

Curvas de deshidratación del apio (*Arracacia xanthorrhiza*) y auyama (*Curcubita maxima*) y su efecto sobre las propiedades funcionales¹

Dehydration curves from the apio (*Arracacia xanthorrhiza*) and auyama (*Curcubita maxima*) and their effect on the functional properties

L. Chaparro², J. Palmero³, T. García³ y Y. Terán³

¹Trabajo financiado por el CDCH-UCLA.

²Laboratorio de Procesos Agroindustriales. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. (UCLA). Barquisimeto. 3001. Estado Lara, Venezuela.

³Programa de Ingeniería Agroindustrial. Decanato de Agronomía. UCLA. Barquisimeto. 3001. Estado Lara, Venezuela.

Resumen

El estudio se realizó con el objetivo de caracterizar el proceso de secado en muestras de apio (*Arracacia xanthorrhiza*) y auyama (*Curcubita maxima*) bajo tres condiciones, y evaluar su efecto sobre las propiedades funcionales de las harinas resultantes. Para conocer las características del proceso de secado, se elaboraron curvas de deshidratación a diferentes temperaturas de bulbo seco (65, 75 y 85°C), siendo la humedad de equilibrio de 6,02 y 5,6% (p/p) en base seca para las muestras de apio y auyama, respectivamente. En cuanto a las propiedades funcionales, los máximos valores obtenidos en el índice de absorción de agua (IAA), fueron de 4,16 g de gel.g⁻¹ en la harina de apio y 11,5 g de gel.g⁻¹ en auyama, incrementándose este último valor, a medida en que aumentaba la temperatura del aire de secado. En cuanto al índice de solubilidad en agua (ISA), se obtuvo valores máximos de 50% para la harina de auyama, disminuyendo hasta un 15% a medida en que se aumenta la temperatura de deshidratación, efecto contrario ocurrió en la muestra de harina de apio, en las que aumentaron los valores de 15 a 25% al incrementar la temperatura de secado.

Palabras clave: deshidratación, apio, auyama, preservación, secado.

Abstract

The study was conducted to characterize the drying process in samples of celery (*Arracacia xanthorrhiza*) and pumpkin (*Curcubita maxima*) under three conditions, and evaluate its effect on the functional properties of the resulting flour. To know the characteristics of the process of drying, dehydration curves were prepared at different dry bulb temperatures (65, 75 and 85°C), where the equilibrium moisture content was of 6.02 and 5.6% (w/w) in dry weight for samples of celery and pumpkin respectively. In terms of functional properties, the maximum values obtained in the water absorption index (DAI) were of 4.16 g of sample gel.g⁻¹ celery in flour and 11.5 g of gel.g⁻¹ pumpkin displays, increasing the latter value, as they increased the temperature of drying air. As the water solubility index (WSI) were obtained maximum values of 50% pumpkin flour, decreasing to 15% as it increases the temperature of dehydration, the opposite effect occurred in the sample of the celery's flour, which increased the values of 15-25% by increasing the drying temperature.

Key words: dehydration, celery, pumpkin, preservation, drying.

Introducción

El consumo de raíces y tubérculos frescos en Venezuela posee un patrón histórico muy distinto al de otros rubros. Disminuye considerablemente en los años en los cuales el ingreso real de la población aumenta, y luego se incrementa cuando este disminuye. Este comportamiento es modificado cuando los productos son procesados y presentados en sus formas deshidratadas o mínimamente procesadas, lo cual es más atractivo para el consumidor, ya que estos mejoran su disponibilidad, aumentando su valor agregado, al ser más "convenientes" desde el punto de vista de su costo o tiempo de preparación. (Machado-Allinson, 2007).

Motivado a esto, se ha creado la necesidad de estimular la producción de rubros alimenticios locales, prestando mayor atención a cultivos tropicales para su industrialización. Tal es

Introduction

The consumption of roots and fresh tubers in Venezuela has a different historical pattern than other products. It reduces considerably with the year, while the real rate of population increases, and then the production increases again, and the rate of population remains the same. This behavior is modified when products are processed and presented in their dehydrated or minimal processed ways, which is more attractive for the consumer, since these improve their availability, increasing the aggregated value by being more convenient, seeing from the point of view of cost and preparation time (Machado-Allison, 2007).

For this reason, it has been created the necessity of stimulate the production of local food products, emphasizing in tropical crops for their industrialization. This is the case of

el caso de raíces y tubérculos como la raíz de arracacha o apio criollo, (*Arracacia xanthorrhiza*), y la auyama (*Curcubita maxima*), los cuales ofrecen muy buenas perspectivas económicas y una gran oportunidad para el desarrollo de nuevos productos, por sus ventajas nutricionales ofrecen (Machado-Allinson, 2007).

Por otra parte, la industria procesadora de alimentos ha aplicado procesos de deshidratación para este tipo de materia prima, ya que al reducir el contenido de humedad se previene el crecimiento de microorganismos y se minimizan las demás reacciones que los deterioran, así mismo, el secado de los alimentos reduce su volumen y peso lo que influye en una reducción importante de los costos de empaque, almacenamiento y transporte ya que permiten ser almacenados a temperatura ambiente por largos períodos de tiempo (Fito *et al.*, 2001). Así mismo, la desecación de productos vegetales se ve afectada por factores como: la retracción ocurrida en el sólido, la caramelización (en productos con alta cantidad de carbohidratos), la fracción lipídica presente en el alimento; entre otros, los cuales impiden la migración de algunos compuestos solubles por las paredes celulares que actúan como una membrana semipermeable, influyendo sobre la velocidad de secado y las características funcionales del producto final. En función de esto, el presente trabajo se realizó con la finalidad de caracterizar las curvas de secado bajo condiciones de deshidratación a 65, 75 y 85°C y su efecto sobre las propiedades funcionales en harinas de apio y auyama, como alternativa de procesamiento en la fabricación de pro-

ducts and tubers as celery's root (*Arracacia xanthorrhiza*) and pumpkin (*Curcubita maxima*), which offer excellent economic perspectives and a great opportunity for the development of new products, due to their nutritional advantages these products offer (Machado-allison, 2007)

On the other hand, the food processing industry has applied dehydration processes for this type of raw material, because, when reducing the humidity process the microorganisms growth is prevented and the others reaction that damage the product are minimal, likewise the food dry process reduces the volume and weight, which influences importantly in the price, storage and transport, since are stored in environmental temperature for long period of time (Fito *et al.*, 2001). At the same time, the desiccation of vegetal products is affected by different factors such as: the retraction occurred in the solid, the caramelization (in products with high quantity of carbohydrates), the lipid fraction present in the food; among others, which impel the migration of some soluble compounds for the cellular walls that interact as a semi permeable membrane, influencing on the dry velocity and the final functional characteristics of the product. Consequently, this research was done with the aim of characterizing the dry curves under dehydration conditions at 65, 75 and 95°C, and their effect under the functional properties in celery and pumpkin flours, as a processing alternative in the fabrication of products with non conventional raw matter, also it was

ductos con materias primas no convencionales, y plantear alternativas tecnológicas que ofrezcan nuevas posibilidades comerciales para este tipo de rubro.

Materiales y métodos

Procesamiento

Se emplearon 3 kg de cada material, provenientes del mercado de mayorista de la ciudad de Barquisimeto (MERCABAR). Se seleccionaron al azar materiales sanos, sin ningún tipo de daño apreciable, con características de calidad de consumo, los cuales fueron procesados en el laboratorio de Procesos Agroindustriales de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), de acuerdo al siguiente esquema tecnológico: selección, clasificación y lavado por inmersión en solución de hipoclorito de sodio al 0,1%, escurrido, picado, pelado, y rebanado en trozos de $0,5 \pm 0,1$ cm, para posteriormente realizar una inmersión en solución de ácido cítrico al 0,01%, a fin de evitar pardeamiento enzimático. Finalmente, las muestras se sometieron a deshidratación en un secador tipo bandeja, a diferentes temperaturas del bulbo seco (65, 75 y 85°C) durante 4 horas. La velocidad del aire fue de 20 m s^{-1} y la carga de trabajo 1,5 kg de producto fresco, repartidas en tres bandejas de 80x60 cm de área (0,48 m²) y un espesor de 0,5 cm. Posteriormente, las muestras secas fueron procesadas en un molino de martillo Marca Alter Meck y luego tamizado a 60 mesh, equivalente a una malla de 0,248 mm. Para la evaluación estadística de los resultados, se efectuaron tres repeticiones en cada ensayo, para luego rea-

done with the purpose of posing technological alternatives that offer new commercial possibilities for this types of products.

Materials and methods

Processing

3 kg of each material were employed, coming from the wholesale market of Barquisimeto (MERCABAR). Healthy material was selected at random, without any appreciable damage, and with good consumption quality characteristics, the materials were processed at the Processing Agroindustrial Laboratory of the "Centroccidental University Lisandro Alvarado" (UCLA, following this technological scheme: selection, classification and washing by immersion in a sodium hypochloride solution at 0.1%, drained, cut, peeled and sliced in pieces of 0.5 ± 0.1 cm, then, immersed in a citric acid solution at 0.01% in order to avoid enzymatic browning. Finally, samples were submitted to the dehydration process in a tray-type drier, at different dry bulb temperatures (65, 75 and 85°C) for four hours. The air velocity was of 20 m s^{-1} and the product weight of 1.5 kg of fresh product, divided in three trays of 80X60 cm of area (0.48m²) and 0.5 cm of thickness. Later, the dry samples were processed in a grinder Alter Meck brand, and then were sift at 60 mesh, equal to a 0.248 mm mesh. For the statistical evaluation of the results, three repetitions per essay were done to then perform the variance analysis and comparison of means through the multiple rank tests of Duncan, using S.A.S software, 8.1 version.

lizar un análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba de rangos múltiples de Duncan, utilizando el programa S.A.S Versión 8.1.

Determinación de curvas de secado

Las pérdidas de peso fueron medidas en intervalos de 30min durante la primera hora de secado y una hora después de este, hasta alcanzar un total de cuatro horas de deshidratación. La humedad inicial del material fresco y la del sólido deshidratado fue determinada de acuerdo al método establecido por la AOAC (1995).

Humedad del sólido (ns) y velocidad de secado ($-dns/dt$).

La humedad del producto fue reportada como la cantidad de agua por unidad de alimento fresco, empleando la ecuación 1.

$$ns = Psh - Pss/Pss \quad (Ec. 1)$$

Expresado como ($g H_2O.gss^{-1}$), donde Psh es la masa del sólido húmedo, Pss la masa del sólido seco y la diferencia entre Psh-Pss es la masa de agua que presenta el alimento a un tiempo determinado. La masa del sólido seco (Pss) del alimento fue determinado por la ecuación 2:

$$Pss = ((100 - \% \text{ humedad del alimento fresco}) \times Psho) / 100 \quad (Ec. 2)$$

Donde, Psh_0 es la masa del sólido húmedo al inicio del proceso de secado o lo que es igual la carga inicial de trabajo. La velocidad de secado, expresado como $g H_2O.gss^{-1}.h$, fue calculado como la pérdida de humedad del sólido en la unidad de tiempo, ($-dns/dt$) según Krokida *et al.*; (2003). Finalmente, las propiedades funcionales se

Determination of dry curves

The weight lost was measured in intervals of 30 min during the first dry hour, and an hour after until reaching a total of four dehydration hours. The initial humidity of the fresh material and the one of the dehydrated solid were determined according to the method established by AOAC (1995).

Solid Humidity (ns) and dry velocity ($-dns/dt$).

The product humidity was reported as the quantity of water per unit of fresh food, employing the equation 1.

$$ns = Psh - Pss/Pss \quad (Eq. 1)$$

Expressed as ($g H_2O.gss^{-1}$), where Psh is the wet solid mass, Pss the dry solid mass, and the difference between Psh-Pss is the water mass that the food have at a determine time. The dry solid mass (Pss) of the food was determined by equation 2:

$$Pss = ((100 - \% \text{ humidity of the fresh food}) \times Psho) / 100 \quad (Eq. 2)$$

Where, Psh_0 is the wet solid mass at the beginning of the drying process or also called the initial load. The drying velocity, expressed as $g H_2O.gss^{-1}.h$, was calculated as the humidity lost in the time unit ($-dns/dt$) according to Krokida *et al.*, (2003). Finally, the functional properties were determined in function of the absorption indexes (IAA) and water solubility (ISA) posed by Anderson *et al.*, (1989), for this reason 2 g of each elaborated flours were weighted at the three considered temperatures, and 20mL of distilled water at 30°C was

determinaron en función de los índices de absorción (IAA) y de solubilidad de agua (ISA) planteados por Anderson *et al.* (1969), para lo cual se pesaron 2g de cada harina elaborada a las tres temperaturas consideradas y se agregaron 20 mL de agua destilada a 30°C. Seguidamente, se agitó por 30 min y luego se centrifugó por 15 min a 3000 rpm en una centrífuga marca Megafuge 16. Se pesó el gel y en el sobrenadante se determinó las sustancias solubles. Para ello se dejó secar hasta peso constante, 10 mL de la suspensión en una estufa con convección de aire forzado a 90°C durante 12h para luego aplicar las ecuaciones siguientes:

$$\text{IAA (\%)} = (\text{masa del gel} / \text{masa del sólido}) / 100 \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\text{ISA (\%)} = (\text{masa de sólido dis en sobrenadante} / \text{masa de muestra original}) \times 100 \quad (\text{Ec. 4})$$

Resultados y discusión

Humedad del apio y auyama en estado fresco y deshidratado

El cuadro 1 muestra los valores promedios de las humedades iniciales en estado fresco de las muestras de apio y auyama, así como las humedades de equilibrio alcanzadas luego del proceso de deshidratación a 65, 75 y 85°C por cuatro horas. El porcentaje de humedad en base seca de ambos vegetales en estado fresco fue de 70,11% y 80,25%, respectivamente. En el caso del apio, las humedades de equilibrio alcanzadas después del proceso de deshidratación a 65 y 75°C, formaron un grupo homogéneo que no presentan

added. Subsequently, it was moved for 30 min and then centrifuged for 15 min at 300rpm, in a centrifuge Megafuge 16. The gel was weighted and in the supernatant were determined the soluble substances. For this, 10 mL of the suspension was let dried until a constant weight, on a stove with forced air convection at 90°C for 12h, then the following equations were applied:

$$\text{IAAA (\%)} = (\text{Mass of the gel} / \text{mass of solid}) / 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{ISA (\%)} = (\text{masa de sólido dis en sobrenadante} / \text{mass of original sample}) \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

Results and discussion

Celery and Pumpkin Humidity in both fresh and dehydrated phases

Table 1 shows the average values of the initial humidity at the fresh stage in celery and pumpkin, as well as the equilibrium humidity reached after the dehydration process at 65, 75 and 85°C for four hours. The humidity percentage in a dry phase of both vegetables in a fresh phase was of 70.11% and 80.25% respectively. In the specific case of celery, the equilibrium humidity reached after the dehydration process at 65, 75°C formed a homogenous group that does not represent differences at a significance level of $P \leq 0.05$, but was significantly higher than the obtained at 85°C. It is important to mention that the equilibrium humidity values obtained for pumpkin samples, showed significant differences in all the applied

Cuadro 1. Humedad de las muestras ensayadas de Apio y Auyama en estado fresco y deshidratadas.**Table 1. Humidity of the essayed sampled of celery and pumpkin in both the fresh and dehydrated stages.**

Vegetal	Humedad inicial (%)	Humedad de equilibrio bh (%) ¹		
		65°C	75°C	85°C
Apio	70,11±0,2	10,07±0,04 ^a	10,71±0,01 ^a	6,02±0,23 ^b
Auyama	80,25±0,1	11,81±0,12 ^a	9,90±0,5 ^b	5,6±0,5 ^c

¹Humedad del vegetal después del proceso de deshidratación a 65, 75 y 85°C. Letras diferente denotan diferencias significativas en la prueba de comparación de medias de Duncan a un $\mu=0,05$.

diferencias a un nivel de significancia de $P \leq 0,05$, pero son significativamente mayores a la obtenida a 85°C. Es importante resaltar que los valores de humedad de equilibrio logrados para las muestras de auyama, mostraron diferencias significativas en todas las temperaturas de secado aplicadas, logrando una disminución de humedad hasta en un 93% al utilizar una temperatura de 85°C. Este comportamiento es reportado por Fito *et al.* (2001), al señalar que los alimentos con humedad superior a la intermedia (75%) son más susceptibles a los cambios de humedad, por tener mayor cantidad de agua libre y lograr humedades de equilibrio diferentes para cada nivel de temperatura.

Cambios de la humedad del sólido con respecto al tiempo utilizando diferentes temperaturas de secado

En las figuras 1 y 2 se presentan las medias de los valores de fracciones de humedad en base seca del sólido (Xbs) ($\text{g H}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$) durante 4 h proceso de deshidratación en apio y auyama

dry temperatures, obtaining a humidity reduction even in 73% when using a temperature of 85°C. This behavior is reported by Fito *et al.*, (2001), when mentioning that food with a superior humidity than the intermediate (75%) are more susceptible to humidity changes, by having a higher quantity of released water and by obtaining equilibrium humidity different for each temperature level.

Changes of the solid humidity based in time and using different drying temperatures

In figures 1 and 2, are presented the means of the humidity fractioned values at the dry stage of the solid (Xbs) ($\text{g H}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$) during 4h in the dehydration process in celery and pumpkin respectively. In both figures, it is observed a significant reduction of Xbs in all the evaluated temperatures, even under the initial value of the solid. Also, humidity values were observed, similar in both samples for temperatures of 65 and 75°C during the first dry hour, being even faster in the drying curve at 85°C.

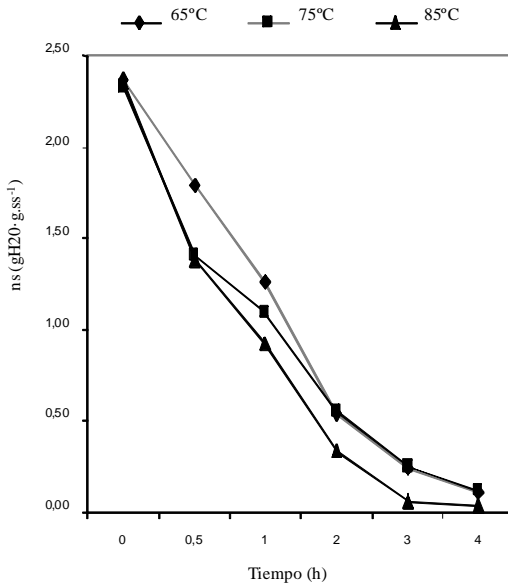


Figura 1. Cambios en la humedad de las muestras de apio ensayadas durante el proceso de deshidratación.

Figure 1. Humidity changes in the essayed celery samples during the dehydration process.

respectivamente. En ambos gráficos se observa una disminución significativa de la Xbs en todas las temperaturas evaluadas, inclusive por debajo de la mitad del valor inicial del sólido. Se observaron valores de humedad final similares en ambas muestras para las temperaturas de 65 y 75°C durante la primera hora de secado siendo más rápida aún, en la curva de secado a 85°C. Por otra parte, la caída de Xbs es más moderada (menor pendiente) a partir de la segunda hora de secado, posiblemente causado por la dificultad de arrastre de agua que tiene el aire de secado por la disminución de agua libre en la superficie del sólido tal como lo señala Krokida *et al.*; 2003 en ensayos de deshidratación con raíces.

On the other hand, the Xbs fall is more moderate (less pendent) after the second drying hour, maybe due to the difficulty of dragging water that the drying air has by the reduction of released water in the solid surface, as mentioned by Krokida *et al.*, 2003, in essays with roots' dehydration.

The changes in Xbs in celery samples (figure 1) show that at the second drying hour, the dehydration profiles at 65 and 75°C were of 0.558 $\text{gH}_2\text{O.g.ss}^{-1}$. In spite of the similar drying trajectory at 75 and 85°C during the first half hour, were obtained, in both cases, different equilibrium humidity contents, but for the temperature of 65°C, where it is finally obtained the same equilibrium

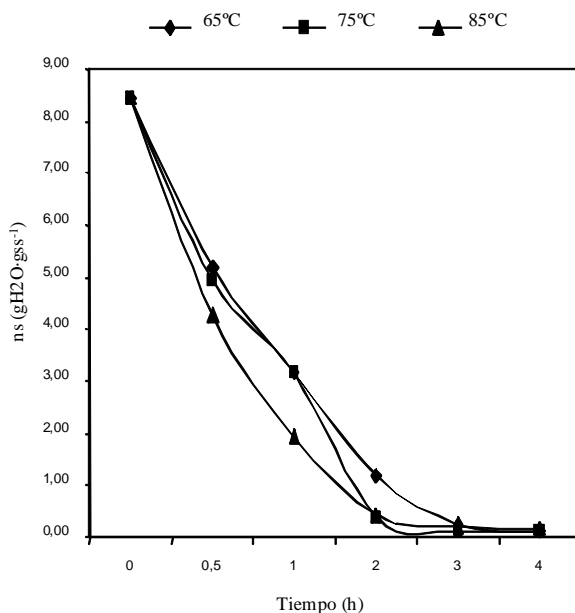


Figura 2. Cambios en la humedad de las muestras de auyama ensayadas durante el proceso de deshidratación.

Figure 2. Humidity changes in the essayed samples of pumpkin during the dehydration process.

Los cambios en la Xbs en las muestras de apio (figura 1) muestran que a la segunda hora de secado, los perfiles de deshidratación a 65 y 75°C fueron de 0,558 gH₂O gss⁻¹. A pesar de la similar trayectoria de secado a 75 y 85°C durante la primera media hora, en ambos casos se logró contenidos de humedad de equilibrio diferentes, no así para la temperatura de 65°C, en la que finalmente se obtiene la misma Xbs de equilibrio que el tratamiento a 75°C (10,7% bh). En cuanto a los cambios de la humedad en las muestras de auyama (figura 2), durante la primera hora de secado fue registrada una disminución en todas las temperaturas consideradas, para luego hacerse menos acentuada después de transcu-

Xbs at 75°C (10.7% bh). In relation to humidity changes in pumpkin samples (figure 2), during the first drying hour a reduction in all considered temperatures was registered, later was less marked two hours after and reached the equilibrium humidity after three hours of dryness (0.182 gH₂O.gss⁻¹).

Changes in the drying velocity of the celery samples in function of humidity fraction at solid phase (Xbs).

In figures 3 (A), 3 (B) and 3 (C), are observed the experimented changes by the dryness velocity in function of Xbs, during the dehydration of celery.

In figure 3 (A) are evidenced two drying areas. Area I (constant velocity),

rrida la segunda hora, y alcanzar la humedad de equilibrio a la tercera hora de secado ($0,182 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$).

Cambios de la velocidad de secado de las muestras de apio ensayadas en función de su fracción de humedad en base seca (Xbs).

En las figuras 3(A), 3(B) y 3(C) se observan los cambios experimentados por la velocidad de secado en función de la Xbs, durante la deshidratación de las muestras de apio.

En la figura 3(A) se evidencian dos zonas de secado. La zona I (velocidad constante), donde se supone que la superficie total expuesta del sólido está saturada de agua y el movimiento del agua desde el interior del mismo hasta la superficie podría estar ocurriendo a la misma velocidad de evaporación, ($1,15 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1} \cdot \text{h}$), lo que ocasionó una disminución de la Xbs de $1,8$ a $1,5 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$, disminuyendo en un 4% respecto al valor inicial. En la zona II se observa una evidente disminución de la velocidad de secado; posiblemente debido, a que en estructuras sólidas, fibrosas o amorfas de sólidos, el movimiento del líquido principalmente ocurre por difusión, por lo tanto es probable que tenga períodos cortos de velocidad constante (Krokida *et al.*, 2003). Por otra parte, Vizcarrondo *et al.* (2006) señala que la difusión desde el interior, no puede suministrar todo el líquido que se evaporaría en la superficie, en consecuencia, la velocidad de transferencia de agua de la superficie al medio de arrastre disminuye. En esta segunda zona, se logró disminuir la Xbs de humedad en un 95%, lo cual significa que la mayor parte del proceso de secado estuvo controlado po-

where it is supposed that the total exposed surface of solid is saturated of water, and the water movement from its interior until the surface may be occurring at the same evaporation velocity ($1.15 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1} \cdot \text{h}$), which caused a reduction of Xbs from 1.8 to $1.5 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$, reducing 4% in relation to the initial value. In area II, is observed an evident reduction of the drying velocity; possibly caused to solid structures, fibrous or amorphous of solids, the liquid's movement mainly occurs by diffusion, therefore, it is probable that it has short terms of constant velocity (Krokida *et al.*, 2003). On the other hand, Vizcarrondo *et al.* (2006) mentions that the diffusion from the interior cannot provide all the liquid that would evaporate in the surface; consequently, the water transfer's velocity from the surface to the dragging area reduces. In this second area, the Xbs humidity reduced in 95%, which means that the highest part of the drying process could have been controlled by the velocity of the liquid diffusion.

The dehydration profile for celery samples at 75°C evidenced three characteristics, the induction area, the constant velocity and the decreasing velocity, as observed in figure 3 (B). After the induction period, the drying mechanisms were stabilized due to the equality between the evaporation velocities and the water diffusion towards the surface (Rodríguez *et al.*, 2006). The Xbs reduction that was obtained during this second phase (50% of Xbs of the previous phase) initiated the decreasing velocity period, where finally reduced in 95% the Xbs humidity of the solid until reaching

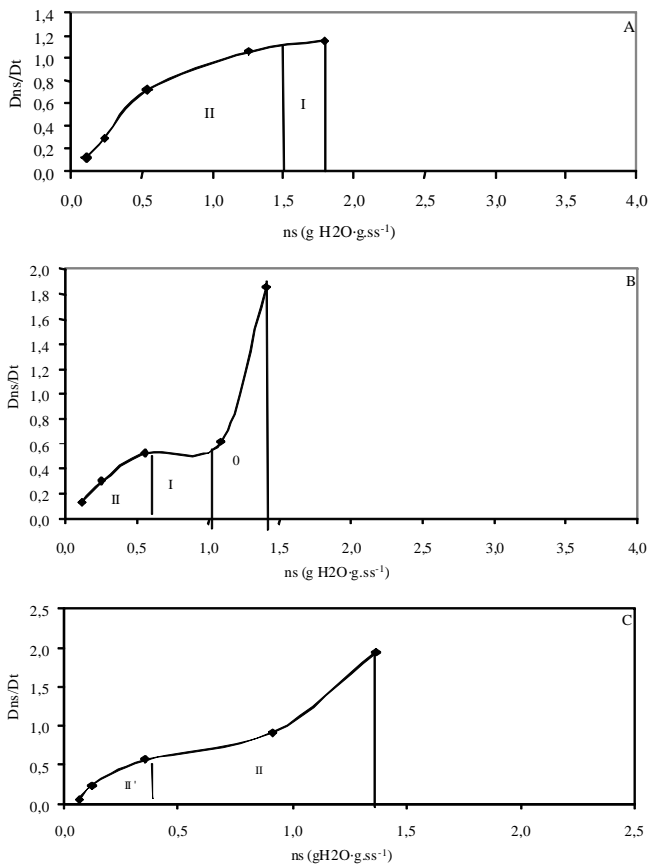


Figura 3. Cambios de la velocidad de secado con respecto a la Xbs de humedad del sólido durante el proceso de deshidratación de las muestras de apio ensayadas a 65 (A), 75 (B) y 85°C (C).

Figure 3. Changes on the dry velocity in relation to the Xbs of the solid humidity during the dehydration process of essayed celery samples at 65 (A), 75 (B) and 85°C (C).

siblemente por la velocidad de difusión del líquido.

El perfil de deshidratación de las muestras de apio a 75°C evidenció tres zonas características, la zona de inducción, de velocidad constante y la de velocidad decreciente, tal como se observa en la figura 3(B). Luego del periodo

0.12 gH₂O.g.ss⁻¹. Regarding the performance of the dehydration process for celery samples at 85°C, was only seen a period of decreasing velocity, which initiated at a dry velocity of 2.1 gH₂O.g.ss x h, until values of Xbs of 0.47 gH₂O.g.ss⁻¹, to reduce slowly (0.7 gH₂O.g.ss x h). This behavior is

de inducción, el mecanismo de secado se estabilizó debido a la igualdad entre las velocidades de evaporación y difusión del agua hacia la superficie (Rodríguez *et al.*, 2006). La reducción de Xbs que se logró en este segundo periodo (50% de Xbs del periodo anterior), dió inicio al periodo de velocidad decreciente, en el cual se redujo finalmente en un 95% la Xbs de humedad del sólido hasta alcanzar $0,12 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$. En cuanto al desempeño del proceso de deshidratación para las muestras de apio a 85°C , se apreció un solo periodo de velocidad decreciente, cual se inicia a una velocidad de secado de $2,1 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss} \times \text{h}$, hasta valores de Xbs de $0,47 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$, para luego disminuir con más lentitud ($0,7 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss} \times \text{h}$) los hasta $0,40 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$. Este comportamiento es reportado por Quiñones *et al.* (2007) al señalar que el patrón característico de las curvas de secado de vegetales con alto contenido de almidón; deshidratados a altas temperaturas, muestran un solo periodo de velocidad decreciente, debido a la gran fuerza impulsora de secado por las altas temperaturas aplicadas.

Cambios de la velocidad de secado en función de la Xbs de humedad del sólido durante el proceso de deshidratación de las muestras de auyama

En las figuras 4(A), 4(B) y 4(C), se muestran los valores promedios de la velocidad de secado durante el proceso de deshidratación de las muestras de auyama evaluadas. El proceso de secado a 65°C , (figura 4 A), tuvo como característica principal, la presencia de tres periodos de secado; uno de velocidad constante y dos de velocidad decreciente. La zona de velocidad constante comprendió

reportado by Quiñones *et al.*, (2007) when mentioning that the characteristic patten of the drying curves of vegetables with high starch content; dehydrated at high temperatures, show only one period of decreasing velocity due to the great strength of dryness by the high applied temperatures.

Changes in the drying velocity in function of Xbs of the solid humidity during the dehydration process in pumpkin samples

In figures 4 (A) and 4 (C) are shown the average values of the drying velocity during the dehydration process of the evaluated pumpkin samples. The drying process at 65°C (figure 4 A) had as main characteristic the presence of three drying periods; one of constant velocity and two with decreasing velocity. The area of constant velocity had average values of $5.33 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1} \times \text{h}$, which allow reducing the Xbs of the solid, from 4 to $3.65 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$ equivalent to a humidity reduction of 3% in solid, in the first haf hour of the drying process. The rest of the Xbs (65%) was removed during the decreasing period and reduced from 5.1 to $0.274 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{gss}^{-1}$. It is noteworthy that the humidity reduction in this area occurred in two sections, which is generally characteristic in solids which transportation mechanism of humidity occurs by diffusion (Krokida, 2003).

Figure 4 (B) shows three drying areas, where are included periods of induction, constant velocity and decreasing velocity. In the constant velocity area, was observed a

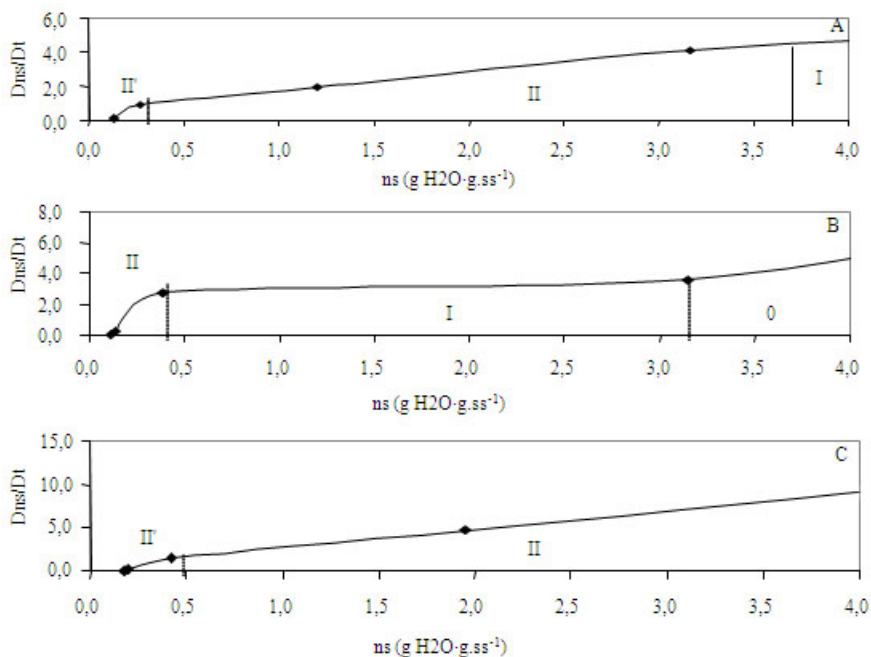


Figura 4. Cambios de la velocidad de secado con respecto a la humedad del sólido durante el proceso de deshidratación del Auyama a 65 (A), 75 (B) y 85°C (C).

Figure 4. Changes in the dry velocity in relation to the humidity of the solid during the dehydration process of pumpkin at 65 (A), 75 (B) and 85°C (C).

valores promedio de $5,33 \text{ gH}_2\text{O}\cdot\text{gss}^{-1} \times \text{h}$, lo que permitió disminuir la Xbs del sólido de 4 a $3,65 \text{ gH}_2\text{O}\cdot\text{gss}^{-1}$ equivalente a una reducción de humedad de un 3% en el sólido en la primera media hora del proceso de secado. El resto de la Xbs (65%) fue removida durante el período de velocidad decreciente y disminuyó de 5,1 a $0,274 \text{ gH}_2\text{O}\cdot\text{gss}^{-1}$. Hay que señalar que la disminución de la humedad en esta zona ocurrió en dos secciones, lo cual generalmente es característico en sólidos cuyo mecanismo de transporte de humedad ocurre por difusión (Krokida, 2003).

La figura 4(B), muestra tres zo-

significant reduction of Xbs of the solid from 3.1 to $0.13 \text{ gH}_2\text{O}\cdot\text{gss}^{-1}$ equivalent to 96% of the initial humidity, much higher in relation to the constant velocity period for 65°C (35%). The decreasing velocity period initiated with the critical humidity of the soil ($0.13 \text{ gH}_2\text{O}\cdot\text{gss}^{-1}$), until reaching an equilibrium humidity of $0.11 \text{ gH}_2\text{O}\cdot\text{gss}^{-1}$. With the drying phase at 85°C, (figure 4 C), the dehydration profile only presented two decreasing velocity periods. The first phase initiated with a velocity of $9.02 \text{ gH}_2\text{O}\cdot\text{gss}^{-1} \times \text{h}$, with a moderate descent of velocity in a lineal pendent in relation to the Xbs of the solid, after

nas de secado en el que se incluye el periodo de inducción, de velocidad constante y el decreciente. En la zona de velocidad constante se observó una disminución significativa de la Xbs del sólido de 3,1 a 0,13 $\text{gH}_2\text{O.gss}^{-1}$ equivalente a un 96% de la humedad inicial, mucho mayor con respecto al periodo de velocidad constante para 65°C (35%). El periodo de velocidad decreciente se inició con la humedad crítica del sólido (0,13 $\text{gH}_2\text{O.gss}^{-1}$), hasta que se llegó a la humedad de equilibrio de 0,11 $\text{gH}_2\text{O.gss}^{-1}$. Con respecto al secado a 85°C, (figura 4 C), el perfil de deshidratación solo presentó dos período de velocidad decreciente. La primera etapa se inició con una velocidad de 9,02 $\text{gH}_2\text{O.gss}^{-1} \times \text{h}$, con un descenso moderado de la velocidad en una pendiente lineal con respecto a la Xbs del sólido, luego del cual ocurrió una caída súbita de la velocidad de secado cuando la Xbs fue de 0,41 $\text{gH}_2\text{O.gss}^{-1}$, hasta que se alcanzó la de humedad de equilibrio de 0,06 $\text{gH}_2\text{O.gss}^{-1}$ ó 5,6% de humedad en base húmeda.

Efecto de los tratamientos de deshidratación sobre las propiedades funcionales de las muestras de harina de apio y de auyama

Se evaluó el efecto de los tres niveles de temperatura de secado sobre el Índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad acuosa (ISA) de las muestras de harina de apio y de auyama obtenidas durante los ensayos.

En cuanto a los valores de IAA, el comportamiento para ambas muestras de harina fue similar para una temperatura de 65°C, diferenciándose a medida en que se aumentó la temperatura de deshidratación (figura 5).

Para el caso de las muestras de

this, a sudden fall of the drying velocity happened when Xbs was of 0.41 $\text{gH}_2\text{O.gss}^{-1}$, until was reached the equilibrium humidity of 0.06 $\text{gH}_2\text{O.gss}^{-1}$ or 5.6% of humidity, in humid based.

Effect of the dehydration treatments on the functional properties on samples of celery and pumpkin flour

The effect of three drying temperatures was evaluated based in the water absorption index (IAA) and the aqueous solubility index (ISA) on samples of celery and pumpkin flours obtained during the essays.

In relation to the IAA values, the behavior for both flour samples was similar for a temperature of 65°C, differentiating at the time that increased the dehydration temperature (figure 5).

For the specific case of samples of celery flour, the behavior showed a reduction on the retention capacity of water, at the time that the temperature increased; this behavior is explained by Quiñones *et al.* (2007) saying that when dehydrating cassava samples by convention, the amylose molecules interact between them forming another structure, which possibly impelled the water absorption; the opposite case occurs in pumpkin flour, while at the time the dehydration process took place at higher temperature, a higher index of water absorption was reported (11.5 g.gsample^{-1}). The chemical composition of the original product may be one of the reasons that could explain this behavior, and as mentioned by Rincón *et al.* (2000) besides the starch structures, there are other molecules more resistant to

harina de apio, el comportamiento mostró una disminución de la capacidad de retención de agua a medida que aumentó la temperatura; este comportamiento es explicado por Quiñones *et al.* (2007) al señalar que al deshidratar muestras de yuca por convección, las moléculas de amilosa, interactúan entre sí formando otra estructura, la cual posiblemente impidió la absorción de agua; caso contrario ocurre con la harina de auyama, la cual a medida que la deshidratación se llevó a cabo a mayor temperatura, se reportó mayor índice de absorción de agua (11,5 g gel.gmuestra⁻¹). La composición química del producto original podría ser una de las razones que explica este comportamiento, es así como según lo señalado por Rincón *et al.* (2000) además de las estructuras de almidón, existen otras macromoléculas más resistentes

thermal treatments (mostly pectin) able to retain water and reduce at the time that are dehydrated.

In relation to the index values of the obtained aqueous solubility (figure 6), these showed an inverse behavior than the tendencies observed in results of IAA in both flour samples. When applying a drying sample at 65%, index values were obtained of aqueous solubility at 50% for pumpkin samples, reducing until 15% in the elaborated at drying temperatures of 85°C. Likewise, samples of celery flour increased their ISA levels from 15 to 25% when increasing the drying temperature. This could have been possible produced by thermal hydrolysis of the starch chains, becoming in smaller structures, reducing the capacity of trapping water as mention by Rodríguez *et al.* (2006).

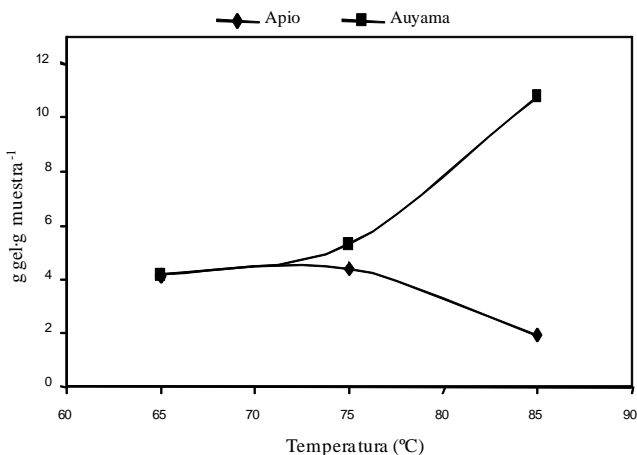


Figura 5. Índice de absorción de agua en muestras de harinas de Apio y Auyama deshidratadas a 65, 75, y 85°C.

Figure 5. Absorption water index in dehydrated flours of celery and pumpkin at 65, 75 and 85°C.

a los tratamientos térmicos (en su mayoría pectinas) capaces de retener agua y aumentar su potencial a medida en que son deshidratadas.

En relación a los valores de índice de solubilidad acuosa obtenidos (figura 6), estos arrojaron un comportamiento inverso a las tendencias que se observaron en los resultados de IAA en ambas muestras de harina. Al aplicar una temperatura de secado de 65°C se obtuvieron valores del índice de solubilidad acuosa de 50% para las muestras de harina de auyama, disminuyendo hasta un 15% en las elaboradas a temperatura de secado de 85°C. Así mismo, las muestras de harina de apio aumentaron sus valores de ISA de 15 a 25% al incrementar la temperatura de secado. Este efecto posiblemente se produjo por hidrólisis térmica de las cadenas de almidón,

Conclusions

The drying conditions at 65, 75 and 85°C affected significantly the descend of XV's of the solid humidity, as well as the velocity and the drying time in celery and pumpkin samples that were essayed, also, the functional characteristics in terms of water absorption index and aqueous solubility index in samples of flours.

The drying process in celery and pumpkin samples at 65, 75 and 85°C showed clearly two decreasing velocity periods, which indicates that the processed samples have internal structures that regulate the propagation of the water molecules at the center of the solid.

The best dehydration conditions, obtained in this research for both vegetables under essay allowed obtaining results in relation to

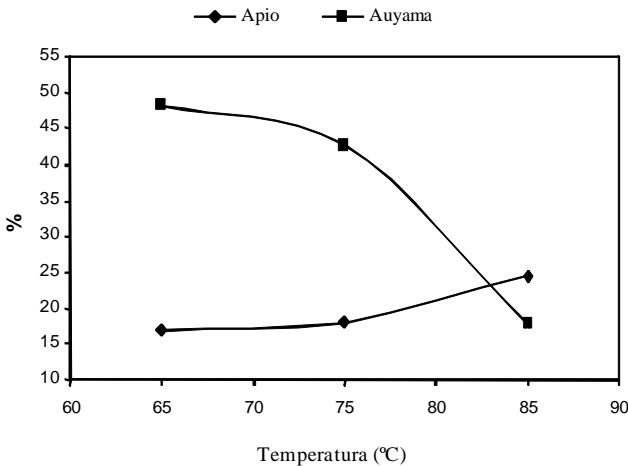


Figura 6. Índice de solubilidad en agua en muestras de harinas de Apio y Auyama deshidratadas a 65, 75, y 85°C.

Figure 6. Solubility index in water, in samples of dehydrated celery and pumpkin flours at 65, 75 and 85°C.

convirtiéndose en estructuras más pequeñas, disminuyendo su capacidad de atrapar las moléculas de agua tal como lo señala Rodríguez *et al.* (2006).

Conclusiones

Las condiciones de secado a 65, 75 y 85°C afectaron significativamente el descenso de Xbs de humedad del sólido, la velocidad y tiempo de secado en las muestras de apio y auyama que fueron ensayadas, así como las características funcionales en términos de índice de absorción de agua e índice de solubilidad acuosa de las muestras de sus harinas.

El proceso de secado en las muestras de Apio y Auyama procesadas a 65, 75 y 85°C mostraron claramente dos periodos de velocidad decreciente, lo cual indica que las muestra procesadas poseen estructuras internas que regulan la propagación de las moléculas de agua en el seno del sólido.

Las mejores condiciones de deshidratación arrojadas en este estudio para ambos vegetales en ensayo, que permitieron obtener buenos resultados en cuanto a características funcionales de sus harinas y alcanzar las Xbs de humedades de equilibrio en menos tiempo fueron: iniciar el proceso de deshidratación a 80°C durante dos horas y finalizar el proceso a 65°C por una hora.

Existe un evidente potencial para su aplicación agroindustrial de las muestras de la harina de auyama procesadas a 85°C, en comparación con la harina de apio, debido a su elevada capacidad de rehidratación (11,5 g gel.g muestra⁻¹), en particular para productos deshidratados o

functional characteristics of flours, and reaching the Xbs of equilibrium humidity in less time, were: to initiate the dehydration process at 80°C for two hours and to end the process at 65°C for an hour.

There is an evident potential, for its agroindustrial application, of pumpkin samples processed at 85°C, compared to celery flour, due to its high rehydration capacity (11.5 g gel.g sample⁻¹), particularly for dehydrated products or as complements in the formulation of products that require this property.

End of english version

como complemento en la formulación de productos que requieran esta propiedad.

Literatura citada

- Anderson, R.A. 1982. Water absorption and solubility characteristics of roll-cooked small grain products. *Cereal Chem.* 5 (9): 25-27
- AOAC. 1995. Official method of analytical Chemists 16th edition. Washington D.C.
- Fito, P., A. Andrés, J.M. Barat y A. Albors. 2001 Introducción al secado por aire caliente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia, España. p. 250-275
- Krokida, M. K., V.T. Karathanos, Z.B. Maroulis y D. Marinos-Kouris. 2003. Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food Engineering*: 59(4): 391-403.
- Machado-Allison C. 2007. Consumo de alimentos en Venezuela. Editorial. IESA S.A. Caracas. p. 460-468.

- Maldonado, R. y E. Pacheco. 2003. Curvas de deshidratación del brócoli (*Brassica oleraceae* L. var. *Italica Plenck*) y coliflor (*Brassica oleraceae* L var. *Botrytis* L). Rev. Fac. Agron. LUZ. 20. (3): 306-319.
- Quiñones, R., C. González y D. Polanco. 2007. Evaluación de diferentes tipos de deshidratación de raíz y follaje de yuca amarga (*Manihot esculenta*) sobre su composición química. Zootecnia Trop. 25 (1): 43-49.
- Rincón, A y M. Araujo. 2000. Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las dioscoreas: ñame congo (*Dioscorea bulbífera*) y mapuey (*Dioscorea trifida*). ALAN. 50 (3): 26-29
- Rodríguez, E., A. Fernández., L. Alonso y B. Ospina. 2006. Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. Ingeniería & Desarrollo. 19 (5):17-30.
- Singh, P. y D. Heldman. 1997. Introducción a la ingeniería de los alimentos. Ed. Acibia, S.A. Zaragoza, España. p. 16.
- Vizcarrondo, L., C. Rincón, A. Rincón y F. Padilla. 2006. Evaluación de harinas y almidones de mapuey (*Dioscorea trifida*), variedades blanco y morado. Arch Latinoam.Nutr. 56(4):375-383.