos de harinas a partir de productos frescos sanos, enteros, libre de enfermedades y daños por insectos-plagas o físico-mecánicos. Las harinas obtenidas se sometieron a una caracterización física, organoléptica, química proximal y funcional siguiendo los métodos estandarizados de la AOAC (1990) y AACC (2000).

Los datos de los distintos ensayos se analizaron por pruebas estadísticas descriptivas, análisis de varianza y comparación de medias para un nivel de confianza del 95% (α : 0,05), bajo un diseño completamente aleatorizado (Montgomery, 1991), usando el programa computarizado Statistix con un soporte técnico de Windows 2007.

Determinación de la curva de secado por convección para la obtención de las harinas

En la elaboración de las harinas se utilizó el esquema tecnológico de Pacheco (2001), aplicando al material fresco, las operaciones de

selección, lavado, desinfección, tratamiento por inmersión con una solución de ácido cítrico al 0,5% para el control del oscurecimiento enzimático (Salazar *et al.*, 2010), troceado del producto en láminas (4x2x0,1 cm), centrifugado para eliminar el exceso de humedad, secado por el método de convección con aire forzado, molienda de las láminas deshidratadas para la obtención de la harina (malla: 60 mesh: 0,248 mm), empacado en bolsas aluminizadas de poliéster termoselladas y conservación en refrigeración a 5 ± 1 °C para mantener las características de las harinas hasta el momento de su evaluación.

Para las curvas de secado, se planteó ensayar las temperatura de bulbo seco a 60 y 80 °C, con una velocidad fija de flujo de aire seco caliente de 11 m/s en un secador de gabinete o bandeja de marca Procter y Swchwartz, SCM Corporation Philadelphia, E.E. U.U. y describir la proyección de la tasa de pérdida de agua y el contenido de humedad final (humedad de equilibrio) en el material seco.

Determinación de las características físicas, organolépticas, químicas y funcionales

Las características físicas medidas fueron: el contenido de humedad (AOAC, 1990; N° 925,09), actividad del agua (Guzmán *et al.*, 2006); usando un psicométrico Equoi Aqualab Decagon y rendimiento de producto fresco (cantidad de harina por 100 g), expresado en porcentaje (Pacheco, 2001).

La determinación del color y la cromaticidad se midió como característica organoléptica por Hunter (2001), mientras los análisis químicos proximales, expresadas en gramos por cada 100 g, fueron los contenidos de proteína (AOAC, 1990; N° 979.09), ceniza total (AOAC, 1990; N° 923.03), grasa (AOAC, 1990; N° 920.39), azúcares totales y reductores (AOAC, 1990; N° 925.36), taninos (usando el reactivo de Folin Ciocalteu Kaluza *et al.*, 1980), almidón disponible (método multienzimático de Holm *et al.*, 1986), amilosa (Juliano, 1971), amilopectina calculada por diferencia del contenido de amilosa (método de Juliano, 1971) y fibra dietética (método enzimático-gravimétrico, Prosky *et al.*, 1988, publicado en la AOAC, 1990 N° 985.29). Adicionalmente, se midió el pH (método Covenin N° 1315-79).

Las características funcionales medidas fueron: **a)** capacidad de absorción de agua a temperatura ambiente por el método de Wang y Kinsella (1976) utilizando 1 g de muestra en 10 ml de agua destilada, centrifugando (velocidad fija de 2500 rpm por 25 min) y estandarizando el residuo (temperatura de 50 °C por 20 min), por diferencia de pesos, se expresaron los resultados en gramos de agua absorbidos por gramo de almidón; **b)** capacidad de absorción de aceite por el método de Dench *et al.* (1981), se hizo mezclando 0,5 g de muestra en 3 ml de aceite, centrifugando (velocidad fija de 3500 rpm por 25 min) y descartando el exceso de aceite, estableciendo la diferencia de pesos para expresar los resultados en gramos de aceite absorbidos por gramos de almidón; **c)** capacidad de absorción de agua, solubilidad y poder de hinchamiento en el intervalo de temperatura de 60 a 95 °C, por el método de Whistler (1964), que constituye la temperatura de gelatinización y absorción de agua como variables específicas de cada tipo de almidón.

La estimación del contenido de sólidos solubles (SS), absorción de agua (AA) y poder de hinchamiento (pH), se realizó según se muestra en las ecuaciones 1, 2, y 3,

$$\% \text{ SS} = (b/W2) \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ AA} = (a-W3)/w3 \quad (2)$$

$$\% \text{ pH} = \frac{(a \times 100)}{W2} \times (100 - \% \text{ SS}) \quad (3)$$

donde, W2 es el almidón en cada alícuota y se estima según la ecuación 4, en la cual W1 es el contenido de almidón

$$W2(\%) = \frac{A \times W1}{100} \quad (4)$$

en la suspensión y se estima según la ecuación 5. A es el peso de alícuota (g), a es el peso del sedimento en el tubo y b es el peso del residuo en la cápsula.

$$W1(\%) = \frac{\text{peso (g) almidón base seca}}{\text{peso (g) almidón base húmeda}} + 200 \quad (5)$$

En la ecuación 2, W3 es el almidón residual en cada alícuota y se estima según la ecuación 6

$$W3 = W2 - b \quad (6)$$

También, se determinó el comportamiento reológico de la viscosidad, por el método AACC (2000) número 61-02, usando un viscoamiloógrafo rápido (Rapid Visco™ Analyzer [RVA] Super3, Newport Scientific, modelo 3D Australia), que permitió medir la resistencia del flujo de la pasta a una tensión de desplazamiento constante en función de la variación de temperatura registrada por el programa de computación Thermocline para Windows (TCW). Para el perfil viscoamilográfico, se utilizó el estándar número uno a partir de la suspensión de harina a una concentración de sólidos de 18%, bajo condiciones controladas de temperatura desde 50 a 95 °C y velocidad de 960 a 160 rpm. Los resultados se expresaron en unidades de RUV para los valores de la viscosidad pico, media y final, estabilidad del gel o "breakdown" (viscosidad pico-viscosidad media), retrogradación o "setback" (viscosidad final-viscosidad pico), consistencia (viscosidad final-viscosidad media) y temperatura de gelatinización o empaste denotada en grados centígrados (°C). Todas las mediciones fueron por cuadruplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la curva de secado por convección

Las curvas de secado permitieron visualizar el comportamiento de los cambios de masa y forma de transferencia de calor en los tres tubérculos, durante la deshidratación a las temperaturas de 60 y 80 °C, determinando para ambas condiciones de secado, períodos de velocidad decreciente del contenido de agua inicial (tensoactiva o superficialmente libre) hasta llegar a la humedad de equilibrio, como consecuencia de la menor cantidad de agua tenso activa y parcialmente ligada, que se difundió a través del sólido, debido a la menor disposición de los sitios activos (o enlaces de hidrógeno) en los polímeros de almidón para la unión con el agua (Westgate *et al.*, 1992).

Este comportamiento siguió un modelo polinomial (cinética de tercer orden (dx/dt)) con un coeficiente de determinación (R²) de 0,99, establecido por la relación exponencial negativa entre los cambios de la humedad promedio del

sólido (SS), como consecuencia del mecanismo de difusión del aire seco a su paso por el tejido poroso. El tiempo de secado varió de 180 a 120 min, a las temperaturas de 60 y 80 °C, respectivamente (Figura 1), siendo similares a la cinética de secado por convección de *Dioscorea rotundata* (Montes *et al.*, 2008).

Bajo estas condiciones de secado, hubo una reducción del contenido de agua inicial de trozos de ñame (75,63 g/100 g), ocumo (77,89 g/100 g) y mapuey (73,94 g/100 g), aproximadamente un 75 a 80%, con cambios en la estructura física visible del material (reducción del tamaño, deformaciones, fisuras, fracturas y encostramiento superficial), indicativos de un tejido seco, apto para la obtención de harina, con características estables de humedad final, tanto a la temperatura de 60 °C (6,64; 7,44 y 6,44 g/100 g) como de 80 °C (5,50; 5,09 y 3,42 g/100 g) en los empaques usados (Cuadro 1). Estas observaciones fueron parecidas a las descritas para productos vegetales (Krokida *et al.*, 2003; Yadav *et al.*, 2006; Montes *et al.*, 2009).

Características físicas y organolépticas de las harinas y rendimiento

Contenido de humedad, actividad de agua y color: el bajo contenido de humedad obtenido en las harinas de ñame, ocumo y mapuey (Cuadro 2), se relacionó con una baja actividad de agua (a_w : 0,38-0,53) que fue indicativa de una estabilidad, tanto en su estructura física, como ante el desarrollo de microorganismos deteriorativos y cambios bioquímicos indeseables, durante el almacenamiento a temperatura ambiente, siempre y cuando el producto se encuentra bien empacado (Jimoh *et al.*, 2009; Montes *et al.*, 2008; Labuza *et al.*, 1985).

Respecto al contenido de humedad, los resultados están a la misma magnitud que los reportados por García y Pacheco (2009) de 3,11 y 4,23 g/100 g en harina de *A. xanthorrhiza* L., sometidas a un secado por convección a la temperatura de 60 y 80 °C, respectivamente. Estas harinas se caracterizaron por presentar en términos de color, altos valores de luminosidad con una baja influencia de la variación del croma **a**, pero sí del croma **b** (Cuadro 3), por la formación de los compuestos del pardeamiento no enzimático

(degradación azúcares, aminoácidos, vitaminas, entre otros) ocurridos durante el proceso de deshidratación.

Los valores promedio de la cromaticidad (C) mostraron una tendencia a la coloración crema claro, que puede ser aceptado por el consumidor. Según González e Ileana (2007), determinan que esto se debe a la luz reflejada o transmitida por las harinas no convencionales, normalmente produce una sensación subjetiva o percepción visual al ojo humano que lo asemeja a la harina de trigo.

De acuerdo a estos resultados, la técnica de secado ensayada desde el punto de vista comercial, podría resolver el problema percedero de estos rubros, al transformarlos en harinas y en una posible materia prima a ser usada por la agroindustria en el desarrollo de harinas compuestas destinadas a la formulación de productos tradicionales o novedosos.

Rendimientos de las harinas: los rendimientos promedio en las harinas deshidratadas a la temperatura de 80 °C (ñame 30,44%, ocumo 28,30% y mapuey 26,89%), fueron similares a los obtenidos a la temperatura de 60 °C (Cuadro 4), encontrándose que el rendimiento de la harina de mapuey fue superior al indicado por Bou *et al.* (2006), obteniendo valores de 18,48 g/100 g en el morfotipo blanco y 19,90 g/100 g para el morado, los cuales fueron considerados aceptables en función al factor de desecho. En consecuencia, los rendimientos obtenidos en las harinas en estudio, para las dos temperaturas (60 y 80 °C) y tiempos de secado (180 y 120 min), pueden resultar de interés para fines agroindustriales.

Características químicas de las harinas en estudio

El Cuadro 5 presenta las características químicas proximal de las harinas en estudio, se observa que las muestras deshidratadas a 60 °C (2,12 a 3,26 g/100 g) y 80 °C (2,15 a 3,38 g/100 g), presentaron bajos contenidos de ceniza, en comparación con lo reportado para la mayoría de las raíces y tubérculos tropicales de 0,44 a 4,10 g/100 g (Hernández *et al.*, 2008; Palomino *et al.*, 2010). Sin embargo, representa un aporte variable en algunos minerales de importancia en la dieta del individuo (Pérez, 2007).

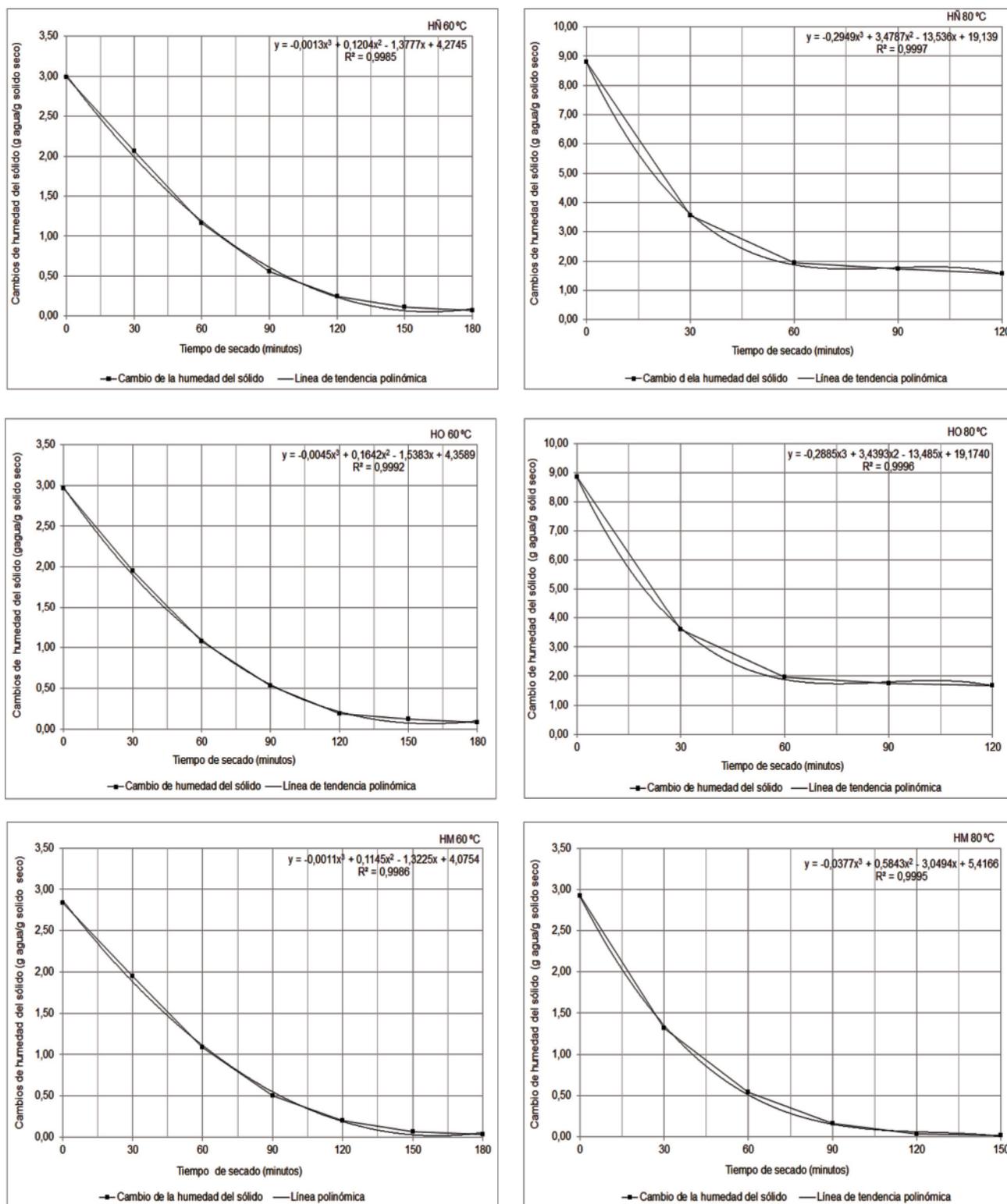


Figura 1. Curvas de secado de los tubérculos ñame (HÑ), ocumo (HO) y mapuey (HM) por el método de convección a la temperatura de 60 y 80 °C para la obtención de harinas.

Cuadro 1. Contenido de humedad de los tubérculos de ocumo, ñame, mapuey y sus harinas deshidratadas por el método de convección a la temperatura de 60 y 80 °C.

Producto	Humedad inicial de los tubérculos (g/100g)	Humedad final (g/100g) de las harinas deshidratado a la temperatura	
		60 °C	80 °C
Ñame	75,63 ± 0,04	6,64 ± 0,04	5,50 ± 0,05
Ocumo	77,89 ± 0,05	7,44 ± 0,03	5,09 ± 0,03
Mapuey	73,94 ± 0,04	6,44 ± 0,02	3,42 ± 0,01
Tiempo de secado		180 minutos	120 minutos

Valores promedios ± desviación estándar

Cuadro 2. Características físicas de las harinas deshidratadas por el método de convección a la temperatura de 60 y 80 °C.

Característica física	Harinas deshidratadas a 60 °C			Harinas deshidratadas a 80 °C		
	Ñame	Ocumo	Mapuey	Ñame	Ocumo	Mapuey
Humedad (g/100g)	6,64 ± 0,04 ^b	7,44 ± 0,03 ^a	6,44 ± 0,02 ^b	5,50 ± 0,05 ^c	5,09 ± 0,03 ^c	3,42 ± 0,01 ^d
Actividad de agua	0,51 ± 0,02 ^b	0,53 ± 0,01 ^a	0,50 ± 0,02 ^b	0,48 ± 0,01 ^c	0,44 ± 0,01 ^d	0,38 ± 0,01 ^e

Letras iguales en una misma fila, indica que no existe diferencias significativas entre las muestras (P>0,05).

Cuadro 3. Característica organoléptica del color en las harinas deshidratadas por el método de convección a la temperatura de 60 y 80 °C.

Parámetros del color	Harinas deshidratadas a 60 °C			Harinas deshidratadas a 80 °C		
	Ñame	Ocumo	Mapuey	Ñame	Ocumo	Mapuey
L	87,95 ± 0,05	86,61 ± 0,06	83,04 ± 0,04	85,40 ± 0,05	84,23 ± 0,04	81,74 ± 0,04
a	2,02 ± 0,03	1,47 ± 0,02	1,65 ± 0,02	0,97 ± 0,01	0,62 ± 0,02	0,64 ± 0,03
b	7,55 ± 0,04	5,98 ± 0,02	4,86 ± 0,04	8,64 ± 0,02	7,50 ± 0,04	5,69 ± 0,03
Cromaticidad	7,81 ± 0,02 ^b	6,16 ± 0,01 ^c	5,13 ± 0,03 ^d	8,69 ± 0,01 ^a	7,52 ± 0,02 ^b	5,73 ± 0,02 ^c

C: cromaticidad. L = luminosidad, 100=blanco, 0=negro, croma a: +a = rojo, -a = verde, croma b: +b = amarillo, -b = azul
Letras iguales en una misma fila indica que no existe diferencias significativas entre las muestras (P>0,05).

Cuadro 4. Rendimiento de las harinas deshidratadas por convección a la temperatura de 60 y 80 °C.

Rubro	Rendimiento (%)	
	Harinas deshidratadas a temperatura 60 °C	Harinas deshidratadas a temperatura 80 °C
Ñame	29,34 ± 0,96 ^a	30,44 ± 0,99 ^a
Ocumo	27,26 ± 0,91 ^a	28,30 ± 1,10 ^a
Mapuey	25,99 ± 0,89 ^a	26,89 ± 0,76 ^a

Promedios expresados en base seca.

Letras iguales indican inexistencia de diferencias significativas entre las muestras (P>0,05)

Cuadro 5. Características químicas proximales de las harinas deshidratadas por el método de convección a la temperatura de 60 y 80 °C.

Contenidos (g/100g)	HÑ 60 °C	HÑ 80 °C	HO 60 °C	HO 80 °C	HM 60 °C	HM 80 °C
Ceniza	2,46 ± 0,04 ^b	2,33 ± 0,03 ^b	3,26 ± 0,05 ^a	3,38 ± 0,06 ^a	2,12 ± 0,07 ^c	2,15 ± 0,04 ^c
Proteína	6,77 ± 0,04 ^a	5,20 ± 0,08 ^b	4,84 ± 0,04 ^c	4,05 ± 0,07 ^d	6,37 ± 0,04 ^a	5,75 ± 0,06 ^b
Grasa	0,38 ± 0,01 ^e	0,36 ± 0,02 ^e	1,13 ± 0,03 ^a	0,92 ± 0,04 ^b	0,53 ± 0,04 ^c	0,45 ± 0,04 ^d
Almidón	79,96 ± 0,07 ^a	77,48 ± 0,09 ^a	74,91 ± 0,10 ^b	71,21 ± 0,08 ^d	72,60 ± 0,11 ^c	70,84 ± 0,09 ^d
Azúcares totales	4,77 ± 0,20 ^f	7,66 ± 0,06 ^e	9,63 ± 0,11 ^d	12,5 ± 0,10 ^c	13,51 ± 0,12 ^b	15,14 ± 0,09 ^a
Fibra dietaria	4,89 ± 0,05 ^d	6,21 ± 0,05 ^b	5,76 ± 0,03 ^c	7,58 ± 0,11 ^a	4,84 ± 0,04 ^d	5,18 ± 0,04 ^c
Taninos	0,77 ± 0,01 ^a	0,76 ± 0,02 ^a	0,47 ± 0,03 ^c	0,36 ± 0,05 ^d	0,56 ± 0,02 ^b	0,49 ± 0,03 ^c

Letras iguales en una misma fila, indican la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas (P>0,05).

Por el contrario, el contenido de proteína tiende a ser mayor en las harinas deshidratadas a la temperatura de 60 °C (4,84 a 6,77 g/100 g) que a 80 °C (4,05 a 5,75 g/100 g), coincidiendo con reportes que indican alto valor biológico por ser ricos en aminoácidos esenciales y particularmente en leucina e isoleucina (Pérez, 2007).

El contenido de grasa presentó valores promedio bajos (0,38 a 1,13 g/100 g; Cuadro 4), similares a los reportados para la mayoría de los tubérculos (Pérez, 2007; Bou *et al.*, 2006; Rincón *et al.*, 2000), mientras el contenido de almidón, además de representar el macro-componente, mostró diferencias estadísticamente significativas (P>0,05) entre las especies por existir una mayor

proporción en los materiales deshidratados a la temperatura de 60 °C, con respecto a 80 °C, determinándose que las harinas de ñame (79,96 y 77,48 g/100 g) tuvieron los valores promedios más altos, seguidos de las harinas de ocumo (74,91 y 71,21 g/100 g) y mapuey (72,60 y 70,84 g/100 g), existiendo en estos gránulos de almidón predominio de la fracción de amilopectina (70,99 a 71,78 g/100 g) sobre la amilosa aparente (28,22 a 29,01 g/100 g). Estos últimos valores coincidieron con los reportados en la mayoría de las raíces y tubérculos procedentes de las regiones tropicales (Cuadro 6), que se ubican en el intervalo de 20 a 30 g/100 g (Pérez, 2007; Espín *et al.*, 2003; Espín *et al.*, 2001).

Cuadro 6. Contenidos de amilosa, amilopectina y azúcares reductores en las harinas deshidratadas por el método de convección a la temperatura de 60 y 80 °C.

Contenidos (g/100g)	HÑ 60 °C	HÑ 80 °C	HO 60 °C	HO 80 °C	HM 60 °C	HM 80 °C
Amilosa	28,22 ± 0,17 ^c	28,99 ± 0,10 ^a	28,24 ± 0,08 ^a	28,72 ± 0,09 ^b	28,94 ± 0,13 ^a	29,01 ± 0,08 ^a
Amilopectina	71,78 ± 0,14 ^a	71,01 ± 0,10 ^c	71,76 ± 0,09 ^a	71,28 ± 0,09 ^b	71,06 ± 0,13 ^c	70,99 ± 0,08 ^d
Azúcares reductores	3,22 ± 0,09 ^e	4,34 ± 0,04 ^d	5,86 ± 0,06 ^c	9,04 ± 0,08 ^b	8,76 ± 0,09 ^b	9,55 ± 0,06 ^a

Letras iguales en una misma fila indican la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$).

La importancia de un menor contenido de amilosa, está relacionada con las características funcionales de las pastas o geles a la menor retrogradación y no presencia de sinéresis, fenómeno no deseable por indicar re-arreglos de los componentes amiláceos después de la formación del gel, que pierden el dominio de las moléculas de agua saliendo al exterior (Bou *et al.*, 2006).

Con relación a los azúcares totales y reductores, se encontraron mayores contenidos en las harinas deshidratadas a 80 °C que a 60 °C (Cuadros 5 y 6), siendo superiores en la harina de mapuey (15,14 y 9,55 g/100 g) con respecto a las harinas de ñame (7,66 y 4,77 g/100 g) y ocumo (12,5 y 9,63 g/100 g). En el caso del contenidos de azúcares reductores, las harinas de ñame (4,34 y 3,22 g/100 g) y ocumo (9,04 y 5,86 g/100 g), presentaron menores promedios que la harina de mapuey (9,55 y 8,76 g/100 g).

Según Espín *et al.* (2003), en la mayoría de las raíces y tubérculos, los promedios de azúcares totales son variables entre 1,96 a 11,59 g/100 g y reductores de 1,21 a 10,53 g/100 g, pero estas cantidades resultan importantes por influir en las características sensoriales del producto.

La fibra dietaria fue mayor en las harinas de ocumo (7,58 g/100 g), seguida en ñame (6,21 g/100 g) y mapuey (5,18 g/100 g) obtenidas a la temperatura 80 °C que 60 °C (Cuadro 5). Se considera que su disponibilidad al ser usada en la formulación

de alimentos, puede mejorar algunas características funcionales, reológicas y sensoriales en estos productos, elevar el valor nutritivo e incluso aportar beneficios a la salud, como agente protector de ciertas enfermedades (diabetes, cáncer de colon, cardiovasculares) según las cantidades presentes (García *et al.*, 2008; Rayas y Romero, 2008; Park y Floch, 2007).

El contenido de taninos (compuestos fenólicos de alto peso molecular que contienen suficientes hidroxilos y otros grupos como los carboxilos) fue mayor en las harinas de ñame (0,77 y 0,76 g/100 g), aunque en general es bajo tanto en las harinas procesadas a las temperaturas de 60 y 80 °C (Cuadro 5).

Los resultados de taninos coincidieron con lo reportado por Padilla *et al.* (2008); Barrera *et al.* (2004); Yu *et al.* (2002) en harinas de raíces y tubérculos (0,2; -0,89 g/100 g), indicando que son importantes por tratarse de compuestos bioactivos con alta capacidad antioxidante como la vitamina C, E, y β -caroteno.

pH de la harinas en estudio: El pH se encontró cercano a la neutralidad, sin que existieran diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) entre las harinas. Los valores promedios fueron entre 6,2 a 6,4 (Cuadro 7), parecidos a los señalado por Akissoe *et al.* (2001) y Jimoh *et al.* (2009) en algunas harinas de *Dioscorea alata* y *Dioscorea rotundata*, que indicaron pH de 6,1 a 6,6.

Cuadro 7. Valores promedio del pH en las harinas deshidratadas por convección a las temperaturas de 60 y 80 °C.

Rubro	pH HD 60 °C	pH HD 80 °C
Ñame	6,4 ± 0,01 ^a	6,2 ± 0,01 ^b
Ocumo	6,4 ± 0,01 ^a	6,2 ± 0,01 ^b
Mapuey	6,4 ± 0,01 ^a	6,2 ± 0,01 ^b

HD = harinas deshidratadas.

Letras iguales en una misma fila indican inexistencia de diferencias significativas entre las muestras ($P > 0,05$).

Características funcionales de las harinas en estudio

En la Figura 2 se observa que existió una alta relación entre la capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento, con un $R^2=0,95$ a $0,98$ y una dependencia directa entre la absorción de agua y solubilidad ($R^2= 0,95$ a $0,99$), siendo los valores de la capacidad de poder de hinchamiento y solubilidad superiores para la harina de mapuey (25,88 g/100 g y 22,01%), seguido de la harina de ocumo (22,01 g/100 g y 21,82%) y ñame (20,06 g/100 g y 18,95%) obtenidas a la temperatura de secado de 80 °C.

Una tendencia similar ocurrió para la absorción de agua, siendo mayor en la harina de ocumo deshidratada a 80 °C (20,32 g/100 g), seguido de la harina de mapuey (18,67g/100 g) y ñame (17,27 g/100 g). Es de mencionar, que el resultado para la harina de mapuey, fue muy cercano al determinado por Bou *et al.* (2006).

El comportamiento del poder de hinchamiento de estas harinas, coincide con Hernández *et al.* (2008); Hoover (2001); Lii *et al.* (1995), quienes observaron un hinchamiento gradual de los gránulos de almidón a medida que aumenta la temperatura, debido a la ruptura de los enlaces de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas, que conllevan a una absorción irreversible y progresiva del agua. Esto como

respuesta del alto contenido de amilopectina, la amilosa tiende a ser más un diluyente e inhibidor del hinchamiento.

Es interesante mencionar, que las harinas deshidratadas por convección a la temperatura de 80 °C, posiblemente presentaron modificaciones físicas en la estructura de los gránulos de almidón, relacionadas con ciertos grados de disrupción sobre el mismo y entre los complejos que pudieran existir, iniciando una mayor solubilización y capacidad de absorción de agua, con la alta capacidad constante de poder de hinchamiento de los mismos, en medio acuoso, en la medida que aumenta la temperatura de calentamiento (García y Pacheco, 2009; Pacheco y Techeira, 2009; Pérez, 2007; Sandoval *et al.*, 2007; Pérez y Pacheco, 2005).

De acuerdo a este análisis, se indica que los materiales deshidratados a la temperatura de 80 °C, tienden a presentar una mayor capacidad espesante y gelificante con respecto a las harinas obtenidas a 60 °C. Según Jimoh *et al.* (2009) las harinas de especies comerciales de *Dióscorea*, deshidratadas a la temperatura de 60 °C, por convección, presentan baja capacidad de absorción de agua, por la presencia de la estructura nativa en los gránulos de almidón.

Esta condición tiende a afirmar que dichas harinas pueden tener una baja resistencia a los esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación, sinéresis e incluso pueden impartir una textura gomosa y cohesiva en aquellos alimentos donde se utilizan como agentes espesantes.

Capacidad de absorción de agua a temperatura ambiente: Las harinas deshidratadas a la temperatura de 80 °C de mapuey (2,88 g/g almidón), ñame (2,75 g/g almidón) y ocumo (2,69 g/g almidón), presentaron los mayores valores promedio de capacidad de absorción de agua a temperatura ambiente (CAA) que las harinas obtenidas a 60 °C (Cuadro 8). Mientras los promedios de capacidad de absorción de aceite (CAAc), fueron similares entre las harinas (ocumo: 1,99 y 1,98 g/g, ñame: 1,87 y 1,83 g/g y mapuey: 1,83 y 1,82 g/g) deshidratadas a temperatura de 80 y 60 °C, coincidiendo estos resultados con lo indicado para la mayoría de las harinas de raíces y tubérculos (Pérez, 2007).

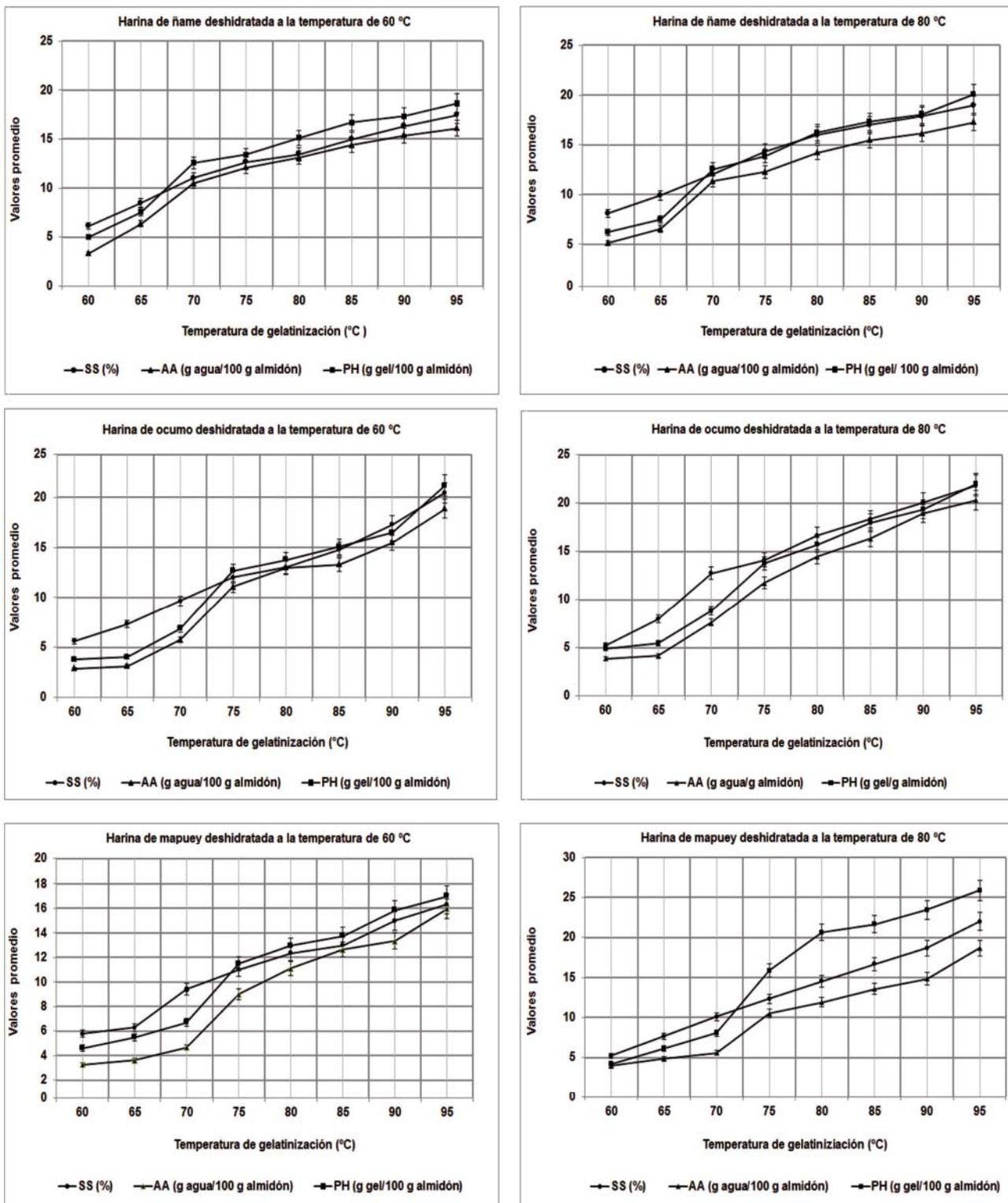


Figura 2. Capacidad de absorción de agua (AA), poder de hinchamiento (PH) y solubilidad (SS) en las harinas deshidratadas por convección a la temperaturas de 60 y 80 °C.

Cuadro 8. Capacidad de absorción de agua a temperatura ambiente y absorción de aceite en las harinas deshidratadas a 60 y 80 °C.

Características funcionales	Tipo de harina		
	Ñame	Ocumo	Mapuey
Absorción de agua (g agua/g almidón)			
HD 60 °C	2,66 ± 0,04 ^c	2,54 ± 0,03 ^d	2,81 ± 0,04 ^a
HD 80 °C	2,75 ± 0,03 ^b	2,69 ± 0,02 ^c	2,88 ± 0,03 ^a
Absorción de aceite (g aceite/g almidón)			
HD 60 °C	1,83 ± 0,05 ^b	1,98 ± 0,03 ^a	1,82 ± 0,03 ^b
HD 80 °C	1,87 ± 0,05 ^b	1,99 ± 0,04 ^a	1,83 ± 0,03 ^c

HD = harinas deshidratadas

Letras iguales en una misma fila, indica que no existe diferencias significativas entre las muestras (P>0,05).

Este comportamiento está relacionado con las posibles modificaciones ocurridas en los gránulos de almidón por efecto del tratamiento térmico a la mayor temperatura de secado de 80 °C, así como a las interacciones que puedan existir entre la proteína-agua, carbohidratos-agua y las acciones físicas de la capilaridad (Sandoval *et al.*, 2007; García y Pacheco, 2007; Pérez y Pacheco, 2005). Es importante señalar que los resultados de alta CAAC promueve la posibilidad de que estas harinas sean usadas en la formulación de diversos productos de panadería, cárnicos, preparación de cremas o sopas, formulación de productos para freír, por ser una característica que tiende a mejorar el sabor y la textura de estos alimentos.

Viscosidad: En el Cuadro 9 se observa que la harina de mapuey deshidratada a 60 y 80 °C, presentó valores promedio de viscosidad máxima (375,00 y 352,67 RUV) que tiende a indicar una mayor inestabilidad de la suspensión del almidón, seguido de las harinas de ñame (197,58 y 203,25 RUV) y ocumo (182,42 y 275,75 RUV).

La inestabilidad del gel, se relacionó con la fragilidad y la solubilidad de los gránulos de almidón hinchados, durante el ciclo de calentamiento. La viscosidad media fue mayor para las harinas obtenidas a la temperatura de 80 °C, atribuido al rearreglo lineal de las moléculas de amilosa liberadas durante el calentamiento (Hoover,

2000), mientras la viscosidad final, en la harina de mapuey (420,00 y 386,00 RUV) tuvo los promedios más altos, con respecto a las harinas de ocumo (226,25 y 351,67 RUV) y ñame (220,17 y 228,42 RUV) deshidratadas a 60 y 80 °C.

Estos resultados coinciden con la mayor capacidad de hinchamiento y absorción de agua que tuvo la harina de mapuey, que conllevó al alto grado de disrupción granular y lixiviación de los componentes hacia el medio circundante durante el calentamiento progresivo hasta la temperatura de 95 °C, y a que ocurriera la formación de un gel firme después de la cocción y del enfriamiento. Esto por la retrogradación de los gránulos de almidón (reorganización de las moléculas y convirtiéndose en una estructura de gel). Resultado similar fue observado por Jimoh *et al.* (2009) en harinas de ñame de dos especies del género *Dióscorea*, deshidratadas por convección a la temperatura de 45 °C, pero con promedios de viscosidad más altos a los reportados en este trabajo.

En todas las muestras en estudio, la viscosidad máxima mostró una disminución gradual, debido a que las moléculas de los gránulos de almidón solubles, se orientaron en la dirección de agitación del sistema originando una reducción, siendo este fenómeno conocido como "Shear Thinning" (Bou *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2007, Parker y Ring, 2001; Hoover, 2001).

Cuadro 9. Viscosidad de las suspensiones de las harinas deshidratadas a la temperatura de 60 y 80 °C.

Parámetros	Temperatura de deshidratación		
	HÑ 60/80 °C	HO 60/80 °C	HM 60/80 °C
Viscosidad máxima (RVU)	197,58/203,25	182,42/275,75	375,00/352,67
Viscosidad media (RVU)	137,92/175,00	147,84/233,58	350,67/350,00
Viscosidad final (RVU)	220,17/228,42	226,25/351,67	420,00/386,00
Temperatura de empaste (°C)	64,90/69,75	72,80/65,00	64,95/70,40
Estabilidad o "Breakdown"	59,66/28,25	34,58/42,17	24,33/2,67
Asentamiento o "Setback"	22,58/25,17	43,83/75,92	45,00/34,00
Consistencia o "Setback total"	82,25/53,42	78,41/118,05	69,33/36,00

HÑ: harina de ñame; HO: harina de ocumo; HM: harina de mapuey

1 RVU = aproximadamente 12 cp (centipoise). Estabilidad o breakdown (viscosidades máxima - viscosidad media). Asentamiento o setback (viscosidad final - viscosidad máxima). Consistencia o "Setback total" (viscosidad final - viscosidad media).

La temperatura de gelatinización o empaste (transición de fase de un estado ordenado a uno desordenado), en las harinas de ñame (64,90 °C) y mapuey (64,95 °C) deshidratadas a 60 °C, fueron similares; mientras la harina de ocumo (65 °C) deshidratada a la temperatura de 80 °C, tuvo un promedio más bajo al compararlo con las harinas de ñame (69,75 °C) y mapuey (70,40 °C) deshidratadas a la misma temperatura. Estos resultados coincidieron con los indicados para la mayoría de los tubérculos de 63-74 °C (Hernández *et al.*, 2008).

Es de mencionar que la formación de geles a temperaturas iguales o superiores de 70 °C, implican altos valores de entalpía (Rodríguez *et al.*, 2006), lo que significa que estas harinas pueden ser utilizadas para elaborar productos que requieren ser sometidos a altas temperaturas de procesamiento (productos enlatados).

La mayor estabilidad de la pasta o "Breakdown" (viscosidad máxima - viscosidad media) se observó en la harina de mapuey obtenida a 60 y 80 °C (24,33 y 2,67 RUV), mientras el valor más alto de inestabilidad del gel, se determinó para la harina de ñame deshidratada la temperatura de 60 °C

(59,66 RUV), debido a la alta fragilidad para la ruptura de los gránulos de almidón al inicio del enfriamiento, que sobrellevó la pérdida de la viscosidad.

Paralelamente, se detectó un aumento en la viscosidad al final del período de enfriamiento en las distintas suspensiones, restableciendo los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de amilosa/ amilopectina y la pérdida del calor en el sistema donde varios constituyentes (gránulos hinchados, fragmentos de gránulos hinchados, moléculas de almidón coloidal y molecularmente dispersas), tienden al proceso de retrogradación.

Este comportamiento es característico para la mayoría de las harinas de tubérculos (Jimoh *et al.*, 2009; Pérez, 2007; Singh *et al.*, 2007; Sandoval *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2006; Spin *et al.*, 2003).

La diferencia de la viscosidad a 50 °C, con respecto a la máxima viscosidad, es denominado asentamiento o "setback" (viscosidad final y máxima), siendo este valor menor para las harinas obtenidas por secado a la temperatura de 80 °C que a 60 °C en las harinas de ñame

(22,58 y 25,17 RUV), mapuey (45,00 y 34,00 RUV) y ocumo (43,83 y 75,92 RUV), permitiendo inferir una baja tendencia a la retrogradación en el orden indicado. Estos eventos son importantes al momento de decidir incorporar este material amiláceo en algún producto que necesite enfriamiento durante su preparación (pudines, flanes, atoles, entre otros).

La consistencia o "setback total" (viscosidad final y media), fue mayor para las harinas de ñame (82,25 RUV) y ocumo (78,41 RUV) deshidratadas a 60 °C, que en las harinas de mapuey (69,33 RUV), mientras la harina de ocumo deshidratada a 80 °C, mostró menor consistencia por haber tenido el valor promedio más alto (118,05 RUV), siendo los valores más bajos detectados en las harinas de mapuey (36,00 RUV) y ñame (53,42 RUV) deshidratadas a 80 °C, estos resultados son el reflejo del comportamiento del contenido de amilosa en estas suspensiones al enfriarse, lo cual fue coincidente con las experiencias de Rodríguez *et al.* (2006).

CONCLUSIONES

El método de secado por convección a la temperaturas de 60 y 80 °C, permitió obtener harinas con bajos contenidos de humedad y actividad de agua, estables ante cambios físicos y bioquímicos, con rendimientos considerados de interés para fines agroindustriales.

Los análisis de las características físicas y químicas, fueron similares a la reportada en la mayoría de las harinas de raíces y tubérculos, pero funcionalmente distintas, atribuidas a las modificaciones de los gránulos de almidón por efecto de los tratamientos térmicos, particularmente las deshidratadas a la temperatura de 80 °C, y a las interacciones entre proteína-agua, carbohidratos-agua y las acciones físicas de capilaridad.

Las harinas son ideales para obtener geles con una mayor capacidad espesante y baja tendencia a la retrogradación. Siendo referida la harina de mapuey, como adecuada para elaborar productos que requieren ser sometidos a altas temperaturas de procesamiento (productos enlatados).

Las harinas de ñame y ocumo, deshidratadas a 60 °C, se consideraron convenientes para obtener productos con alta consistencia y en general las

harinas sometidas a esta temperatura, manteniendo un mayor contenido de algunos componentes de valor nutricional, que son de interés para formulaciones de harinas compuestas.

AGRADECIMIENTO

Por el apoyo a nivel de laboratorio de análisis de alimentos a la TSU Gloria Betancourt e Isolina Corcega, la doctora Emperatriz Pacheco del Laboratorio de Bioquímica de Alimentos y Laboratorio de Procesos y Equipos Postcosecha, respectivamente. Igualmente, a la Profesora Gladiana Praderes en las actividades de logística (UCV-FAGRO) y al CDCH-UCV por su parcial financiamiento.

LITERATURA CITADA

- Akissoe, N., J. Hounhouigan, N. Bricas, P. Vernier, O. Nasco and O. Olorun. 2001. Physical, chemical and sensory evaluation of dried yam (*Dioscorea rotundata*) tubers, flour and 'Amala' a flour derivatives product. *Food Chemistry*. 77:203-208.
- AACC (The American Association of Cereal Chemist). 2000. Viscosity determination. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemist* n° 61-02. St. Paul, MN, E.E. U.U. 1.200 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Dietary fiber determination. *Official methods of analysis* n° 985.29. 15 ed. Washington, DC (USA). 980 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Lipid determination. *Official methods of analysis* n° 920.39. 15 ed. Washington, DC (USA). 980 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Moisture determination. *Official methods of analysis* n° 925.09. 15 ed. Washington, DC (USA). 980 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Protein determination. *Official methods of analysis* n° 979.09. 15 ed. Washington, DC (USA). 980 p.

- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Total ash Determination. Official methods of analysis n° 923.03. 15 ed. Washington, DC (USA). 980 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 1990. Total sugar and reductors determination. Official methods of analysis n° 925.36. 15 ed. Washington, DC (USA). 980 p.
- Barrera, V., C. Tapia y A. Monteros. 2004. Raíces y tubérculos andinos. Alternativas para la conservación y uso sostenibles en el Ecuador. INIAP. Quito, Ecuador. 178 p.
- Bou, L., C. Vizcarrondo, A. Rincón y F. Padilla. 2006. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida* L.) variedades blanco y morado. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 56(4):375-383.
- Brennan, J., J. Brutters, N. Cowell y A. Lilley. 1998. Las operaciones de la Ingeniería de los alimentos. 3a ed. Acribia. Zaragoza, España. 714 p.
- Chacón, A., L. Gómez y S. Torres. 2005. Aclimatización de plántulas de yampí (*Dioscorea trifida*) y ñame (*Dioscorea alata*) producidas *in vitro*. Revista Agronomía Costarricense. 29(3):47-58.
- COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 1981. Frutas tomas de muestra N° 1769-81. 1era. Revisión. Publicación de Fondo-norma, Categoría C. CDU. 634.1/7:620.11. Caracas, Venezuela. 8 p.
- COVENIN (Comisión Venezolana de Normas Industriales). 1979. Alimentos. Determinación de pH. N° 1315-79. Comisión Venezolana de Normas Industriales. Norma Venezolana. Ministerio de Fomento. Ediciones Fondonorma. Caracas- Venezuela. 4 p.
- De Melo, S. 2006. Mesa redonda sobre complementariedad de la producción sostenible frutihortícola Amazónica con el desarrollo de microempresas agroindustriales en los países del tratado de cooperación amazónica. FAO para América Latina y el Caribe Amazónica. Serie 33. Lima, Perú. 50 p.
- Dench, J., E. Rivas and J. Caygill. 1981. Selected functional properties of sesame (*Sesamum indicum* L.) flour and two protein isolates. Journal Science of Food and Agriculture. 32:557.
- Espín, S., B. Brito, E. Villacrés, A. Rubio, C. Nieto y J. Grijalva. 2001. Composición química, valor nutricional y usos potenciales de siete especies de raíces y tubérculos andinos. Acta Científica Ecuatoriana. 7(1):43-49.
- Espín, S., E. Villacrés y B. Brito. 2003. Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. Revista Centro Interamericano de la Papa. 1:101-107.
- Fioreze, R. and B. Morini. 2000. Yam (*Dioscorea* sp.) drying with different cuts and temperatures experimental and simulated results. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 20(2):262-266.
- García A. y E. Pacheco. 2009. Hidrólisis enzimática *in vitro* y microscopia electrónica de la harina horneada y extrudida de arracacha. Agronomía Trop. 59(3):297-308.
- García A., E. Pacheco, J. Tovar y E. Pérez. 2007. Caracterización fisicoquímica y funcional de la harina de arracacha (*A. xanthorrhiza*) para sopas instantáneas. Revista Ciencia y Tecnología de los Alimentos, CYTA- México. 5(5):384-393.
- García, O., R. Infante y C. Rivera. 2008. Hacia una definición de fibra alimentaria. Anales Venezolanos de Nutrición. 21(1):25-30.
- González, A. y V. Ileana. 2007. El color en la industria de los alimentos. Editorial Universitaria. La Habana, Cuba. 95 p.
- Guzmán, R., R. Torán, P. Guzmán y R. Cásares. 2006. Método simplificado para estimar la actividad del agua en deshidratación de hortalizas. Investigación y Desarrollo. 27:1-9.
- Hernández, M., J. Torruco, L. Chel e D. Betancur. 2008. Caracterização físico-química de amidos de tubérculos cultivados em Yucatán, México. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas. 28(3):718-726.
- Holm, J., I. Bjorck, A. Drews and N. Asp. 1986. A rapid method for the analysis of starch. Starch/Starke. 38(7):224-226.

- Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. *Carbohydrates and Polymers*. 45(3):253-267.
- Hunter, L. 2001. Associates laboratory. INC. Instruction manual Hunter Lab 11491 USA. 132 p.
- Jarayaman, K. and D. Gupta. 1992. Dehydration: Recent developments in principles and techniques. *Drying Technology*. 10(1):1-50.
- Jimoh, K., T. Olurin and J. Aina. 2009. Effect of drying methods on the rheological characteristics and colour of yam flours. *African Journal of Biotechnology*. 8(10):2.325-2.328.
- Juliano, B. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal of Science. Today*. 16:334-360.
- Kaluza, W., R. Mc.Grath, T. Roberts and H. Shoroder. 1980. Separation of phenolics of sorghum bicolor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 28(6):1.191-1.196.
- Krokida, M., V. Karathanos, Z. Maroulis and D. Marino. 2003. Drying kinetics of some vegetables *Journal of Food engineering*. 59(4):391-403.
- Labuza, T., A. Kaanane and J. Chen. 1985. Effect of temperature on the moisture sorption isotherm and water activity shift of two dehydrated food. *Journal Food Science*. 50(2):392-396.
- Lii, C., Y. Shao, K. Tseng and K. 1995. Gelations mechanism and rheological o rice starch. *Cereal Chemistry*. 72(4):393-400.
- Montaldo, A., J. J. Montilla, D. Perdomo, J. Luciani y J. Mantilla. 1992. Investigación y mejora de los cultivos de raíces y tubérculos en Venezuela. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía*. 8(1):1-19.
- Montes, E., R. Torres, R. Andrade, O. Pérez, J. Marimon e I. Meza. 2009. Modelado de las isotermas de desorción del ñame (*Dioscorea rotundata*). *Revista Facultad Nacional de Minas (DYN)*. 76(157):145-152.
- Montes, E., R. Torres, R. Andrade, O. Pérez, J. Marimon y I. Meza. 2008. Modelado de la cinética de secado de ñame (*Dioscorea rotundata*) en capa delgada. *Revista Ingeniería e Investigación*. 28(2):45-52.
- Montgomery, D. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Editorial Iberoamericana. Caracas. 589 p.
- Pacheco, E. 2001. Evaluación nutricional de sopas deshidratadas a base de harina de plátano verde. Digestibilidad *in vitro* del almidón. *Acta Científica Venezolana*. 52(4):278-282.
- Pacheco, E. y N. Techeira. 2009. Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*). *Inter-ciencia*. 34(4):280-285.
- Pacheco, E., N. Techeira y A. García. 2008. Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 35(4):452-459.
- Padilla, F., A. Rincón y L. Bou. 2008. Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 58(3):303-308.
- Palomino, C., Y. Molina y E. Pérez. 2010. Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. Universidad Central de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 36(2):58-66.
- Park, J. and M. Floch. 2007. Prebiotics, probiotics, and dietary fiber in gastrointestinal disease. *Gastroenterol Clinical of North America*. 36(1):47-63.
- Parker, R. and S. Ring. 2001. Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of Cereal Science*. 34(1):1-17.
- Pérez, E. 2007. Raíces y tubérculos, Capítulo 9. In: De tales harinas tales panes. Granos, harinas y productos de panificación. En Iberoamérica Editores Alberto León y Cristina

- Rosell. Primera Edición. Córdoba-Argentina. pp. 363-401.
- Pérez, E. 2001. Modificación de las propiedades funcionales de harina y almidones extraídos de ocumo criollo (*Xanthosoma sagittifolium*), ocumo chino (*Colocasia esculenta*), y batata (*Ipomea batata*) para su aprovechamiento en la formulación de alimentos horneados. Trabajo de Grado. Caracas, Ven. Universidad Central de Venezuela. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 324 p.
- Pérez, E. y E. Pacheco. 2005. Características químicas, físicas y tecnológicas de la harina y el almidón nativo aislado de *Ipomeas batatas*. Acta Científica Venezolana. 56(1):9-15.
- Rayas, P. y A. Romero. 2008. Fibra a base de frutas, vegetales y cereales: Función de salud. Revista Mexicana de Agronegocios. 12(23):613-621.
- Rincón, A., C. Araujo y F. Carrillo 2000. Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las Dióscoreas: ñame congo (*Dioscorea bulbifera*) y mapuey (*Dioscorea trifida*). Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 50(3):286-290.
- Rivera, R. 2007. Cultivos andinos: Situación y estrategia para su desarrollo. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). Santiago de Chile. 67 p.
- Rodríguez, E., A. Fernández, L. Quintero y B. Ospina. 2006. Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. Revista de Ingeniería y Desarrollo. 19:17-30.
- Roquel, M. 2008. Diseño de una línea de producción para la elaboración de harina de camote (*Ipomoea batata*). Revista de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. 234 p.
- Salazar, E., O. Méndez, J. González, M. Moreno, D. García, D. Belén, C. Medina, C. Ojeda y N. Griman. 2010. Efecto del secado y tratamiento con ácido cítrico sobre la degradación de carotenoides en harinas de batata (*Ipomoea batatas* L.). Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ). 27(1):112-124.
- Sandoval, A., I. Farhat and Q. Fernández. 2007. Rheological modeling of cassava (*Manihot esculenta* Cranz) starches and flours during extrusion process. Revista Vitae. 14(1):6-15.
- Sangronis, E., P. Teixeira, M. Otero, M. Guerra y G. Hidalgo. 2006. Manaca, batata y ñame: posibles sustitutos del trigo en alimentos para dos etnias del Amazonas venezolano. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 56(1):122-128.
- Simón, M. y M. Marín. 2007. Dinámica de crecimiento de dos cultivares de ocumo blanco *Xanthosoma sagittifolium* L. XVII, Congreso Venezolano de Botánica FE. 19:638-640.
- Singh, J., L. Kaur and O. McCarthy. 2007. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications. Food Hydrocoll. 21(1):1-22.
- Tapia, M. 2001. Origen y domesticación de las especies alimenticias en la región andina. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación). Santiago de Chile. 32 p.
- Wang, J. J. Kinsella. 1976. Functional properties of novel proteins: alfalfa leaf protein. Journal of Food Science. 41(2):286-292.
- Westgate, N., J. Lee and M. Ladisch. 1992. Modelling of equilibrium sorption of water vapour on starchy materials. American Society of Agricultural Engineers. 35(1):213-219.
- Whistler, R. 1964. Swelling power. In Methodos Carbohydrate Chemistry Edition. Academic Press New York. USA 325 p.
- Yadav, A., M. Guha, R. Tharanathan and S. Ramteke. 2006. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques. Food Science and Technology. 39(1):20-26.
- Yu, L., J. Perret, J. Davy, J. Wilson and C. Melby. 2002. Antioxidant properties of cereal products. Journal Food Science. 67(7):2.600-2.603.