

## OPTIMIZACIÓN DE UN PROCESO DE SECADO COMBINADO PARA OBTENER KIWI EN POLVO DE ALTA CALIDAD

Juana Teresa Cervera Valero, María Benlloch-Tinoco<sup>1</sup>, Eva García-Martínez<sup>1</sup>, Nuria Martínez-Navarrete<sup>1</sup>

### RESUMEN

La creciente demanda por parte de los consumidores de productos saludables y listos para consumir, hace que métodos de conservación como la liofilización resulten cada vez más atractivos. Esta tecnología permite obtener productos altamente estables y de gran calidad. No obstante, a causa de los elevados costes y largos tiempos de proceso, actualmente, su aplicación en el ámbito de la industria alimentaria es escasa. Así, el punto de partida de esta investigación es considerar que el uso combinado de la liofilización junto a otras técnicas de secado, pueda favorecer la obtención de productos con una adecuada relación calidad/coste. Por otro lado, las frutas en polvo son productos altamente higroscópicos y resulta necesario el uso de solutos de alto peso molecular que actúen como barrera en los procesos de adsorción de agua. En este trabajo se plantea el diseño de un proceso de secado combinado, consistente en la incorporación de solutos y en la aplicación de un pretratamiento de secado por microondas y una posterior etapa de liofilización, para obtener kiwi en polvo de alta calidad. En este sentido se evaluó, de forma simultánea, el efecto de la adición de goma arábiga y la aplicación de un pretratamiento de secado de diferente intensidad sobre distintos parámetros de calidad del kiwi en polvo, empleando un diseño de experimentos para seleccionar las condiciones óptimas de proceso. Pese a que la aplicación de un proceso de secado combinado afectó, en parte, a la calidad funcional de las muestras, se considera una alternativa interesante a los procesos de liofilización convencional, ya que, podría reducir los costes del proceso sin repercutir excesivamente en la calidad del producto. Así, incorporar un 9% de goma arábiga y predeshidratar el producto hasta alcanzar un 65% de humedad previamente a su liofilización, resultaron ser las condiciones más adecuadas para asegurar la máxima preservación de la calidad del producto.

**Palabras clave:** microondas, liofilización, goma arábiga, vitaminas, fitoquímicos, actividad antioxidante.

### RESUM

La creixent demanda per part dels consumidors de productes saludables i llests per consumir, fa que mètodes de conservació com la liofilització resulten cada vegada més atractius. Aquesta tecnologia permet obtenir productes altament estables i de gran qualitat. No obstant això, a causa dels elevats costos i llargs temps de procés, actualment, la seva aplicació en l'àmbit de la indústria alimentària és poc freqüent. Així, el punt de partida d'aquesta investigació es considerar l'ús combinat de la liofilització al costat d'altres tècniques d'assecat, pot afavorir l'obtenció de productes amb una adequada relació qualitat/cost. D'altra banda, les fruites en pols són productes altament

<sup>1</sup>Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria (CUINA). Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n. 46022. Valencia.

higroscòpics i resulta necessari l'ús de soluts d'alt pes molecular que actuïn com a barrera en els processos d'adsorció d'aigua. En aquest treball es planteja el disseny d'un procés d'assecat combinat, consistent en la incorporació de soluts i en l'aplicació d'un pretractament d'assecat per microones i una posterior etapa de liofilització, per obtenir kiwi en pols d'alta qualitat. En aquest sentit, es va avaluar de forma simultània, l'efecte de l'addició de goma aràbiga i l'aplicació d'un pretractament d'assecat a diferents intensitats sobre diversos paràmetres de qualitat del kiwi en pols, emprant un disseny d'experiments per seleccionar les condicions òptimes de procés. Malgrat que l'aplicació d'un procés d'assecat combinat va afectar, en part, a la qualitat funcional de les mostres, es considera una alternativa interessant als processos de liofilització convencional, ja que, podria reduir els costos del procés sense repercutir excessivament en la qualitat del producte. Així, incorporar un 9% de goma aràbiga i predeshidratar el producte fins a aconseguir un 65% d'humitat prèviament a la seva liofilització, van resultar ser les condicions més adequades per assegurar la màxima preservació de la qualitat del producte.

**Paraules clau:** microones, liofilització, goma aràbiga, optimització del procés, fitoquímics, activitat antioxidant.

## ABSTRACT

The growing demand by consumers of healthy and ready to consume products, makes conservation methods such as freeze-drying every day more attractive. This technology allows to obtain highly stable and high-quality products. However, despite the high costs and long process times, currently, its application in the field of the food industry is not frequent. Thus, the starting point in this research is consider the combined use of freeze-drying alongside other drying techniques, can provide the obtaining of products with a good quality/cost relationship. On the other hand, powdered fruits are highly hygroscopic products, and it is required the use of high molecular weight solutes acting as a barrier in the processes of adsorption of water. This work proposes a process design of drying combined, consisting in the addition of soluts and the application of microwave drying pretreatment and a final stage of freeze-drying, for kiwi high quality powder. In this way, it was simultaneously assessed the effect of the addition of arabic gum and the application of pretreatment of drying to diferents intensities on various parameters of quality of kiwifruit in dust, by using a design of experiments to select the optimal process conditions. Despite the fact that the application of a combined drying process affected, in part, to the functional quality of the samples, it is considered an interesting alternative to conventional free-drying process, since it could reduce the costs of the process without excessively affecting the quality of the product. So addiing 9% of arabic gum and predeshydrating the product until 65% moisture prior to its freeze drying, came to be the most suitable conditions to ensure the maximum preservation of the quality of the product.

**Key words:** microwave, freeze-drying, arabic gum, vitamins, phytochemical, antioxidant capacity.

## INTRODUCCIÓN

Las frutas son alimentos que aportan nutrientes esenciales para el organismo, además de cierta cantidad de otros compuestos conocidos como “fitoquímicos”, que a pesar de no tener una función nutricional definida y, por tanto, no ser considerados esenciales para la vida, conllevan un impacto significativo en el curso de alguna enfermedad, llegando a ser indispensables para nuestra salud (Kalt, 2001; Duttaroy y Jorgensen, 2004; Gorinstein et al., 2004). En este sentido, la FAO/OMS, recomienda la ingesta de al menos 5 piezas de frutas y hortalizas al día.

El kiwi, concretamente es una fruta que destaca por su atractivo color verde y sus propiedades nutricionales (Nishiyama et al., 2005; Soufleros, 2001). Esta fruta es originaria del sur de China y pertenece a la familia de las actinidáceas (Fisk et al., 2006; Fúster et al., 1994; Jaeger et al., 2003). Aunque en 1930 se inició su cultivo comercial en Nueva Zelanda (Zuccherelli y Zuccherelli 1990) actualmente es Italia el principal país productor de kiwi (FAO, 2011). En lo que respecta a España, la producción anual asciende casi a 17.800t (MAGRAMA, 2009) y además, se ha convertido en un gran importador europeo de esta fruta. Por otro lado, el kiwi 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), fibras, flavonoides, carotenoides, clorofila y luteína (Cassano et al., 2006; Kaya et al., 2008).

Pese al reconocido beneficio del consumo de frutas, especialmente “al natural”, cabe destacar que la ingesta de frutas frescas ha descendido paulatinamente en los últimos años (MAGRAMA, 2011). Factores como su dependencia de la climatología, su estacionalidad y/o su corta vida útil que limitan su disponibilidad, junto con las nuevas tendencias de consumo basadas en la ingesta de comida rápida, de fácil consumo y con una vida útil relativamente larga, dan lugar a una clara preferencia de los consumidores por los alimentos procesados, decantándose especialmente por aquellos que además sean saludables, de alta calidad nutricional y semejantes al producto fresco. Por este motivo, ampliar la gama de productos a base de fruta disponibles en el mercado, que cumplan las expectativas del consumidor y al mismo tiempo incentiven la ingesta de fruta por parte de la población, se plantea como un reto para la industria alimentaria (Elez-Martinez et al., 2006; O'Donell et al., 2010).

En este contexto, a lo largo de las últimas décadas, el uso de nuevas tecnologías en los procesos de conservación de alimentos como alternativa a los procesos convencionales, para obtener productos de mayor calidad sensorial, nutricional y funcional ha sido objeto de estudio. La deshidratación, que implica la eliminación del agua presente en los alimentos hasta niveles que permitan asegurar su estabilidad microbiológica, química y enzimática (Menlik et al., 2010), es posiblemente la forma más extendida de conservación (Kayak et al., 2008). Sin embargo, los métodos de secado convencionales conllevan la exposición de los alimentos a altas temperaturas y/o largos tiempo de proceso, que pueden afectar de forma negativa a su calidad. En este sentido, la liofilización, que permite obtener alimentos deshidratados de alta calidad sensorial, nutricional y funcional, se presenta como una tecnología con gran potencial en el campo de la deshidratación de alimentos (Ratti, 2001; Oetjen y

Haseley, 2004; Mosquera, 2010). Esta tecnología se basa en la eliminación del agua presente en un producto previamente congelado por sublimación, en un proceso realizado generalmente en condiciones de vacío (Lin, 1995).

Por otro lado, al someter a un alimento a un proceso de liofilización y una posterior etapa de trituración, es posible obtener un producto en polvo con una adecuada capacidad de rehidratación, parámetro de calidad muy relevante en este tipo de productos y que puede relacionarse con el daño ocasionado al alimento durante el secado (Mosquera, 2009). Hoy en día, muchos alimentos en polvo sirven de base para el desarrollo y formulación de nuevos productos al ser añadidos como ingredientes a otros alimentos, presentando una cierta facilidad para su incorporación en productos lácteos (leches, postres, yogurt, helados), galletas, pasteles, sopas instantáneas y platos preparados (Vega-Gálvez et al., 2006). Teniendo en cuenta que la liofilización ocasiona una mínima alteración de la calidad del alimento, se considera un método de conservación muy interesante. Sin embargo, conlleva costes elevados y requiere largos tiempos de proceso para obtener un producto en condiciones adecuadas (Menlik et al., 2010). Por este motivo se han llevado a cabo diversos estudios con la finalidad de reducir los costes de este proceso (Pardo y Leiva, 2000). La aplicación de otras tecnologías, a modo de pretratamiento, para eliminar parte del agua contenida en el alimento previamente a su liofilización, parece una opción válida en vistas a obtener un producto con una adecuada relación calidad/coste (Benlloch-Tinoco et al., 2012; Donsì et al., 2001; Fahloul et al., 2009).

Otro aspecto a considerar de los productos liofilizados, especialmente cuando se trata de frutas es su elevada higroscopicidad y tendencia a sufrir cambios en sus propiedades físicas con el tiempo dado su alto contenido en azúcares y ácidos. Esto hace que sea recomendable incorporar solutos de alto peso molecular, como la goma arábiga, para que aporten estabilidad al actuar como barrera frente a la adsorción de agua y también actúan como encapsulantes, evitando la oxidación y volatilización de los componentes responsables del flavor (Jittra et al., 2009). La goma arábiga (E-414) es un compuesto de origen natural que se extrae de la resina de los árboles de origen subsahariano (*Acacia senegal* y *Acacia seyal*). Químicamente es un heteropolisacárido de estructura ramificada con cantidades variables de D-galactopiranosas, L-arabinosas, L-ramnosas y algunos ácidos derivados como es ácido D-glucurónico ligado a la cadena principal (3-(1-6)) (Beniller y Whistler, 1996). Su contribución a la estabilidad de alimentos deshidratados ha sido descrita, entre otros, por Righetto y Netto (2005), Gabas et al. (2007), Mosquera et al. (2009) y Telis y Martínez-Navarrete (2010). Este tipo de compuestos se caracteriza por poseer buena solubilidad y no afectar al sabor y ni al color de los alimentos a los que son incorporados (Bertolini, et al., 2001; Mc Master et al., 2005; Madene et al., 2006). Algunos de los beneficios más relevantes de la utilización de solutos en los procesos de obtención de productos en polvo, se exponen a continuación: a) conllevan un aumento de la temperatura de transición vítrea, b) reducen la higroscopicidad, c) pueden proporcionar cierta viscosidad al producto rehidratado y d) poseen propiedades antiapelmazantes (Cozic et al., 2009; Gabas et al., 2007; Ghosal et al., 2010; Jaya y Das, 2009; Mosquera et al., 2010).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, se planteó como objetivo del estudio diseñar un proceso de secado por métodos combinados basado en la aplicación de energía microondas y una posterior etapa de liofilización, en vistas a obtener un producto en polvo de alta calidad y menor coste.

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1 Preparación de la muestra

La materia prima utilizada fueron kiwis (*Actinida deliciosa* variedad Hayward) adquiridos en un supermercado local de la ciudad de Valencia. Las piezas de fruta seleccionadas, previamente peladas, lavadas, y cortadas en rodajas, fueron trituradas en una mezcladora eléctrica Thermomix (TM 21, Vorwerk, España) a velocidad 4 durante 3 minutos. En algunos casos, al puré de kiwi así obtenido se le añadió goma arábiga (Sigma CAS: 9000-01-5, España), directamente y en agitación continua, como aditivo para la obtención del correspondiente producto en polvo, en las cantidades descritas en el apartado 1.2.

### 1.2 Diseño experimental

Para estudiar el efecto del pretratamiento de secado por microondas y de la incorporación de goma arábiga en la calidad del producto obtenido minimizando el número de pruebas necesarias para ello, se planteó un diseño de experimentos centrado compuesto rotatable y ortogonal, empleando el programa Statgraphics Centurion XV (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA). Así, se consideraron como factores del proceso el porcentaje de goma arábiga adicionado al puré de kiwi, (GA) y la humedad del producto antes de liofilizar ( $x_{WAL}$ ). La adición de goma arábiga se planteó en un intervalo de 0-15%, teniendo en cuenta, que normalmente se incorpora en proporción a los sólidos solubles (°Brix) de la fase líquida del producto, manteniendo la relación: 1 kg de goma arábiga/1 kg de sólidos solubles (Mosquera et al., 2010 y 2011). El intervalo de humedad del producto previamente a su liofilización se estableció en 65-85% (Benlloch-Tinoco et al., 2012). Las variables respuesta seleccionadas, medidas según se describe en el apartado 1.3, fueron: higroscopicidad ( $H_i$ ), actividad antioxidante (AAO), cambio de color ( $\Delta E$ ) y propiedades mecánicas (Fuerza máxima,  $F_{m\acute{a}x}$ ). De acuerdo con el diseño de experimentos, se estudiaron 9 combinaciones de los factores (GA y  $x_{WAL}$ ). Las muestras en el punto central se repitieron 8 veces y para el análisis de las variables respuesta se prepararon muestras por duplicado, obteniendo los valores medios que posteriormente se usaron en el análisis de superficie respuesta.

### 1.3 Procesado

#### 1.3.1 Liofilización

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. Posteriormente las muestras se almacenaron durante 24 horas antes de la liofilización en un criocongelador (CVF 525/86, Ing. Climas, España) a -86 °C con el fin de asegurar la congelación de todo el agua congelable del producto. Finalmente, se llevó a cabo la liofilización a 0,026 mBar y -56,6 °C, empleando para ello un liofilizador

LioAlfa-6 (Telstar, España). Además en aquellos casos en los que las humedades establecidas por el diseño de experimentos implicaron la aplicación de un pretratamiento de secado, éste se llevó a cabo según se indica en el apartado 1.2.2. Tras la liofilización y con el fin de obtener el producto en polvo la muestra fue triturada en una picadora eléctrica (Moulinex, Moulinette:320).

El producto así obtenido se envasó a vacío con una envasadora Tecnotrip EVO86154 (España) y se almacenó en un desecador con gel de sílice y cierre de silicona al resguardo de la luz hasta el momento de su análisis.

### **1.3.2 Pretratamiento**

En algunos casos el puré de kiwi se sometió a un proceso de secado por microondas (NORM 3038GC, China) previamente a su liofilización para obtener los niveles de humedad establecidos en el diseño. El pretratamiento consistió en depositar 300 g de puré de kiwi, repartidos homogéneamente, en recipientes de teflón (MECAPLAST, España) con dimensiones estandarizadas (diámetro 25 cm y altura 3 cm) formando una capa de 5 mm espesor. La potencia de trabajo fue de 600 W. Las condiciones de proceso empleadas se seleccionaron de acuerdo con estudios previos (Benlloch-Tinoco et al., 2012). El tiempo de tratamiento se estableció en base a la humedad final objetivo. Para ello, se emplearon balances de materia asumiendo que toda la pérdida de peso durante esta etapa de secado se correspondía con la pérdida de agua.

### **1.3.3 Rehidratación**

Para los análisis, la rehidratación del producto en polvo obtenido en las condiciones óptimas de proceso (ver apartado de resultados) se llevó a cabo en recipientes de cristal de dimensiones estandarizadas (4,2 cm de diámetro y 6 cm de alto), termostatados a 20°C en agitación continua (700 rpm) durante 1 hora. A las muestras en polvo se les añadió agua destilada con el fin de rehidratarlas hasta obtener un producto con la misma cantidad de sólidos solubles en la fracción líquida que los presentes en el puré de kiwi antes de la adición de solutos y de haberlo sometido a cualquier tratamiento.

## **1.4 Análisis**

Al puré de kiwi fresco y al producto en polvo rehidratado se les analizó la humedad, contenido en sólidos solubles, color, contenido en compuestos bioactivos (vitaminas C, A y E y fenoles totales) y actividad antioxidante. Al producto en polvo se le analizó la humedad, higroscopicidad, color, propiedades mecánicas, contenido en compuestos bioactivos (vitaminas C, A y E y fenoles totales), actividad antioxidante y solubilidad. Todos los análisis se realizaron por triplicado, según la metodología que se describe a continuación, calculándose la media y la desviación estándar. Los análisis se realizaron en las 24h siguientes a su procesado, excepto la humedad que se determinó inmediatamente tras el procesado correspondiente de las muestras. Los resultados obtenidos se expresaron por g de sólidos totales de kiwi, con fines comparativos. Además, para el puré de kiwi fresco, se expresaron en tanto por 100 g de fruta fresca.

La humedad ( $x_w$ ) se determinó por el método oficial para alimentos ricos en azúcares (AOAC 934.06, 2000). Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso de la muestra tras su desecación en una estufa de vacío (Vacioterm, J.P. Selecta) ( $P=10\text{mm Hg}$ ) a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$ . Previo a cada pesada, las muestras se dejaron enfriar en un desecador con una base de silica gel. La variación de peso se midió en una balanza METTLER AE 100 de precisión  $0,1\text{ mg}$ .

Los sólidos solubles de la fracción líquida ( $^\circ\text{Brix}$ ) se midieron en la muestra previamente homogeneizada a  $20^\circ\text{C}$  en un refractómetro digital portátil Refracto 3PX (METER TOLEDO, Suiza).

Las propiedades mecánicas de los productos en polvo se analizaron de acuerdo con la metodología propuesta por Telis y Martínez-Navarrete (2009). Se realizó un ensayo de compresión mecánica utilizando un texturómetro TA-XT Plus (Stable Micro Systems, Ltd., Reino Unido) con una sonda cilíndrica de  $10\text{ mm}$  de diámetro. Las muestras se depositaron en cápsulas de aluminio de  $11\text{ mm}$  de diámetro y  $5\text{ mm}$  de altura y se comprimió una distancia fija de  $3\text{ mm}$  a una velocidad constante de  $0,1\text{ mm/s}$ . Se registró la curva fuerza-distancia y a partir de ella se obtuvo la fuerza máxima que se corrigió con el peso de la muestra ( $F_{\text{máx}}$ , N/g).

Además, tras el análisis de las propiedades mecánicas, a las muestras depositadas en las cápsulas de aluminio se les midió el color con un fotocolorímetro Minolta CM 3600D (Minolta Co. Ltd., Japón) se midió el espectro de reflectancia y a partir de él los resultados se expresaron de acuerdo con el sistema CIE  $L^* a^* b^*$  utilizando como referencia el iluminante D65 y observador  $10^\circ$ . El color del puré de kiwi fresco y del producto rehidratado se midió en el mismo equipo pero colocando a las muestras en unas cubetas de dimensiones estandarizadas ( $37\text{mm}\times 50\text{mm}\times 22\text{mm}$ ) sobre fondo negro. En todos los casos se obtuvieron valores de las coordenadas  $L^*$ , luminosidad en una escala entre 0 y 100, desde el negro al blanco;  $a^*$  (que indica la cantidad de color rojo (+)/verde(-)) y de  $b^*$  (color amarillo(+)/azul(-)). Posteriormente, a partir de los valores de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , se calculó la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) (Ec. 1) entre las muestras obtenidas con los diferentes tratamientos en polvo y rehidratadas y la muestra fresca correspondiente en cada caso (Maskan, 2001; Mohammadi et al., 2008, Chiralt et al., 2007).

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} + \Delta L^{*2}} \quad (1)$$

Para determinar la higroscopicidad del producto en polvo ( $H_i$ ) se siguió la metodología descrita por Cai y Corke (2000). Para ello se depositaron  $2\text{ g}$  de muestra en polvo en una placa Petri y se colocaron a temperatura ambiente en una cámara que contenía una disolución saturada de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (humedad relativa del  $81\%$ ). Transcurrida una semana, se controló el peso de las muestras con el fin de determinar la cantidad de agua ganada por cada una de ellas en ese periodo de tiempo.

La solubilidad del producto en polvo se evaluó a partir de la fracción másica del material disuelto (SD) en el correspondiente producto rehidratado (Ec. 2), parámetro empleado por otros autores en productos de características similares (Mimouni et al., 2009).

Para ello se determinó, en primer lugar, el contenido en sólidos totales (ST) y sólidos solubles (SS) del producto. El contenido en ST se midió por secado en estufa de vacío (Vaciotem, J.P. Selecta, España) a 60 °C durante 24 horas. Para evaluar el contenido en SS se centrifugaron 7 g de muestra rehidratada a 10.000 rpm y 4 °C durante 10 min, el sobrenadante obtenido se filtró a vacío empleando filtros Wathman N° 1 y finalmente se sometió a las mismas condiciones de secado descritas para ST.

$$SD = \frac{SS}{ST} \quad (2)$$

Las vitaminas A y E se determinaron por cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). Se empleó un equipo HPLC (Jasco, Italia) con una bomba ternaria (Jasco PU-1580 HPLC pump), un generador de gradiente (LG-1580-02 Ternary Gradient Unit) y un detector UV-visible (MD-1510) con un intervalo de medida de longitud de onda de 190 hasta 650 nm. Además el equipo cuenta con un desgasificador incorporado y un inyector automático. Se empleó una columna Zorbax SB-C18 de 5 µm (4,6 x 25 mm), junto con una precolumna (C18 Teknokroma). Para la extracción y cuantificación se siguió el método descrito por los autores Munzuroglu et al., 2003. Se utilizaron patrones de retinol y alfa-tocoferol (Fluka) para la identificación y cuantificación de las vitaminas A y E, respectivamente.

La vitamina C se determinó sumando el contenido de ácido ascórbico (AA) y el valor del ácido dehidroascórbico (DHAA). Se empleó el mismo equipo HPLC y columna cromatográfica descrito anteriormente. El procedimiento empleado para el análisis constó de dos partes, en la primera parte el ácido dehidroascórbico (DHAA) se redujo AA usando el reactivo DL- ditiotreitól (Sigma-Aldrich) como agente reductor, de acuerdo con Sánchez-Mata et al. (2000) y Sánchez-Moreno et al. (2003). En la segunda etapa se determinó el AA según la metodología descrita por Xu et al. (2008).

La determinación de los fenoles totales (FT) se llevó a cabo utilizando el ensayo Folin-Ciocalteu según Selvendran y Ryden (1990) y Benzie y Strain (1999). Para la extracción de los fenoles totales se siguió la metodología descrita por Tomás-Barberán et al. (2001). Para la medida de la absorbancia a 765 nm se utilizó un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Para cuantificar los fenoles totales se prepararon disoluciones de diferentes concentraciones de ácido gálico (Sigma-Aldrich) que se utilizó como recta patrón.

El potencial antioxidante total de las muestras se evaluó empleando el método del DPPH basado en la capacidad de las sustancias antioxidantes para captar radicales libres (Puupponen-Pimiä et al., 2003). Este ensayo se recomienda por distintos autores (Sánchez-Moreno et al., 1998 y 2003; Villaño et al., 2007).

Se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Los resultados se expresaron en % DPPH según la ecuación 3.

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



donde:  $A_0$  = absorbancia del control (absorbancia de la muestra a tiempo 0);  $A_t$  = absorbancia de la muestra cuando la reacción se ha estabilizado. Se preparó una recta de calibrado, utilizando Trolox (Sigma Aldrich, CAS:53188-07-1 como patrón, que nos permitió expresar el porcentaje de inhibición de forma cuantitativa.

## 2. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

El análisis estadístico de los resultados se realizó mediante el programa Statgraphics Centurion XV (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA). Por un lado, con el fin de definir las condiciones óptimas de proceso, se empleó un análisis de tipo superficie respuesta como herramienta estadística. A la hora de definir los modelos que sirvieron para relacionar los datos experimentales con los factores del proceso sólo los términos significativos ( $p < 0,05$ ) fueron incluidos. Asimismo, las diferencias entre muestras se evaluaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA), considerando un nivel de significación del 5%.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Caracterización de la materia

El kiwi utilizado como materia prima para el presente estudio se caracterizó por presentar unos valores medios, (con su desviación estándar) de humedad=86,0 (0,2) g agua/100 g fruta, °Brix=12,9 (0,2) g sólidos solubles/ 100 g fracción líquida de fruta,  $L^*=36,5$  (0,5),  $a^*=-3,2$  (0,2) y  $b^*=23,9$  (0,5), actividad antioxidante=677 (15) mM Trolox/100g fruta, fenoles totales=14,4 (0,3) mg ácido gálico/100g de fruta, vitamina C=96 (8) mg ácido ascórbico/100g fruta, vitamina A=0,122 (0,012) mg retinol/100g fruta y vitamina E=1,4(0,2) mg alfa-tocoferol/100g fruta. Todos estos valores fueron similares a los publicados por otros autores para esta fruta (Antunes et al., 2010; Carvallo y Lima, 2002; De Ancos et al., 1999; Fuster et al., 1994; Nishiyama y col 2000).

### 3.2 Evaluación de los factores de proceso en la calidad del producto

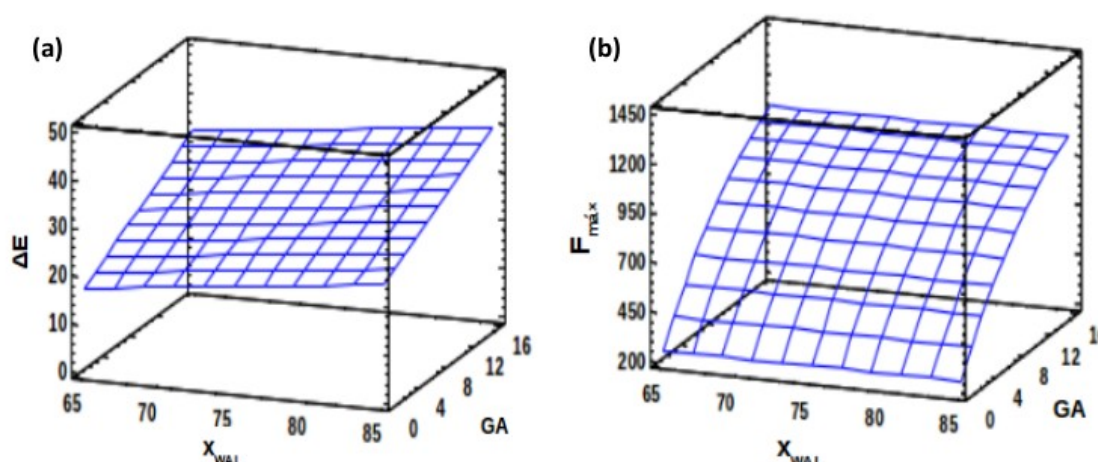
Los diseños de experimentos son herramientas de gran utilidad cuando se trata de mejorar u optimizar procesos de diversa naturaleza (Mead y Pike, 1975). A la hora de abordar el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en el presente estudio, se utilizó una metodología de superficie respuesta, que permitió evaluar el efecto de los factores GA y  $X_{WAL}$  sobre las variables seleccionadas. Esta metodología constituye un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas que resultan útiles para modelizar, analizar y estudiar la relación entre una o más variables respuestas y diversos factores. Permite obtener modelos definidos por funciones de regresión, normalmente polinomios de primer y segundo orden (Guillou y Floros, 2004), que al ser representados gráficamente dan lugar a una superficie sólida en un espacio tridimensional (Montgomery, 2002; Gacula y Singh, 1984).

En la TABLA 1 se muestran los modelos obtenidos en el presente estudio, junto con los valores de los parámetros  $R^2$ -ajustado y la raíz cuadrada media del error (RMSE) correspondientes. Dichos parámetros son indicadores de la calidad del ajuste (Haber y Runyon, 1977), obteniéndose mejores predicciones cuanto mayor sea el valor de  $R^2$ -ajustado y menor el valor de RMSE alcanzados (Granato et al., 2010; Montgomeri et al., 2009). En consecuencia, se puede considerar que, por un lado, se obtuvieron modelos capaces de predecir adecuadamente el comportamiento de las variables  $H_i$ , AAO,  $\Delta E$  y  $F_{m\acute{a}x}$ , y por el otro, que ambos factores ( $x_{WAL}$  y GA) presentaron efectos significativos ( $p < 0,05$ ) tanto lineales como cuadráticos.

**TABLA 1.** Modelos obtenidos para las variables: higroscopicidad ( $H_i$ , g de agua/100 g sólidos secos), actividad antioxidante (AAO, mM Trolox/ g sólidos totales de kiwi), diferencia de color ( $\Delta E$ ) y fuerza de compresión ( $F_{m\acute{a}x}$ , N/ g producto). Además se incluyen valores del coeficiente de regresión ajustado ( $R^2$ aj.) y la raíz cuadrada media del error (RMSE).

Variable Respuesta	Modelo	$R^2$ aj.	RMSE
Higroscopicidad	$H_i = -66,40 + 3,36x_{WAL} - 3,90GA - 0,03x_{WAL}^2 + 0,05x_{WAL} \cdot GA$	0,848	23,610
Actividad Antioxidante	$AAO = -575,53 + 17,30x_{WAL} + 1,20GA - 0,12x_{WAL}^2 - 0,13GA^2$	0,848	0,334
Diferencia de color	$\Delta E = -5,24 + 0,34x_{WAL} + 0,98GA$	0,858	0,183
Fuerza máxima	$F_{m\acute{a}x} = 246,70 + 84,13GA - 2,09GA^2$	0,821	17,539

La FIGURA 1 muestra las gráficas de superficie respuesta correspondientes a la diferencia de color asociada al proceso de secado combinado (FIGURA 1(a)), así como la evolución de las propiedades mecánicas del polvo respecto a los factores estudiados ( $x_{WAL}$  y GA) (FIGURA 1(b)). Tanto la  $x_{WAL}$  como la GA presentaron un efecto lineal positivo sobre la diferencia de color del kiwi en polvo, tal y como se muestra en la TABLA 1, resultando ser el factor GA el más relevante de los dos (FIGURA 1(a)).

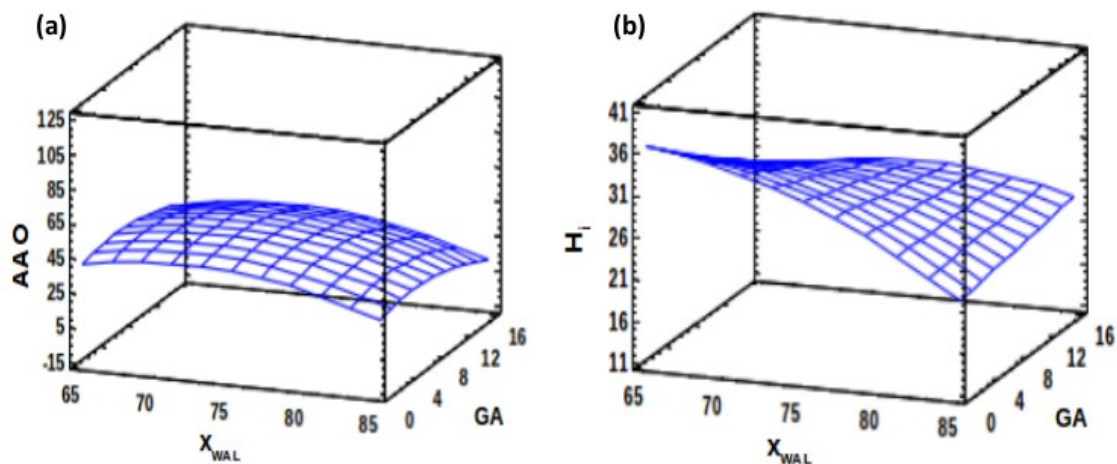


**FIGURA 1.** (a) Superficie de respuesta de la diferencia de color asociada al proceso de secado combinado ( $\Delta E$ ) y (b) de la fuerza máxima ( $F_{m\acute{a}x}$ , N/g de muestra) obtenida a partir del ensayo de compresión en función de la goma arábica añadida y de la humedad alcanzada durante el pretratamiento por microondas de la muestra.

Por otro lado, tal y como se observa en la FIGURA 1(b), el factor  $X_{WAL}$  no mostró efecto alguno sobre las propiedades mecánicas medidas en el polvo obtenido, pero la adición de goma arábica presentó efectos lineales positivos y cuadráticos negativos (TABLA 1). Desde este punto de vista, cuanto mayor es el porcentaje de goma arábica adicionado, mayor es la fuerza necesaria para comprimir el polvo. Mientras que, la aplicación del pretratamiento no afecta de forma negativa a las propiedades mecánicas del mismo.

Otros autores han encontrado la existencia de una relación entre las propiedades mecánicas del polvo y la adición de solutos, ya que, solutos como la goma arábica se caracterizan por reducir el apelmazamiento, favoreciendo la obtención de un producto en polvo más suelto (Telis y Martínez-Navarrete, 2009; Mosquera et al., 2010).

La FIGURA 2 representa las superficies respuesta de la actividad antioxidante después del proceso de liofilización (a) y la higroscopicidad del producto en polvo (b). En cuanto al efecto de los factores de proceso sobre el comportamiento de la actividad antioxidante del kiwi en polvo (FIGURA 2(a)), tanto la adición de GA como la aplicación del pretratamiento de secado mostraron efectos significativos lineales positivos y cuadráticos negativos (TABLA 1).



**FIGURA 2. (a)** Superficie de respuesta de la actividad antioxidante (AAO, mM Trolox/ g sólidos totales de kiwi) y **(b)** de la higroscopicidad (Hi, g de agua/100 g sólidos secos) en función de la goma arábica añadida y de la humedad alcanzada durante el pretratamiento por microondas de la muestra.

La actividad antioxidante del producto aumentó a medida que lo hizo la cantidad de goma arábica añadida, hasta alcanzar un máximo (GA≈10), a partir del cual, un aumento del porcentaje de goma implicó un ligero descenso de la actividad antioxidante. Si bien es cierto que el efecto protector de este tipo de solutos frente a la degradación de los compuestos bioactivos responsables de la actividad antioxidante de los alimentos ha sido ampliamente descrito en bibliografía, ya que, aporta estabilidad y actúa como barrera frente a su degradación (Bhandari et al., 1999; Colin y Holub, 2009), este soluto habitualmente se incorpora en proporciones menores a las consideradas en el

presente estudio (Mosquera et al., 2011). Por otro lado, la aplicación del pretratamiento conllevó un aumento de la actividad antioxidante del producto, alcanzando un valor máximo para humedades próximas a 75 g agua/100 g producto, punto a partir del cual, una mayor reducción de la humedad implicó un descenso de la actividad antioxidante del producto. Pese a que la exposición de un alimento a temperaturas elevadas ( $T > 60$  °C) frecuentemente se asocia con una reducción de su capacidad antioxidante, diversos autores señalan que también se puede favorecer la liberación de formas conjugadas de determinados compuestos responsables de la actividad antioxidante del producto (Dewanto et al., 2002; Turkmen et al., 2005), sin embargo, tratamientos muy severos o prolongados pueden fomentar la degradación de dichos compuestos (Kaya et al., 2009). En cuanto a la higroscopicidad del polvo (FIGURA 2(b)), tanto  $x_{wAL}$  como GA afectaron de manera relevante, mostrando efectos lineales, positivos y negativos, respectivamente, así como un efecto cuadrático negativo del factor  $x_{wAL}$  y una interacción entre ambos factores (TABLA1). Atendiendo a los efectos lineales, se puede decir que, mientras que la adición de goma arábica favoreció la reducción de la higroscopicidad del polvo, la aplicación de un pretratamiento produjo el efecto contrario. El efecto de solutos como la goma arábica sobre la estabilidad de los productos en polvo, en relación con la adsorción de agua, ha sido ampliamente descrito en la bibliografía (Cozic et al., 2009; Gabas et al., 2007). Por otro lado, la higroscopicidad del producto evolucionó de distinto modo frente a la variación de humedad, en función del contenido en solutos. Mientras que en ausencia de solutos una reducción de  $X_{wAL}$  conllevó un aumento de la higroscopicidad, la adición de solutos implicó que a medida que se redujo la humedad del producto antes de ser liofilizado, la higroscopicidad disminuía ligeramente, en este sentido, la incorporación de solutos parece aún más recomendable para muestras predeshidratadas.

### 3.2.1 Optimización múltiple del proceso

Con el fin de identificar las condiciones del proceso más adecuadas, se llevó a cabo una optimización múltiple a partir de los modelos que se muestran en la TABLA 1. De acuerdo con el resultado obtenido, el hecho de incorporar un 9% de goma arábica y predeshidratar el producto hasta alcanzar un 65% de humedad previamente a su liofilización, fueron las condiciones de proceso que permitieron maximizar la actividad antioxidante del polvo y la fuerza máxima necesaria para comprimirlo, al mismo tiempo que minimizar su higroscopicidad y diferencia de color asociada al proceso. Una vez hecho esto, se procesó kiwi en las condiciones definidas como óptimas y se analizó la calidad del polvo obtenido de forma experimental, en vistas a validar dicho tratamiento.

En la TABLA 2 se muestran los valores predichos, obtenidos a partir de la optimización múltiple, y experimentales, correspondientes al kiwi en polvo sometido al proceso de secado combinado óptimo.

**TABLA 2.** Valores predichos a partir de la optimización múltiple y promedios (desviación estándar) de los valores obtenidos de forma experimental de las variables respuestas estudiadas ( $H_i$ , AE, AAO y  $F_{m\acute{a}x}$ ).

<i>Variables respuesta</i>	<i>Valores predichos</i>	<i>Valores experimentales</i>
$H_i$ (g de agua/100 g sólidos secos)	28,14	26,2(0,3)
$\Delta E$	27,20	33,4 (0,4)
AAO (mM Trolox/ g sólidos totales de kiwi)	39,12	25 (3)
$F_{m\acute{a}x}$ (N/g)	893,50	501,7 (0,4)

### 3.3 Calidad del producto obtenido mediante el proceso de secado combinado óptimo respecto a la liofilización convencional.

Una vez definidas las condiciones de proceso más adecuadas para llevar a cabo el secado combinado, se procedió a comparar el impacto causado por dicho proceso y por una liofilización convencional, sobre la calidad del producto obtenido, tanto en el polvo como en el posterior rehidratado.

En la TABLA 3 se resumen los valores de los distintos parámetros de calidad estudiados en el kiwi en polvo obtenido mediante el proceso de secado combinado óptimo ( $K-MW_L$ ) y la liofilización convencional ( $K_L$ ). En todos los casos se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ambas muestras, excepto en lo que al contenido en vitamina E, el parámetro  $b^*$  y la solubilidad respecta. La aplicación del pretratamiento por microondas en presencia de solutos, por tanto, supuso una reducción significativa ( $p < 0,05$ ) de la actividad antioxidante así como del contenido de ciertos compuestos bioactivos presentes en el kiwi, tales como fenoles totales, vitamina C y vitamina A. Además, el polvo obtenido de esta forma, mostró una humedad significativamente ( $p < 0,05$ ) superior a la del kiwi liofilizado por vía convencional y su color resultó ser significativamente ( $p < 0,05$ ) más luminoso a la vez que más rojizo o pardo.

**TABLA 3.** Promedio (y desviación estándar) de los valores de humedad ( $X_w$ , g agua/100g), higroscopicidad ( $H_i$ , g agua/100 g sólidos secos), parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), fuerza máxima ( $F_{m\acute{a}x}$ , N/g), fracción de sólidos disueltos (SD), actividad antioxidante (AAO, mM Trolox/g sólidos totales ST de kiwi), del contenido en fenoles totales (FT, mg ácido gálico/g ST de kiwi), vitamina C (mg/g ST de kiwi), vitamina A (mg/g ST kiwi) y vitamina E (mg/g ST de kiwi) para el kiwi liofilizado de forma convencional ( $K_L$ ) y el kiwi sometido al tratamiento de secado combinado óptimo ( $K-MW_L$ ).

Código	$X_w$	$H_i$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$F_{m\acute{a}x}$	SD	AAO	FT	Vit.C	Vit.A	Vit.E
$K_L$	3,3 (0,6) <sup>a</sup>	34 (4) <sup>b</sup>	60,0 (1,2) <sup>a</sup>	-3,2 (0,3) <sup>a</sup>	24 (2) <sup>a</sup>	75,1 (0,9) <sup>a</sup>	81 (6) <sup>a</sup>	0,723 (0,003) <sup>b</sup>	2,0 (0,2) <sup>b</sup>	6,964 (0,014) <sup>b</sup>	0,0047 (0,0013) <sup>b</sup>	0,023 (0,002) <sup>a</sup>
$K-MW_L$	5,9 (0,6) <sup>b</sup>	26,2 (0,3) <sup>a</sup>	69,0 (0,4) <sup>b</sup>	4,1 (0,2) <sup>b</sup>	22,5 (0,6) <sup>a</sup>	501,7 (0,4) <sup>b</sup>	79 (2) <sup>a</sup>	0,252 (0,028) <sup>a</sup>	1,35 (0,09) <sup>a</sup>	2,66 (0,13) <sup>a</sup>	ND <sup>a</sup>	0,010 (0,002) <sup>a</sup>

Las muestras se identificaron con letras distintas(a,b) cuando presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). **ND**: No detectado

Sin embargo, los resultados obtenidos para la muestra  $K-MW_L$  fueron favorables desde el punto de vista de la higroscopicidad y la textura del producto, mostrando valores significativamente menores de higroscopicidad y

mayores de fuerza máxima ( $p < 0,05$ ) en comparación con la muestra  $K_L$ . El hecho de que se obtenga un polvo con mayor humedad podría relacionarse con una mayor dificultad para la congelación y sublimación del agua presente en muestras predeshidratadas.

Tras rehidratar el producto en polvo, tanto aquel procedente del secado combinado ( $K-MW_R$ ) como de la liofilización convencional ( $K_R$ ), hasta alcanzar la misma humedad que la propia del kiwi fresco, se evaluó la variación sufrida en los distintos compuestos bioactivos y en la actividad antioxidante, así como, en el color del producto, tomando como referencia al puré de kiwi fresco. A diferencia del proceso de liofilización convencional, la muestra  $K-MW_R$  mostró pérdidas significativas ( $p < 0,05$ ) en cuanto al contenido en fenoles totales (10%), vitamina C (63%) y vitamina A (100%). Por otro lado, mientras que ambos procesos ( $K-MW_R$  y  $K_R$ ) redujeron significativamente ( $p < 0,05$ ) la capacidad antioxidante del producto (23-84%), ninguno de ellos afectó al contenido en vitamina E. Asimismo, tal y como era de esperar, la muestra  $K-MW_R$  mostró una diferencia de color (9,16 (0,12)) significativamente ( $p < 0,05$ ) mayor que la muestra  $K_R$  (13,7 (0,3)).

Una vez evaluada la calidad de los productos obtenidos, ya sea en polvo o tras ser rehidratados y partiendo de la base de que este procedimiento permite acelerar considerablemente la cinética del proceso (Benlloch-Tinoco et al., 2012), cabe comentar, desde una perspectiva más económica, que la aplicación del secado combinado propuesto en el presente estudio ofrece la posibilidad de obtener productos en polvo de calidad, pero a un coste más reducido. Además, teniendo en cuenta la escasa aplicación de la liofilización como técnica de preservación de alimentos debido, principalmente, a los elevados costes asociados a esta tecnología (Donsì et al., 2001), y de acuerdo con los resultados obtenidos, la aplicación de métodos de secado combinados parece ser una alternativa interesante en vistas a fomentar el uso de esta tecnología en el ámbito de la industria agroalimentaria, aunque ello pueda implicar, sacrificar en parte, ciertos aspectos de la calidad del producto obtenido.

### 3.4 Conclusiones

La aplicación de un proceso de secado por métodos combinados, basado en la incorporación de goma arábiga, el empleo de energía microondas y una posterior etapa de liofilización, dio lugar a la obtención de kiwi en polvo de alta calidad. Este proceso fue favorable desde el punto de vista de la textura, higroscopicidad y solubilidad de las muestras. En relación con los compuestos bioactivos estudiados, la aplicación del pretratamiento supuso ligeras pérdidas de todos ellos del orden de 10-60% en el producto rehidratado, excepto la vitamina A que se degradó por completo. La disminución de la actividad antioxidante fue del orden de 85%. Teniendo en cuenta todos estos aspectos, el proceso planteado en el presente estudio se presenta como una alternativa interesante a la liofilización convencional, que podría reducir los costes del proceso sin repercutir excesivamente en la calidad del producto.

### 3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BeMiller, J.N.; Whistler, R.L. 1996. Carbohydrates. In: Fennema, O.R. (ed.), Food Chemistry. Third ed. Marcel Dekker, New York.
2. Benlloch-Tinoco, M., Varela, P., Salvador, A., & Martínez-Navarrete, N. (2012). Effects of microwave heating on sensory characteristics of kiwifruit puree. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 3021-3031.
3. Bertolini, AC, Siani, AC and Grosso, CRF 2001. Stability of monoterpenes encapsulated in gum arabic by spray drying. *J. Agric. Food Chem.*
4. Bhandari, B. R., Howes, T. 1998. Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40: 71-79.
5. 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.
6. Chiralt, A.; Martínez-Navarrete, N.; González, C.; Talens, P.; Moraga, G. 2007. Propiedades físicas de los alimentos. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. España.
7. Colin, J., C. Nolan and B. Holub. 2009. Bioequivalence of encapsulated and microencapsulated fish-oil supplementation. *Journal of Functional Foods* 1: 38 -43.
8. 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.
9. 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.
10. DONSI, G.; FERRARI, G.; MATTEO, D. I. Utilization of combined processes in freeze-drying of shrimps. *Food and bioproducts processing*, 2001, 79.3: 152-159.
11. Duttaroy, A. K., & Jørgensen, A. (2004). Effects of kiwi fruit consumption on platelet aggregation and plasma lipids in healthy human volunteers. *Platelets*, 15(5), 287-292.
12. Elez-Martinez, P., Aguilo-Aguayo, I., & Martín-Belloso, O. 2006. Inactivation of orange juice peroxidase by high-intensity pulsed electric fields as influenced by process parameters. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86, 71–81
13. 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].
14. 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.
15. Fisk, C. L.; McDaniel, M. R.; Strick, B. C.; Zhao. Y. 2006. Physicochemical, Sensory, and Nutritive Qualities of Hardy Kiwifruit (*Actinidia arguta* 'Ananasnaya') as Affected by Harvest Maturity and Storage. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*. 71(3): 204-210.
16. 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.
17. 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.

18. Gacula, M.C. y J. Singh; *Statistical methods in food and consumer research*. New York, Academic Press, 214-272 (1984).
19. 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.
20. Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Park, Y. S., Haruenkit, R., Lojek, A., Cíz, M., Caspi, A., Libman, I., & Trakhtenberg, S. (2001). Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food Chemistry*, 74, 309–315.
21. Gorinstein, S., Martín-Belloso, O., Lojek, A., Cíz, M., Soliva- Fortuny, R., Park, Y. S., Caspi, A., Libman, I., & Trakhtenberg, S. (2002). Comparative content of some phytochemicals in Spanish apples, peaches and pears.
22. Guillou, A.A.; Floros, J.D. Multiresponse optimization minimizes salt in natural cucumber fermentation and storage. *J. Food Sci.* 58:1381-1389. 1993.
23. Kalt W, Ryan DAJ, Duy JC, Prior RL, Ehlenfeldt MK, Vander Kloet SP. 2001. Interspecific variation in anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity among genotypes of highbush and lowbush blueberries (*Vaccinium* Section *Cyano- coccus* sp.). *J Agric Food Chem* 49:4761–7.
24. Kaya, A., Aydin, 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.
25. Sanchez-Mata, M. C., Cámara-Hurtado, M., Diez-Marques, C., & Torija-Isasa, M. E. (2000). Comparison of HPLC and spectrofluorimetry for vitamin C analysis of green beans. *European Food Research International*, 210, 220–225.
26. Madene, A., Jacquot, M., Scher, J., & Desobry, S. (2006). Flavour encapsulation and controlled release – A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1–21.
27. McMaster, L., S. Kokott and P. Mazutti. 2005. Micro-encapsulation of *Bifidobacterium lactis* for incorporation into soft foods. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 21(5): 723728.
28. Martínez-Navarrete, N.; Andrés, A.; Chiralt, A.; Fito-Maupoey, P. 2000. Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno. Universidad Politécnica de Valencia.
29. Martínez-Navarrete, N.; Camacho, M.M.; Martínez, J. 2008. The bioactive compounds of fruits and their effects on health. *Actividad Dietética*, 12(2):64-68.
30. Maskan, M., Göğus, F. 1998. Sorption Isotherms and Drying Characteristics of Mulberry (*Torus alba*). *Journal of Food Engineering*, 37: 437-449.
31. Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 177-182.
32. Mead, R.; Pike, D. A review of response surface methodology from a biometric viewpoint. *Biometr.* 31: 803-851. 1975.
33. 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.
34. Mohammadi, A.; Rafiee, S.; Emam-Djomeh, Z.; Keyhani, A. 2008. Kinetic Models for Colour Change in Kiwifruit Slices During Hot Air Drying. *World Journal of Agricultural Sciences*. 4 (3): 376-383.



35. Montgomery, L.; Diseño y análisis de experimentos, México. Limusa-Wiley, 2° edición, p.p. 225-270 (2002).
36. Montgomery, D. C. (2009). *Design and analysis of experiments*. New York: Wiley & Sons, Inc.
37. Mosquera, L.; Moraga, G; Martínez-Navarrete, N. 2009. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojo powder. *Journal of Food Engineering*. 97. 72-78.
38. Mosquera, L.H. 2010. Influencia de la humedad y de la adición de solutos (maltodextrina o goma arábica) en las propiedades fisicoquímicas de borjón y fresa en polvo. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.
39. Mosquera, L.H., Moraga, G., Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borjón (*Borjoa patinoi* Cuatrec.) powder. *Journal of Food Engineering*, 97: 72–78.
40. Mosquera L. H., Moraga G., De Córdoba P. F. & Martínez-Navarrete N. 2011. Water content–water activity–glass transition temperature relationships of spray-dried borjón as related to changes in color and mechanical properties. *Food Biophysics*. DOI 10.1007/s11483-011-9215-2.
41. Nishiyama, I., Fukuda, 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.
42. O'Donnell, C. P., Tiwari, B. K., Bourke, P., & Cullen, P. J. (2010). Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 358-367.
43. Pardo, J. M., & Leiva, D. A. (2010). Effects of different pre-treatments on energy consumption during freeze drying of pineapple pieces. *Interciencia*, 35(12), 934–938.
44. Righetto A. M.; Netto, F. M. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass, transition and stability of juice from immature acerola. *International Journal of Food Properties*, v. 8, p. 337-346, 2005.
45. Sánchez-Moreno, C.; Larrauri, J.A.; Saura-Calixto, F. 1998. A Procedure to Measure the Antiradical Efficiency of Polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76:270-276.
46. Sánchez-Moreno, C.; Plaza, L.; De Ancos, B.; Cano, P. 2003. Quantitative bioactive compounds assessment and their relative contribution to the antioxidant capacity of commercial orange juices. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83:430–439.
47. Selvendran, R.R.; Ryden, P. 1990. *Methods in plant biochemistry*, vol 2. Academic Press, Ed., London, United Kingdom.
48. Soufleros, E.H., Pissa, I., Petridis, D., Lygerakis, M., Mermelas, V., Boukouvalas, V., Tsimidakis, 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.
49. Steele, R.J. 1987. Microwave in the food industry. *CSIRO Food Research Quarterly*, 47(4): 73.
50. Telis, V. R. N.; Martínez – Navarrete, N. 2010. Application of compression test in analysis of mechanical and color changes in grapefruit juice powder as related to glass transition and water activity. *LWT - Food Science and Technology*.43: 2010. 744-751.

51. Tomás-Barberán, F.A.; Gil, M.I.; Cremin, P.; Waterhouse, A.L.; Hess-Pierce, B.; Kader, A.A. 2001. HPLC-DAD-ESIMS analysis of phenolic compounds in nectarines, peaches, and plums. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49:4748–4760.
52. 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.
53. Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Bilbao-Saíenz, C., Uribe, E., Lemus-Mondaca, R.,(2006). Empirical modeling of drying process for apple(cv. *Granny Smith*) slices at different air temperatures.
54. 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.
55. Villaño, D.; Fernández-Pachón, M.S.; Moyá, M.L.; Troncoso, A.M.; García-Parrilla, M.C. 2007. Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta*, 71(1):230–235.
56. Xu, G.; Liu, D.; Chen, J.; Ye, X.; Ma, Y.; Shi, J. 2008. Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China. *Food Chemistry*, 106:545–551.
57. Zuccherelli, Gilberto y Giuseppe. Título: La actinidia (kiwi). P.imprenta : Mundi-Prensa. Madrid. (ES) 1990