

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA



**EVALUACIÓN DE DIFERENTES TÉCNICAS
DE DESHIDRATACIÓN PARA LA
OBTENCIÓN DE CHIPS DE POMELO
MEDIANTE FRITURA A VACÍO**

MASTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Nombre del Alumno: Gabriel Sevilla Gómez

Directores: Javier Martínez Monzó

Amparo Andrés Bello

Centro: Departamento de Tecnología de Alimentos. Grupo CUINA

EVALUACIÓN DE DIFERENTES TÉCNICAS DE DESHIDRATACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE CHIPS DE POMELO MEDIANTE FRITURA A VACÍO

Sevilla Gómez, G.; Martínez Monzó, J.; García Segovia, P.; Andrés Bello, A.

RESUMEN

En el presente trabajo se ha estudiado la aplicación de diferentes técnicas de deshidratación parcial (microondas, aire caliente y deshidratación osmótica) para la obtención de chips de pomelo mediante la aplicación de fritura a vacío. Las experiencias se llevaron a cabo a partir de pomelo de la variedad *Star Ruby*. Se han analizado las cinéticas de secado mediante diferentes técnicas de deshidratación, concluyendo que el pretratamiento que mejores resultados dio fue el secado por aire caliente a 70°C durante 90 minutos. Las muestras previamente deshidratadas en las condiciones expuestas se sometieron a fritura a vacío. El estudio de la fritura a vacío se realizó a 110, 120, 130 °C durante 30, 60, 90 segundos y se analizó la variación de peso, la pérdida de humedad, la ganancia de grasa, el color, la textura y el encogimiento. Los resultados obtenidos confirmaron la necesidad de realizar una deshidratación parcial de las muestras previa al tratamiento de fritura a vacío y la posibilidad de emplear dicha técnica para la obtención de chips de pomelo, siendo el tratamiento a 130 °C durante 90 segundos el que mejor características confería al producto final tras el estudio de los parámetros físico-químicos de los chips de pomelo.

Palabras clave: Pomelo, Fritura a vacío, Pretratamiento, Absorción de grasa

RESUM

En el present treball s'ha estudiat l'aplicació de diferents tècniques de deshidratació parcial (microones, aire calent i deshidratació osmòtica) per a l'obtenció de xips d'aranja mitjançant l'aplicació de fregit a buit. Les experiències es van dur a terme a partir d'aranja de la varietat *Star Ruby*. S'han analitzat les cinètiques d'assecatge mitjançant diferents tècniques de deshidratació, conclouent que el pretractament que millor resultats va donar va ser l'assecatge per aire calent a 70 °C durant 90 minuts. Les mostres prèviament deshidratades en les condicions exposades es van sotmetre a fregit a buit. L'estudi del fregit a buit es va realitzar a 110,120,130 °C durant 30,60,90 segons i es va analitzar la variació de pes, la pèrdua d'humitat, l'increment de greix, el color, la textura i l'encogiment. Els resultats obtinguts van confirmar la necessitat de realitzar una deshidratació parcial de les mostres prèvia al tractament de fregit a buit i la possibilitat d'emprar aquesta tècnica per a l'obtenció de xips d'aranja, sent el tractament a 130 °C durant 90 segons el que millor característiques conferia al producte final, després de l'estudi del paràmetres fisicoquímics del xips d'aranja.

Paraules clau: Aranja, Fregit a buit, Pretractament, Absorció de greix

ABSTRACT

In this paper we have studied the application of different techniques of partial dehydration (microwave, hot air, osmotic dehydration) to obtain grapefruit chip by applying vacuum frying. The experiments were carried out from *Star Ruby* grapefruit variety. We analyzed the kinetics of drying using different drying techniques, concluding that the pre-treatment gave best results was the hot air drying at 70 °C for 90 minutes. The samples previously dehydrated under the conditions described were subjected to vacuum frying. The study of vacuum frying was performed at 110, 120, 130 °C for 30, 60, 90 seconds and analyzed for changes in weight, moisture loss, fat gain, color, texture and shrinkage. The results confirmed the need for partial dehydration of the samples before treatment of vacuum frying and the possibility of using this technique to obtain chips of grapefruit, whose treatment at 130 °C for 90 seconds, was the best conferred the final product, after the study of the physicochemical parameters of grapefruit chips.

Key words: Grapefruit, Vacuum Frying, Pretreatment, Fat Absorption

1. INTRODUCCIÓN

El consumo de productos fritos como aperitivos aumenta a medida que se incrementa la oferta comercial, nueve de cada diez españoles afirma consumirlos por su sabor, variedad y buena calidad (Financial Food, 2009). La búsqueda de nuevas formas de consumo del pomelo es necesaria para reinvertir el descenso de las ventas del mismo y restablecer e incluso aumentar la demanda de éstos. Una alternativa al consumo de pomelo es la elaboración de chips, que sorprendan al consumidor en su sabor y aspecto y así, amplíen las posibilidades de crecimiento en el mercado.

La fritura es uno de los métodos más rápidos, viejos y simples de cocinar alimentos, siendo la patata el alimento más asociado con dicho proceso. Éste método se define como la inmersión de un alimento en aceite o grasa a una temperatura superior a la de la evaporación del agua (Farkas y Hubbard, 2000), normalmente entre 150 y 200 °C (Kochhar y Gertz, 2004). Se trata de un proceso rápido de transferencia simultánea de calor y masa, el cual puede ser utilizado como una operación de secado (Andrés et al., 2011). Sin embargo, hasta ahora no ha sido muy utilizada en frutas debido al deterioro de la textura y el color que sufren a causa de la desestructuración y sobre cocción (Da Silva y Moreria, 2008).

En la actualidad, la preferencia de los consumidores por los productos libres y bajos en grasa ha ido creciendo, así pues, las industrias que se encargan de la elaboración de snacks, tienden a elaborar productos con un menor contenido en aceite pero que posea las propiedades de textura y sabor deseables para los consumidores (Garayo y Moreira, 2002). Por tanto, varios procesos han sido desarrollados para permitir a las compañías la fabricación de estos productos reducidos en grasa que posean los atributos de calidad deseados preservando la calidad nutricional del producto, siendo la fritura a vacío uno de los métodos que está siendo más estudiado.

La fritura a vacío es una tecnología prometedora que puede ser una opción para la producción de snacks de frutas y verduras con un contenido bajo en aceite, con las características deseadas (textura y sabor) (Andrés et al., 2011) y que responda a las nuevas tendencias saludables (Dueik et al., 2009). Este proceso de fritura es llevado a cabo en un sistema cerrado sometido a bajas presiones, (por debajo de la presión atmosférica) las cuales hacen posible la reducción sustancialmente del punto de ebullición del agua y así la temperatura de fritura (Garayo y Moreira, 2002). Los beneficios de la fritura a vacío incluyen: la reducción de los efectos adversos en la calidad del aceite (Shyu, et al., 1998), preservación de colores y sabores naturales (Shyu y Hwang, 2001), disminución del contenido en acrylamida (Granda et al., 2004), y la preservación de los componentes nutricionales (Da Silva y Moreira, 2008).

El secado por aire caliente previo a la fritura es una forma de crear una firme y seca superficie alrededor del producto. Esta técnica hace disminuir el contenido en agua y el límite de absorción de aceite del producto (Lamberg et al., 1990). Además, el encogimiento que sufre el producto durante el secado disminuye la superficie total y por tanto, disminuye la transferencia de masa. Así pues, este proceso es interesante por dos razones: disminuye

la absorción de aceite y mejora las propiedades organolépticas incrementando la crujencia (Debnath et al., 2003).

El secado a través de microondas es un rápido y eficiente método. Es importante tener en cuenta la frecuencia y potencia de funcionamiento de los microondas. A mayor frecuencia la capacidad de absorción es mayor pero disminuye la capacidad de penetración, por lo que habría que tener en cuenta el grosor del alimento a tratar. A mayor potencia el calentamiento será más rápido pero hay que tener cuidado porque se puede sobrecalentar demasiado.

Entre las principales ventajas se pueden citar (Mascheroni, 2006): Una mayor eficiencia en la difusión de calor y materia; desarrollo de gradientes internos de humedad que aumentan la velocidad de secado; posibilidad de trabajar a menores temperaturas superficiales; mejora en la calidad de producto obtenido

Y entre las desventajas: calentamiento no uniforme del producto; costos de instalación altos; eficiencia energética baja.

La deshidratación osmótica es un proceso de eliminación del agua, que consiste en la inmersión del alimento a deshidratar (frutas y verduras generalmente) en una solución hipertónica. La pérdida de agua depende de las características del producto alimenticio: forma, tamaño, estructura, composición y tratamiento previo (pelado, escaldado, tratamiento de la superficie); de la solución: tipos de solutos, concentración de los mismos; y de las condiciones de proceso: temperatura, grado de agitación de la solución, presión de trabajo y relación masa de solución a masa de producto. En la deshidratación osmótica se producen dos grandes corrientes simultáneas y contrarias: la primera es el flujo de agua del alimento a la solución y la segunda la transferencia de solutos de la solución al alimento (Madamba, 2003; Rault-Wack et al., 1992). También hay un tercer flujo de solutos naturales tales como azúcares, ácidos orgánicos, minerales, sales, etc, escapándose del alimento a la solución (Lazarides et al., 1997; Waliszewski et al., 2002). Éste método de deshidratación ha sido utilizado para reducir el contenido inicial de humedad, conservar y mantener la calidad inicial de las frutas y hortalizas (Heng et al., 1990; Torreggiani y Bertolo, 2001).

El objetivo del presente proyecto es la evaluación de diferentes técnicas de deshidratación (secado por aire caliente, microondas y deshidratación osmótica) como pretratamiento para la obtención de chips de pomelo (variedad Star Ruby) mediante la aplicación de fritura a vacío.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materias primas

2.1.1. Fruta

Los chips de fruta se elaboraron con pomelo fresco variedad *Star Ruby* comprados a granel en un supermercado de la ciudad de Valencia.

2.1.2. Agente osmótico

Para la deshidratación osmótica se utilizó una solución de sacarosa, preparada por la disolución de azúcar comercial (azúcar blanquilla de Azucarera Española S.A.) en agua destilada a una temperatura de 25°C. La concentración final de la solución fue de 65°Brix, comprobada con un refractómetro RFM 330 (Bellingham Stanley LTD Code 22-330, UK).

2.1.3. Aceite

El aceite utilizado para la fritura a vacío fue aceite de girasol marca Hacendado.

2. 2. MÉTODOS EXPERIMENTALES

2.2.1. Preparación de la muestra

En primer lugar, se verificó que las unidades estuvieran enteras, sanas (libres de moho, podredumbre o deterioro), de consistencia dura y exenta de cualquier olor extraño. Seguidamente, se cortó en láminas de 5 mm de espesor con una laminadora (Siemens MS70001, Siemens, España) y de cada pomelo se eligieron tres rodajas que tuvieran un diámetro y un peso semejante.

2.2.2. Obtención de productos de humedad intermedia. Pretratamientos de secado.

Se realizaron tres tipos de pre-tratamiento: secado por aire caliente, por microondas y por deshidratación osmótica. Se midió el peso y diámetro de cada rodaja antes y después del pre-tratamiento.

El secado por aire caliente, se realizó a diferentes tiempos (5, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 75, 90, 120, 150 min.) a una temperatura de 70 °C, disponiendo tres rodajas en el interior del horno (Horno Convothem de 5,7 kW) y midiendo el diámetro y el peso antes y después del pre-tratamiento para determinar la humedad a la que entraban en el proceso de fritura.

El secado por microondas se realizó a diferentes tiempos (10,15, 20, 30, 40, 50, 60 min.) disponiendo tres rodajas en el microondas (Moulinex ultimys duo Combi, 1,4 vatio/gramo, 180 W) y midiendo antes y después el diámetro y el peso para determinar la humedad en la que podrían entrar en el proceso de fritura.

Finalmente, la deshidratación osmótica se realizó a diferentes tiempos (15, 30, 60, 90, 120, 180, 300 min), midiendo el diámetro y el peso antes y después del pretratamiento, posteriormente se les analizaba la humedad mediante el método analítico para saber qué porcentaje de humedad y que porcentaje de solución quedaba retenida por cada una de las rodajas.

2.2.3. Fritura a vacío

Una vez seleccionado el pretratamiento más adecuado, se realizó el tratamiento de fritura a vacío de las muestras parcialmente deshidratadas. La fritura a vacío se realizó en el equipo Gastrovac[®] (International Cooking Concepts, Barcelona), equipo con patente 1057342U (Martínez *et al.*, 2004) desarrollado en la Universidad Politécnica de Valencia. La presión de trabajo en el proceso de fritura fue entre 40 y 80 kPa, las temperaturas estudiadas 110, 120, 130 °C, y tiempos 30, 60, 90 segundos. En primer lugar se calentó el aceite a la temperatura de fritura, se colocaron las muestras en el cestillo, se cerró la tapa y se activó la bomba de vacío. Cuando el equipo llegó a la presión de trabajo (80 kPa) se bajó el cestillo y se sumergió en el aceite caliente. Una vez cumplido el tiempo de fritura se levantó el cestillo, se apagó la bomba, se rompió el vacío y se centrifugó para eliminar el exceso de aceite. Una vez extraídas las muestras se secaron con papel para reducir la absorción de la grasa.

2.3.4. Variación de peso

Los diferentes ensayos de variación de peso se realizaron con una balanza Mettler Toledo modelo PB 303-S (Mettler Toledo GmbH, Greinfensee, Switzerland) con una sensibilidad de $\pm 0,02$ g. Las muestras fueron pesadas antes (P_0) y después (P_f) de ser sometidas a cada tratamiento térmico para evaluar la variación de peso experimentada por las mismas (ecuación 1). Se analizaron 3 muestras por ensayo.

$$\% \Delta M = \frac{(P_0 - P_f)}{P_0} \cdot 100 \quad (1)$$

donde:

P_0 = peso del filete antes del tratamiento térmico (g)

P_f = peso del filete después del tratamiento térmico (g)

2.3.5. Determinación del contenido de humedad

La determinación de la humedad se realizó mediante el método de la AOAC 950.46 (1997) con la estufa VacioTerm modelo P-selecta (Selecta S.A., Barcelona, España) a 60 °C hasta peso constante.

2.3.6. Determinación del contenido en grasa

La determinación de la grasa se realizó por extracción en Soxhlet con éter de petróleo según el método 991.36 de la AOAC (1997). El equipo utilizado para la extracción de grasa fue Soxtec System 2055 Tecator (FOSS, Hillerød, Denmark).

2.3.7. Caracterización de las propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las muestras fritas se caracterizaron mediante ensayos de punción. La prensa utilizada fue un texturómetro Stable Micro System modelo TA-TX2. Se registraron los datos de tiempo, fuerza y distancia. Los ensayos se realizaron con dos tipos de punzones: para la pulpa un punzón cilíndrico de 4 mm de diámetro y para la corteza un punzón tipo aguja. La velocidad de deformación fue de 1,5 mm/s atravesando los punzones en su totalidad tanto pulpa como corteza. Para cada muestra (en la corteza y en la pulpa) se efectuaron 5 punciones respectivamente.

2.3.8. Caracterización de las propiedades ópticas

En la medición de color se utilizó un Espectrofotómetro Konica Minolta (CM-3600-d, Minolta, Osaka- Japón) y el programa de análisis de datos Color Data Software SpectraMagic™ NX (Minolta). Teniendo en cuenta la translucidez de las muestras se hicieron 9 mediciones para cada tratamiento de fritura con fondo blanco y con fondo negro. Para evaluar el grado de translucidez se aplicó la teoría de Kubelka-Munk de dispersión múltiple (Judd y Wysecki, 1975; Hutchings, 1999) a los espectros de reflexión obtenidos.

2.3.9. Análisis estadístico

El tratamiento estadístico de los datos se realizó mediante el programa Statgraphics Plus 5.1 (Manugistics Inc., Rockville, MD, USA). Con el objetivo de comprobar la existencia de diferencias significativas entre los diferentes tratamientos para cada uno de los parámetros evaluados se llevó a cabo un análisis de la varianza (ANOVA). Se utilizó el procedimiento LSD (Least Significant Difference) para comprobar las diferencias a un nivel de significación $\alpha=0,05$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Obtención de un producto de humedad intermedia mediante secado por aire caliente (SAC), microondas (MW) y deshidratación osmótica (DO).

La fritura a vacío es una operación que puede ayudar a reducir el contenido graso de los alimentos fritos (Da Silva y Moreira, 2008). No obstante muchas veces se requiere la realización de tratamientos previos de los productos que contribuyan a reducir la humedad de los mismos para acortar los tiempos de fritura y reducir la cantidad de grasa (Gamble et al. 1987; Krokida et al. 2001; Linska y Leszczynski 1991; Moyano et al. 2002). Es por ello que en el presente trabajo previo a la realización de la fritura de las rodajas de pomelo se procedió a la aplicación de diferentes procesos de deshidratación de la materia prima utilizada. Los procedimientos estudiados fueron el secado por aire caliente (SAC), secado por microondas (MW) y la

deshidratación osmótica (DO). Para evaluar de entre los tratamientos estudiados cuál de ellos podría resultar más adecuado se evaluó la pérdida de peso, humedad, encogimiento y aspecto visual de las muestras.

3.1.1. Evolución de la pérdida de peso

La FIGURA 1 muestra la pérdida de peso de las rodajas de pomelo tras ser sometidas a los procesos de secado por aire caliente (SAC), microondas (MW) y deshidratación osmótica (DO). Como se puede observar en la Figura 1 la pérdida de peso de los pretratamientos aumenta conforme aumenta el tiempo en el que se somete al pomelo a un proceso de secado. En cuanto al efecto del tiempo, se observa que el tratamiento por deshidratación osmótica necesita de tiempos mucho más largos para una mayor pérdida de peso que el pretratamiento por microondas y aire caliente. Esto es debido a que la deshidratación osmótica es un proceso que consiste en sumergir la fruta en una solución hipertónica compuesta por solutos capaces de generar una presión osmótica alta. Así pues, en el proceso ocurre una salida importante de agua desde el producto hacia la solución, una entrada de soluto desde la solución hacia el alimento y una mínima pérdida de solutos propios del alimento. Estos flujos ocurren a través de la membrana celular que posee permeabilidad diferencial regulando en cierto grado la entrada y salida de solutos (Morales et al., 1999). Además, se considera que el fenómeno de transferencia de masa que ocurre en un proceso de deshidratación osmótica es afectado por la estructura biológica y propiedades de los tejidos (Le Maguer et al., 2003). Todo ello hace que la evolución del peso no varíe en tanta medida como en los otros dos pretratamientos y la pérdida de peso sea mínima.

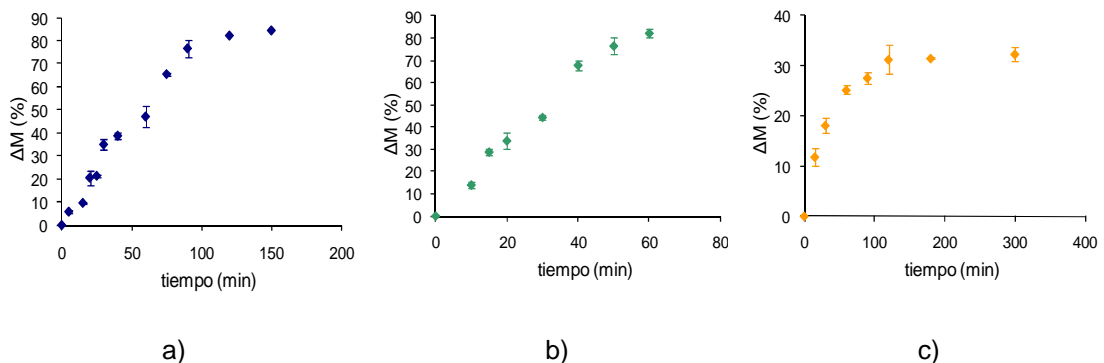


FIGURA 1. Evolución de la pérdida de peso (%) de las rodajas de pomelo para la deshidratación por aire caliente (SAC) a 70°C (a), la deshidratación por microondas (MW) a 1,4 W/g (b) y la deshidratación osmótica (DO) 65 °Brix (c).

3.1.2. Evolución de la humedad

En la FIGURA 2 se muestra la evolución de la humedad (g agua /g ms) durante el proceso de secado por los diferentes métodos estudiados. En esta figura se observa que en la deshidratación por aire caliente se requieren tiempos más largos para llegar a un mismo nivel de humedad que en el

tratamiento de secado por microondas. Así pues, en el aire caliente se llegó a una humedad de 0,23 g agua/g ms a los 120 minutos, y de 0,19 g agua /g ms en secado por microondas a los 60 minutos del comienzo del tratamiento. Por otro lado, se observa que la evolución de la humedad en la deshidratación osmótica a partir de 180 minutos de secado tiende a estabilizarse manteniéndose en valores en torno a 2,17 g agua/g materia seca.

La aplicación de microondas, se ha demostrado que reduce significativamente el tiempo de secado de frutas y verduras (Funebo y Ohlsson, 1998; Lin et al., 1998) tal como se observa en el presente estudio. El secado que se produce con microondas no es como sucede en el pretratamiento por aire caliente, si no que se produce de manera más homogénea en el alimento. La energía se libera de un modo uniforme por todo el alimento, es decir, el calor no tiene que pasar desde el exterior al interior si no que como se ha dicho, se genera en el interior del alimento.

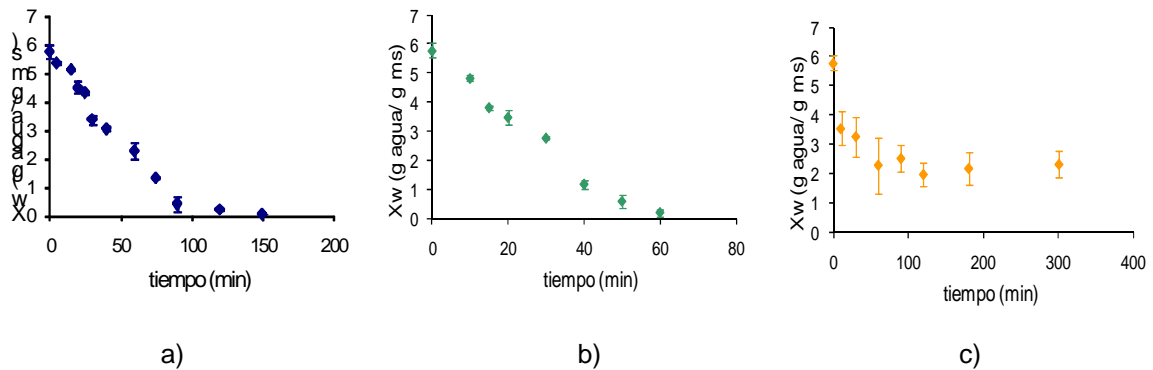


FIGURA 2. Evolución de la humedad (g agua /g ms) de las rodajas de pomelo para la deshidratación por aire caliente (SAC) (a), la deshidratación por microondas (MW) (b) y la deshidratación osmótica (DO) (c).

En referencia a lo ocurrido con la deshidratación osmótica debido a los flujos de pérdida de agua y ganancia de solutos y la concentración de la solución osmótica (65 Brix) hacen que este proceso sea muy lento y no se alcancen los niveles deseados de humedad en un tiempo razonable de proceso.

3.1.3. Encogimiento

El encogimiento se define como el descenso del volumen del alimento durante el procesamiento. Cuando se elimina la humedad de un alimento durante el secado, existe un desequilibrio de presión entre el interior y el exterior del alimento, lo que genera un esfuerzo de contracción produciendo un encogimiento o colapso del alimento (Mayor y Sereno, 2004).

En la FIGURA 3 se puede observar el grado de encogimiento de las rodajas de pomelo según el pretratamiento utilizado. El tratamiento que produjo un mayor encogimiento en la rodaja fue el pretratamiento por

microondas (MW), seguido por el de secado por aire caliente (SAC) y por último el de DO.

El hecho de que haya un mayor o menor encogimiento puede ser debido al mecanismo que tienen estos pretratamientos de deshidratar el alimento. Con la radiación de microondas la transferencia de energía no se produce por convección o conducción como en el caso del secado por aire caliente, sino por pérdidas dieléctricas.

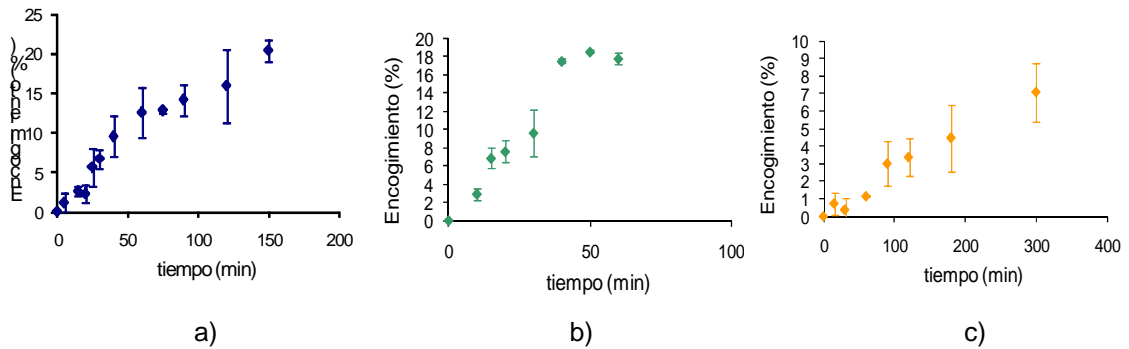


FIGURA 3. Evolución del encogimiento (%) de las rodajas de pomelo para para la deshidratación por aire caliente (SAC) (a), la deshidratación por microondas (MW) (b) y la deshidratación osmótica (DO) (c).

Como se comentó anteriormente con MW el calor se reparte uniformemente por toda la rodaja de pomelo dando un aspecto ligeramente más húmedo y con un menor encogimiento. Realmente lo que sucede es que el calor generado desde dentro hace que el agua prácticamente se evapore desde el interior al exterior y no se produzca el secado superficial de la rodaja que con otros pretratamientos sí ocurre, provocando un menor encogimiento que en las rodajas sometidas a una deshidratación por aire caliente.

3.1.4. Estudios de las cinéticas de secado para los diferentes pretratamientos

Para la obtención de las cinéticas de secado de los diferentes pretratamientos se emplearon dos ajustes, uno basado en relación lineal entre el contenido en agua con la raíz cuadrada del tiempo, t, (ecuación 2):

$$X = a - b \cdot t^{1/2} \quad (2)$$

donde:

X: es la humedad expresada en g agua/g agua inicial

a y b: son parámetros de ajuste que dependen de las condiciones experimentales.

Y otro basado en un modelo exponencial en función de la evolución temporal de la pérdida de agua (ecuación 3):

$$X = X_0 \cdot e^{(-kt)} \quad (3)$$

donde:
 X : es la humedad expresada en g agua/g agua inicial
 X_0 y k : son parámetros de ajuste que dependen de las condiciones experimentales.

En la FIGURA 4 se puede observar los ajustes obtenidos con dichos modelos para predecir la humedad de las muestras con respecto al tiempo.

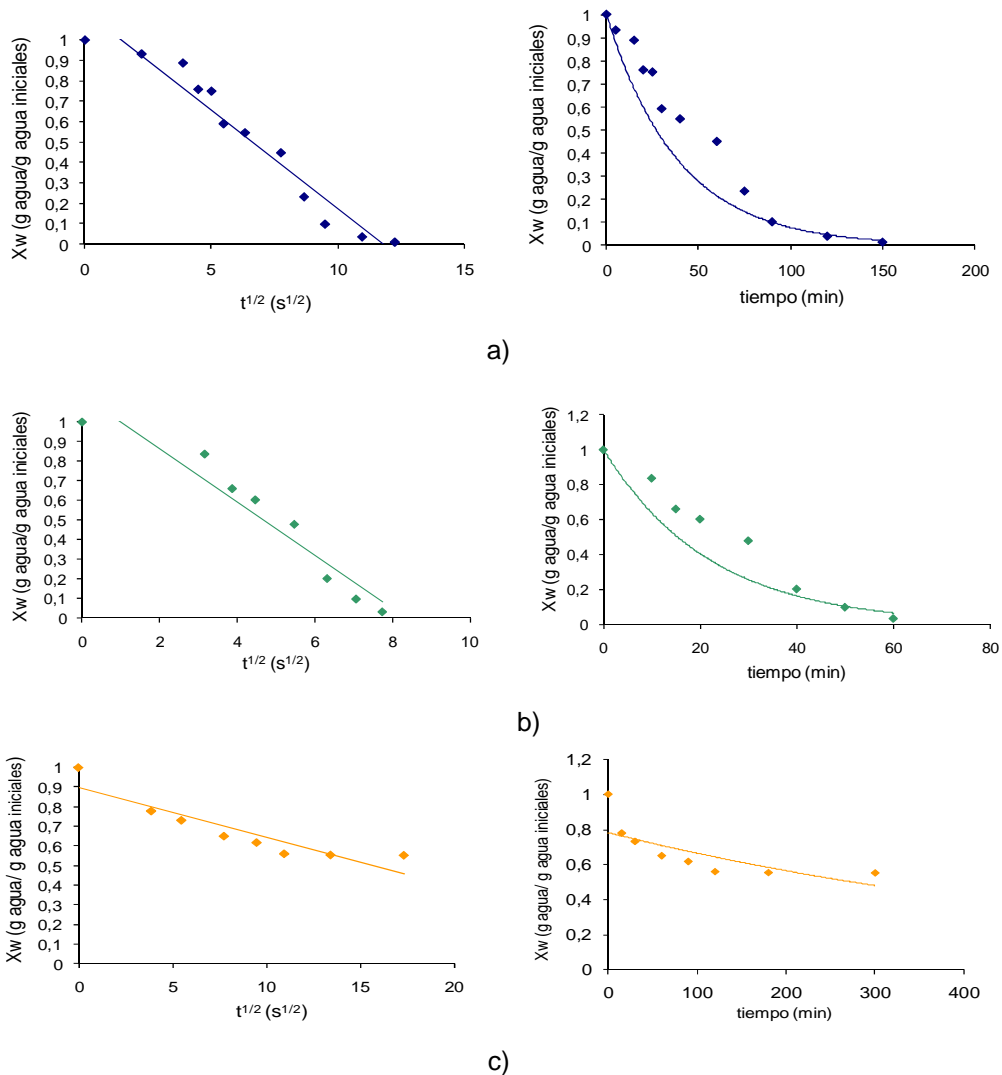


FIGURA 4. Ajustes obtenidos para predecir la pérdida de agua con el modelo empírico de la raíz cuadrada del tiempo (izquierda) y el modelo exponencial (derecha) para el secado por aire caliente (SAC) a 70 °C (a), por microondas (MW) a 1,4 W/g (b) y deshidratación osmótica (DO) a 65 °Brix (c).

Como se puede observar en los valores de la TABLA 1, el modelo de la raíz cuadrada del tiempo presenta coeficientes de correlación superiores a los del modelo de la caída exponencial, siendo los más altos para ambos modelos los correspondientes al secado por aire caliente a 70 °C.

Tal como se muestra en la FIGURA 4 y la TABLA 1, los parámetros relacionados con la velocidad de pérdida de agua en el pomelo (tanto el parámetro “b” del primer modelo como el “k” del segundo modelo) muestran

que el tratamiento por microondas es el que experimenta una mayor velocidad en la pérdida de agua con un valor mayor tanto de “b” como de “k”. También se muestra que el secado por aire caliente tiene una velocidad de pérdida de agua intermedia y que la deshidratación osmótica presenta la menor velocidad de pérdida de agua con un valor de “b” y “k” mínimos. Estos modelos confirman lo explicado anteriormente, es decir, que el secado por microondas (MW) es el pretratamiento que más rápido produce la deshidratación en un alimento.

TABLA 1. Coeficientes de regresión (R^2) y parámetros de ajuste obtenidos para los dos modelos empíricos empleados para la pérdida de agua para los tres tratamientos de deshidratación (SAC, MW y DO).

Tratamiento		SAC	MW	DO
Condiciones		70 °C	1,4 W/g	65 °Brix
Modelo de la raíz cuadrada	a	1,1404	1,137	0,8977
	b (s^{-1})	0,0966	0,1361	0,0256
	R^2	0,947	0,925	0,830
Modelo exponencial	k (s^{-1})	0,0256	0,0455	0,0016
	R^2	0,926	0,879	0,610

3.1.5. Estudio de las cinéticas de encogimiento para los diferentes pretratamientos.

Al igual que para las cinéticas de pérdida de agua se determinaron las cinéticas de encogimiento de las muestras con los distintos pretratamientos. En esta ocasión se utilizó únicamente el ajuste lineal (ecuación 2), ya que con el exponencial se obtuvieron correlaciones muy bajas. En la FIGURA 5 se muestra los ajustes obtenidos para las cinéticas de encogimiento de las rodajas.

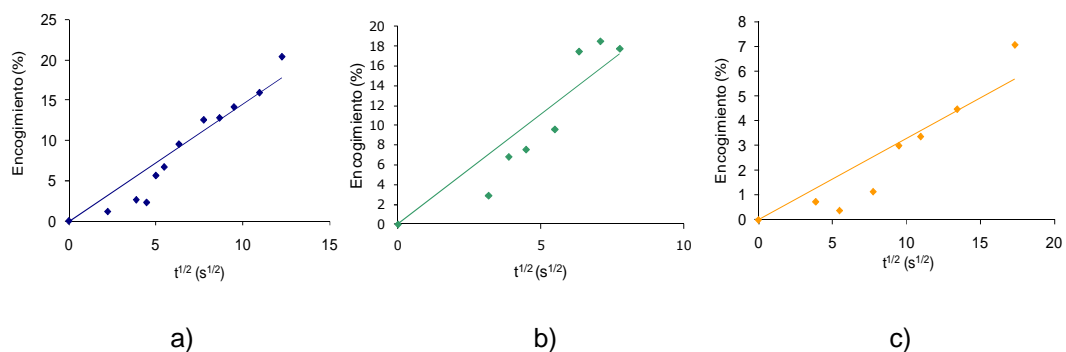


FIGURA 5. Ajustes obtenidos para predecir el encogimiento de las rodajas de pomelo con el modelo empírico de la raíz cuadrada del tiempo (izquierda) y el modelo exponencial (derecha) para la deshidratación por aire caliente (SAC) a 70 °C (a), por microondas (MW) a 1,4 W/g (b) y deshidratación osmótica (DO) a 65 °Brix (c).

En la TABLA 2 se presenta el modelo de la raíz cuadrada del tiempo. Se observa que el coeficiente de correlación es superior para el tratamiento de

secado por aire caliente, siendo similar en el tratamiento de microondas y deshidratación osmótica.

Por otro lado, tanto en la FIGURA 5 como en la TABLA 2 se muestran los parámetros relacionados con la velocidad de encogimiento del pomelo, presentando el mayor grado de encogimiento en el secado por microondas (mayor pendiente) y siendo la menor en la deshidratación osmótica.

TABLA 2. Coeficientes de regresión (R^2) y parámetros de ajuste obtenidos para los dos modelos empíricos empleados para el encogimiento de las rodajas de pomelo para los tres tratamientos de deshidratación empleados (SAC, MW y DO).

Tratamiento		SAC	MW	DO
Condiciones		70 °C	1,4 W/g	65 °Brix
Modelo de la raíz	b (s^{-1})	1,4516	2,2256	0,3287
cuadrada	R^2	0,908	0,853	0,849

3.1.6. Selección del pretratamiento

En la FIGURA 6 se presenta el aspecto de las muestras de pomelo en un tiempo determinado para cada uno de los tres pretratamientos. Como se observa en las imágenes, en la rodaja tratada por microondas (FIGURA 6b) se desarrollan manchas negras (quemaduras) asociadas a las diferentes temperaturas alcanzadas en el producto. Así pues, a pesar de ser el método más rápido de secado, las características visuales de la rodaja no fueron las adecuadas y el tratamiento fue rechazado.

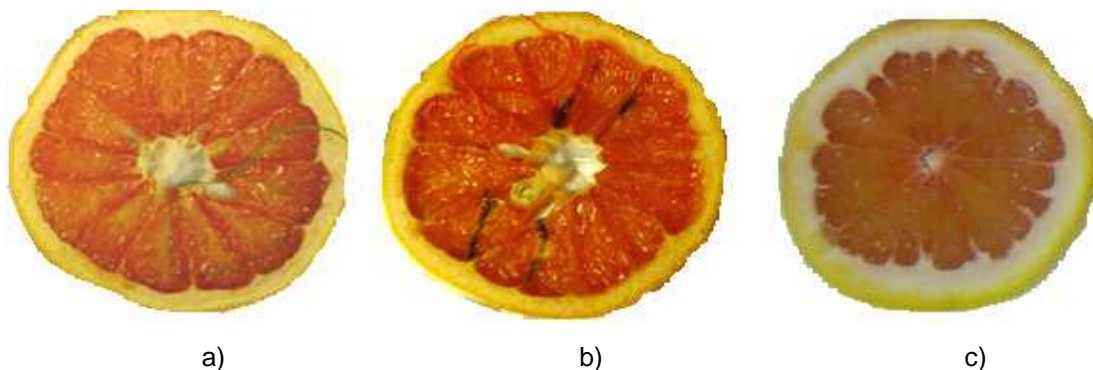


FIGURA 6. Aspecto de las muestras deshidratadas en SAC (70 °C, 90 min) (a), MW (1,4 W/g, 30 min) (b) y DO (65 °Brix, 180 min) (c).

En cuanto a la deshidratación osmótica (FIGURA 6c), los resultados obtenidos muestran que se precisan tiempos muy largos para alcanzar la humedad necesaria para que las rodajas soporten el posterior proceso de fritura a vacío (alrededor del 41% de humedad). Por todo ello se optó por el pretratamiento de secado por aire caliente que alcanza la humedad necesaria para el proceso de fritura en un tiempo razonable (FIGURA 6a).

Así pues se procedió a la fritura a vacío de las rodajas de pomelo deshidratadas por aire caliente durante 90 minutos a 70 °C.

3.2. Fritura a vacío de rodajas de pomelo

La cinética de absorción de aceite por parte del producto es un proceso complejo que está influenciado por la temperatura del aceite, el tiempo de fritura, la presión, las propiedades de permeabilidad de la costra formada en la superficie del alimento y los mecanismos de transferencia de materia.

3.2.1. Variación de peso

Cuando un alimento sufre un proceso de fritura, el calor del aceite es transferido al alimento, el cual rápidamente se calienta y cuando el agua alcanza su punto de ebullición empieza a evaporarse y el aceite va ocupando su lugar. Hay que señalar que si bien la pérdida de agua y la absorción de aceite están relacionadas, el contenido final de aceite no se corresponde con la cantidad total de agua perdida. Este hecho puede ser debido a cambios en la microestructura del alimento durante el procesado, principalmente relacionados con el encogimiento, que dificultan la absorción de aceite (Bravo, 2008).

En la FIGURA 7 se muestra la variación de peso de las rodajas de pomelo en función del tiempo y de la temperatura de tratamiento de fritura a vacío empleado.

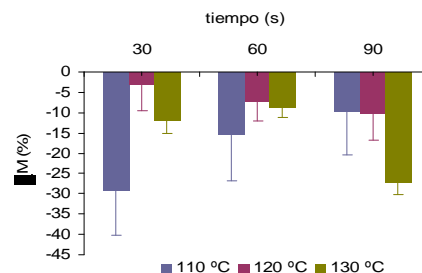


FIGURA 7. Variación de peso de las rodajas de pomelo en función del tiempo y de la temperatura de tratamiento de fritura a vacío empleado.

Se observa que para una temperatura de fritura a vacío de 110 °C las rodajas que mayor porcentaje de peso perdían fueron las que se sometieron a 30 segundos de fritura, siendo la que menor pérdida de peso presentó las muestras fritas durante 90 segundos. A 120 °C la mayor pérdida de peso se dio a los 90 segundos, siendo la menor a los 30 segundos. A 130 °C, la mayor pérdida de peso se produjo a los 90 segundos de fritura y la menor a los 60 segundos.

Esta variabilidad de los resultados se podría explicar porque durante el proceso de fritura a vacío se produjo pérdida de las vesículas que forman la estructura de cada rodaja de pomelo provocando así una mayor desviación.

3.2.2. Humedad

El contenido de humedad final en los chips está determinado por los parámetros de temperatura del aceite, tiempo y presión de fritura (Dobarganes et al., 2000; Moreira, 2001). En la FIGURA 8 se presentan los resultados de la evolución de la humedad de las rodajas de pomelo en función de la temperatura y el tiempo de fritura a vacío empleado, a las diferentes condiciones de experimentación.

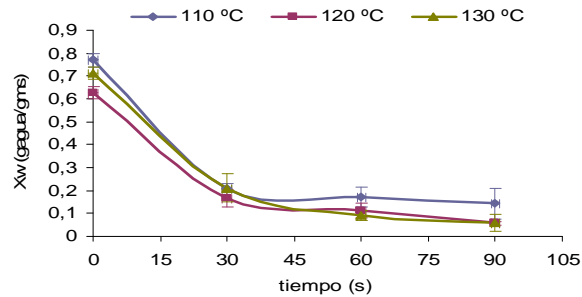


FIGURA 8. Evolución de la humedad (g agua /g ms) de las rodajas de pomelo en función de la temperatura y tiempo de fritura a vacío empleado.

En la FIGURA 8 se puede observar que a una mayor temperatura de fritura, la velocidad de evaporación aumenta y, por tanto, mayor es la velocidad de secado. La humedad inicial de las muestras fue del 41(4) % (0,70(0,05) g agua/g ms). La humedad final a 90 segundos entre el tratamiento a 120 °C y a 130 °C fue muy similar con valores de 0,05(0,03) g agua/g ms. Estos resultados coinciden con los de otros autores, utilizando diferentes materias primas (Garayo y Moreira, 2002; Liu-Ping et al., 2005; Shyu et al., 2005). Así, Baumann y Escher (1995) exponen que al incrementar la temperatura la velocidad de deshidratación aumenta, reduciéndose el tiempo de fritura.

3.2.3. Encogimiento

En la FIGURA 9 se presenta el porcentaje de encogimiento de las rodajas para cada uno de los tratamientos de fritura.

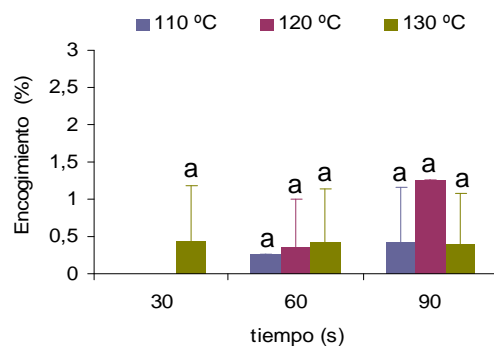


FIGURA 9. Grado de encogimiento experimentado por las rodajas de pomelo para cada tiempo y temperatura de tratamiento de fritura a vacío aplicado.

Como se observa en la FIGURA 9 el encogimiento sufrido por las muestras en la etapa de fritura fue pequeño oscilando entre el 0 y 1,5 %, además la variabilidad fue muy elevada. Podemos pensar que la pérdida de tamaño de las muestras se produjo básicamente asociada al pretratamiento.

Para las muestras tratadas con fritura a vacío, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre cada uno de los tratamientos con sus diferentes variables tiempo y temperatura.

3.2.4. Contenido graso

El mecanismo de absorción de aceite es un aspecto importante de la fritura que ha sido estudiado ampliamente. Diversos estudios han demostrado que la mayor parte del aceite no penetra en el producto durante la fritura, sino al extraer el producto del aceite, cuando se enfría (Garayo y Moreira, 2002; Liu-Ping et al., 2005; Moreira et al., 1995), aunque hay que señalar que la pérdida de agua y la absorción de aceite están relacionadas (Shyu et al., 2005).

En la FIGURA 10, se presenta la evolución del contenido graso de las muestras para los diferentes tiempos y diferentes temperaturas de fritura.

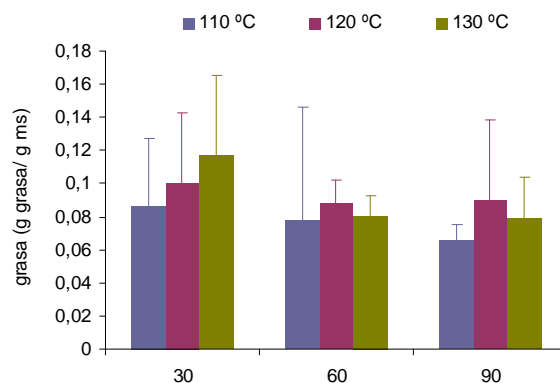


FIGURA 10. Evolución de los gramos de grasa obtenido de las rodajas de pomelo para cada tiempo y temperatura de tratamiento de fritura a vacío aplicado.

Comparando cada uno de los tiempos establecidos para la fritura a vacío, el tiempo en el que mayor grasa absorbe la rodaja es a 30 segundos a 130 °C. Por otro lado, a los 60 y 90 segundos de fritura a vacío, la absorción de aceite es similar entre las tres temperaturas aplicadas, siendo a 120 °C el tratamiento que mayor cantidad de grasa proporcionaba a la rodaja. Se observa que no hay diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las diferentes temperaturas para cada uno de los tiempos (30, 60, 90 segundos).

Si nos centramos en la evolución de los gramos de aceite según el tiempo de tratamiento, se observa que transcurridos los primeros 30 s parece que se estabiliza la absorción de aceite. Garayo y Moreira (2002) obtuvieron resultados similares para chips de patata. Estos autores sugieren que el contenido final de aceite del producto en el caso de fritura a vacío no es función de la temperatura, sino del tiempo de fritura y, por tanto, de la

humedad remanente del producto, que aumenta al disminuir la temperatura del producto.

El mayor incremento del contenido en aceite coincide con el tiempo en que se pierde una gran cantidad de humedad de las rodajas de pomelo (FIGURA 8), indicando que existe una relación entre el contenido de aceite de la rodaja y la pérdida de humedad de la misma tal como se indica en otros estudios de fritura al vacío (Liu-Ping et al., 2005; Shyu et al., 2005).

Por otro lado, en los trabajos consultados no aparece un criterio uniforme sobre la relación entre presión y temperatura, con la velocidad de absorción de aceite. Por ejemplo, Liu-Ping et al. (2005) observaron que la velocidad de absorción de aceite en *chips* de zanahoria aumentaba con la temperatura. Por el contrario, Tan y Mittal (2006) observaron una menor velocidad absorción de aceite en fritura de *donuts* al vacío cuanto mayor era la temperatura de fritura.

3.2.5. Color

Uno de los objetivos de la fritura a vacío es mejorar el color de los alimentos por la baja temperatura y el bajo contenido en oxígeno. El color dorado es característico y un atributo muy significativo de la calidad de un producto frito y determinante en la aceptación del mismo por parte de los consumidores (Krokida et al., 2001).

En la TABLA 3 se muestra la evolución de las coordenadas colorimétricas CIEL*a*b*, el tono y el croma en función del tiempo y la temperatura aplicadas en el proceso de fritura a vacío para la elaboración de los chips.

Las muestras tratadas a 110 °C y 120 °C, no mostraron diferencias significativas ($p > 0,05$) respecto a la luminosidad entre los tiempos 30, 60 y 90 segundos de fritura a vacío. Por otro lado, a 130 °C mostraron diferencias significativas entre los tiempos 30, 60 con respecto al de 90 segundos de fritura. Esto refleja que si aplicamos un tratamiento mayor a 90 segundos la muestra tratada a 130 °C empieza a disminuir en luminosidad y por tanto el color empezará a pardear, siendo visualmente menos vistoso.

TABLA 3. Evolución de las coordenadas colorimétricas CIEL*a*b*, el tono (hab*) y el croma (Cab*) en función del tiempo y la temperatura aplicadas en el proceso de fritura a vacío de rodajas de pomelo. Valores promedio (SD).

T (°C)	t (s)	L*	a*	b*	Cab*	hab*
Pomelo fresco	0	31 (1)	9,0 (0,8)	4,6 (0,7)	10,2 (0,9)	207 (3)
	30	30 (2) ^(a)	14 (2) ^(a)	10 (2) ^(a)	17 (2) ^(a)	217 (4) ^(a)
110	60	31 (6) ^(a)	17 (3) ^(b)	15 (4) ^(b)	23 (5) ^(ab)	221 (4) ^(b)
	90	28 (3) ^(a)	13 (2) ^(a)	15 (2) ^(b)	20 (3) ^(b)	227 (4) ^(c)
120	30	30 (2) ^(a)	18 (3) ^(a)	13 (3) ^(a)	22 (4) ^(a)	214 (2) ^(a)
	60	30 (5) ^(a)	14 (2) ^(b)	13 (4) ^(a)	19 (4) ^(a)	221 (4) ^(b)
130	90	31 (2) ^(a)	14 (2) ^(b)	15 (2) ^(a)	20 (2) ^(a)	228 (2) ^(c)
	30	30 (1) ^(a)	20 (2) ^(a)	14 (2) ^(a)	24 (2) ^(a)	215 (2) ^(a)
130	60	27 (2) ^(a)	14 (2) ^(b)	14 (2) ^(a)	20 (3) ^(b)	226 (3) ^(b)
	90	23 (5) ^(b)	13 (3) ^(b)	15 (4) ^(a)	20 (5) ^(b)	228 (5) ^(b)

(a)(b)(c) Grupos homogéneos establecidos por el ANOVA ($\alpha < 0,05$) con el factor tiempo de tratamiento para cada temperatura estudiada.

En cuanto al croma, se observa que la mayor pureza de color pertenece al tratamiento a 130 °C. Si se compara cada uno de los tratamientos con el pomelo fresco se observa que hay un decremento de luminosidad, un aumento del croma y del tono haciendo evidentes los cambios colorimétricos sufridos por el pomelo tras el tratamiento. Con respecto al tono, se observó que sí había diferencias significativas entre las temperaturas y los tiempos de cada tratamiento, evolucionando desde tonos iniciales más anaranjados, hacia tonos más pardos. Así pues, el color se ve afectado por las condiciones de proceso, principalmente tiempo, temperatura y pre-tratamientos. Otros factores como el tipo de aceite o las características del producto, como son el tamaño, la variedad, o las condiciones de almacenamiento previas también podrían haber afectado al color (Krokida et al., 2001).

3.2.6. Textura

La determinación de la fuerza máxima (N) es una medida que establece cómo de crujiente es el *chip*, de forma que valores bajos de fuerza de ruptura indican un valor alto de crujencia (Liu-Ping et al., 2005b). El ensayo de punción mide la fuerza requerida para hacer penetrar un punzón en el alimento hasta alcanzar el umbral de fluencia o punto de ruptura del mismo. En todos los trabajos estudiados sobre fritura al vacío se ha observado que al aumentar la temperatura del aceite disminuye el valor de la fuerza de ruptura, de la misma manera que cuando se aumenta el nivel de vacío, si bien estos factores no influyen de forma significativa (Garayo y Moreira, 2002).

En la FIGURA 11 se muestra los valores de fuerza máxima (N) obtenidos con el ensayo de punción en la pulpa y en la corteza de las rodajas de pomelo en función del tratamiento aplicado.

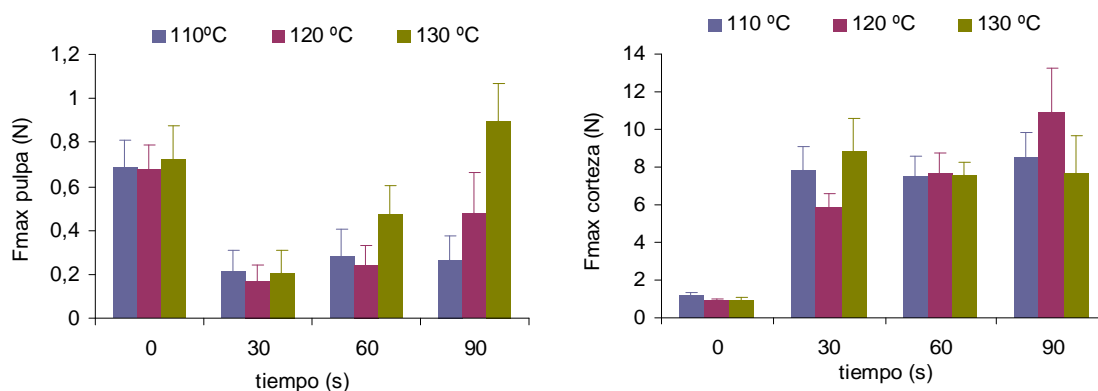


FIGURA 11. Valores de fuerza máxima (N) obtenidos con el ensayo de punción en la pulpa y en la corteza de las rodajas de pomelo en función de la temperatura y tiempo de tratamiento empleado en el tratamiento de fritura a vacío.

En referencia al ensayo de punción realizado a la pulpa de la rodaja de pomelo, el valor de mayor fuerza máxima fue a 90 segundos de fritura a vacío y 130 °C. Se observa que en el pomelo pretratado antes de la fritura

(tiempo 0) la pulpa presenta valores de fuerza máxima más elevados que los tratados por fritura a vacío, esto puede estar relacionado con la degradación de la estructura de la rodaja de pomelo durante la fritura. En cuanto al ensayo de punción realizado a la corteza de la rodaja de pomelo, el mayor valor de la fuerza máxima correspondió a la temperatura de 120 °C a 90 segundos de tratamiento. Se puede observar también que el pomelo pretratado (tiempo 0) tiene una fuerza máxima mucho menor que las muestras sometidas al tratamiento de fritura a vacío. Esto podría ser debido a que una buena parte de la corteza absorbió el aceite, eliminando agua, volviéndola más elástica y provocando un aumento de la fuerza máxima.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que de entre los pretratamientos estudiados previos al proceso de fritura a vacío de rodajas de pomelo, el secado por aire caliente es el que mejores resultados aporta. El pretratamiento por microondas es más rápido pero se desarrollan en las rodajas manchas negras (quemadura) que lo hacen inviable. Por otra parte las pruebas de fritura realizadas confirmaron la necesidad de realizar una deshidratación parcial de las muestras previa al tratamiento de fritura a vacío y la posibilidad de emplear dicha técnica para la obtención de chips de pomelo, siendo el tratamiento a 130 °C durante 90 segundos el que mejor características confería al producto final tras el estudio de los parámetros físico-químicos de los chips.

5. REFERENCIAS

- Andrés-Bello, A.; García-Segovia, P.; Martínez-Monzó, J. (2011). Vacuum Frying: An Alternative to Obtain High-Quality Dried. Volume 3, Number 2, June 2011 , 63-78(16).
- Baumann, B.; Escher, F. (1995). Mass and heat transfer during deep fat frying of potato slices I. Rate of drying and oil uptake. *Food Science Technology*, 28, 395-403.
- Bravo Vásquez, J.E. (2008). Contribución al estudio de la fritura al vacío: deshidratación de rodajas de manzana. Tesis doctoral.
- Da Silva, P.; Moreira, R. (2008). Vacuum frying of high quality fruit and vegetable based snacks. *LWT-Food Science Technology* 41(10), 1758–1767.
- Debnath, S.; Bhat, KK; Rastogi, NK. (2003) Effect of pre-drying on kinetics of moisture loss and oil uptake during deep fat frying of chickpea flour-based snack food. *LWT-Food Science Technology* 36,91–98.
- Dobarganes, M.C.; Velasco, J.; Dieffenbacher, A. (2000). Determination of polar compounds, polymerized and oxidized triacylglycerols, and dialcyglycerols on oils and fats. *Pure Appl Chem* 72, 1563-1575.
- Dueik, V.; Robert, P.; Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry* 119, 1143–1149.
- Farkas, B.E.; Hubbard, L.J. 2000. Analysis of convective heat transfer during immersion frying. *Drying Technology* Vol. 18 No. 5.
- Funebo, T.; Ohlsson, T. (1998). Microwave assisted air dehydration of apple and mushroom. *Journal of Food Engineering* 38, 353–367.
- Gamble MH, Rice P, Selman JD (1987) Relationship between oil uptake and moisture loss during frying of potato slices from c.v. Record UK tubers. *Int J Food Sci Tech* 22: 233–241.

- Garayo, J.; Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 181-191.
- Granda, C.; Moreira, R.G.; Tichy, S.E. (2004). Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying. *Journal of Food Science* 69 (8), 405–411.
- Heng, K.; Guilbert, S.; Cuq, J.L. (1990). Osmotic dehydration of papaya: Influence of process variables on the product quality. *Science des Aliments*, 10(4): 831-848.
- Hutchings, JH. (1999). *Food Color and Appearance*. 2nd ed. Gaithersburg, Md.: Aspen Publishers, Inc.
- Judd, D.; Wyszecki, G. (1975). *Color in business, science, and industry*. Wiley, New York.
- Kochhar, S. P.; Gertz, C. (2004). New theoretical and practical aspects of the frying process. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 106, 722-727.
- Krokida, M. K.; Oreopoulou, V.; Maroulis, Z. B.; Marinos-Kouris, D. (2001). Colour changes during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 48, 219-225.
- Lamberg, I.; Hallstroem, B.; Olsson, H.; (1990). Fat uptake in a potato drying/frying process. *LWT-Food Science Technology* 23, 295–300.
- Lazarides, HN.; Gekas, V.; Mavroudis, N. (1997). Apparent mass diffusivities in fruit and vegetable tissues undergoing osmotic processing. *Journal Food Engineering* 31, 315–324.
- Le Maguer, M.; Shi, J.; Fernández, C. (2003). Mass transfer behavior of plant tissues during osmotic dehydration. *Food Science and Technology International*. Vol. 9, No. 3, p. 187-192.
- Lin, T.M.; Durance, T.D.; Scaman, C.H. (1998). Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International* 31 (2), 111–117.
- Linska G, Leszczynski W (1991) *Potato science and technology*. Elsevier Applied Science. London
- Liu-Ping, F.; Min-Zhang; Mujumdar, A. S. (2005). Vacuum Frying of Carrot Chips. *Drying Technology*, 23, 645-656.
- Madamba, PS. (2003). Thin layer drying models for osmotically predried young coconut. *Drying Technology*, 21,1759–1780.
- Mascheroni, R. H. (2010). *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Universidad Tecnológica Nacional (Buenos aires).
- Mayor, L.; Sereno, A.M. (2004). Modeling shrinkage during convective drying of food materials: *Journal of Food Engineering*., 61, 373-386.
- Morales, J.; Serna, L.; López-Ortiz, O. (1999). Métodos combinados de conservación de papaya hawaiana. *Revista NOOS*. Vol. 9, 53-59.
- Moreira, R. G.; Palau, J. E.; and Sun, X. (1995). Deep-fat frying of tortilla chips: An engineering approach. *Food Technology* 49(4),146-150.
- Moreira, R.G. (2001). Impingement drying of foods using hot air and superheated steam. *Journal of Food Engineering*, 49, 291-295.
- Moyano P, Rioseco VK, Gonzalez, PA (2002) Kinetics of crust color changes during deep-fat frying of impregnated French fries. *J Food Eng* 54: 249–255.
- Rault-Wack, AL.; Guilbert, S.; Le Maguer, M.; Rios, G. (1992). Simultaneous water and solute transport in shrinking media— part 1: application to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). *Dry Technol* 9, 589–612.
- Shyu, S.; Hau, L.; Hwang, L. (1998). Effect of vacuum frying on the oxidative stability of oils. *J. Am. Oils Chem Soc.*, 75, 1393-1398.
- Shyu, S.L.; Hau, L.B.; Hwang, L. S. (2005). Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. *Journal of the Science of the Food and Agriculture*, 85, 1903-1908.
- Shyu, S.-L.; Hwang, L. S. (2001). Effects of processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food research International*, 34, 133-142.
- Tan, K.; Mittal, G. (2006). Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *International Journal of Food Properties*, 9,85.
- Torreggiani, D.; Bertolo, G. (2001). Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49(2-3): 247-253.
- Waliszewski, KN.; Pardio, VT.; Ramirez, M. (2002). Effect of EDTA on color during osmotic dehydration of banana slices. *Drying Technology* 20.,1291–1298.