

# APLICACIÓN DE MÉTODOS COMBINADOS PARA LA OBTENCIÓN DE KIVI EN POLVO DE ALTA CALIDAD

Gema Monteagudo Fraile<sup>1</sup>, María Benlloch Tinoco<sup>1</sup>, María del Mar Camacho Vidal<sup>1</sup>, Gemma Moraga Ballesteros<sup>1</sup>

## RESUMEN

La creciente demanda por parte de los consumidores de productos saludables y listos para consumir, hace que los métodos de conservación alternativos, como es el caso de la liofilización, resulten atractivos. Esta tecnología nos permite obtener productos deshidratados de gran calidad, sin embargo, conlleva elevados costes y largos tiempos de proceso. Por ello, resulta interesante el uso combinado de la liofilización junto a otras técnicas de secado, que permitan una reducción inicial de la humedad y de esta forma obtener un producto con una elevada relación calidad/coste. En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación de pretratamientos de deshidratación, por microondas y secado por aire caliente, en el proceso de liofilización, desde el punto de vista de la cinética de secado y de la calidad del producto. Para ello se llevó a cabo la modelización de las curvas de secado en base a la segunda Ley de Fick y el modelo de Page. Los resultados obtenidos mostraron que la aplicación de los pretratamientos dio lugar a una mayor velocidad de la eliminación del agua de las muestras. A su vez, los pretratamientos de deshidratación utilizados no afectaron a la capacidad de rehidratación ni a la actividad antioxidante de las muestras.

## RESUM

La creixent demanda per part dels consumidors de productes saludables i llestos per a consumir, fa que els mètodes de conservació alternatius, com és el cas de la liofilització, resulten atractius. Esta tecnologia ens permet obtindre productes deshidratats de gran qualitat, no obstant això, comporta elevats costos i llargs temps de procés. Per això, resulta interessant l'ús combinat de la liofilització junt amb altres tècniques d'assecat, que permeten una reducció inicial de la humitat i d'esta manera obtindre un producte amb una elevada relació qualitat/cost. En este estudi es va avaluar l'efecte de l'aplicació de pretractaments de deshidratació, per microones i assecat per aire calent, en el procés de liofilització, des del punt de vista de la cinètica d'assecat i de la qualitat del producte. Per a això es va dur a terme la modelització de les corbes d'assecat basant-se en la segona Llei de Fick i el model de Page. Els resultats obtinguts van mostrar que l'aplicació dels

---

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera 14, 46022 Valencia, España.

pretractaments va donar lloc a una major velocitat de l'eliminació de l'aigua de les mostres. Al seu torn, els pretractaments de deshidratació utilitzats no van afectar la capacitat de rehidratació ni a l'activitat antioxidant de les mostres.

## **ABSTRACT**

Nowadays consumers demand safer and better quality products with minimum processing and fresh-like characteristics. For this reason, applying novel processing technologies, like freeze-drying, seems attractive. This technology provides high-quality dried products but is a time-consuming and expensive process. Consequently, the use of freeze-drying along with other drying methods as a combined drying technology seems proper to reduce the initial product moisture with the aim of getting high value products. In this study the effect of dehydration pre-treatments (hot air drying and microwave drying) on kinetic and quality properties of freeze-dried products was evaluated. Page's model and second Fick's Law were used to model drying data. According to the obtained results pre-treated samples showed higher drying rates than fresh sample. In turn, the dehydration pretreatments used did not affect the ability of rehydration or the antioxidant activity of the samples.

**PALABRAS CLAVE** kiwi, pretratamientos, microondas, secado por aire caliente, liofilización, cinética, capacidad de rehidratación, actividad antioxidante.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ingesta de frutas y verduras de una dieta equilibrada, en combinación con un estilo de vida saludable, puede contribuir de forma positiva a mejorar la salud humana (Antunes et al., 2010; Du et al., 2009). Esta funcionalidad de las frutas se relaciona con su capacidad antioxidante, ya que, ciertos compuestos como los polifenoles, tocoferoles, carotenoides y vitamina C, que habitualmente forman parte de su composición, actúan como agentes reductores al oxidarse y ceder electrones frente a un agente oxidante (Du et al., 2009; Vega-Gálvez et al., 2009). Así, numerosos estudios científicos relacionan el consumo de productos ricos en compuestos bioactivos con una reducción del riesgo de padecer enfermedades crónicas y degenerativas (Barberán y Espín, 2001; Park et al., 2008; Schieber et al., 2001).

El kiwi es originario de China, se caracteriza por su atractivo color verde y gran valor nutricional (Nishiyama et al., 2005; Soufleros, 2001). Destaca por su contenido en vitaminas (C y E), minerales (calcio, hierro y fósforo), azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), ácidos orgánicos (cítrico, quínico y málico) (Soufleros et al., 2001), fibras, flavonoides, carotenoides, clorofila y luteína (Cassano et al., 2006; Du et al., 2009; Kaya et al., 2008). La producción y comercialización a nivel mundial ha crecido considerablemente en los últimos años y generalmente, puede considerarse excedentaria. Actualmente se cultiva en países como Italia, Nueva Zelanda, Chile y España entre otros. Según datos procedentes de la FAO, la producción española para el año 2009 ascendió a un total de 17.709 Tn.

Al tratarse de un producto perecedero y que alrededor de un 25% de la producción no puede destinarse al mercado fresco por no tener un calibre o aspecto adecuados, el procesado parece una alternativa interesante (Fang et al., 2008; Fúster et al., 1994). Además, cabe considerar la creciente demanda por parte de los consumidores de productos listos para consumir, que sean saludables, inocuos y semejantes al producto fresco.

La deshidratación es posiblemente la forma más extendida de conservar alimentos (Kaya et al., 2008). Implica la eliminación del agua presente en un producto hasta un nivel que permita asegurar su estabilidad microbiológica, química y enzimática, durante un período de tiempo determinado (Carranza, 2009; Menlik et al., 2010). Este proceso permite minimizar los costes asociados al transporte y almacenamiento de los productos, ya que conlleva una reducción del peso y volumen. Sin embargo, las altas temperaturas y/o largos tiempos de proceso pueden afectar de forma negativa a la calidad, en lo que respecta al color, sabor, textura y valor nutricional de los alimentos (Cano, 1991; Mosquera, 2010; Vadivambal y Jayas, 2007).

Una alternativa a los métodos convencionales de secado es la liofilización, que permite obtener alimentos deshidratados de alta calidad sensorial, nutritiva y funcional (Mosquera, 2010). Se basa en la eliminación del agua presente en un producto previamente congelado por sublimación, al introducirlo en una cámara de vacío (Lin, 1995). Durante el proceso de liofilización se producen cambios mínimos en el color, sabor y aroma del producto (Menlik et al., 2010), presentando al final del proceso una estructura porosa, sin muestras de encogimiento y una buena capacidad de

rehidratación (Krokida et al., 2000; Moraga et al., 2011; Wang et al., 2007). Por todo ello, se considera un método de conservación atractivo. Sin embargo, conlleva costes elevados y requiere largos tiempos de proceso para obtener un producto en condiciones óptimas (Mosquera, 2010; Menlik et al., 2010). Desde este punto de vista, podría resultar conveniente la aplicación de tratamientos combinados, haciendo uso de técnicas como microondas (MW) o secado por aire caliente (SAC), para eliminar parte del agua del producto antes de ser liofilizado. Esto permitiría obtener productos con una alta relación calidad/coste (Huang et al., 2011; Zhang et al., 2006).

El secado convectivo, técnica ampliamente utilizada en la conservación de alimentos (Contreras et al., 2008), consiste en pasar una corriente de aire caliente a través del producto, eliminando el agua de su superficie y creando un gradiente difusional que provoca la salida del agua desde su interior (Gowen et al., 2006). Es un proceso lento, de difusión limitada, que requiere altas temperaturas de procesado lo que puede derivar en productos de mala calidad sensorial, de aspecto inadecuado, con una tasa baja de rehidratación y un escaso valor nutritivo (Moraga et al., 2011; Vadivambal y Jayas, 2007).

El secado por microondas ha ganado popularidad como alternativa al secado convectivo. Cuando un producto se somete a la aplicación de energía microondas se produce un calentamiento volumétrico del mismo. La generación de calor se debe a la fricción a nivel molecular de los dipolos permanentes del producto, al tratar de reorientarse en el campo electromagnético generado por la incidencia de las ondas electromagnéticas en el alimento (Schubert y Regier, 2010). Esta particular forma de calentamiento induce un gradiente de presiones interno que vaporiza y “expulsa” el agua hacia la superficie, lo que acelera el proceso de secado (Steele, 1987). En este caso, el calor se genera sólo en las zonas húmedas de forma que las zonas secas no se calientan innecesariamente con los efectos negativos para la calidad del producto que ello comporta (Bilbao, 2002; Martín, 2002). Además, el secado por microondas presenta un rendimiento térmico alto, ya que reduce considerablemente el tiempo de secado. El coste de instalación es elevado, pero su coste operacional es más bajo que el del secado convectivo, porque no se emplea parte de la energía consumida en calentar el ambiente (Vadivambal y Jayas, 2007).

La capacidad de rehidratación puede considerarse un parámetro de calidad de los productos deshidratados, puesto que es un atributo que puede relacionarse con el daño ocasionado al producto durante el secado, como puede ser la pérdida de integridad y la reducción de las propiedades hidrófilas (Vega-Gálvez et al., 2009). En este sentido, en ausencia de daños, el producto debería ser capaz de absorber la cantidad de agua necesaria para alcanzar el mismo nivel de humedad que el producto fresco.

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, el objetivo del trabajo fue evaluar las posibles ventajas de la aplicación de métodos combinados de secado para la obtención de kiwi en polvo, comparando el tiempo de proceso y las características fisicoquímicas y funcionales de los productos obtenidos por liofilización convencional con los obtenidos aplicando un secado parcial por microondas o aire caliente como pretratamiento a la liofilización del producto con la incorporación de solutos específicos.

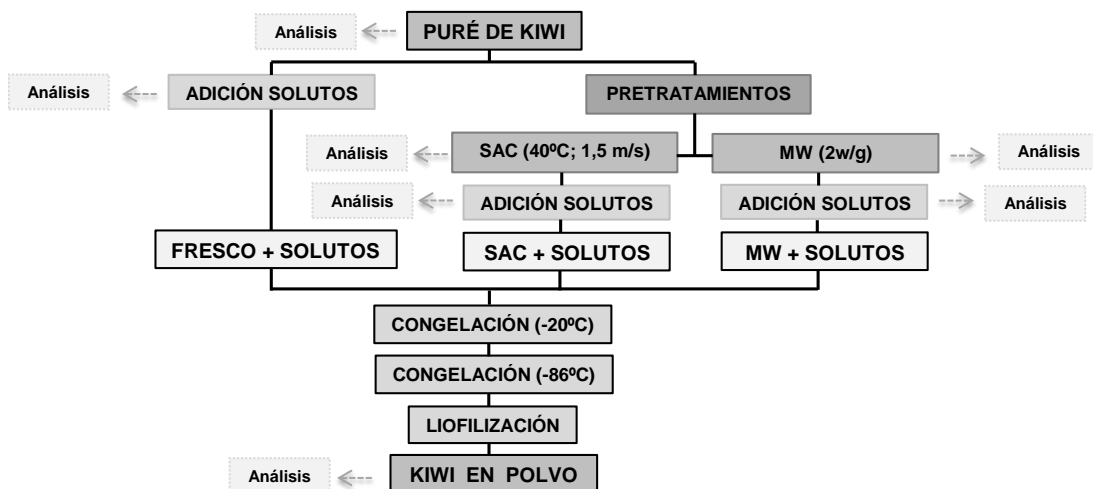
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Preparación de la muestra

La materia prima empleada fue kiwi (*Actinida deliciosa* var. Hayward) adquirido en un supermercado de la ciudad de Valencia. Las piezas de fruta seleccionadas, previamente peladas, lavadas y cortadas en rodajas fueron trituradas en un equipo Thermomix (TM 21, Vorwerk, España), empleando el cuarto nivel de velocidad durante 1 minuto, para estandarizar la preparación del puré y asegurar una distribución homogénea de tamaño de partícula.

### 2.2. Tratamientos

El puré de kiwi se sometió a un proceso de liofilización que nos permitió obtener kiwi en polvo. Para ello, las muestras se depositaron en bandejas de aluminio de tamaño estandarizado (15 cm de diámetro y 5 cm de alto) formando capas de 5 mm de espesor y se almacenaron durante un mes en congelación (CF 900, Eurofred, España) a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . 24 horas antes de la liofilización, las muestras se introdujeron en un criocongelador (CVF 525/86, Ing. Climas, España) a  $-86\text{ }^{\circ}\text{C}$  con el fin de asegurar la congelación de todo el agua congelable del producto. Posteriormente, se llevó a cabo la liofilización a  $0,026\text{ mBar}$  y  $-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , empleando para ello un liofilizador LioAlfa-6 (Telstar, España). Previamente a la congelación de los purés, se incorporaron solutos con capacidad antiapelmazante, en concreto goma arábica (Sigma CAS: 9000-01-5, España) y fosfato tricálcio (Sigma CAS: 7758-87-04, España) según las proporciones empleadas por otros autores. Así se adicionaron  $1\text{ kg}$  de goma arábica/ $\text{kg}$  de sólidos solubles del puré (Mosquera et al., 2010) y  $0,02\text{ kg}$  de fosfato tricálcio/ $\text{kg}$  de sólidos solubles del puré (Cubero et al., 2002; Jaya y Das, 2009). Además, en algunos casos, se llevaron a cabo pretratamientos de deshidratación, descritos en el apartado 2.2.1, para reducir la humedad del producto a la entrada del liofilizador. El proceso completo se muestra en la Figura 1.



**FIGURA 1.** Esquema de proceso. SAC: secado por aire caliente. MW: secado por microondas.

### 2.2.1. PRETRATAMIENTOS

El puré de kiwi se sometió a diferentes métodos de deshidratación: deshidratación por microondas y secado por aire caliente, previamente a ser liofilizado. En ambos casos se fijó una humedad para el puré pretratado del 65%, valor que permite reducir notablemente la cantidad de agua a eliminar durante la liofilización, pero sin requerir excesivos tiempos de pretratamiento. Para ello, se determinó el peso que debía alcanzar el puré al final del proceso mediante balances de materia (Ecuaciones 1 y 2), asumiendo que toda la pérdida de peso se corresponde con la pérdida de agua.

$$M_K^0 = M_W + M_K^{65} \quad (1)$$

$$M_K^0 \cdot X_{WK}^0 = M_W \cdot X_W + M_K^{65} \cdot X_{WK}^{65} \quad (2)$$

Siendo:  $M_K^0$  = Masa inicial de puré de kiwi (g);  $M_W$  = Masa de agua (g);  $M_K^{65}$  = Masa final de puré de kiwi (g);  $X_{WK}^0$  = Humedad inicial de puré de kiwi (g agua/100g de producto);  $X_W=1$  (g agua/100g de producto);  $X_{WK}^{65}$  = Humedad final de puré de kiwi (g agua/100g de producto)

Las condiciones de proceso empleadas, potencia de microondas y temperatura del aire de secado, se seleccionaron en un estudio previo en base a la repercusión del pretratamiento en la capacidad antioxidante de las muestras, que se determinó según el método del radical DPPH' descrito en el apartado 2.4.2 de material y métodos. Inmediatamente después de aplicar los tratamientos, el puré de kiwi se introdujo en un baño de hielo hasta que alcanzó una temperatura de 30 °C, con el fin de detener el tratamiento térmico.

Los tratamientos consistieron en introducir 300 g de puré uniformemente repartidos en recipientes de teflón (MECAPLAST, España) para secado por microondas y de aluminio para secado por aire caliente, ambos de dimensiones estandarizadas (diámetro de 25 cm y una altura de 3 cm) formando una capa de 5 mm de espesor. Para llevar a cabo los tratamientos de secado se empleó un microondas (NORM 3038GC, China) a una potencia de 600 W (2W/g) y un horno (Moulinex 5141 AFW2, China) a una temperatura de 40°C y velocidad del aire de 1,5 m/s, hasta que las muestras alcanzaron el nivel de humedad prefijado.

### 2.2.2. ESTUDIO CINÉTICO

Se procedió a estudiar la cinética de secado de las muestras durante el proceso de liofilización, con el objetivo de identificar el tiempo de proceso requerido, en función del pretratamiento aplicado (FRESCO, MW y SAC), que resulta necesario para obtener un producto en polvo en cada uno de los casos. Para ello, las muestras se liofilizaron durante 4, 8, 12, 16, 20, 24, 30, 36, 42 y 48 h, posteriormente, se analizó su humedad y actividad del agua.

## 2.3. Rehidratación

Para evaluar la calidad del producto obtenido tras la liofilización se procedió a estudiar la capacidad de rehidratación de las muestras, tanto pretratadas como frescas, que habían sido liofilizadas durante 4, 24 y 48 h. Para ello se empleó la metodología descrita por Mimouni et al. (2009) con algunas modificaciones. Las muestras se rehidrataron añadiendo agua destilada, en agitación continua (600 rpm) durante 1,5 h, hasta obtener un producto con la misma cantidad de sólidos solubles de la fracción líquida que los presentes en el puré de kiwi antes de haberlo sometido a cualquier tratamiento. Con el objetivo de evaluar el efecto de la temperatura de rehidratación en la solubilidad de las muestras y en la actividad antioxidante, la rehidratación se efectuó a 20, 30 y 40 °C.

## 2.4. Análisis

### 2.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

Se realizaron análisis de humedad, sólidos solubles y actividad del agua antes y después de adicionar los solutos, pretratar y liofilizar las muestras. La humedad ( $x_w$ ) se determinó por secado hasta alcanzar peso constante en una estufa de vacío (Vaciotem, J.P. Selecta, España) a 60 °C (AOAC 934.06, 2000). Los sólidos solubles de la fracción líquida (°Brix) se midieron en la muestra previamente homogeneizada a 20 °C en un refractómetro digital portátil Refracto 3PX (METER TOLEDO, Suiza). Por último, la actividad del agua ( $a_w$ ) se determinó empleando un higrómetro de punto de rocío (GBX FA-st lab, Francia). Todas las medidas se realizaron por triplicado.

### 2.4.2. DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante de las muestras se determinó por espectrofotometría, según el método del radical DPPH<sup>•</sup> descrito por Igual et al. (2010) con algunas modificaciones. En primer lugar, se homogenizaron 5 g de kiwi en 10 ml de metanol durante 30 s, utilizando para ello un ultra-turrax (T25D, IKA, Alemania). La mezcla obtenida se centrifugó a 10.000 rpm y 4°C durante 10 min. Posteriormente, se recuperó el sobrenadante que sirvió de extracto antioxidante de las muestras. La determinación consistió en medir la reducción de absorbancia sufrida por la muestra al ponerla en contacto con un agente oxidante. Por tanto, se registró el valor de absorbancia antes y después de que tuviera lugar la reacción. Para ello, se depositaron 3 ml de una disolución de DPPH<sup>•</sup> en metanol ( $6,25 \cdot 10^{-5}$  M) en una cubeta, que se introdujo en un espectrofotómetro Thermo Electron Corporation (USA) y se midió su absorbancia ( $A_0$ ) a 517 nm, posteriormente se añadieron 0,3 ml de extracto antioxidante y, tras haber transcurrido 150 s, periodo de tiempo necesario para que se llevara a cabo la reacción, se midió la absorbancia nuevamente ( $A_t$ ) a 517 nm.

Todo ello, nos permitió conocer el porcentaje de inhibición del radical DPPH' (Ecuación 3).

$$\%DPPH' = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \cdot 100 \quad (3)$$

Por otro lado, se preparó una recta de calibrado que nos permitió expresar el porcentaje de inhibición de forma cuantitativa (mMTrolox/g muestra).

#### 2.4.3. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REHIDRATACIÓN

Con el objetivo de estudiar la capacidad de rehidratación (CR) de las diferentes muestras, se determinó la fracción másica del material disuelto (SD) del producto una vez rehidratado, parámetro empleado por diversos autores en productos de características similares (Mimouni et al., 2009). Para determinar el parámetro SD de las muestras (Ecuación 4), fue necesario conocer el contenido en sólidos solubles (SS) y totales (ST) de las mismas. El contenido en ST se determinó por secado en estufa de vacío (Vaciotem, J.P. Selecta, España) a 102 °C durante 24 horas. Mientras que para determinar el contenido en SS se centrifugaron 12 g de muestra rehidratada a 10.000 rpm y 4 °C durante 10 min, el sobrenadante obtenido se filtró a vacío empleando filtros Watman N° 1 y finalmente se sometió a las mismas condiciones de secado descritas para ST.

$$SD = \frac{SS}{ST} \quad (4)$$

#### 2.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se llevó a cabo empleando el programa Statgraphics Centurion XV (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA). Para evaluar las diferencias existentes entre las muestras, se efectuaron análisis de la varianza (ANOVA) de carácter simple y multifactorial, para un nivel de significación ( $\alpha$ ) del 0,05, considerando para estos últimos un nivel de interacción máximo de orden dos.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de la materia prima

El kiwi utilizado como materia prima para preparar las muestras se caracterizó por presentar unos valores medios (con su desviación estándar) de humedad de 84,6 (0,8) (g agua / 100 g producto), °Brix de 13,1 (0,6) (g sólidos solubles / 100 g fracción líquida de producto),  $a_w$  de 0,982 (0,003) y actividad antioxidante de 6,9 (1,3) (mM Trolox / g fruta fresca). Todos estos



valores fueron similares a los publicados por diversos autores (Ancos de et al., 1999; Antunes et al., 2010; Du et al., 2009; Fúster et al., 1994; Zolfaghari et al., 2010).

### 3.2. Pretratamientos

Una vez aplicados los pretratamientos de deshidratación, se realizaron los correspondientes análisis fisicoquímicos con el objetivo de corroborar que las muestras habían alcanzado los niveles de humedad prefijados (Tabla 1). El proceso de deshidratación en sí mismo y la posterior incorporación de solutos, conllevaron una importante variación en los parámetros fisicoquímicos del producto, consistente en una reducción de la humedad y actividad del agua y un incremento de los °Brix, observándose en todos los casos diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Los beneficios de incorporar determinados solutos como la goma arábica, de alto peso molecular, y el fosfato tricálcico, son los de obtener productos en polvo más estables durante su procesado y almacenamiento. Estos beneficios han sido ampliamente descritos en bibliografía (Cozic et al., 2009; Ghosal et al., 2010; Jaya y Das, 2009; Mosquera, 2010). Más concretamente, la adición de goma arábica se asocia con un aumento de la temperatura de transición vítrea de los alimentos, de forma que permite reducir su carácter higroscópico. Además, aumenta la viscosidad del producto reconstituido haciéndolo más semejante al producto fresco (Gabas et al., 2007; Mosquera et al., 2010). Por otra parte, el fosfato tricálcico actúa como barrera física al agua ejerciendo un efecto antiapelmazante (Jaya y Das, 2009).

**TABLA 1.** Parámetros fisicoquímicos analizados en las muestras, antes y después de recibir los pretratamientos correspondientes y de adicionar los solutos, y duración de cada uno de los tratamientos.

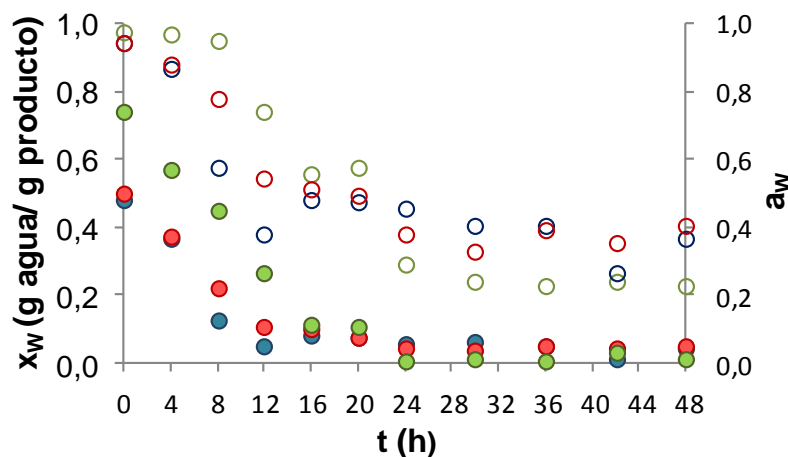
<b>CÓDIGO</b>	<b>X<sub>w</sub></b> (g agua /100 g producto)	<b>a<sub>w</sub></b>	<b>°Brix</b> (g ss/100g FL)	<b>t</b> (h)
<b>FRESCO</b>				
<i>Sin solutos</i>	0,846 (0,008) <sup>bz</sup>	0,982 (0,003) <sup>by</sup>	13,1 (0,6) <sup>ay</sup>	-
<i>Con solutos</i>	0,744 (0,002) <sup>a</sup>	0,9778 (0,0016) <sup>a</sup>	24,38 (0,12) <sup>b</sup>	
<b>SAC</b>				
<i>Sin solutos</i>	0,656 (0,008) <sup>by</sup>	0,955 (0,002) <sup>bx</sup>	32,5 (1,6) <sup>ax</sup>	4,65 (0,07)
<i>Con solutos</i>	0,502 (0,002) <sup>a</sup>	0,944 (0,004) <sup>a</sup>	48,8 (1,4) <sup>b</sup>	
<b>MW</b>				
<i>Sin solutos</i>	0,634 (0,015) <sup>bx</sup>	0,955 (0,003) <sup>bx</sup>	31 (3) <sup>ax</sup>	0,367 (0,006)
<i>Con solutos</i>	0,485 (0,008) <sup>a</sup>	0,9422 (0,0013) <sup>a</sup>	50,13 (1,03) <sup>b</sup>	

Al evaluar el efecto de la adición de solutos las muestras se identificaron con letras distintas (a o b) cuando presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Al evaluar el efecto del pretratamiento las muestras se identificaron con letras distintas (x, y o z) cuando presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Asimismo, cabe tener en cuenta el efecto que ejerce la técnica de secado seleccionada (MW, SAC) sobre el tiempo de proceso. Cuando el proceso de deshidratación se llevó a cabo mediante la aplicación de microondas las muestras alcanzaron el valor de humedad objetivo (65%) en un periodo de tiempo considerablemente menor que en el caso del secado convectivo, hasta hacer posible una reducción del tiempo del orden de un 92% (4 horas y 17 minutos). La reducción del tiempo de proceso es una de las principales ventajas atribuibles al procesado de alimentos mediante la aplicación de microondas. Hecho asociado con el elevado poder de penetración y el calentamiento volumétrico característicos de esta tecnología (Clary et al., 2007; Maskan, 2001; Vadivambal y Jayas, 2007; Zhang et al., 2006).

### 3.3. Estudio cinético

La Figura 2 muestra los valores de humedad y actividad del agua de las diferentes muestras (FRESCO, MW y SAC) en función del tiempo de liofilización. En dicha figura se puede observar como la principal reducción de la humedad del producto tuvo lugar durante las primeras 12 h de liofilización, en el caso de las muestras pretratadas, y durante las primeras 24 horas de liofilización, en el caso de la muestra sin pretratar. A partir de este momento, las variaciones en la humedad de las muestras fueron prácticamente imperceptibles, alcanzando valores de humedad al final del proceso (48 h) de 1,07% (0,06), 5,280% (0,007) y 4,54% (0,12) en el caso de la muestra fresca, pretratada por secado convectivo y microondas respectivamente. Estos valores ponen de manifiesto que aunque las muestras pretratadas se secaron a mayor velocidad, no fue posible alcanzar niveles de humedad tan bajos como en la muestra fresca. Al analizar los valores obtenidos para la actividad de agua, se confirmó el mismo comportamiento que se ha descrito para las muestras en base a los valores de humedad (Figura 2).



**FIGURA 2.** Valores de humedad (fresco (●), microondas (●) y secado por aire caliente (●)) y actividad del agua (fresco (○), microondas (○) y secado por aire caliente (○)) frente al tiempo de liofilización.

La modelización de los datos se llevó a cabo en base a dos modelos: la segunda Ley de Fick y el modelo de Page, ambos seleccionados por ser de los más comúnmente utilizados por otros autores en el ámbito de la cinética de deshidratación (Bozkir, 2006; Contreras et al., 2008; Doymaz y Pala, 2002; Fahloul et al., 2009; Karathanos, 1999; Prabhanjan et al., 1995; Simal et al., 2005; Thuwapanichayanan et al., 2011).

En lo que respecta a la modelización en base a la segunda Ley de Fick, se aplicó el desarrollo matemático de Crank (1975) para tiempos largos y considerando una geometría de lámina infinita, ya que el transporte de agua se da mayoritariamente a través de las superficies planas de la muestra (Ecuación 5).

$$Y_w^t = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left(-\frac{D_e \cdot \pi^2 \cdot t}{4 \cdot l^2}\right) \quad (5)$$

dónde:  $l$  = semiespesor de las muestras (m);  $t$  = tiempo de liofilización (s);  $D_e$  = difusividad efectiva del agua ( $m^2/s$ );  $Y_w^t$  = fuerza impulsora para la transferencia de agua a cada tiempo.

La fuerza impulsora viene determinada a partir de los datos de humedad de la muestra (Ecuación 6).

$$Y_w^t = \frac{x_w^t - x_w^e}{x_w^0 - x_w^e} \quad (6)$$

dónde:  $x_w^0$  = humedad a tiempo cero (g agua/g producto);  $x_w^t$  = humedad a cada tiempo (g agua/ g producto);  $x_w^e$  = humedad de equilibrio del producto (g agua/ g producto).

La expresión linealizada de la Ley de Fick utilizada viene dada por la ecuación 7.

$$\ln(Y_w^t) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{D_e \cdot \pi^2}{4 \cdot l^2} \cdot t \quad (7)$$

Representando gráficamente el  $\ln(Y_w^t)$  frente al tiempo de liofilización, se obtuvo el valor de la difusividad efectiva a partir de la pendiente del tramo lineal.

Pese a que el modelo de la Ley de Fick no nos permitió conocer el comportamiento de las muestras durante el proceso de liofilización completo se consideró interesante conocer los valores de la difusividad efectiva de las muestras pretratadas y la fresca, ya que, este parámetro proporciona información sobre la rapidez con la que se elimina el agua durante el proceso.

De igual forma, se llevó a cabo la modelización en base al modelo de Page (Ecuación 8), un modelo difusional de tipo exponencial que nos

permitió utilizar los datos correspondientes al proceso de liofilización completo.

$$\frac{x_W^t - x_W^e}{x_W^0 - x_W^e} = \exp(-k \cdot t^n) \quad (8)$$

dónde:  $x_W^0$  = Humedad a tiempo cero (g agua/g producto);  $x_W^t$  = Humedad a cada tiempo (g agua/g producto);  $x_W^e$  = humedad de equilibrio (g agua/ g producto);  $t$  = tiempo de liofilización (h);  $k$  ( $h^{-1}$ ) y  $n$  son parámetros que dependen de las condiciones de secado.

Dado que el valor de la humedad de equilibrio del producto es relativamente pequeño, se consideró despreciable, por lo que la ecuación linealizada del modelo de Page queda simplificada según se indica en la Ecuación 9.

$$\text{Ln} \left( -\text{Ln} \left( \frac{x_W^t}{x_W^0} \right) \right) = \text{Ln} (k) + n \cdot \text{Ln} (t) \quad (9)$$

A partir de la representación gráfica de la Ecuación 9 se obtuvo el valor de las constantes  $k$  y  $n$  mediante el ajuste lineal de los datos.

Los valores medios de las constantes obtenidas mediante la aplicación de los dos modelos cinéticos ( $D_e$ ,  $k$  y  $n$ ) y su correspondiente desviación estándar para cada una de las muestras, vienen dados en la Tabla 2, donde también se han detallado los coeficientes de correlación y el error estándar calculados.

**TABLA 2.** Parámetros cinéticos obtenidos tras realizar el ajuste de los datos experimentales a los dos modelos: la segunda Ley de Fick ( $D_e$ ) y el modelo de Page ( $k$ ,  $n$ ), coeficientes de correlación ( $R^2$ ) y error estándar calculados (SE).

Código	MODELO DE AJUSTE						
	FICK			PAGE			
	$D_e \cdot 10^{-11} (m^2/s)$	$R^{2(1)}$	$SE^{(*)}$	$k (h^{-1})$	$n$	$R^{2(1)}$	$SE^{(*)}$
<b>FRESCO</b>	7,47 (0,11) <sup>a</sup>	0,9391	0,3284	0,046(0,002) <sup>a</sup>	1,27 (0,04) <sup>b</sup>	0,8331	0,0286
<b>MW</b>	13,7 (0,2) <sup>c</sup>	0,9502	0,1835	0,19 (0,02) <sup>b</sup>	0,74 (0,03) <sup>a</sup>	0,7034	0,0459
<b>SAC</b>	9,06 (0,07) <sup>b</sup>	0,9581	0,2107	0,15 (0,03) <sup>b</sup>	0,8 (0,06) <sup>a</sup>	0,8306	0,0317

Las muestras identificadas con la misma letra (a, b, c) no presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

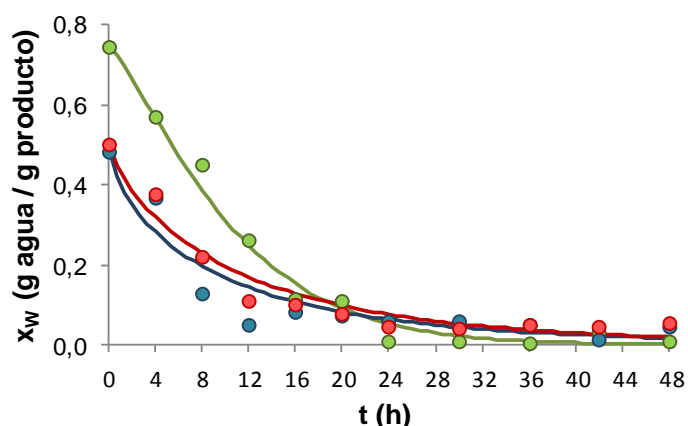
(1): Corresponde al valor más bajo.

(\*)  $SE = \frac{\sqrt{\sum (X_w^t \text{ experimental} - X_w^t \text{ predicho})^2}}{i}$  donde  $i$  es el número de observaciones

Los valores de difusividad efectiva obtenidos tras la aplicación de la segunda Ley de Fick, según el desarrollo matemático de Crank (1975), fueron del orden de los publicados por otros autores para deshidratación osmótica de cubos de mango (Giraldo *et al.*, 2003) y mitades de fresa (Talens, 2002). Al igual que los valores de las constantes del modelo de Page obtenidas que fueron del mismo orden a las publicadas para otras frutas por otros autores (Contreras *et al.*, 2008; Prabhanjan *et al.*, 1995).

Los parámetros cinéticos obtenidos a partir de los dos modelos aplicados (Tabla 2), ponen de manifiesto que las muestras pretratadas (MW, SAC) oponen una resistencia significativamente menor a la pérdida de agua que la muestra fresca ( $p < 0,05$ ), ya que, dieron lugar a valores más altos de difusividad y  $k$ , siendo este efecto más acusado en las muestras pretratadas por MW, hecho que puede resultar en un proceso de secado más rápido. Esto puede guardar relación con la probable desestructuración de las paredes celulares que tiene lugar en las muestras sometidas a pretratamiento, lo que conlleva una reducción de la resistencia a la eliminación de agua (Maskan y Göğüs, 1998).

Con el objetivo de comprobar la bondad del modelo de Page, se obtuvo la curva de secado teórica utilizando los valores de los parámetros de la ecuación ajustada y se representó junto con la curva de secado experimental para cada una de las muestras. A la vista de la Figura 3, puede decirse que el modelo reproduce adecuadamente la evolución de la humedad del producto con el tiempo de liofilización. Además, los valores de SE obtenidos para este modelo, fueron de menor orden que los obtenidos mediante la aplicación de la segunda Ley de Fick (Tabla 2). Por todo ello, el modelo de Page puede considerarse adecuado para predecir cinéticas de liofilización de puré de kiwi, ya sea fresco o sometido a un pretratamiento de deshidratación, lo que resulta de gran utilidad a la hora de determinar rendimientos de operación y optimizar las condiciones de proceso. Fahloul *et al.* (2009) obtuvo resultados similares para la liofilización de mitades de albaricóque.



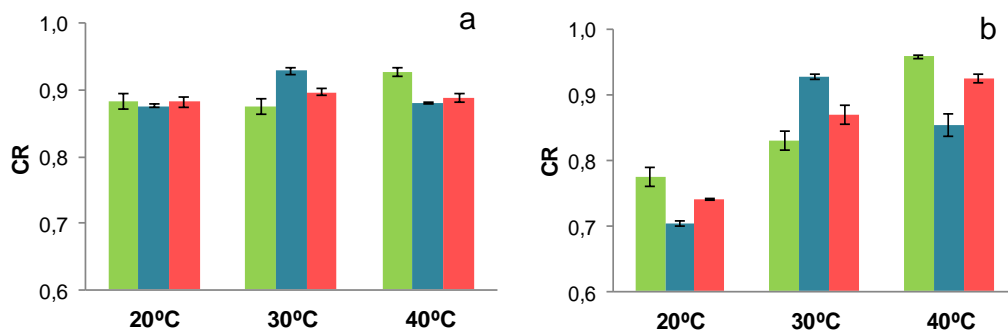
**FIGURA 3.** Valores de humedad frente al tiempo de liofilización para las diferentes muestras (fresco (●), microondas (●) y secado por aire caliente (●)) y las curvas obtenidas del ajuste del modelo de Page.

### 3.4. Rehidratación

Una característica fundamental de los productos en polvo es su comportamiento frente a la rehidratación (Marques et al., 2009; Troygot et al., 2011). Esta y otras características dependen en gran medida del método de deshidratación aplicado (Agnieszka y Andrzej, 2010).

En la Figuras 4 se muestra la capacidad de rehidratación de las muestras liofilizadas durante 24 (a) y 48 (b) horas a cada temperatura de rehidratación. Pese a que se rehidrataron las muestras liofilizadas durante 4, 24 y 48 h, sólo se tuvieron en cuenta los datos referentes a 24 y 48 h, puesto que, se consideró que el comportamiento de las muestras liofilizadas durante 4 h no era comparable con el de un producto liofilizado debido a su elevada humedad (57% (2) en el caso del fresco, 37,0% (1,0) en el caso de las muestras pretratadas con microondas y 38 % (2) para las muestras pretratadas por secado convectivo).

A la vista de la Figura 4, se puede decir que en todas las muestras se observó una mejor rehidratación a 20°C cuando se liofilizaron durante 24 h que durante 48 h, hecho que probablemente guarda relación con los cambios estructurales que pueden tener lugar a lo largo del proceso de liofilización.



**FIGURA 4.** Capacidad de rehidratación a las 24 (a) y 48 (b) horas de liofilización, para las diferentes muestras (fresco (■), microondas (■) y secado por aire caliente (■)), a todas las temperaturas de rehidratación (20, 30, 40 °C)

En lo que respecta al estudio de la rehidratación de las muestras liofilizadas durante 24 h (Figura 4 (a)), se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los valores de CR respecto a las variables estudiadas, debido probablemente a la poca variabilidad de los datos, ya que, en términos generales, la temperatura y el tipo de tratamiento no parece afectar a este parámetro. Esto estaría relacionado con la buena capacidad de rehidratación de este tipo de muestras.

A la vista de la Figura 4 (b) que corresponde a las muestras liofilizadas durante 48h se observaron diferencias significativas entre los valores de CR respecto a la temperatura de rehidratación, el tipo de muestra y la interacción de ambos factores para un nivel de confianza del 95%. En

general, cuando se trabajó a una mayor temperatura de rehidratación se observó una mejora significativa de la capacidad de rehidratación de las muestras, mostrando el valor máximo de CR a 40 °C en el caso de la muestra fresca y la sometida a secado convectivo y a 30 °C para la muestra procesada por microondas.

### 3.5. Actividad antioxidante

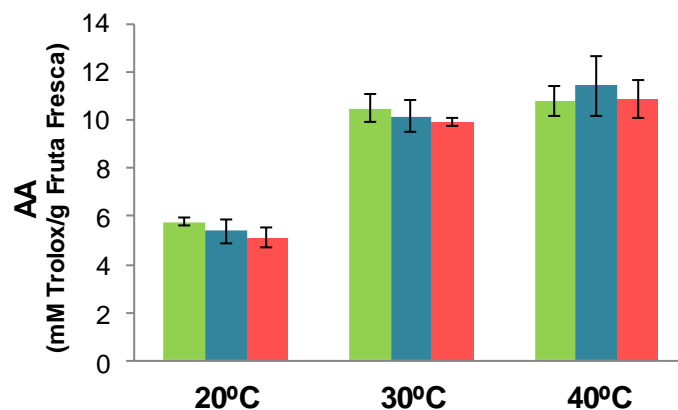
La actividad antioxidante puede considerarse un parámetro de calidad importante en las frutas procesadas ya que, a menudo, guarda relación con muchas de las propiedades saludables atribuidas al consumo regular de estos productos (Beekwilder et al., 2005; Lu et al., 2011).

#### 3.5.1 EFECTO DE LOS PRETRATAMIENTOS

El tratamiento de deshidratación al que fueron sometidas las muestras como paso previo a la liofilización provocó, en todos los casos, una reducción estadísticamente significativa de su actividad antioxidante ( $p < 0,05$ ). Las muestras de kiwi que fueron deshidratadas por secado convectivo se caracterizaron por presentar una capacidad antioxidante (66% (3)) significativamente inferior a la encontrada en las muestras procesadas mediante la aplicación de la tecnología microondas (82% (6)). Por tanto, se puede considerar que el procesado por microondas permite una mejor conservación de la actividad antioxidante de los alimentos en comparación con otros métodos convencionales, como es el secado por aire caliente.

#### 3.5.2. EFECTO DE LA LIOFILIZACIÓN Y LA TEMPERATURA DE REHIDRATACIÓN

En la Figura 5 se representan los valores de la actividad antioxidante de las muestras liofilizadas durante 24h a todas las temperaturas estudiadas.



**FIGURA 5.** Actividad antioxidante (mMtrolox/g de fruta fresca) después de 24 horas de liofilización, para las diferentes muestras (fresco (■), microondas (■) y secado por aire caliente (■)) a todas las temperaturas de rehidratación (20, 30, 40 °C).

La actividad antioxidante de las muestras rehidratadas a 20°C fue significativamente ( $p < 0,05$ ) inferior a la del resto de temperaturas. Esto puede deberse a que una mayor temperatura de rehidratación puede favorecer la extracción de los compuestos responsables de la actividad antioxidante del producto (Turkmen et al., 2005). El hecho de no encontrar diferencias significativas entre los valores de actividad antioxidante de las muestras tratadas y de la muestra fresca durante el proceso de liofilización, teniendo en cuenta que la actividad antioxidante de las muestras tratadas se había visto reducida durante el tratamiento de deshidratación (MW y SAC), puede estar relacionado con una mayor estabilidad de los compuestos fenólicos en las muestras tratadas. Ya que, el tratamiento térmico aplicado, en parte, puede ser responsable de la degradación de compuestos polifenólicos de carácter termolábil, pero, a su vez, puede fomentar la estabilidad de las muestras desde el punto de vista de la inactivación enzimática (POD, PPO), otra de las causas de la pérdida de actividad antioxidante en las frutas (Dewanto et al., 2002; Turkmen et al., 2005).

#### **4. CONCLUSIONES**

La aplicación de los pretratamientos de deshidratación por microondas y secado por aire caliente dio lugar a un aumento de la velocidad de liofilización del kiwi. Sin embargo, el nivel de humedad alcanzado después de 48h de liofilización resultó mayor que el de las muestras sin pretratar.

Las muestras liofilizadas durante 24h mostraron buena capacidad de rehidratación sin diferencias en función de la temperatura y el tipo de muestra. Sin embargo, las muestras liofilizadas durante 48 h presentaron problemas de rehidratación a temperatura ambiente, hecho que probablemente guarda relación con los cambios estructurales que pueden tener lugar al prolongar el proceso de liofilización.

Los tratamientos previos a la liofilización provocaron una reducción significativa en la actividad antioxidante de la fruta, siendo menor al aplicar el tratamiento por microondas. Sin embargo, tras el proceso de liofilización y rehidratación, no se observaron diferencias significativas en función del tipo de muestra. Por otra parte, el aumento en la temperatura de rehidratación dio lugar a un aumento en la actividad antioxidante de las muestras, que puede deberse a una mayor extracción de los compuestos con actividad antioxidante.

#### **5. BIBLIOGRAFÍA**

Agnieszka, C., Andrzej, L. 2010. Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze-dried strawberries. *Journal of Food Engineering*, 97: 267–274.

Ancos, B., Cano, M.P., Hernández, A., Monreal, M. 1999. Effects of microwave heating on pigment composition and color of fruit purees, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79: 663-670.

Antunes, M.D.C., Dandlen, S., Cavaco, A.M., Miguel, G. 2010. Effects of Postharvest Application of 1-MCP and Postcutting Dip Treatment on the Quality and Nutritional



- Properties of Fresh-Cut Kiwifruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58: 6173–6181.
- Baberán, F.A., Espín, J.C. 2001. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 853–876.
- Beekwilder, J., Jonker, H., Meesters, P., Hall, R.D., Van der Meer, I.M., Vos, C.H.R. 2005. Antioxidants in raspberry. *Journal of Agricultural*, 53: 3313-3320.
- Bilbao, C. 2002. Estudio del secado combinado aire/microondas en manzana Granny Smith. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Bozkir, O. 2006. Thin-layer drying and mathematical modeling for washed dry apricots. *Journal of Food Engineering*, 77: 146–151.
- Cano, P. 1991. HPLC Separation of chlorophyll and carotenoid pigments of four kiwi fruit cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39: 1786-1791.
- Carranza, J. 2009. Influencia del procesado en el valor nutritivo y funcional de la uva blanca. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Cassano, A., Figoli, A., Tagarelli, A., Sindona, G., Drioli, E. 2006. Integrated membrane process for the production of highly nutritional kiwifruit juice. *Desalination*, 189: 21–30.
- Clary, C.D., Mejia-Meza, E., Wang, S., Petrucci, V.E. 2007. Improving Grape Quality Using Microwave Vacuum Drying Associated with Temperature Control. *Food Engineering and Physical Properties*, Vol. 72, Nr. 1.
- Contreras, C. Martín-Esparza, M.E., Chiralt, A., Martínez-Navarrete, N. 2008. Influence of microwave application on convective drying: Effects on drying kinetics, and optical and mechanical properties of apple and strawberry. *Journal of Food Engineering*, 88: 55–64.
- Cozic, C., Picton, L., Garda, M., Marlhoux, F., Le Cerf, D. 2009. Analysis of arabic gum: Study of degradation and water desorption processes. *Food Hydrocolloids*, 23: 1930–1934.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*. Oxford University Press, London, UK.
- Cubero, N., Monferrer, A., Villalta, J. 2002. *Aditivos alimentarios*. Ed. A. Madrid Vicente, Madrid-España.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, k. Liu, R. 2002. Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 3010-3014.
- Doymaz, I., Pala, M. 2002. Hot-air drying characteristics of red pepper. *Journal of Food Engineering*, 55: 331–335.
- Du, G., Li, M., Ma, F., Liang, D. 2009. Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and Vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry*, 113: 557–562.
- Fahloul, D., Lahbari, M., Benmoussa, H., Mezdour, S. 2009. Effect of osmotic dehydration on the freeze drying kinetics of apricots. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7: 117-121.
- Fang, L., Jiang, B., Zhang, T. 2008. Effect of combined high pressure and thermal treatment in kiwifruit peroxidase. *Food Chemistry*, 109: 802-807.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Dirección URL:<<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>, [Consulta: febrero de 2011].
- Fúster, C., Préstamo, G., Cano, M.P. 1994. Drip Loss, Peroxidase and Sensory Changes in Kiwi fruit Slices During Frozen Storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 64: 23-29.
- Gabas, A.L., Telis, V.R.N., Sobral, P.J.A., Telis-Romero, J. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82: 246–252.
- Ghosal, S., Indira, T.N., Bhattacharya, S. 2010. Agglomeration of a model food powder: Effect of maltodextrin and gum Arabic dispersions on flow behavior and compacted mass. *Journal of Food Engineering*, 96: 222–228.
- Giraldo, G., Talens, P., Fito, P., Chiralt, A. 2003. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. *Journal of Food Engineering*, 58: 33–43.
- Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J., Oliveira, J. 2006. Optimisation of dehydration and Rehydration properties of cooked chickpeas (*Cicer arietinum* L.) undergoing microwave hot air combination drying. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 177–183.

- Huang, L., Zhang, W., Mujumdar, A.S., Lim, R. 2011. Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips. *Journal of Food Engineering*, 103: 279–284.
- Igual, M., García-Martínez, E., Camacho, M.M., Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 118: 291–299.
- Jaya, S., Das, H. 2009. Glass transition and sticky point temperatures and stability/mobility diagram of fruit powders. *Food Bioprocess Technology*, 2: 89–95.
- Karathanos, T. 1999. Determination of water content of dried fruits by drying kinetics. *Journal of Food Engineering*, 39: 337-344.
- Kaya, A., Aydın, O., Dincer, I. 2008. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa* Planch). *Journal of Food Engineering*, 88: 323-330.
- Krokida, M.K., Oreopoulou, V., Maroulis, Z.B. 2000. Effect of frying conditions on shrinkage and porosity of fried potatoes. *Journal of Food Engineering*, 43: 147-154.
- Lin, S. 1995. Thermal control of freeze-drying processes in a porous medium with predetermined rate of drying. *Butterworth Heinemann*, Vol. 18, No. 3: 161-167.
- Lu, X., Wang, J., Al-Qadiri, M., Ross, C.F., Powers, J.R., Tang, J., Rasco, B.A. 2011. Determination of total phenolic content and antioxidant capacity of onion (*Allium cepa*) and shallot (*Allium oschaninii*) using infrared spectroscopy. *Food Chemistry*, 129: 637–644.
- Marques, L.G., Prado, M.M., Freire, J.T. 2009. Rehydration characteristics of freeze-dried tropical fruits. *Food Science and Technology*, 42: 1232–1237.
- Martin, M.E. 2002. Utilización de microondas en el secado por aire caliente de manzana (variedad Granny Smith). Influencia del pretratamiento por impregnación al vacío. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 177-182.
- Maskan, M., Göğüs, F. 1998. Sorption Isotherms and Drying Characteristics of Mulberry (*Torus alba*). *Journal of Food Engineering*, 37: 437-449.
- Menlik, T., Özdemir, M.B., Kirmaci, V. 2010. Determination of freeze-drying behaviors of apples by artificial neural network. *Expert Systems with Applications*, 37: 7669–7677.
- Mimouni, A., Deeth, H.C., Whittaker, A.K., Gidley, M.J., Bhandari, B.R. 2009. Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. *Food Hydrocolloids*, 23: 1958–1965.
- Moraga, G., Talens, P., Moraga, M.J., Martínez-Navarrete, N. 2011. Implication of water activity and glass transition on the mechanical and optical properties of freeze-dried apple and banana slices. *Journal of Food Engineering*, 106: 212–219.
- Mosquera, L.H. 2010. Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábiga) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
- Mosquera, L.H., Moraga, G., Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borjón (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. *Journal of Food Engineering*, 97: 72–78.
- Nishiyama, I., Fukuda, T., Oota, T. 2005. Genotypic Differences in Chlorophyll, Lutein, and b-carotene contents in the fruits of actinidia species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 6403-6407.
- Park, Y.S., Jung, S.T., Kang, S.G., Heo, B., Arancibia-Avila, P., Toledo, F., Drzewiecki, J., Namiesnik, J., Gorinstein, S. 2008. Antioxidants and proteins in ethylene-treated kiwifruits. *Food Chemistry*, 107: 640–648.
- Prabhanjan, D.G., Ramaswamy, H.S., Raghavan, G.S.V. 1995. Microwave-assisted Convective Air Drying of Thin Layer Carrots. *Journal of Food Engineering*, 25: 283-293.
- Schieber, A., Stintzing, F.C., Carle, R. 2001. By-products of plant food processing as a source of functional compounds. *Trends in Food Science and Technology*, 12: 401–413.
- Schubert, H., Regier, M. 2010. *The microwave processing of foods*. London, Woodhead.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M.C., Rosselló, C. 2005. Use of exponential, Page's and diffusional models to simulate the drying kinetics of kiwi fruit. *Journal of Food Engineering*, 66: 323–328.

- Soufleros, E.H., Pissa, I., Petridis, D., Lygerakis, M., Mermelas, V., Boukouvalas, V., Tsimitakis, V. 2001. Instrumental analysis of volatile and other compounds of Greek kiwi wine; sensory evaluation and optimisation of its composition. *Food Chemistry* 75: 487–500.
- Steele, R.J. 1987. Microwave in the food industry. *CSIRO Food Research Quarterly*, 47(4): 73.
- Talens, P. 2002. Tratamientos osmóticos en la crioprotección de fresa y kiwi. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia.
- Thuwapanichayanan, R., Prachayawarakorn, S., Kunwisawa, J., Soponronnarit, S. 2011. Determination of effective moisture diffusivity and assessment of quality attributes of banana slices during drying. *Food Science and Technology*, 44: 1502-1510.
- Troygot, O., Saguy, I.S., Wallach, R. 2011. Determination of characteristic curve from water sorption isotherms. *Journal of Food Engineering*, 105: 408–415.
- Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, S. 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93: 713–718.
- Vadivambal, R., Jayas, D.S. 2007. Changes in quality of microwave treated agricultural Products. *Biosystems Engineering*, 98: 1-16.
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., Perez-Won, M. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117: 647–653.
- Wang, J., Li, Y.Z., Chen, R., Bao, J.Y., Yang, G.M. 2007. Comparison of volatiles of banana powder dehydrated by vacuum belt drying, freeze-drying and air-drying. *Food Chemistry*, 104: 1516–1521.
- Zhang, M., Tang, J., Mujumdar, A.S., Wang, S. 2006. Trends in microwave related drying of fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology*, 17: 524- 534.
- Zolfaghari, M., Sahari, A., Barzegar, M., Samadloiy, H. 2010. Physicochemical and Enzymatic Properties of Five Kiwifruit Cultivars during Cold Storage. *Food Bioprocess Technology*, 3: 239-246.