



Efecto de la deshidratación de zanahoria sobre sus propiedades físico-químicas utilizando un proceso simultaneo de ósmosis y secado convectivo

Effect of carrot dehydration on its physico-chemical properties using an osmosis and convective drying simultaneous process

Ana Milena Salazar Beleño

Colombiana. Esp. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación GIADAI. Barrancabermeja, Colombia.

Javier Mauricio Melo Guevara

Colombiano. M.Sc. (c). Universidad De Pamplona (UDP). Grupo de Investigaciones GIAAS, Pamplona, Colombia.

Pilar Moreno Vides

Colombiana. Ing. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), Escuela de Ingeniería Agroindustrial,

Grupo de Investigación GIADAI. Barrancabermeja, Colombia

Héctor Julio Paz Díaz

Colombiano. Esp. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación GIADAI. Barrancabermeja, Colombia.

Edwing Velasco

Colombiano. M.Sc. Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ), Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de Investigación GIADAI. Barrancabermeja, Colombia. edwin.velasco@unipaz.edu.co

Resumen

En este trabajo se modificaron las características naturales de la zanahoria (*Daucus carota* L.) aplicando de forma consecutiva procesos de deshidratación osmótica y secado por aire caliente. En particular, se estudió el efecto de una solución hipertónica de sacarosa concentrada a 50-60 % p/p y una temperatura de secado de 60 °C, sobre las propiedades físicas y químicas del vegetal. Las muestras deshidratadas se analizaron comparativamente frente al alimento en fresco mediante la determinación de la humedad, actividad de agua, sólidos solubles, pH, porcentaje de acidez, color, resistencia a la compresión y contenido de carotenos. Se encontró que el proceso de deshidratación combinado promueve una reducción en el peso de la zanahoria mayor al 70 %, actividad de agua por debajo de 0,4, acidez cercana al 2 % y sólidos solubles entre 28 y 35 °Bx, sin modificar significativamente el color natural del alimento ni su contenido de carotenos (aprox. 60 mg/Kg).

Palabras Clave

Tubérculo, Carotenos, Osmodeshidratación, sólidos solubles, Aire caliente, Pérdida de agua.

Introducción

La zanahoria es un tubérculo muy popular en todo el mundo por su alto valor nutricional y su

Abstract

In this work the natural characteristics of the carrot (*Daucus carota* L.) were modified by consecutively applying osmotic dehydration and convective drying processes. In particular, it was studied both the effect of a hypertonic solution of concentrated sucrose at 50-60 % w/w and a drying temperature of 60 °C, on the physical and chemical properties of vegetable slices. The dehydrated samples were analyzed comparatively to the fresh food by determining the moisture, water activity, soluble solids, pH, acidity, compressive strength and carotene content. It was found that the combined process allows a reduction in carrot weight greater than 70%, water activity below 0,4, acidity close to 2%, soluble solids between 28 and 35 °Bx, without significantly changing the natural color of the food or its content of carotenes (approximately 60 mg/Kg).

Abstract

Root vegetables, Carotenes, Osmodehydration, soluble solids, Hot air, Water loss.

Introducción

Carrot is a root vegetable known and grown throughout the world for its high nutritional value and its great medicinal potential, especially for the treatment of eye diseases and

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

gran potencial a nivel medicinal, especialmente para el tratamiento de enfermedades oculares y el cáncer. Está compuesta principalmente por agua (86 %), carbohidratos (10,6 %), proteínas (0,9 %), grasa (0,2 %), fibra cruda (1,2 %), carotenos (5,33 mg/100 g), vitamina C (4 mg/100 g), Ca (80 mg/100 g), Fe (2,2 mg/100g) y P (53 mg/100 g), entre otras vitaminas y minerales (Arscott & Tanumihardjo, 2010 y Sharma, Karki, Thakur & Attri, 2012). En Colombia este alimento tradicionalmente se ha integrado en la dieta humana como ingrediente en sopas, guisos, curry, dulces, jugos, encurtidos fermentados y ensaladas, no obstante, la elaboración este tipo de productos a partir de la zanahoria se ha visto limitada debido a su relativa corta vida útil (3-4 días); tal desventaja está asociada con el alto contenido de agua, el cual promueve el deterioro fisicoquímico del vegetal y la proliferación microbiana (Singh, Panesar, Nanda & Kennedy, 2010, Vega-Mercado, Angora-Nieto & Bartosa-Cánovas, 2001 y Lewicki, 2006).

Existe una variedad importante de métodos que permiten alargar la vida de este tipo de alimentos perecederos basados principalmente en la disminución del contenido de agua (Chou & Chua, 2001, Nakagawa & Ochiai, 2015 y Ahmed, Qazi & Jamal, 2016). El secado convectivo es uno de los métodos de deshidratación más utilizados por su simplicidad y facilidad operacional a nivel industrial, y se basa en un proceso simultáneo de transferencia de masa y calor acompañado por un cambio de fase del agua; generalmente se usa aire caliente para remover la humedad

cancer. It is composed mainly of water (86%), carbohydrates (10.6%), proteins (0.9%), fat (0.2%), crude fiber (1.2%), carotenes (5.33 mg / 100 g), vitamin C (4 mg / 100 g), Ca (80 mg / 100 g), Fe (2.2 mg / 100 g) and P (53 mg / 100 g), among other vitamins and minerals (Arscott & Tanumihardjo, 2010 and Sharma, Karki, Thakur & Attri, 2012). In Colombia this food has traditionally been integrated into the human diet as an ingredient in soups, stews, curries, sweets, juices, fermented pickles and salads. However, the elaboration of this type of products from carrots has been limited due to its relatively short lifespan (3-4 days). This disadvantage is associated with the high water content, which promotes the physicochemical deterioration of the plant and the microbial proliferation (Singh, Panesar, Nanda & Kennedy, 2010, Vega-Mercado, Angora-Nieto & Bartosa-Cánovas, 2001 and Lewicki, 2006).

There is an important variety of methods that allow to extend the life of this type of perishable foods based mainly on the decrease of the water content (Chou & Chua, 2001, Nakagawa & Ochiai, 2015 and Ahmed, Qazi & Jamal, 2016). Convective drying is one of the most used dehydration methods due to its simplicity and operational ease at an industrial level, and is based on a simultaneous process of mass and heat transfer accompanied by a phase change of the water. Hot air is usually used to remove moisture from the plant tissue. According to Mihoubi, Timoumi and Zagrouba (2009), this process reduces the weight of the food by up to 90%, a condition that allows its conservation for long periods. In contrast to these aspects, drying

**EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS
UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO**
**EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES
USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS**

del tejido vegetal. De acuerdo con Mihoubi, Timoumi y Zagrouba (2009), este proceso logra disminuir el peso del alimento hasta en un 90 %, condición que permite su conservación por largos periodos. En contraste con estos aspectos, el secado con aire caliente también es conocido porque altera las propiedades sensoriales del alimento, además de acarrear un elevado costo energético.

La deshidratación osmótica es otra técnica utilizada para disminuir el contenido de agua de frutas y vegetales. Consiste en sumergir la matriz biológica en una solución acuosa hipertónica de sales, azúcares y/o alcoholes, con el fin de promover la deshidratación gracias al gradiente de presión osmótica. En este proceso, la pared celular del alimento actúa como una membrana semipermeable que permite el paso del agua desde el alimento hasta la solución hipertónica (Torregginni, 1993) y en algunos casos de vitaminas y pigmentos solubles; así mismo, de forma simultánea el alimento es impregnado con solutos procedentes de la solución hipertónica (Dixon & Jen, 1977 y Lerici et al. 1985). La principal desventaja de esta técnica frente a otros procesos de deshidratación como el secado, es que no reduce el contenido de agua del alimento hasta niveles que inhiban el crecimiento bacteriano.

Varios autores han reportado que el uso combinado de los tratamientos de ósmosis y secado con aire caliente, tiene mejores resultados que utilizándolos de forma individual, ya que permite alcanzar niveles altos de deshidratación, mejora las características

with hot air is also known because it alters the sensory properties of the food, in addition to entailing a high energy cost.

Osmotic dehydration is another technique used to decrease the water content of fruits and vegetables. It consists of immersing the biological matrix in a hypertonic aqueous solution of salts, sugars and / or alcohols, in order to promote dehydration thanks to the osmotic pressure gradient. In this process, the cell wall of the food acts as a semipermeable membrane that allows the passage of water from the food to the hypertonic solution (Torregginni, 1993) and in some cases of vitamins and soluble pigments. Simultaneously, the food is impregnated with solutes from the hypertonic solution (Dixon & Jen, 1977 and Lerici et al., 1985). The main disadvantage of this technique compared to other dehydration processes such as drying, is that it does not reduce the water content of the food to levels that inhibit bacterial growth.

Several authors have reported that the combined use of osmosis treatments and hot air drying has better results than using them individually, since it allows to reach high levels of dehydration, improves the functional, sensory and nutritional characteristics of the food, and decreases the cost associated with the process (Revaskar et al., 2007 and Vázquez-Vila, Chenlo-Romero, Moreira-Martínez & Pacios-Penelas, 2009). According to Raoult-Wack (1994), the vegetable matrices that undergo this combined treatment present better color and flavor than those that are only treated with

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

funcionales, sensoriales y nutricionales del alimento, y disminuye el costo asociado al proceso (Revaskar et al., 2007 y Vázquez-Vila, Chenlo-Romero, Moreira-Martínez & Pacios-Penelas, 2009). Según Raoult-Wack (1994), las matrices vegetales que se someten a este tratamiento combinado presentan mejor color y sabor que las que solo son tratadas con secado, debido a que tienen menor tiempo de exposición a altas temperaturas. Se ha reportado que las variables más relevantes de los procesos mencionados son la concentración de la solución osmótica y el tiempo y las temperaturas del secado (Della, Roche & Mascheroni, 2013, Vega-Mercado, Angora-Nieto & Bartosa-Cánovas, 2001, Nanjundaswamy et al. 1978). Estudios realizados por Torres et al. (2007) encontraron que el cambio en la concentración de la solución hipertónica de sacarosa afectaba directamente la humedad de muestras de papaya. Estos autores concluyeron que el gradiente de presión osmótica tiene mayor influencia sobre la transferencia efectiva de masa, que la temperatura del proceso. Así mismo, Sutar y Prasad (2011) reportaron que tanto la deshidratación como la impregnación de solutos aumentan a medida que se incrementan la concentración de la solución osmótica y la temperatura del proceso.

La meta de este trabajo es el estudio del efecto combinado del tratamiento osmótico y el secado convectivo sobre algunas propiedades de la zanahoria como la acidez, el pH, el contenido de sólidos solubles, la humedad, la actividad acuosa, el contenido de carotenos, el color y el esfuerzo de compresión, modificando

drying, because they have less time of exposure to high temperatures. It has been reported that the most relevant variables of the mentioned processes are the concentration of the osmotic solution and the drying time and temperatures (Della, Roche & Mascheroni, 2013, Vega-Mercado, Angora-Nieto & Bartosa-Cánovas, 2001, Nanjundaswamy et al., 1978). Studies carried out by Torres et al. (2007) found that the change in the concentration of the hypertonic solution of sucrose directly affected the moisture of papaya samples. These authors concluded that the osmotic pressure gradient has a greater influence on the effective transfer of mass than the temperature of the process. Likewise, Sutar and Prasad (2011) reported that both the dehydration and the impregnation of solutes increase as both the concentration of the osmotic solution and the temperature of the process increase.

The goal of this work is the study of the combined effect of osmotic treatment and convective drying on some properties of the carrot such as acidity, pH, soluble solids content, humidity, water activity, carotene content, color and compressive stress, modifying the concentration of the hypertonic solution and the time of the dehydration and drying processes.

Materials and Methods

Pretreatments

Fresh carrots were used in optimum state of

la concentración de la solución hipertónica y el tiempo de los procesos de deshidratación y secado.

Materialles y Métodos

Pretratamientos

Se utilizaron zanahorias frescas en óptimo estado de maduración y libres de magulladuras y picaduras, con un peso promedio de 200 g, longitud de 15 cm y diámetro de la base del cono de 6 cm; se adquirieron en noviembre de 2016 en un supermercado local en Barrancabermeja, Santander, Colombia. Las zanahorias fueron lavadas, peladas y cortadas en rodajas de 0,5 mm de espesor utilizando una tajadora eléctrica (JAVAR, modelo GE220 1F). Se escogieron las rodajas con un diámetro aproximado de 3 cm con el fin de asegurar una similitud en el área superficial de cada muestra.

Tratamiento osmótico y secado convectivo

El proceso de osmodeshidratación se realizó por inmersión de las muestras de zanahoria en una solución de sacarosa comercial (pureza de 99 %) concentrada a 50, 55 y 60 % p/p durante un periodo de 2-6 h. La temperatura y agitación durante el proceso osmótico se mantuvieron constantes a 100 rpm y 40 °C, respectivamente, utilizando una incubadora de agitación orbital (LABNET, modelo I5311-DS). En este proceso se utilizó una relación de 1 g de zanahoria por 1 mL de solución de sacarosa. Finalizado el tiempo de inmersión, las rodajas de zanahoria se retiraron de la solución y se lavaron con agua para

maturity and free of bruises and bites, with an average weight of 200 g, length of 15 cm and cone base diameter of 6 cm. The root vegetable were purchased in November 2016 at a local supermarket in Barrancabermeja, Santander, Colombia. The carrots were washed, peeled and cut into 0.5 mm thick slices using an electric chopper (JAVAR, model GE220 1F). The slices with an approximate

diameter of 3 cm were chosen in order to ensure a similarity in the surface area of each sample.

Osmotic treatment and convective drying

The osmotic dehydration process was performed by immersing the carrot samples in a commercial sucrose solution (purity of 99%) concentrated at 50, 55 and 60% w / w for a period of 2-6 h. The temperature and agitation during the osmotic process were kept constant at 100 rpm and 40 °C, respectively, using an orbital shaking incubator (LABNET, model I5311-DS). In this process, a ratio of 1 g of carrot to 1 mL of sucrose solution was used. At the end of the immersion time, the carrot slices were removed from the solution and washed with water to remove sucrose residues adhered to the surface. Immediately afterward, the slices were dried with absorbent paper in order to remove the free water. After the osmotic dehydration treatment, the food samples were subjected to a drying process at 60°C in an oven with forced convection (BINDER, model FD 23) for a period of 3-9 h.

Carrot juice extraction

The slices of fresh and dehydrated carrot were

remover residuos de sacarosa adheridos a la superficie. Inmediatamente después, las rodajas se secaron con papel adsorbente con el fin de retirar el agua libre. Posterior al tratamiento de osmodeshidratación, las muestras de alimento fueron sometidas a un proceso de secado a 60 °C en un horno con convección forzada (BINDER, modelo FD 23) durante un periodo de 3-9 h.

Extracción del zumo de zanahoria

Las rodajas de zanahoria fresca y deshidratada fueron maceradas en un mortero de porcelana durante 5 min a temperatura ambiente. El producto macerado fue centrifugado a 3000 rpm en una centrifuga (Labnet, Spectrafuge 6C) durante 5 min; de la mezcla resultante se separó el zumo por decantación y se descartó el pellet de biomasa restante.

Extracción de carotenos

La extracción se realizó de acuerdo a la técnica descrita por Rodriguez-Amaya (2001). Un gramo del zumo fue mezclado con 3 mL de acetona (Merck, pureza de 99,8%) y filtrado en un embudo Büchner de porcelana a presión reducida (500 Torr) utilizando un filtro cualitativo grado 1 (WHATMAN® - ICT, SL); este proceso se repitió hasta desaparecer el color naranja. El extracto fue re-diluido en éter de petróleo (Merck) y mantenido en reposo en un embudo de decantación hasta observar la separación de dos fases. Finalmente, la fase coloreada se separa y se filtró con sulfato de sodio anhidro.

macerated in a porcelain mortar for 5 min at room temperature. The macerated product was centrifuged at 3000 rpm in a centrifuge (Labnet, Spectrafuge 6C) for 5 min. From the resulting mixture, the juice was separated by decantation and the remaining biomass pellet was discarded.

Carotenes extraction

The extraction was carried out according to the technique described by Rodriguez-Amaya (2001). One gram of the juice was mixed with 3 mL of acetone (Merck, purity 99.8%) and filtered in a Büchner funnel of porcelain under reduced pressure (500 Torr) using a qualitative filter grade 1 (WHATMAN® - ICT, SL). This process was repeated until the orange color disappeared. The extract was re-diluted in petroleum ether (Merck) and kept at rest in a separatory funnel until the separation of two phases was observed. Finally, the colored phase is separated and filtered with anhydrous sodium sulfate.

Characterizations

The moisture content was determined by monitoring the weight loss by drying in an oven with forced convection (BINDER, model FD 23) at 125 °C for 4 h, according to Bradley (2010). The water activity (A_w) was evaluated with a portable meter (ROTRONIC, model HP23-AW). The total soluble solids were found in terms of °Brix at 20 °C using a portable refractometer (Zhifong, model FG-109). The pH was measured at 20 °C using a potentiometer (OAKTON, model pH 510) and the acidity was calculated in terms of citric acid (g citric acid/100 g of feed) by

**EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS
UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO**
**EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES
USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS**

Caracterizaciones

El contenido de humedad se determinó mediante el seguimiento de la pérdida de peso por desecación en horno con convección forzada (BINDER, modelo FD 23) a 125 °C durante 4 h, de acuerdo con Bradley (2010). La actividad de agua (A_w) se evaluó con un medidor portátil (ROTRONIC, modelo HP23-AW). Los sólidos solubles totales se hallaron en términos de °Brix a 20 °C utilizando un refractómetro portátil (Zhifong, modelo FG-109). El pH se midió a 20 °C usando un potenciómetro (OAKTON, modelo pH 510) y la acidez se calculó en términos de ácido cítrico (g ácido cítrico/ 100 g de alimento) mediante titulación con una solución 0,1 N de NaOH (Merck, pureza de 99%), ambos conforme a la metodología reportada por Sadler & Murphy (2010). La humedad y el A_w se determinaron utilizando las rodajas de zanahoria mientras que las demás caracterizaciones se realizaron usando el zumo del alimento.

El contenido de total de carotenos se determinó de acuerdo a la técnica descrita por Rodriguez-Amaya (2001) y Kiros, Seifu, Bultosa y Solomon (2016), utilizando un espectrofotómetro UV-VIS GENESYS 10S (ThermoScientific). La absorbancia fue medida en una longitud de onda de 450 nm y el contenido de carotenoides fue reportado como mg de β -carotenos por Kg de zumo de naranja de acuerdo con la Ec. 1.

$$\text{Carotenos totales } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \left[\frac{\text{Abs}}{2592} \right] \times \frac{V(\text{mL}) \times 10^4}{\text{Peso de la muestra (kg)}}$$

titration with a 0.1 N NaOH solution (Merck, purity of 99%), both according to the methodology reported by Sadler & Murphy (2010). Moisture and A_w were determined using the carrot slices while the other characterizations were made using the feed juice.

The content of total carotenes was determined according to the technique described by Rodriguez-Amaya (2001) and Kiros, Seifu, Bultosa and Solomon (2016), using a UV-VIS spectrophotometer GENESYS 10S (ThermoScientific). The absorbance was measured at a wavelength of 450 nm and the carotenoid content was reported as mg of β -carotenes per Kg of orange juice according to Eq. 1.

$$\text{Total Carotenes } \left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \left[\frac{\text{Abs}}{2592} \right] \times \frac{V(\text{mL}) \times 10^4}{\text{Sample weight (kg)}}$$

Where Abs corresponds to the absorbance read, 2592 is the extinction coefficient of β -carotenes in petroleum ether and V is the volume of the extract in mL.

The color was determined by visual evaluation using the chromatic color table as a reference system (Sanz & Gallego, 2001). The hue of the color was analyzed using the free ImageJ software in the RGB mode (Pascau & Mateos, 2013). The compressive strength was determined using a texture analyzer (STABLE MICROSYSTEMS, TA-XT2i) with a load cell of 50 kgf and an acrylic plunger of diameter 41.1 mm. For this analysis, 8.4 g of dehydrated carrot were loaded in a cylindrical acrylic container (internal

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

Donde Abs corresponde a la absorbancia leída, 2592 es el coeficiente de extinción de β -carotenos en éter de petróleo y V es el volumen del extracto en mL.

El color se determinó por evaluación visual utilizando como sistema de referencia la tabla cromática de colores (Sanz & Gallego, 2001). La tonalidad del color se analizó utilizando el software libre ImageJ en el modo RGB (Pascau & Mateos, 2013). La resistencia a la compresión se determinó utilizando un analizador de textura (STABLE MICRO SYSTEMS, TA-XT2i) con una celda de carga de 50 kgf y un embolo de acrílico de diámetro 41,1 mm. Para éste análisis 8,4 g de zanahoria deshidratada fueron cargados en un recipiente cilíndrico de acrílico (Diámetro interno = 49,9 mm y altura = 68,3 mm) alcanzando una altura inicial de aproximadamente 20 mm, y comprimidos hasta la mitad de su altura (deformación del 50 %). Las velocidades del análisis fueron: pre-test = 2 mm/s, test = 1 mm/s y post-test = 2 mm/s.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar de tres factores: concentración de solución osmótica (50, 55 y 60 % p/p), tiempo del tratamiento osmótico (0, 2, 4 y 6 h) y tiempo de secado convectivo (0, 3, 6 y 9 h). Todos los experimentos fueron replicados 3 veces. El análisis de varianza (ANOVA) fue desarrollado con una significancia definida como $P < 0,05$, usando el paquete estadístico IBM SPSS Statistics 21.

diameter = 49.9 mm and height = 68.3 mm) reaching an initial height of approximately 20 mm, and compressed to half its height (50% deformation). The analysis speeds were: pre-test = 2 mm/s, test = 1 mm/s and post-test = 2 mm/s.

Statistical analysis

A completely randomized experimental design of three factors was used: osmotic solution concentration (50, 55 and 60% w/w), osmotic treatment time (0, 2, 4 and 6 h) and convective drying time (0, 3, 6 and 9 h). All the experiments were replicated 3 times. The variance analysis (ANOVA) was developed with a significance defined as $P < 0.05$, using the statistical package IBM SPSS Statistics 21.

Results and Discussion

Effect of osmotic dehydration process on weight, soluble solids, pH and acidity

The weight and soluble solids variation of the dehydrated carrot samples are shown in Figure 1. In general, it is observed that the osmotic treatment significantly reduces ($P < 0.05$) the weight of the carrot samples between 30-40%, while it increases between 5 and 6 times its content of soluble solids. The weight decreases proportionally with the increase in the concentration of the sucrose solution, while the soluble solids suffer increases associated with

Resultados y Discusión

Efecto del proceso de deshidratación osmótica sobre el peso, sólidos solubles, pH y acidez

En la Figura 1 se muestran los resultados de la variación del peso y sólidos solubles de las muestras de zanahoria deshidratadas. En general se observa que el tratamiento osmótico reduce significativamente ($P < 0,05$) el peso de las muestras de zanahoria entre 30-40 %, mientras que aumenta entre 5 y 6 veces su contenido de sólidos solubles. El peso disminuye proporcionalmente con el aumento en la concentración de la solución de sacarosa, en tanto que los sólidos solubles sufren incrementos asociados a la utilización de soluciones de sacarosa entre 50 y 55 % p/p; después de lo cual no se observan variaciones importantes. La disminución en el peso indica que ocurrió la liberación de agua de la matriz del alimento, mientras que el aumento en los sólidos solubles da a entender que hubo deposición de solutos en las muestras, lo cual es coherente con lo reportado por Singh et al. (2010), Pacheco-Angulo, Herman-Lara, García-Alvarado y Ruiz-López (2016) y Simal, Benedito, Sanchez y Rossello (1998). De acuerdo con Rastogi, Raghavarao & Niranjan (2014), la deshidratación es causada por la diferencia en los potenciales químicos entre el agua y la solución hipertónica (que para este trabajo es una dilución de sacarosa), que da lugar a un flujo de varios componentes: el agua sale del alimento y los solutos entran, principalmente durante las primeras dos o tres horas del

the use of sucrose solutions between 50 and 55% w / w, after which no important variations are observed. The decrease in weight indicates that the release of water from the food matrix occurred, while the increase in soluble solids suggests that there was solute deposition in the samples. This is consistent with that reported by Singh et al. (2010), Pacheco-Angulo, Herman-Lara, García-Alvarado and Ruiz-López (2016) and Simal, Benedito, Sanchez and Rossello (1998). According to Rastogi, Raghavarao & Niranjan (2014), dehydration is caused by the difference in chemical potentials between water and the hypertonic solution (which for this work is a sucrose dilution). The result of this difference is a flux of several components where the water leaves and the solutes enter to the root vegetable, mainly during the first two or three hours of the osmotic process. After this time the difference in water content in both the vegetal tissue and the solution gradually decreases until the system reaches a state of dynamic equilibrium. Figure 1 shows that the immersion time where the greatest dehydration occurs is also between the first 2-4 h, similar to the aforementioned.

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

proceso osmótico. Después de este tiempo la diferencia en el contenido de agua en el alimento y en la solución disminuye gradualmente hasta que el sistema alcanza un estado de equilibrio dinámico. Al observar la Figura 1 se encuentra que el tiempo de inmersión donde ocurre mayor deshidratación también está entre las primeras 2-4 h, similar a lo mencionado anteriormente.

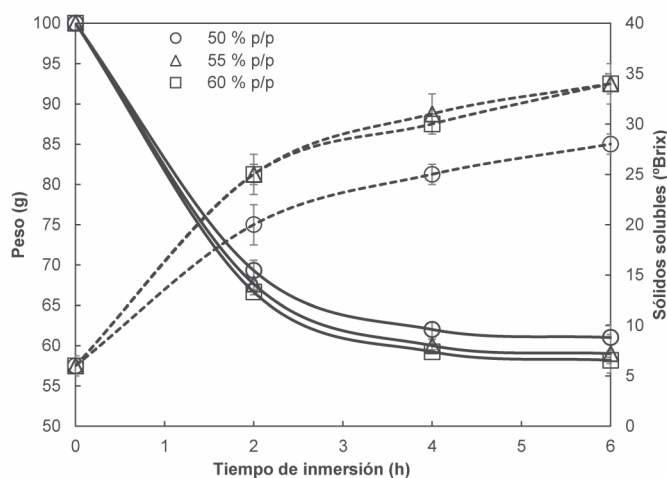


Figura 1. Comportamiento del peso (líneas continuas) y los sólidos solubles (líneas discontinuas) de las muestras de zanahoria deshidratadas utilizando soluciones de sacarosa concentradas a 50, 55 y 60 % p/p. Los resultados son el promedio de seis réplicas y las barras de error representan la desviación estándar.

En la Figura 2 se presentan los resultados de la variación del pH y el porcentaje de acidez de las muestras de zanahoria osmodeshidratadas en función del tiempo del proceso, utilizando varias concentraciones de la solución de sacarosa. Se observa que al incrementar el tiempo de deshidratación ocurre tanto un incremento en el pH como una disminución en la acidez ($P < 0,05$). Sin embargo, tales comportamientos se presentan antes de las 4 h de tratamiento;

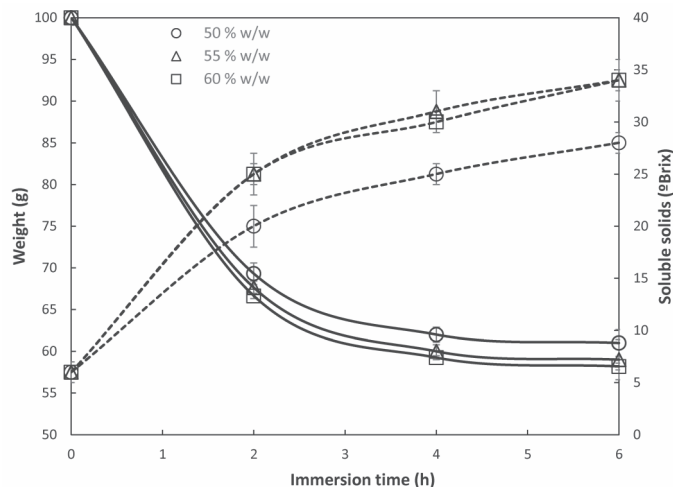


Figure 1. Weight (solid lines) and soluble solids (broken lines) behavior of dehydrated carrot samples using concentrated sucrose solutions at 50, 55 and 60% w/w. The results are the average of six replicas and the error bars represent the standard deviation.

Figure 2 shows the pH and acidity results of the osmo-dehydrated carrot samples as a function of the process time, using several concentrations of the sucrose solution. It is observed that increasing the time of dehydration occurs both an increase in pH and a decrease in acidity ($P < 0.05$). However, such behaviors occur before 4 hours of treatment, after this time both pH and acidity tend to stabilize. Likewise, it is observed that when the sucrose concentration increases, the pH rises, and as expected, the percentage of acidity decreases. According to these results, it can be presumed that during osmo-dehydration the water that comes out drag organic acids changing the acidity of the food. This is corroborated when observing that the times in which the weight stabilizes (Figure 1) and the acidity (Figure 2) are similar. Similar to the above, Raoult-Wack (1994) mentions that

EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

después de este tiempo tanto el pH como la acidez tienden a estabilizarse. Así mismo, se observa que al aumentar la concentración de sacarosa sube el pH, y como es de esperarse, baja el porcentaje de acidez. De acuerdo con estos resultados se puede presumir que durante la osmodeshidratación el agua que salió del alimento arrastró consigo ácidos orgánicos y en efecto cambió la acidez del alimento; esto se corrobora al observar que los tiempos en que se estabiliza el peso (Figura 1) y la acidez (Figura 2) son similares. En coherencia con lo expuesto, Raoult-Wack (1994) menciona que el proceso de deshidratación osmótica incrementa la relación entre los contenidos de sacarosa/ácidos en el alimento.

the process of osmotic dehydration increases the relationship between the sucrose content/acids in the food.

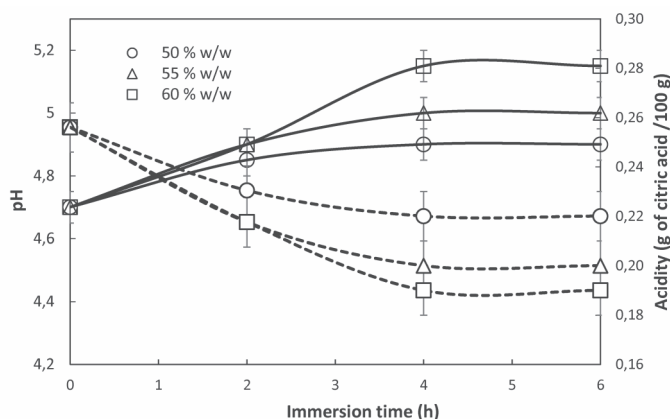


Figure 2. pH (solid lines) and acidity (broken lines) behavior of the osmo-dehydrated carrot samples using concentrated sucrose solutions at 50, 55 and 60% w/w. The results are the average of six replicas and the error bars represent the standard deviation.

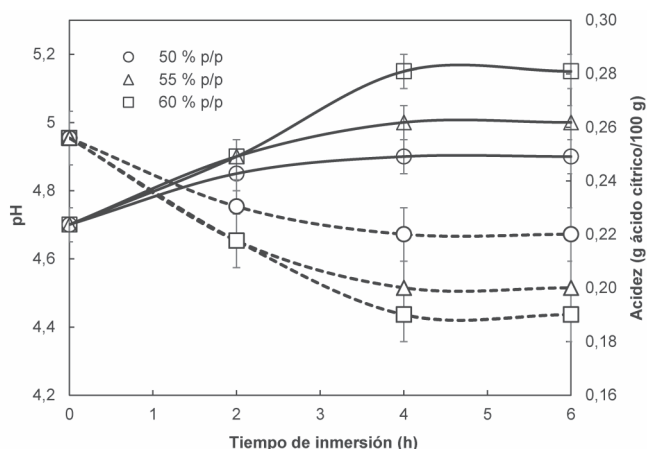


Figura 2. Comportamiento del pH (líneas continuas) y de la acidez (líneas discontinuas) de las muestras de zanahoria osmodeshidratadas utilizando soluciones de sacarosa concentradas a 50, 55 y 60 % p/p. Los resultados son el promedio de seis réplicas y las barras de error representan la desviación estándar.

Effect of convective drying process on weight and water activity

As noted above, the osmotic dehydration process promoted a reduction in the carrot weight of 40%, mainly due to the water release. However, it is estimated that the carrot has a water content greater than 80%, which indicates that this treatment did not eliminate the total humidity. As an alternative to improve the dehydration after the osmotic process, a subsequent drying was carried out. The weight and the water activity results during drying treatment are shown in Figure 3. It is observed that both variables decrease with the treatment time ($P < 0.05$). However, the most of this variation (36-53% to weight and 60% to water activity) occurred in the first 3 hours of drying.

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

Efecto del proceso de secado convectivo sobre el peso y la actividad acuosa

Como se señaló anteriormente, el proceso de deshidratación osmótica promovió una reducción en el peso de la zanahoria del 40 %, debido principalmente a la salida de agua del alimento. No obstante, se estima que la zanahoria tiene un contenido de agua mayor al 80 %, lo que indica que el tratamiento no eliminó la humedad total.

Como alternativa para mejorar la deshidratación durante el proceso osmótico, se realizó un secado posterior. Los resultados de la variación del peso y la actividad de agua durante este secado se muestran en la Figura 3. Se observa que ambas variables disminuyen con el tiempo de tratamiento ($P < 0,05$), no obstante, la mayor parte de esta variación (36-53 % del peso y 60 % de la actividad de agua) ocurrió en las primeras 3 horas del secado. La similitud en el comportamiento del peso y la actividad de agua indican, tal como se esperaba, que los cambios observados en la Figura 3 ocurrieron por la pérdida de agua. La aparente estabilización en el peso después de 3 h mostrada en la Figura 3 también fue reportada por Kowalski, Szadniska y Łechtanska (2013). Esto indica que el tiempo de secado para este tipo de muestras no debe superar las 3 h.

Por otra parte, al verificar el efecto del tratamiento de osmosis sobre el secado, se observa que a mayor concentración de la solución de sacarosa es menor la pérdida de peso durante el secado. La influencia de la concentración de la solución osmótica sobre la

The similarity in the behavior

of both weight and water activity indicate, as expected, that the changes observed in Figure 3 occurred because of the water loss. The apparent stabilization in weight after 3 h (shown in Figure 3) was also reported by Kowalski, Szadniska and Łechtanska (2013). This indicates that the drying time for this type of samples should not exceed 3 h.

On the other hand, when verifying the effect of the osmosis treatment on drying, it is observed that increasing the concentration of the sucrose solution decreases the weight loss during drying. The influence of the osmotic solution concentration on the weight variation may be associated with the deposition of sucrose in the food matrix. Such deposition could cause a decrease in the water diffusion coefficient at the food-air interface, as explained by Rastogi et al. (2014).

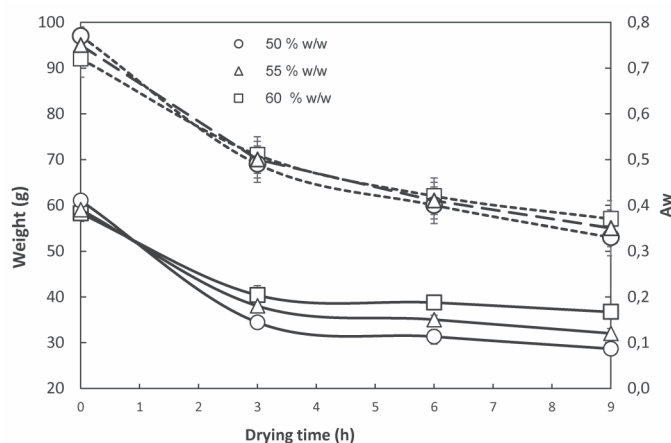


Figure 3. Weight (solid lines) and water activity (dashed lines) of osmo-dehydrated carrot samples, during the drying process at 60 °C. The results are the average of six replicas and the error bars represent the standard deviation.

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

variación del peso puede estar asociada con la deposición de sacarosa en la matriz del alimento. Tal deposición pudo provocar una disminución en el coeficiente de difusión del agua en la interfase alimento-aire, así como lo explica Rastogi et al. (2014), y en efecto resistir la salida del agua.

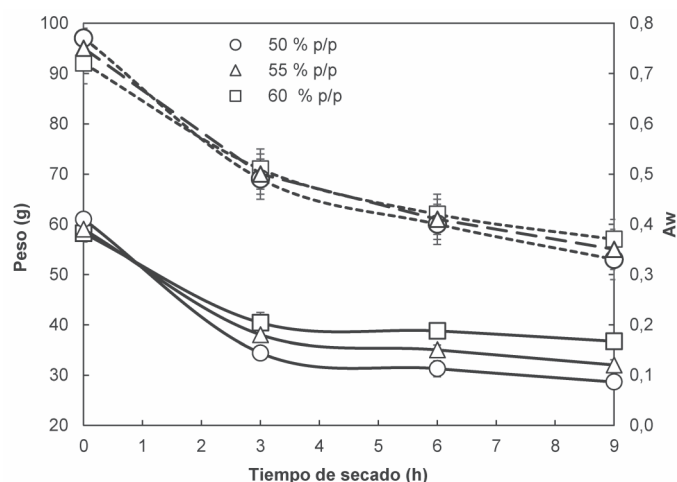


Figura 3. Comportamiento del Peso (líneas continuas) y de la Actividad acuosa (líneas discontinuas) de las muestras de zanahoria osmódeshidratadas, durante el proceso de secado a 60 °C. Los resultados son el promedio de seis réplicas y las barras de error representan la desviación estándar.

Influencia de la ósmosis/secado sobre la textura, color y contenido de carotenos

En la Figura 4 se presentan los resultados de la prueba de resistencia a la compresión de las muestras de zanahoria deshidratadas por ósmosis y luego por secado con aire caliente. Se observa que al utilizar una solución osmótica más concentrada disminuye la resistencia a la compresión de las muestras de zanahoria, así mismo, presentan mayor deformación. Al comparar estos resultados con los presentados en la Figura 1 se puede inferir que están relacionados inversamente con la deposición de

Osmosis/drying influence on the texture, color, and content of carotenes

Figure 4 shows the results of the compression resistance test of carrot samples dehydrated by osmosis/drying. It is observed that when using a more concentrated osmotic solution the compression resistance decreases, likewise, the carrot samples show greater deformation. When comparing these results with those presented in Figure 1, it can be inferred that they are inversely related to the deposition of solutes. Taking this into account, it is possible that the excess sucrose deposited on the surface of the carrot has crystallized during the drying stage, attributing to the sample rigidity and fragility (crunchiness), which decreases the resistance to compression. Such characteristics are recognized in snack foods.

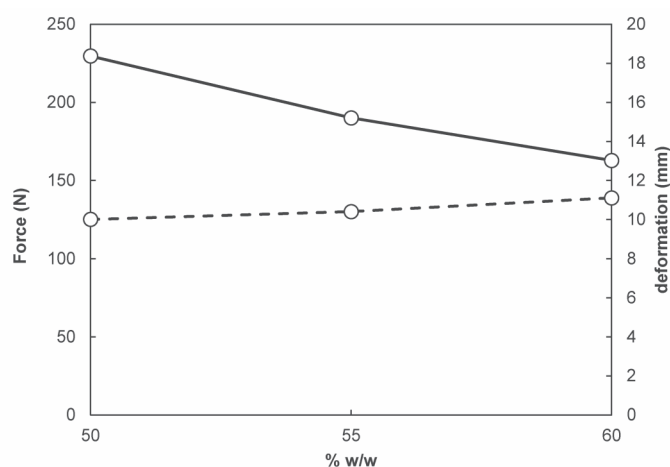


Figure 4. Results of the applied force to the dehydrated carrot samples (solid lines) and the deformation caused (dashed lines) during the compression test as a function of the osmotic solution concentration.

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

solutes. Teniendo en cuenta esto, es posible que el exceso de sacarosa depositada en la superficie de la zanahoria haya cristalizado durante la etapa de secado, atribuyéndole a la muestra rigidez y fragilidad (crocancia), lo que disminuye la resistencia a la compresión. Tales características son reconocidas en alimentos tipo snack.

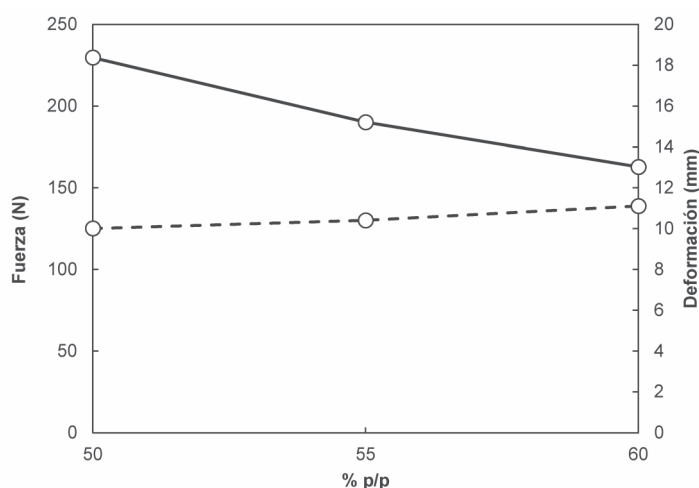


Figura 4. Resultados de la Fuerza aplicada sobre las muestras de zanahoria deshidratada (líneas continuas) y la deformación causada (líneas discontinuas) durante la prueba de compresión en función de la concentración de la solución osmótica.

La variación en el color como una función del tratamiento de las muestras de zanahoria también fue estudiada. Los procesos simultáneos de osmodeshidratación y secado convectivo no alteraron significativamente el color de la zanahoria. Según la escala monocromática de colores (Sanz & Gallego, 2001), las muestras de zanahoria fresca y deshidratada presentaron un color naranja. No obstante, el incremento en la concentración de la solución osmótica generó un leve

The color variation as a function of the carrot samples treatment was also studied. The simultaneous processes of osmo-dehydration and convective drying did not significantly alter the color of the carrot. According to the monochromatic color scale (Sanz & Gallego, 2001), fresh and dehydrated carrot samples showed an orange color. However, the increase in the concentration of the osmotic solution generated a darkening in the food. Figure 5 shows the color histograms of fresh and treated carrot samples, where the color distribution from light to dark is observed from right to left. When comparing the images of Figure 5 (a-d) it is observed that the increase in the osmotic solution concentration causes a shift to the left in the color distribution, which shows that the treatment caused the darkening of the carrot. This change in color could be caused by the solutes deposition and the organic acids loss from the food matrix, previously discussed. The preservation of the orange hue, despite the darkening of the food, indicates that there were no substantial changes in the content of carotenes (Kowalski et al., 2013). Similar results were reported by Torregginni (1993). According to Rastogi et al. (2014) and Singh et al. (2010), low temperatures and the release of water without change of state during osmo-dehydration do not cause a considerable loss of pigments.

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO
EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

oscurecimiento en el alimento. En la Figura 5 se muestran los histogramas de color de las muestras de zanahoria fresca y tratada; donde la distribución del color de claro a oscuro se observa de derecha a izquierda. Al comparar las imágenes de la Figura 5 (a-d) se observa que el incremento en la concentración de la solución osmótica causa un corrimiento en la distribución del color hacia la izquierda, lo que demuestra que el tratamiento causó el oscurecimiento de la zanahoria. Este cambio en el color pudo ser provocado por la deposición de solutos y la pérdida de ácidos orgánicos de la matriz del alimento, discutido previamente. La preservación de la tonalidad naranja, a pesar del oscurecimiento del alimento, indica que no hubo modificaciones considerables en el contenido de carotenos (Kowalski et al., 2013). Resultados similares fueron reportados por Torregginni (1993). Tal como lo mencionan Rastogi et al. (2014) y Singh et al. (2010), la preservación del color se debe a que las bajas temperaturas y la liberación de agua sin cambio de estado durante la osmodeshidratación no causan una pérdida de pigmentos considerable.

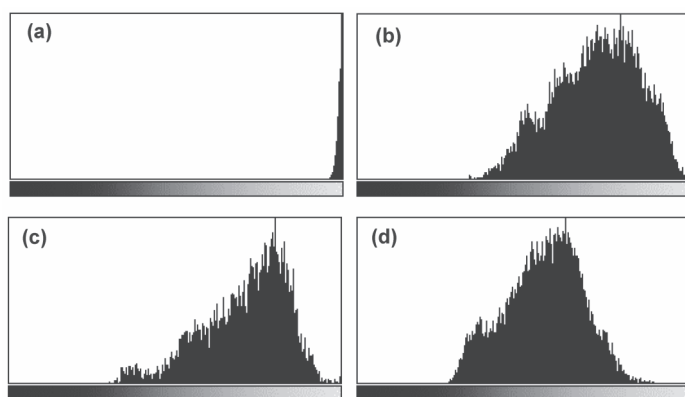


Figura 5. Histograma de color de las zanahorias fresca (a) y deshidratada por ósmosis y secado convectivo utilizando soluciones de sacarosa a 50 % p/p (b), 55 % p/p (c) y 60 % p/p (d).

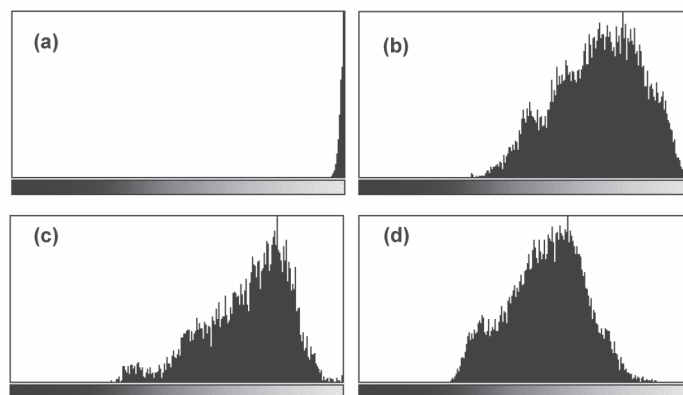


Figure 5. Color histogram of carrots fresh (a) and dehydrated by osmosis/drying using sucrose solutions at 50% w/w (b), 55% w/w (c) and 60% w/w (d).

Figure 6 shows the carotenes content of fresh carrot and osmodehydrate samples with different sucrose solutions. It is observed that the carrot β -carotene content is approximately 61.41 mg/kg, which is consistent with that reported by Knockaert et al. (2011), who found contents for the unprocessed carrot, treated carrot with low temperature, and treated carrot with high pressure (500 MPa for 16 min) of 76.4, 77.5 and 77.4 mg/kg, respectively. Likewise, the content found in this work is similar to reported by Arscott and Tanumihardjo (2010), and ANSES (2012) for fresh carrots, which was 53.3 and 87.10 mg/kg, respectively. Other results such as the variation of the carotene content as a function of the treatment are also shown in Figure 6. The osmosis/drying treatments did not significantly modify the carotenes concentration ($P > 0.05$), contrary to that reported for dehydration treatments via drying. The above can be associated with the reduction of drying time due to the inclusion of the osmodehydration stage. On the other hand, the

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

En la Figura 6 se presenta el contenido de carotenos en las muestras de zanahoria fresca, y osmodeshidratada con diferentes soluciones de sacarosa. Se observa que el contenido de β -carotenos de la zanahoria es aproximadamente 61,41 mg/kg, lo cual es consistente con lo reportado por Knockaert et al. (2011), quienes encontraron contenidos para la zanahoria sin procesar, tratada con baja temperatura y a alta presión (500 MPa por 16 min) de 76,4, 77,5 y 77,4 mg/kg, respectivamente. Así mismo, el contenido encontrado se encuentra entre lo reportado por Arscott & Tanumihardjo (2010) y la ANSES (2012) para zanahorias frescas, el cual fue de 53,3 y 87,10 mg/kg, respectivamente. Otros resultados como la variación del contenido de carotenos en función del tratamiento también se muestran en la Figura 6. Ninguno de los tratamientos de ósmosis/secado modificó significativamente la concentración de carotenos ($P > 0,05$), contrario a lo reportado para tratamientos de deshidratación únicamente vía secado. Lo anterior puede asociarse a la disminución del tiempo de secado de la zanahoria gracias a la inclusión de la etapa de osmodeshidratación. Por otra parte, se observa que los resultados presentados en la Figura 6 son coherentes con lo mostrado en la Figura 5, ya que la invariabilidad en el contenido de carotenos, a pesar del aumento en la concentración de la solución de sacarosa y los tiempos de secado, está directamente asociada con la preservación del color del alimento.

invariance in the content of carotenes presented in Figure 6 is coherent with the shown in Figure 5 because is directly associated with the preservation of the color of the food, despite the increase in the sucrose solution concentration and the times of drying.

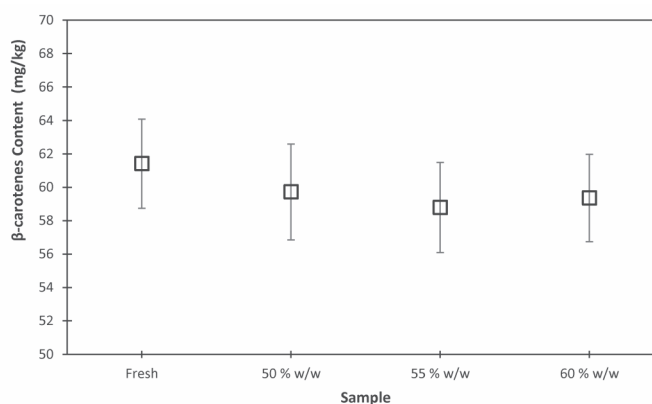


Figure 6. The content of carotenes in fresh carrots and treated by osmosis/drying, using sucrose solutions concentrated at 50, 55 and 60% w/w.

Conclusions

The combined process of osmotic dehydration and convective drying allows obtaining carrot samples with a reduction in weight greater than 70%, water activity below 0.4, acidity close to 2% and soluble solids between 28 and 35 °Bx, which maintain their orange color as well as the content of carotenes that oscillate near 60 mg / Kg. Individually, osmotic dehydration using sucrose solutions concentrated at 50-60% w/w, reduces the weight of the carrot between 30 and 40%, as well as promotes the deposition of solutes in the food. The highest ratio of weight loss / deposited solutes was reached with the

EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO

EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS

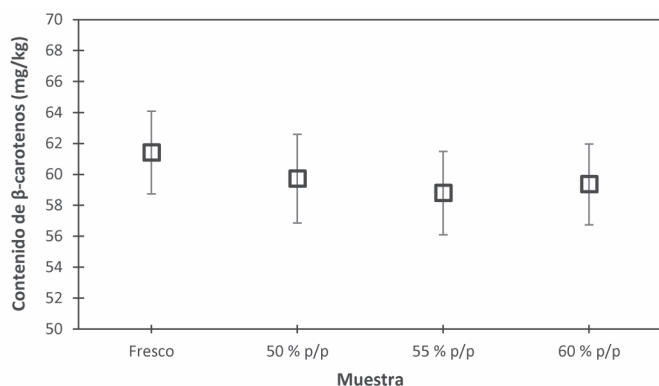


Figura 6. Comportamiento del contenido de carotenos en zanahorias frescas y tratadas por ósmosis/secado, utilizando soluciones de sacarosa concentradas a 50, 55 y 60 % p/p.

Conclusiones

El proceso combinado de deshidratación osmótica y secado convectivo permite la obtención de muestras de zanahoria con una reducción en el peso mayor al 70 %, actividad de agua por debajo de 0,4, acidez cercana al 2 % y sólidos solubles entre 28 y 35 °Bx, que mantienen su color naranja así como el contenido de carotenos que oscilo cerca de 60 mg/Kg. Individualmente, la deshidratación osmótica utilizando soluciones de sacarosa concentradas a 50-60 % p/p, reduce el peso de la zanahoria entre el 30 y 40 %, así como también promueve la deposición de solutos en el alimento. La mayor relación disminución de peso/solutos depositados se alcanzó con la solución a 50 % p/p. La pérdida de agua en la ósmosis ocurre predominantemente en las primeras 4 h y en el secado en las primeras 2h, mientras que la deposición de solutos predomina en los periodos posteriores. A las condiciones establecidas en este trabajo, el

solution at 50% w/w. The loss of water in the osmosis predominantly occurs in the first 4 h and in the drying in the first 2 h, while the deposition of solutes predominates in the later periods. To the conditions established in this work, the dehydration process substantially modifies the carrot humidity but does not significantly change its sensory properties, especially, does not significantly change the content of carotenes.

Acknowledgments

The authors thank the engineers Olga Cisneros, Eddyer Díaz and Kleiver Delgado for their collaboration in the development of the experiments.

References

- Ahmed, I., Qazi, I.M. & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 34:29-43.
- ANSES (2012). Table CIQUAL, French Food Composition Tables, 381 <http://www.afssa.fr/TableCIQUAL/>
- Arscott, S.A. & Tanumihardjo, S.A. (2010). Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 9:223–239.

proceso de deshidratación modifica sustancialmente la humedad del alimento pero no cambia significativamente sus propiedades sensoriales, en especial, no cambia significativamente el contenido de carotenos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los ingenieros Olga Cisneros, Eddy Díaz y Kleiver Delgado por su colaboración en el desarrollo de los experimentos.

Referencias Bibliográficas

Ahmed, I., Qazi, I.M. & Jamal, S. (2016). Developments in osmotic dehydration technique for the preservation of fruits and vegetables. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 34: 29-43.

ANSES (2012). Table CIQUAL, French Food Composition Tables, 381 <http://www.afssa.fr/TableCIQUAL/>

Arcott, S.A. & Tanumihardjo, S.A. (2010). Carrots of many colors provide basic nutrition and bioavailable phytochemicals acting as a functional food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 9: 223-239.

Bradley, R.J. (2010). *Food Analysis*. USA: Springer Science+Business Media, p.85-107.

Bradley, R.J. (2010). *Food Analysis*. USA: Springer Science+Business Media, p.85-107.

Chou, S.K. & Chua, K.J. (2001). New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*. 12(10): 359-369.

Della Rocca, P.A., Roche, L.A. & Mascheroni, R.H. (2013). Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria. *Proyecciones*. 11(2): 81-91.

Dixon, G.M. & Jen, J.J. (1977). Changes of sugar and acid in osmotic dried apple slices. *Journal of Food Science*. 42: 1126-1131.

Kiros, Seifu, Bultosa & Solomon. (2016). Effect of carrot juice and stabilizer on the physicochemical and microbiological properties of yogurt. *LWT - Food Science and Technology*. 69: 191-196.

Knockaert G., De Roeck A., Lemmens L., Van Buggenhout S., Hendrickx M., & Van Loey A. (2011). Effect of thermal and high pressure processes on structural and health-related properties of carrots (*Daucus carota*). *Food Chemistry*, 125: 903-912.

Kowalski, S.J., Szadniska, J. & Łechtanska, J. (2013). Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. *Journal of Food Engineering*. 118: 393-399.

Lerici, C.L., Pinnavaia, G., Dalla-Rosa, M. & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product. *Journal of Food Science*. 50: 1217-1219.

**EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS
UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO**
**EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES
USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS**

- Chou, S.K. & Chua, K.J. (2001). New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science & Technology*. 12(10):359–369.
- Della Rocca, P.A., Roche, L.A. & Mascheroni, R.H. (2013). Estudio de la transferencia de agua durante la deshidratación osmótica de zanahoria. *Proyecciones*. 11(2):81-91.
- Dixon, G.M. & Jen, J.J. (1977). Changes of sugar and acid in osmotic dried apple slices. *Journal of Food Science*. 42: 1126-1131.
- Kiros, Seifu, Bultosa & Solomon. (2016). Effect of carrot juice and stabilizer on the physicochemical and microbiological properties of yogurt. *LWT - Food Science and Technology*. 69:191-196.
- Knockaert G., De Roeck A., Lemmens L., Van Buggenhout S., Hendrickx M., & Van Loey A. (2011). Effect of thermal and high pressure processes on structural and health-related properties of carrots (*Daucus carota*). *Food Chemistry*, 125:903–912.
- Kowalski, S.J., Szadniziska, J. & Lechtanska, J. (2013). Non-stationary drying of carrot: Effect on product quality. *Journal of Food Engineering*. 118:393–399.
- Lerici, C.L., Pinnavaia, G., Dalla-Rosa, M. & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: influence of osmotic agents on drying behaviour and product. *Journal of Food Science*. 50:1217-1219.
- Lewicki, P.P. (2006). Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*. 17(4):153–163.
- Mihoubi, D., Timoumi, S. & Zagrouba, F. (2009). Modelling of convective drying of carrot slices with IR heat source. *Chemical Engineering and Processing*. 48:808–815.
- Nakagawa, K. & Ochiai, T. (2015). A mathematical model of multi-dimensional freeze-drying for food products. *Journal of Food Engineering*. 161:55–67.
- Nanjundaswamy, A.M., Radhakrishnaiah, S.G., Balachandran, C., Saroja, S. & Murthy, R.K. (1978). Studies on development of new categories of dehydrated products from indigenous fruits.. *Indian Food Packer*. 22: 91–93.
- Pacheco-Angulo, H., Herman-Lara, E., García-Alvarado, M.A. & Ruiz-López, I.I. (2016). Mass transfer modeling in osmotic dehydration: Equilibrium characteristics and process dynamics under variable solution concentration and convective boundary. *Food and Bioprocess Processing*. 97:88–99.
- Pascau, J. & Mateos, J. (2013). Image processing with ImageJ. Disponible en: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/index.html>
- Raoult-Wack, A.L. (1994). Advances in osmotic dehydration. *Trends in Food Science & Technology*. 5:255-260.
- Rastogi, N.K., Raghavarao, K. & Niranjana, K. (2014). Chapter 11: Recent Developments in Osmotic Dehydration. *Emerging Technologies*

Technology. 17(4): 153–163.

Mihoubi, D., Timoumi, S. & Zagrouba, F. (2009). Modelling of convective drying of carrot slices with IR heat source. Chemical Engineering and Processing. 48:808–815.

Nakagawa, K. & Ochiai, T. (2015). A mathematical model of multi-dimensional freeze-drying for food products. Journal of Food Engineering. 161:55–67.

Nanjundaswamy, A.M., Radhakrishnaiah, S.G., Balachandran, C., Saroja, S. & Murthy, R.K. (1978). Studies on development of new categories of dehydrated products from indigenous fruits.. Indian Food Packer. 22: 91–93.

Pacheco-Angulo, H., Herman-Lara, E., García-Alvarado, M.A. & Ruiz-López, I.I. (2016). Mass transfer modeling in osmotic dehydration: Equilibrium characteristics and process dynamics

under variable solution concentration and convective boundary. Food and Bioproducts Processing. 97:88–99.

Pascau, J. & Mateos, J. (2013). Image processing with ImageJ. Disponible en: <http://imagej.nih.gov/ij/docs/index.html>

Raoult-Wack, A.L. (1994). Advances in osmotic dehydration. Trends in Food Science & Technology. 5:255-260.

Rastogi, N.K., Raghavarao, K. & Niranjana, K. (2014). Chapter 11: Recent Developments in Osmotic Dehydration. Emerging Technologies

for Food Processing. 181-212.

Revaskar, V., Sharma, G.P., Verma, R.C., Jain, S.K. & Chahar, V.K. (2007). Drying behavior and energy requirement for dehydration of white onion slices. International Journal of Food Engineering. 3(5):1-16.

Rodriguez-Amaya. (2001). A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI PRESS. International Life Sciences Institute. One Thomas Circle, N.W. Washington, D.C. 20005-5802. p. 65.

Sadler, G.D. & Murphy, P.A. (2010). Food Analysis. USA: Springer Science+Business Media. p.219-230.

Sanz, J.C. & Gallego, R. (2001). Diccionario Akal del Color. Akal. p.600-650.

Sharma, K.D., Karki, S., Thakur, N.S. & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot – a review. Journal of Food Science and Technology. 49(1): 22–32.

Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E.S. & Rossello, C. (1998). Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. Journal of Food Engineering. 36: 323-336.

Singh, B., Panesar, P.S., Nanda, V. & Kennedy, J.F. (2010). Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. Food Chemistry. 123: 590-600.

Singh, C., Sharma, H.K. & Sarkar, B.C. (2010). Influence of process conditions on the mass transfer during osmotic dehydration of coated

**EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS
UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO**
**EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES
USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS**

for Food Processing. 181-212.

Revaskar, V., Sharma, G.P., Verma, R.C., Jain, S.K. & Chahar, V.K. (2007). Drying behavior and energy requirement for dehydration of white onion slices. *International Journal of Food Engineering*. 3(5): 1-16.

Rodriguez-Amaya. (2001). A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI PRESS. International Life Sciences Institute. One Thomas Circle, N.W. Washington, D.C. 20005-5802. p. 65.

Sadler, G.D. & Murphy, P.A. (2010). *Food Analysis*. USA: Springer Science+Business Media. p. 219-230.

Sanz, J.C. & Gallego, R. (2001). *Diccionario Akal del Color*. Akal. p. 600-650.

Sharma, K.D., Karki, S., Thakur, N.S. & Attri, S. (2012). Chemical composition, functional properties and processing of carrot – a review. *Journal of Food Science and Technology*. 49(1): 22–32.

Simal, S., Benedito, J., Sanchez, E.S. & Rossello, C. (1998). Use of ultrasound to increase mass transport rates during osmotic dehydration. *Journal of Food Engineering*. 36: 323-336.

Singh, B., Panesar, P.S., Nanda, V. & Kennedy, J.F. (2010). Optimization of osmotic dehydration process of carrot cubes in mixtures of sucrose and sodium chloride solutions. *Food Chemistry*. 123: 590-600.

Singh, C., Sharma, H.K. & Sarkar, B.C. (2010). Influence of process conditions on the mass transfer during osmotic dehydration of coated

pineapple samples. *Journal of Food Processing and Preservation*. 34: 700-714.

Singh, P., Kulshrestha, K. & Kumar, S. (2013). Effect of storage on β -carotene content and microbial quality of dehydrated carrot products. *Food Bioscience*. 2: 39–45.

Sutar, P.P. & Prasad, S. (2011). Optimization of osmotic dehydration of carrots under atmospheric and pulsed microwave vacuum conditions. *Drying Technology*. 29: 371-380.

Torregginni, D. (1993). Osmotic dehydration in fruits and vegetable processing. *Food Research International*. 26: 59-68.

Torres, J.D., Talens, P., Carot, J.M., Chiralt, A. & Escriche, I. (2007). Volatile profile of mango (*Mangifera indica* L.), as affected by osmotic dehydration. *Food Chemistry*. 101: 219-228.

Vázquez-Vila, M.J., Chenlo-Romero, F., Moreira-Martínez, R. & Pacios-Penelas, B. (2009). Dehydration kinetics of carrots (*Daucus carota* L.) in osmotic and air convective drying processes. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 7(4): 869-875.

Vega-Mercado, H., Angora-Nieto, M.M. & Bartosa-Cánovas, G.V. (2001). Advances in dehydration of food. *Journal of Food Engineering*. 49: 271–289.

**EFFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN DE ZANAHORIA SOBRE SUS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS
UTILIZANDO UN PROCESO SIMULTANEO DE ÓSMOSIS Y SECADO CONVECTIVO
EFFECT OF CARROT DEHYDRATION ON ITS PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES
USING AN OSMOSIS AND CONVECTIVE DRYING SIMULTANEOUS PROCESS**

pineapple samples. Journal of Food Processing and Preservation. 34: 700-714.

Singh, P., Kulshrestha, K. & Kumar, S. (2013). Effect of storage on β -carotene content and microbial quality of dehydrated carrot products. Food Bioscience. 2: 39–45.

Sutar, P.P. & Prasad, S. (2011). Optimization of osmotic dehydration of carrots under atmospheric and pulsed microwave vacuum conditions. Drying Technology. 29: 371-380.

Torregginni, D. (

