

# **IMPACTO DE LA ADICIÓN DE CARBOXIMETILCELULOSA EN LA CALIDAD DE KIWI EN POLVO OBTENIDO POR LIOFILIZACIÓN Y ATOMIZACIÓN**

Yishi Wu-Ng, María Benlloch-Tinoco<sup>1</sup>, Eva García-Martínez<sup>1</sup>, Nuria Martínez-Navarrete<sup>1</sup>.

## **RESUMEN**

Las nuevas tendencias de consumo, marcadas por la preferencia de los consumidores por los alimentos procesados saludables, listos para consumir y con características sensoriales que sean muy similares a las del producto fresco, hace que tecnologías como la liofilización y la atomización resulten cada vez más atractivas. Teniendo en cuenta estos aspectos, la posibilidad de comercializar fruta en polvo parece una alternativa interesante que podría satisfacer las exigencias de los consumidores, al mismo tiempo que fomentar su consumo. Sin embargo, un factor a tener presente en la obtención de frutas en polvo, dada su elevada higroscopicidad, es la necesidad de incorporar solutos de alto peso molecular con efecto antihumectante y antiapelmazante, a la vez que encapsulante. Seleccionar los solutos a añadir y su cantidad es especialmente relevante para asegurar la calidad y estabilidad del producto obtenido. En este estudio se ha evaluado el efecto de la adición de una mezcla de goma arábiga y carboximetilcelulosa, combinadas en distintas proporciones, sobre la calidad de kiwi en polvo obtenido mediante procesos de atomización y de liofilización. De acuerdo con los resultados obtenidos, ambas tecnologías permitieron obtener kiwi en polvo de alta calidad. El producto obtenido por atomización resultó ser menos higroscópico, más soluble y con menor humedad residual. Además esta tecnología aseguró una mejor preservación de las vitaminas y de la actividad antioxidante del kiwi. La adición de carboximetilcelulosa a concentraciones inferiores al 1,5% resultó ventajosa en cuanto a la estabilidad del polvo obtenido, respecto al empleo únicamente de goma arábiga.

**PALABRAS CLAVE:** fruta en polvo, carboximetilcelulosa, goma arábiga, fenoles, actividad antioxidante, higroscopicidad, vitaminas.

## **RESUM**

Les noves tendències de consum, marcades per la preferència dels consumidors pels aliments processats saludables, llestos per a consumir i amb característiques sensorials que siguen molt semblants a les del producte fresc, fa que tecnologies com la liofilització i l'atomització resulten cada vegada més atractives. Tenint en compte estos aspectes, la possibilitat de comercialitzar fruita en pols pareix una alternativa interessant que podria satisfer les exigències dels consumidors, alhora que fomentar el seu

consum. No obstant això, un factor a tindre present en l'obtenció de fruites en pols, donada la seua elevada higroscopicitat, és la necessitat d'incorporar soluts d'alt pes molecular amb efecte encapsulan-te, antihumectan-te i antiatapeïxen-te. Seleccionar els soluts a afegir i la seua quantitat és especialment rellevant per a assegurar la qualitat i estabilitat del producte obtingut. En este estudi es va evaluar l'efecte de l'addició de la goma aràbiga i la carboximetilcelulosa combinats en distintes proporcions, sobre la qualitat de kiwi en pols obtingut per mitjà de processos d'atomització i de liofilització. D'acort amb els resultats obtinguts, ambdós tecnologies van permetre obtindre kiwi en pols d'alta qualitat. Amb l'atomització es va obtindre kiwi en pols menys higroscòpic, més soluble i amb menor humitat residual. Esta tecnologia assegura una millor preservació de les vitamines i de l'activitat antioxidant del kiwi. L'addició de carboximetilcelulosa a concentracions inferiors al 1,5% resulta avantatjosa quant a l'estabilitat de la pols obtingut, respecte a l'ocupació únicament de goma aràbiga.

**PARAULES CLAU:** fruita en pols, carboximetilcelulosa, goma aràbiga, fenols, activitat antioxidant, higroscopicitat, vitamines.

## **ABSTRACT**

The new consumer trends, marked by consumer preference for healthy processed foods, ready to eat and sensory characteristics that are very similar to those of fresh product, makes technologies such as freeze-drying and spray-drying increasingly attractive. Considering these aspects, the marketability of fruit powder, seems an interesting alternative that could satisfy the demands of consumers, while encouraging consumption. However, a factor to consider in obtaining fruit powder due to its high hygroscopicity, is the need to incorporate high molecular weight solutes with encapsulating effect, anti-humectant and anti-caking agent. Select the solutes and the amount to be added is particularly important to ensure the quality and stability of the product. This study evaluated the effect of the addition of the gum arabic and carboxymethyl cellulose combined in various proportions, on the quality of kiwi powder obtained by spray-drying and freeze-drying processes. According to the results, both technologies allowed to obtain high-quality kiwi powder. Kiwi powder less hygroscopic was obtained with spray-drying, more soluble and less residual moisture. This technology also ensured a better preservation of the vitamins and antioxidant activity of kiwi. The addition of carboxymethyl cellulose to concentrations lower than 1.5% is advantageous in terms of stability of the powder obtained, with respect to the use of arabic gum only.

**KEYWORDS:** fruitpowder, carboxymethylcellulose, arabic gum, phenols, antioxidant capacity, hygroscopicity, vitamins.

---

<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.

## INTRODUCCIÓN

El kiwi es una fruta originaria del sur de China que se obtiene a partir de una planta trepadora cuyo cultivo con fines comerciales tuvo su origen en Nueva Zelanda en 1930, extendiéndose 40 años más tarde a otros países tales como Estados Unidos, Francia, Italia y Chile (Soufleros, 2001). Esta fruta destaca por sus buenas propiedades tanto organolépticas como nutricionales, en parte responsables de que los consumidores perciban al kiwi como un producto atractivo y apetecible (Antunes et al., 2010). Pese a que su composición puede variar considerablemente según la especie o genotipo (Hunter et al., 2010), en términos generales, presenta un elevado contenido en vitaminas (C y E), minerales (calcio, hierro, potasio y fósforo), azúcares (glucosa, fructosa y sacarosa), ácidos orgánicos (cítrico, quínico, málico, galacturónico, succínico, oxálico, etc.), compuestos aromáticos (ésteres, aldehídos, alcoholes y cetonas), fibras, compuestos fenólicos, carotenoides, clorofila y luteína (Beirão-da-Costa et al., 2008; Cassano et al., 2006; Du et al., 2009). Además, su capacidad antioxidante se considera elevada, comparable a la de frutas tropicales como mango, papaya y aguacate (Park et al., 2008).

Tanto los compuestos bioactivos como ciertos micronutrientes (vitaminas C y E) presentes en las frutas juegan un papel esencial en la prevención de ciertas enfermedades relacionadas con el daño oxidativo que sufren las células del organismo, dado su reconocido carácter antioxidante. En este sentido, un consumo regular de alimentos ricos en este tipo de compuestos, como es el caso del kiwi, comúnmente se asocia con efectos beneficiosos para la salud. De hecho, existen evidencias del uso de esta fruta con fines medicinales en las culturas asiáticas, para favorecer la digestión y el tránsito intestinal, gracias a su alto contenido en fibra, para aliviar el reumatismo, e incluso, para el tratamiento de ciertos tipos de cáncer (Hunter et al., 2010).

Pese a que resulta muy habitual el hecho de consumir frutas “al natural”, en las últimas décadas, parece ser cada vez más frecuente su ingesta en forma de derivados, tales como conservas, jaleas, zumos, néctares y otros productos procesados. Esta forma de consumo aumenta su disponibilidad a lo largo del año y permite aprovechar los excedentes de producción que, por diversos motivos, no pueden ser absorbidos por el mercado de consumo en fresco (Borrego et al., 1996; Elez-Martínez et al., 2006). Sin embargo, actualmente en el mercado de alimentos, la oferta disponible de productos elaborados a base de kiwi es escasa. Por otro lado, las nuevas tendencias de consumo vienen marcadas por la preferencia de los consumidores por los alimentos procesados, mostrándose muy exigentes al respecto, y solicitando productos estables, a la par que saludables, inoocuos y cuyas características sensoriales sean muy similares a las del producto fresco (“freshlike”) (Rémésy, 2004). Teniendo en cuenta estos aspectos, la posibilidad de comercializar fruta en polvo, particularmente kiwi, parece una alternativa interesante que podría satisfacer las exigencias de los consumidores, al mismo tiempo que fomentar el consumo de esta fruta, ya que podría

incorporarse como ingrediente a otros alimentos o consumirse directamente tras su reconstitución.

Por otro lado, en los últimos años, parece haberse despertado un interés en la industria por la aplicación de tecnologías que permitan obtener alimentos en polvo de gran calidad, como es el caso de la liofilización y atomización (Murrieta et al., 2012). La liofilización se basa en la eliminación del agua presente en un producto previamente congelado por sublimación, operación realizada normalmente en una cámara de vacío (Berk, 2009; Lin, 1995). Dado que este proceso se lleva a cabo a baja temperatura, se asegura una máxima conservación de las propiedades organolépticas, nutricionales y funcionales del alimento. De esta forma, al final del proceso, se obtiene un producto con estructura porosa, sin muestras de encogimiento y con una buena capacidad de rehidratación (Moraga et al., 2011). La liofilización, sin embargo, conlleva largos tiempos de proceso y elevados costes de producción, viéndose su aplicación, en el ámbito de la industria alimentaria, limitado a la obtención de productos de gran valor añadido (Berk, 2009).

El secado por atomización consiste en la eliminación del agua contenida en un alimento que se encuentre en forma de disolución, emulsión, suspensión o dispersión líquida, al ser éste bombeado a través del equipo y pulverizado en forma de partículas de muy reducido tamaño y posteriormente entrar en contacto con una corriente de aire caliente. Finalmente, en un recipiente o depósito se recoge un producto seco y estable (Miravet-Valero, 2009). Esta tecnología permite también obtener alimentos en polvo de gran calidad, ya que los cortos tiempos de residencia del alimento en el equipo, así como el efecto refrigerador asociado a la evaporación que tiene lugar, permiten minimizar las pérdidas de los compuestos termolábiles.

Al comparar ambas tecnologías, la atomización ofrece una serie de ventajas sobre la liofilización, tales como un menor tiempo de proceso y coste asociado, al igual que la obtención de partículas más uniformes y esféricas. Sin embargo, esta tecnología no se puede aplicar a alimentos de alta densidad y presenta una mayor dificultad a la hora de recuperar el polvo que la liofilización (Miravet-Valero, 2009). Un aspecto adicional a tener en cuenta a la hora de obtener frutas en polvo por atomización es su elevado contenido en azúcares y ácidos, responsables de la elevada higroscopicidad y pegajosidad del producto obtenido. Esto limita el proceso y hace necesaria la incorporación de vehículos favorecedores del mismo, como lo son algunos solutos de alto peso molecular con efecto encapsulante, antihumectante y antiapelmazante, tales como la goma arábiga y la carboximetilcelulosa. Estos solutos, además de mejorar la eficacia tecnológica del proceso, mejoran la estabilidad del producto obtenido frente a su humectación. Por ello, también es recomendable su incorporación para la obtención de frutas en polvo liofilizadas. La goma arábiga es un hidrocoloide producido por la exudación natural de los árboles de acacia y es un agente de encapsulación eficaz, debido a su alta solubilidad en agua y la baja viscosidad que desarrolla en disolución, en relación con otras gomas hidrocólicas (McNamee et al., 1998). Por otro lado, la carboximetilcelulosa se obtiene a

partir de celulosa natural por modificación química y se caracteriza por ser soluble en agua. Tiene la propiedad de mantener suspendidas, de manera homogénea, a las partículas, evitando la sedimentación y aumentando la viscosidad del producto al que se adiciona. Este soluto se utiliza como estabilizante por muchas razones, entre ellas, porque permite obtener alimentos con un amplio intervalo de viscosidades, forma geles que son estables a bajos pHs, minimiza la sinéresis y las “quemaduras por congelación” en los alimentos congelados y además porque se considera inocuo para el consumo, siendo la ingestión máxima recomendada 25 mg/kg al día (Castillo-Villanueva, 2012).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de una mezcla de solutos, compuesta por goma arábiga y carboximetilcelulosa, combinados en distintas proporciones, sobre algunos aspectos de la calidad del kiwi en polvo obtenido por procesos de atomización y de liofilización.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Preparación de las muestras**

Como materia prima se emplearon kiwis (*Actinida deliciosa* variedad Hayward) adquiridos siempre en el mismo supermercado de la ciudad de Valencia. La fruta seleccionada, se peló, lavó y se cortó en rodajas. Para la liofilización se partió de puré de fruta (P). Para ello el kiwi se trituró en una mezcladora eléctrica Thermomix (TM 21, Vorwerk, España) a velocidad 4 durante 1 minuto. Para el proceso de atomización se requirió la elaboración de licuado (L), para lo cual se empleó una licuadora (De' Longhi S.p.A. – 31100, Treviso, Italia).

Tanto al puré como al licuado se les añadieron solutos de alto peso molecular con capacidad antiapelmazante como aditivos para la obtención de los productos en polvo, en concreto, goma arábiga (GA) y carboximetilcelulosa (CMC) ambos suministrados por Alfa Aesar GmbH & Co KG (Zeppelinstrasse 7b, 76185 Karlsruhe, Germany). La adición de GA se planteó en un intervalo entre 13-15 g/100 g P ó L, teniendo en cuenta, que normalmente, según bibliografía, se añade en proporción a los sólidos solubles (°Brix) de la fase líquida del producto, manteniendo la relación: 1 kg de GA/1 kg de sólidos solubles (Mosquera et al., 2010 y 2011). Con la intención de evaluar el efecto de la adición de CMC, este soluto se incorporó en proporción 0-2 g/100 g P ó L. Como requisito se estableció que el total de sólidos procedentes de estos aditivos en el producto fuera 15%. De esta forma se consideraron las concentraciones de solutos que aparecen en la TABLA 1.

**TABLA 1.** Combinación de la concentración de solutos adicionada al licuado (L) o al puré (P) de kiwi previamente a la atomización y liofilización, respectivamente.

g CMC/100g L ó P	g GA/100g L ó P
0	15
0,5	14,5
1	14
1,5	13,5
2	13

## Procesado

### LIOFILIZACIÓN

Las muestras de puré de kiwi con solutos 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  $-86\text{ }^{\circ}\text{C}$  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  $-56,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , empleando para ello un liofilizador LioAlfa-6 (Telstar, España). 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. Las muestras en polvo obtenidas de esta manera se designaron como KL y se especificó la concentración de CMC añadida (0-2%).

### ATOMIZACIÓN

Según investigaciones previas, con fines tecnológicos al licuado se le añadió agua destilada para facilitar la atomización (1 g agua/1 g licuado). Los solutos GA y CMC se disolvieron previamente en el agua a adicionar en las concentraciones establecidas (TABLA 1) y finalmente se mezcló con el licuado, en agitación continua a temperatura ambiente.

Para la obtención del producto en polvo se utilizó un atomizador Büchi a escala de laboratorio (mini spray dryer B-290, Reino Unido). Se fijaron los siguientes parámetros según experiencias previas: caudal de entrada de producto 9 g/min, temperatura de entrada y salida del aire  $150^{\circ}\text{C}$  y  $90^{\circ}\text{C}$ , respectivamente, flujo de aspiración del aire del 90% y flujo de alimentación de la bomba peristáltica de 30%. El polvo resultante fue recogido, pesado y almacenado en las mismas condiciones que el producto en polvo liofilizado. Las muestras en polvo obtenidas de esta manera se designaron como KA y se especificó la concentración de CMC añadida (0-2%).

### REHIDRATACIÓN

La rehidratación de los productos en polvo liofilizados (KLR) y atomizados (KAR) 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 y 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 o en el licuado de kiwi después de la adición de solutos. Para calcular la cantidad de agua a añadir en cada caso se emplearon los correspondientes balances de materia (ecuaciones 1 y 2):

$$M_{PR} = M_p + M_w \quad (1)$$

$$M_{PR} \cdot X_{KS} = M_p \cdot X_p + M_w \cdot X_w \quad (2)$$

Siendo:  $M_{PR}$ =Masa final del producto en polvo rehidratado (g);  $M_w$ = Masa de agua (g);  $M_p$  = Masa de producto en polvo (g);  $X_{KS}$ = Humedad inicial de puré o licuado de kiwi con solutos (g agua/100g de producto);  $X_w=1$  (g agua/100g de producto);  $X_p$ = Humedad del producto en polvo (g agua/100g de producto)

## **Análisis**

Al producto en polvo, tanto liofilizado como atomizado, se le analizó la humedad, higroscopicidad, color, propiedades mecánicas, contenido en compuestos bioactivos, actividad antioxidante y solubilidad. A las muestras de puré y de licuado de kiwi y a los productos en polvo rehidratados 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. Además se les caracterizó su comportamiento reológico. Todos los análisis se realizaron por triplicado, en las 24h siguientes al procesado de las muestras, excepto la humedad que se determinó inmediatamente después del mismo. En los resultados se indica la media y la desviación estándar, La metodología empleada para los análisis se describe a continuación. Los resultados obtenidos se expresaron por g de sólidos totales de kiwi, con fines comparativos. Además, para el puré y el licuado de kiwi fresco se expresaron por 100 g de fruta fresca.

## **HUMEDAD**

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 mediante desecación de la misma en una estufa de vacío (Vacioterm, J.P. Selecta) a una temperatura de 60°C y  $p=10$ mm Hg, dejando secar hasta peso constante. Posteriormente y previo a cada pesada, las muestras se dejaron enfriar en un desecador con una base de sílica gel. La variación de peso se midió en una balanza METTLER AE 100 de precisión 0,1 mg.

## **SÓLIDOS SOLUBLES**

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).

## PROPIEDADES MECÁNICAS

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 mm de diámetro. Las muestras se depositaron en cápsulas de aluminio de 11 mm de diámetro y 5 mm de altura y se comprimió una distancia fija de 3 mm a una velocidad constante de 0,1 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).

## COLOR

Tras el análisis de las propiedades mecánicas, las muestras se extrajeron de las cápsulas de aluminio y se les midió el color con un fotocolorímetro Minolta CM 3600D (Minolta Co. Ltd., Japón). Se obtuvo el espectro de reflectancia y a partir de él los resultados se expresaron de acuerdo con el sistema CIEL\*a\*b\*, utilizando como referencia el iluminante D65 y observador 10°. 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 (37mm×50mm×22mm) 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 el tono ( $h^*_{ab}$ ) (Ec. 3) y la diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) (Ec. 4) entre las muestras obtenidas con los diferentes tratamientos, tanto en polvo como rehidratadas, y las muestras frescas correspondientes en cada caso (Maskan, 2001).

$$h^*_{ab} = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (3)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

## HIGROSCOPICIDAD

Para determinar la higroscopicidad ( $H_i$ ) del producto en polvo se siguió la metodología descrita por Cai y Corke (2000). Para ello se depositaron 2 g de muestra en polvo en una placa Petri y se colocaron, a temperatura ambiente, en una cámara que contenía una disolución saturada de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . 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.

## SOLUBILIDAD

La solubilidad del producto en polvo se evaluó a partir de la fracción másica del material disuelto (SD) (Ec. 5) en el producto rehidratado, parámetro empleado por diversos 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 rehidratado. Los ST se determinaron por secado en estufa de vacío (Vaciotem, J.P. Selecta, España) a 60 °C y p= 10 mm Hg durante 24 h. Para determinar los 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 Watman N° 1 y finalmente se sometió a las mismas condiciones de secado descritas para ST.

$$SD = \frac{SS}{ST} \quad (5)$$

## FENOLES TOTALES

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). La cuantificación de los fenoles totales se hizo a partir de la medida de la absorbancia a 765 nm, utilizando la correspondiente recta patrón obtenida utilizando disoluciones de diferente concentración de ácido gálico (Sigma-Aldrich). Para la medida de la absorbancia a 765 nm se utilizó un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA).

## VITAMINAS A Y E

Las vitaminas A (Vit. A) y E (Vit. 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 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.

## VITAMINA C

La vitamina C (Vit. C) se determinó sumando el contenido en ácido ascórbico (AA) y ácido dehidroascórbico (DHAA). El AA se determinó según la metodología descrita por Xu et al. (2008). El DHAA se redujo a AA usando el reactivo DL- ditiotreitól (Sigma-Aldrich), de acuerdo con Sánchez-Mata et al. (2000) y Sánchez-Moreno et al. (2003), y se procedió de nuevo al análisis del AA, obteniéndose así el contenido en Vit. C. La diferencia entre los dos valores proporciona el contenido en DHAA. Para la cuantificación del AA se empleó el mismo equipo HPLC y columna cromatográfica descrito anteriormente.

## ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

El potencial antioxidante total (AAO) de las muestras se evaluó empleando el método del DPPH (Puupponen-Pimiä et al., 2003) basado en la capacidad de las sustancias antioxidantes para captar radicales libres. Este ensayo se recomienda por distintos autores (Sánchez-Moreno et al., 2003; Villaño et al., 2007). Se midió la absorbancia a 517 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Los resultados se expresaron en % DPPH según la ecuación 6:

$$\%DPPH = \frac{A_{control} - A_{muestra}}{A_{control}} * 100\% \quad (6)$$

donde:

$A_{control}$  = absorbancia de la muestra a tiempo 0;  $A_{muestra}$  = absorbancia 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.

## REOLOGÍA

Los análisis reológicos se realizaron para todas las muestras atomizadas y liofilizadas rehidratadas, así como para el puré y el licuado. Se obtuvo la curva de flujo aplicando un barrido ascendente y descendente de gradiente de velocidad de 0 a 150 s<sup>-1</sup> (en 600 s) a 20°C, usando un reómetro rotatorio con un sensor del tipo Z34DIN Ti (HAAKE Rheostress 1, Thermo Electric Corporation, Alemania). Los resultados obtenidos se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele (ecuación 7).

$$\sigma = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (7)$$

donde:  $\sigma$  = variación del esfuerzo cortante;  $\dot{\gamma}$  = gradiente de velocidad ; k = índice de consistencia (Pa·s<sup>n</sup>); n = índice de comportamiento flujo.

## 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 del 5%, considerando para estos últimos un nivel de interacción máximo de orden dos. Para el cálculo de las constantes del modelo de Ostwald de Waele, se empleó un análisis de regresión no lineal basado en el método de estimación Levenberg-Marquardt.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de la materia prima

Los valores obtenidos para el puré y el licuado de kiwi empleados como materia prima en los procesos de liofilización y atomización, respectivamente, en cuanto a los distintos parámetros de calidad analizados se muestran en la TABLA 2. De acuerdo con los resultados obtenidos, el puré de kiwi presentó un contenido significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en cuanto a fenoles totales y vitaminas C y E que la muestra licuada, mientras que no se encontraron diferencias en cuanto al contenido en vitamina A y la actividad antioxidante. Además, como era de esperar, el puré mostró un valor de  $x_w$  significativamente ( $p < 0,05$ ) menor y unos °Brix significativamente ( $p < 0,05$ ) mayores. En general, todos los valores obtenidos fueron similares a los publicados por otros autores para esta fruta (Antunes et al., 2010; Carvallo y Lima, 2002; De Ancos et al., 1999; Fúster et al., 1994; Nishiyama et al., 2005). Por otro lado, también se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en todas las coordenadas de color obtenidas, pero no en el tono ( $h^*_{ab}$ ). Así, el licuado de kiwi presentó una mayor luminosidad que el puré. Estas diferencias pueden atribuirse al hecho de que durante el proceso de licuado, se elimina gran parte de la pulpa de esta fruta.

**TABLA 2.** Valor medio (desviación estándar) de la humedad ( $x_w$ , g agua/100g muestra); °Brix (g/100g fracción líquida), coordenadas de color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), fenoles totales (FT, mg ácido gálico/100g), vitamina C (vit. C, mg/100g), vitamina E (vit. E,  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), vitamina A (vit. A,  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) y actividad antioxidante (AAO, mM Trolox/100g) correspondientes al puré de kiwi (P) y al licuado (L).

	$x_w$	°Brix	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$h^*_{ab}$	FT	Vit. C	Vit. E	Vit. A	AAO
P	85,5 (0,3) <sup>a</sup>	11,80 (0,17) <sup>b</sup>	37,4 (1,1) <sup>a</sup>	-1,7 (0,3) <sup>b</sup>	21,9 (0,8) <sup>a</sup>	94,5 (0,7) <sup>a</sup>	18,2 (0,2) <sup>b</sup>	88 (8) <sup>b</sup>	2,34 (0,14) <sup>b</sup>	0,1558 (0,0006) <sup>a</sup>	419 (9) <sup>a</sup>
L	87,861 (0,011) <sup>b</sup>	10,97 (0,06) <sup>a</sup>	43,4 (0,4) <sup>b</sup>	-2,20 (0,05) <sup>a</sup>	25,3 (0,8) <sup>b</sup>	95,0 (0,1) <sup>a</sup>	16,48 (0,08) <sup>a</sup>	38 (4) <sup>a</sup>	1,7 (0,3) <sup>a</sup>	0,130 (0,012) <sup>a</sup>	544 (107) <sup>a</sup>

Las muestras se identificaron con letras distintas (a, b) cuando presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

### Caracterización del kiwi en polvo liofilizado y atomizado

Tras obtener los distintos productos en polvo considerados en el presente estudio, se determinó la calidad de los mismos a través de la evaluación de algunas propiedades físicas y fisicoquímicas así como su actividad antioxidante, fenoles totales y el contenido en las mismas vitaminas estudiadas en el kiwi fresco triturado y licuado. En la TABLA 3 se muestran los valores correspondientes a los distintos parámetros físicos y fisicoquímicos analizados en el kiwi liofilizado y atomizado con las distintas concentraciones de solutos consideradas.

La humedad de las muestras presentó diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) respecto a la concentración de solutos y a la tecnología empleada para la obtención del polvo. En términos generales, el proceso de liofilización dio lugar a muestras en polvo con mayor humedad. Si bien es cierto que ambas tecnologías resultan adecuadas para obtener productos altamente estables y con bajos niveles de humedad ( $\approx 2\%$ ) (Murrieta et al., 2012), teniendo en cuenta que en un proceso de liofilización a la temperatura a la que se ha llevado a cabo en este estudio, se elimina el agua previamente congelada por sublimación (Lin, 1995), la adición de solutos en las cantidades consideradas en el presente estudio podrían no favorecer el proceso de congelación, y por tanto, dar lugar a un producto con mayor humedad. Asimismo, la presencia de CMC, favoreció la eliminación de agua en ambos procesos, permitiendo obtener kiwi en polvo con una humedad significativamente ( $p < 0,05$ ) menor a la de la muestra con 15% GA.

**TABLA 3.** Valor medio (y desviación estándar) de humedad ( $x_w$ , g agua/100g), higroscopicidad ( $H_i$ , g agua/100 sólidos secos), coordenadas de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) y parámetro mecánico ( $F_{m\acute{a}x}$ , N/g) analizados en el kiwi en polvo atomizado y liofilizado a las distintas concentraciones de solutos consideradas.

Muestra	$x_w$	$H_i$	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$h^*_{ab}$	$F_{m\acute{a}x}$
KA 0%	1,94 (0,05) <sup>a4</sup>	54,06 (1,04) <sup>a2</sup>	90,0 (0,2) <sup>b1</sup>	-1,42 (0,03) <sup>b3</sup>	11,9 (0,3) <sup>b3</sup>	96,8 (0,3) <sup>b1</sup>	137 (47) <sup>a1</sup>
KA 0,5%	1,04 (0,13) <sup>a1</sup>	51,36 (1,07) <sup>a1</sup>	90,76 (0,06) <sup>b1</sup>	-2,34 (0,05) <sup>a1</sup>	11,7 (0,5) <sup>a1</sup>	101,4 (0,2) <sup>b2</sup>	215 (50) <sup>b2</sup>
KA 1%	1,311 (0,009) <sup>a2</sup>	51,3 (1,2) <sup>b1</sup>	91 (1) <sup>b1</sup>	-2,097 (0,06) <sup>a2</sup>	10,8 (0,8) <sup>a2</sup>	101 (1) <sup>b2</sup>	214 (46) <sup>b2</sup>
KA 1,5%	1,68 (0,03) <sup>a3</sup>	55 (2) <sup>b2</sup>	91,3 (0,2) <sup>b1</sup>	-2,10 (0,08) <sup>b2</sup>	10,72 (0,18) <sup>b2</sup>	101,1 (0,3) <sup>b2</sup>	183 (30) <sup>a12</sup>
KA 2%	1,30 (0,04) <sup>a2</sup>	53,8 (0,7) <sup>a12</sup>	89 (3) <sup>b1</sup>	-2,087 (0,104) <sup>b2</sup>	11,2 (0,4) <sup>b2</sup>	100,6 (0,9) <sup>b2</sup>	207 (26) <sup>b2</sup>
KL 0%	4,8 (0,8) <sup>b3</sup>	65 (9) <sup>a2</sup>	83,9 (0,3) <sup>a1</sup>	-1,79 (0,12) <sup>a4</sup>	18,1 (0,7) <sup>a4</sup>	95,6 (0,3) <sup>a1</sup>	199 (10) <sup>a3</sup>
KL 0,5%	4,3 (0,3) <sup>b12</sup>	52,4 (0,9) <sup>a1</sup>	84 (3) <sup>a1</sup>	-2,27 (0,15) <sup>a2</sup>	15,4 (0,4) <sup>a2</sup>	98,4 (0,6) <sup>a3</sup>	172 (11) <sup>a23</sup>

KL 1%	4,8 (0,7) <sup>b23</sup>	47,6 (0,2) <sup>a1</sup>	85,4 (0,4) <sup>a1</sup>	-2,08 (0,06) <sup>a3</sup>	17,6 (0,2) <sup>a3</sup>	96,7 (0,3) <sup>a2</sup>	97 (20) <sup>a1</sup>
KL 1,5%	3,8 (0,4) <sup>b1</sup>	51 (2) <sup>a1</sup>	84,36 (0,05) <sup>a1</sup>	-2,58 (0,05) <sup>a1</sup>	18,4 (0,4) <sup>a1</sup>	98,00 (0,02) <sup>a3</sup>	145 (24) <sup>a2</sup>
KL 2%	4 (1) <sup>b1</sup>	62 (16) <sup>b3</sup>	84,11 (1,04) <sup>a1</sup>	-2,61 (0,04) <sup>a1</sup>	18,080 (0,105) <sup>a1</sup>	98,2 (0,1) <sup>a3</sup>	143 (30) <sup>a2</sup>

Superíndices: números diferentes (1,2,3,4,5) indican un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de la concentración de solutos para cada tecnología de procesado; letras diferentes (a,b) indican un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) de la tecnología de procesado considerando todas las muestras en conjunto.

La higroscopicidad de los productos en polvo presentó diferencias significativas en cuanto a los dos factores considerados (soluteo y tecnología), siendo significativa la interacción entre ambos. La adición de CMC a bajas concentraciones (<1,5 % en el caso de las muestras atomizadas ó del 2 % en el de las liofilizadas) conllevó una reducción de la higroscopicidad, respecto a la muestra que contenía exclusivamente GA. A esas concentraciones de CMC, la higroscopicidad de ambos tipos de productos no presentó diferencias significativas, mientras que en ausencia o con la máxima concentración de CMC, el producto liofilizado se mostró más higroscópico que el atomizado. La higroscopicidad se considera un parámetro de calidad importante que se relaciona con la estabilidad de los productos en polvo (Bhandari et al., 1998). Desde este punto de vista, la adición de pequeñas cantidades de CMC puede favorecer la calidad del producto, siendo menos susceptible a la ganancia de agua y, por tanto, a sufrir problemas de pegajosidad y apelmazamiento.

En cuanto a las coordenadas de color obtenidas, la coordenada L\* mostró diferencias significativas, exclusivamente, en cuanto a la tecnología empleada en la obtención del producto en polvo ( $p < 0,05$ ). Tal y como era de esperar, las muestras atomizadas resultaron ser más luminosas que las liofilizadas a todas las concentraciones de CMC estudiadas. Cabe tener en cuenta que la materia prima empleada para el proceso de atomización y liofilización, kiwi licuado y puré de kiwi, respectivamente, ya presentaba diferencias en este sentido en cuanto a la luminosidad (TABLA 2). En lo que a las coordenadas a\* y b\* y al tono se refiere, se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto a la concentración de solutos, la tecnología empleada y la interacción entre ambos factores. En términos generales, valores del tono comprendidos entre 90°-180° se asocian con tonalidades verde-amarillentas. El tono del producto en polvo liofilizado resultó ser más semejante al del producto fresco. El proceso de atomización conlleva una exposición del alimento a elevadas temperaturas, por lo que, cabe esperar mayores variaciones en el color del producto (Masters, 2002).

Por otro lado, la sustitución de GA por CMC implicó la obtención de productos en polvo con mayor ángulo de tono, dando lugar a productos con una tonalidad más verdosa. De acuerdo con Concha-Valencia et al. (2002), la adición de solutos influye marcadamente en el color del producto en polvo obtenido, especialmente en términos de luminosidad. El uso de GA suele relacionarse, además, con cambios en la coordenada b\*. En este caso, la

comparación con los productos antes de procesar confirma la disminución de esta coordenada  $b^*$  por efecto del soluto.

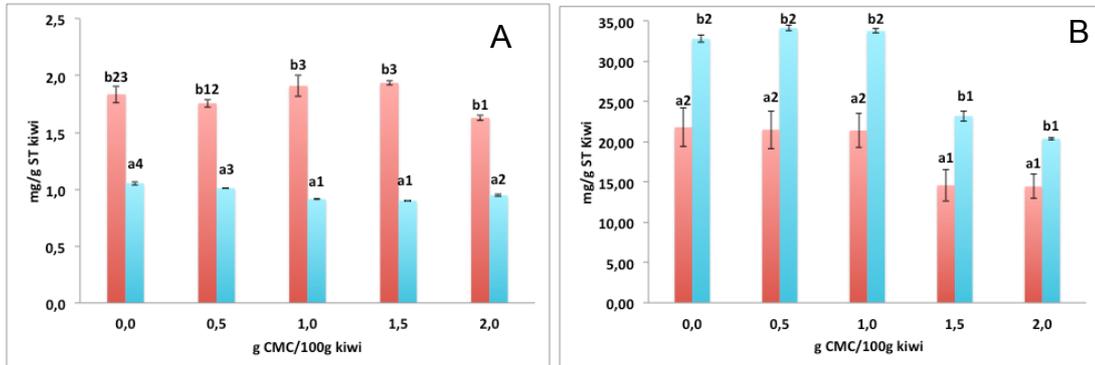
En cuanto a las propiedades mecánicas del producto, los valores de  $F_{max}$  obtenidos a partir del ensayo de compresión realizado, mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en cuanto a la concentración de solutos, la tecnología empleada y la interacción de ambos factores. El valor de fuerza máxima ha sido propuesto por otros autores (Telis y Martínez-Navarrete, 2010) como un parámetro adecuado para evaluar la calidad de los productos en polvo, considerándose que el valor de  $F_{max}$  necesario para comprimirlo es elevado cuando el producto está suelto, y por tanto, en estado vítreo, y disminuye considerablemente cuando al pasar a estado gomoso, cuando comienza apelmazarse. De acuerdo con este criterio, los resultados obtenidos en el presente estudio indicaron que, en general, la atomización dio lugar a un producto más suelto que la liofilización. Por otro lado, la relación existente entre las propiedades mecánicas de los productos en polvo y la incorporación de solutos como goma arábica y maltodextrina con efecto antiapelmazante ha sido descrita por otros autores (Mosquera et al., 2010). A la vista de los resultados obtenidos, la incorporación de CMC, independientemente de su concentración (0,5-2%), conllevó un aumento de la  $F_{max}$  necesaria para comprimir el polvo atomizado, es decir, dio lugar a un producto más suelto, presentando justo el efecto contrario en el producto liofilizado. Este comportamiento podría atribuirse a los diferentes niveles de humedad alcanzados en las muestras tras los procesos de liofilización y atomización. Según estos resultados, mientras que el producto atomizado se encontraría en estado vítreo a la temperatura a la que se hizo el ensayo mecánico, el liofilizado estaría gomoso.

Por otro lado, en relación con la solubilidad de los productos obtenidos, en general, el proceso de atomización dio lugar a productos en polvo significativamente ( $p < 0,05$ ) más solubles que la liofilización, oscilando los valores de SD entre 0,935-0,954 y 0,784-0,903, respectivamente. En ningún caso la adición de CMC modificó la solubilidad del producto respecto al producto sólo con GA.

Por su parte, la FIGURA 1 muestra el contenido en fenoles totales y el valor de actividad antioxidante correspondientes a las muestras de kiwi liofilizado y atomizado con distintas concentraciones de solutos. En lo que al contenido en fenoles totales se refiere, se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto al tipo de proceso, la concentración de solutos y la interacción entre ambos factores. Tal y como era de esperar, debido a las diferencias observadas en la materia prima de partida en cada proceso (TABLA 2), el contenido en FT del producto liofilizado resultó ser mayor al del atomizado en todo el intervalo de concentración de CMC considerado (0-2%). Por otro lado, la sustitución de GA por CMC conllevó un descenso significativo del contenido en FT en el producto atomizado, mientras que, en términos generales, la adición de este soluto no afectó al contenido en FT del kiwi en polvo liofilizado.

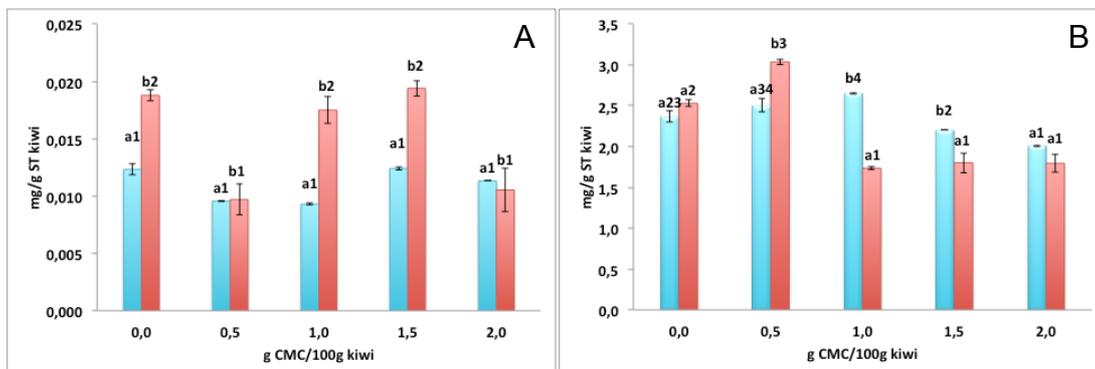
La actividad antioxidante, parámetro de calidad de importante en las frutas procesadas (Beekwilder et al., 2005; Lu et al., 2011), mostró diferencias significativas en cuanto a la concentración de solutos y la

tecnología empleada ( $p < 0,05$ ). También en consonancia con la materia prima inicial empleada en cada tipo de procesado (TABLA 2), el kiwi en polvo atomizado presentó mayor AAO que el polvo liofilizado. Por otro lado, la sustitución de GA por CMC supuso una menor AAO.



**FIGURA 1.** Valores medios y desviación estándar del contenido en fenoles totales (A) y actividad antioxidante (B) correspondientes a kiwi liofilizado (■) y kiwi atomizado (■) con diferentes concentraciones de solutos. Al evaluar el efecto de la concentración de solutos para cada tecnología de procesado y tecnología de procesado considerando todas las muestras en conjunto, las muestras se identificaron con diferentes números (1,2,3,4,5) y letras (a,b) cuando presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), respectivamente.

La FIGURA 2 presenta el contenido en Vitaminas E y C de las muestras en polvo liofilizadas y atomizadas en función del porcentaje de CMC adicionado. En general, el producto liofilizado mostró un contenido en Vit. E significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) que el atomizado a cualquiera de las concentraciones de CMC (0-2%) estudiadas. Esto hecho puede ser consecuencia de las diferencias existentes entre el puré y el licuado de kiwi empleados como materia prima para dichos procesos (TABLA 2). El contenido en vitamina E del kiwi atomizado no mostró cambio alguno como consecuencia del uso de CMC (0-2%), mientras que su efecto en el liofilizado no fue claro.



**FIGURA 2.** Valores medios y desviación estándar del contenido en vitaminas E (A) y C (B) correspondientes a kiwi atomizado (■) y kiwi liofilizado (■) con diferentes concentraciones de solutos. Al evaluar el efecto de la

concentración de solutos para cada tecnología de procesado y tecnología de procesado considerando todas las muestras en conjunto, las muestras se identificaron con diferentes números (1,2,3,4,5) y letras (a,b) cuando presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), respectivamente.

En lo referente a la vitamina C, no se observó ninguna tendencia clara en cuanto al efecto de la tecnología empleada ni de la concentración de solutos en su contenido. En ambos productos en general, la adición de CMC en concentraciones inferiores al 1 % , implicó obtener un producto en polvo con mayor contenido en Vit. C que la muestra que contenía sólo GA. Sin embargo, a concentraciones mayores del 1% supuso una reducción significativa del contenido de esta vitamina.

### **Rehidratación**

Tras rehidratar el producto en polvo, tanto aquel procedente de la liofilización como de la atomización, hasta alcanzar la misma humedad que la propia del kiwi fresco con la combinación de solutos correspondiente, se caracterizaron las muestras rehidratadas en cuanto a los distintos compuestos bioactivos, actividad antioxidante, así como su comportamiento reológico.

En cuanto al análisis del comportamiento reológico, el puré mostró unos valores de K y n de 13 (2) Pa·s<sup>n</sup> y 0,12 (0,03), respectivamente, mientras que los valores obtenidos para el licuado para estas constantes fueron de 2,00 (0,03) y 0,136 (0,003). Los valores de los parámetros del modelo de Ostwald de Waele, los correspondientes al coeficiente de regresión ajustado ( $R^2$ -aj) y la raíz cuadrada media del error estándar (RMSE) obtenido para las diferentes muestras rehidratadas se muestran en la TABLA 4.

Los valores del índice de comportamiento al flujo menores que la unidad confirman el carácter pseudoplastico de las muestras (Mechetti et al., 2011). El mayor valor de K obtenido para el puré confirma su mayor viscosidad comparado con el licuado. En los dos casos, como consecuencia de la adición de GA y del procesado, K disminuyó y n aumentó. Otros autores han encontrado una relación entre la adición de GA con diversos cambios en el comportamiento reológico de determinados fluidos, de forma que, la presencia de este soluto disminuye la viscosidad y aumenta el índice de comportamiento al flujo del producto (Ibano, 2002). Este aumento en n fue más acentuado en las muestras atomizadas rehidratadas, obteniendo valores cercanos a 1. Esto implicaría que el comportamiento de KAR a todas las concentraciones de solutos, se aproximaría al de un producto newtoniano. Por otro lado, una mayor concentración de CMC afectó principalmente a K, siendo mayor el índice de consistencia del producto (KAR y KLR) a mayor concentración de CMC, de acuerdo con lo establecido por Sahin y Ozdemir (2004) y Bayarri et al. (2009).

**TABLA 4.** Parámetros del modelo de Ostwald de Waele (K, n), error estándar (entre paréntesis) correspondiente a las muestras rehidratadas del producto en polvo atomizado y liofilizado.

CMC	KAR					KLR				
	0%	0,5%	1%	1,5%	2%	0%	0,5%	1%	1,5%	2%
K	0,03474 (0,00007)	0,03169 (0,00005)	0,03803 (0,00006)	0,04400 (0,00006)	0,04486 (0,00007)	3,8 (0,2)	4,3 (0,2)	3,5 (0,2)	6,1 (0,3)	7,2 (0,3)
n	0,9554 (0,0005)	0,9692 (0,0004)	0,9846 (0,0004)	0,9841 (0,0004)	0,9844 (0,0004)	0,434 (0,014)	0,443 (0,013)	0,52 (0,02)	0,454 (0,013)	0,468 (0,011)
R <sup>2</sup> -aj.	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,915	0,931	0,935	0,936	0,952
RMSE	0,000007	0,000005	0,000007	0,000008	0,000008	2,8076	3,2463	4,5230	6,5583	7,6218

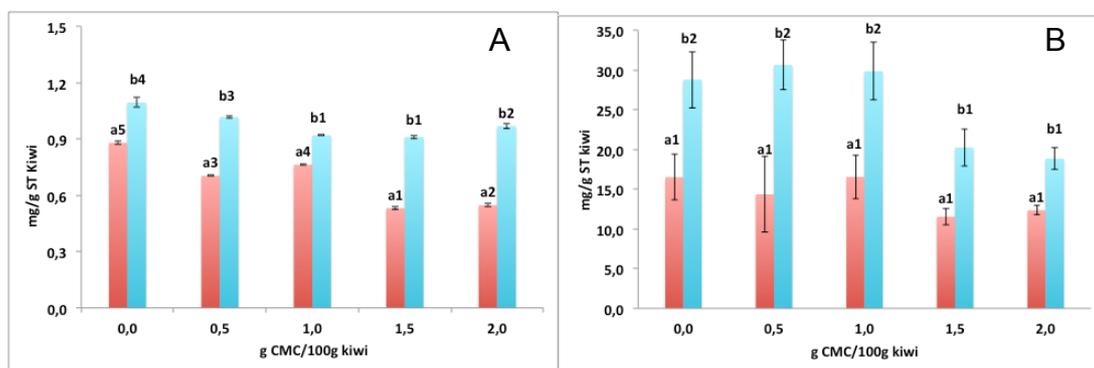
K: índice de consistencia (Pa·s<sup>n</sup>)

n: índice de flujo

R<sup>2</sup>-aj.: Coeficiente de regresión ajustado

RMSE: Raíz cuadrada media del error

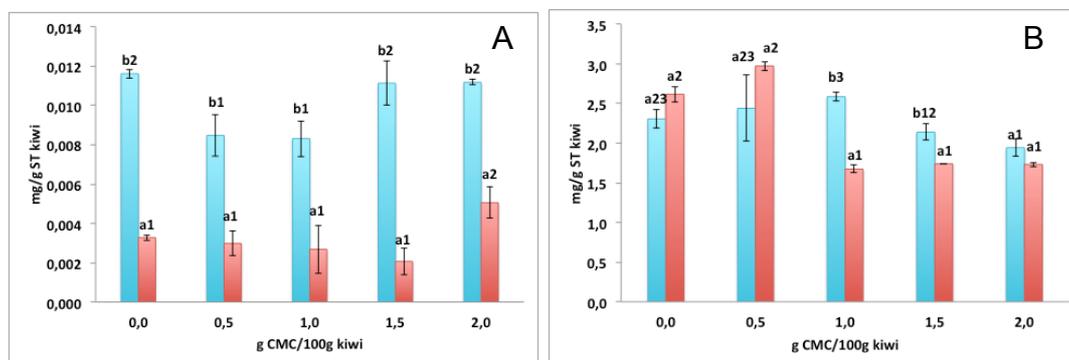
El contenido en FT y la AAO de las muestras en polvo liofilizadas y atomizadas rehidratadas con diferentes concentraciones de CMC se muestran en la FIGURA 3, respectivamente. La Vit. C y la Vit E se muestran en la FIGURA 4, respectivamente. El análisis estadístico realizado mostró la existencia de diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en todos los casos respecto al tipo de tecnología y la concentración de solutos, siendo además su interacción también significativa en el caso los FT y vitaminas C y E.



**FIGURA 3.** Valores medios y desviación estándar del contenido en FT (A) y AAO (B) correspondientes a kiwi liofilizado rehidratado (■) y kiwi atomizado rehidratado (■) con diferentes concentraciones de solutos. Al evaluar el efecto de la concentración de solutos para cada tecnología de procesamiento y tecnología de procesamiento considerando todas las muestras en conjunto, las muestras se identificaron con diferentes números (1,2,3,4,5) y letras (a,b) cuando presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), respectivamente.

En todos los casos el contenido en FT, Vit. E y la AAO fue mayor en las muestras KAR. Por otro lado, se observó que la sustitución de GA por CMC parece disminuir tanto el contenido de los FT como de la Vit. C en ambos tipos de productos rehidratados, mientras que no afectó a la estabilidad de la

Vit. E. La adición de CMC a concentración mayor del 1% disminuyó exclusivamente la AAO de las muestras KAR.



**FIGURA 4.** Valores medios y desviación estándar del contenido en Vit. E (A) y Vit. C (B) correspondientes a kiwi atomizado rehidratado (■) y kiwi liofilizado rehidratado (■) con diferentes concentraciones de solutos. Al evaluar el efecto de la concentración de solutos para cada tecnología de procesado y tecnología de procesado considerando todas las muestras en conjunto, las muestras se identificaron con diferentes números (1,2,3,4,5) y letras (a,b) cuando presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), respectivamente.

Al comparar la calidad funcional y la calidad en términos de color de las muestras liofilizadas y atomizadas rehidratadas, a todas las concentraciones de solutos estudiadas, con el puré y el licuado de kiwi, respectivamente, es posible observar que se produjeron pérdidas estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en todos los compuestos bioactivos estudiados, así como en la actividad antioxidante, como consecuencia de los procesos aplicados. Las variaciones observadas debidas al proceso en el contenido en FT, vitaminas C y E y AAO oscilaron entre 19-33%, 17-38%, 40-57% y 32-58% para KAR y 30-58%, 50-72%, 56-82% y 43-60% para KLR. A la vista de estos resultados, las mayores pérdidas se produjeron en el producto obtenido mediante liofilización, lo cual podría estar indicando una mayor sensibilidad de los compuestos bioactivos estudiados y de su capacidad antioxidante a la congelación previa a la liofilización que a las altas temperaturas de la atomización. Las vitaminas E y C resultaron ser los compuestos que más se perdieron durante ambos procesos. En ambas tecnologías las pérdidas de compuestos bioactivos repercutieron en la AAO de los productos.

Además, todos los productos rehidratados mostraron un color más pardo que el puré o el licuado, en cada caso, dando lugar a unas diferencias de color con respecto al licuado y al puré kiwi, respectivamente, que oscilaron entre 11-12 para KAR y 4-7 para KLR.

## CONCLUSIONES

Las dos tecnologías planteadas en el presente estudio permitieron obtener kiwi en polvo de alta calidad. Por un lado, con la atomización se

obtuvo un producto en polvo menos higroscópico, más soluble, con menor humedad residual y se aseguró una mejor preservación de las vitaminas y de la actividad antioxidante del kiwi. No obstante, la etapa previa de licuado implicó una reducción de gran parte de los compuestos estudiados. En consecuencia la calidad nutritiva y funcional del producto liofilizado fue mejor. Por otro lado, la adición de carboximetilcelulosa no supuso ninguna mejora perceptible de la calidad funcional del polvo obtenido utilizando sólo goma arábica, independientemente de la tecnología empleada. Sin embargo, añadida en una concentración inferior al 1,5% (p/p), permitió reducir la higroscopicidad y la humedad del producto, respecto al polvo que sólo contenía goma arábica. La presencia de este soluto aumentó el índice de consistencia del producto rehidratado, siendo así más semejante al producto fresco.

## REFERENCIAS

- 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.
- Bayarri, S.; Gonzáles-Tomás, L.; Costell, E. 2009. Viscoelastic properties of aqueous and milk Systems with carboxymethyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 23 (2), 441-450.
- 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.
- 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.
- Beirão-da-Costa, S.; Cardoso, A.; Martins, L. L.; Empis, J.; & Moldão-Martins, M. (2008). The effect of calcium dips combined with mild heating of whole kiwifruit for fruit slices quality maintenance. *Food Chemistry*, 108, 191-197.
- Benzie, I.F.F.; Strain, J.J. 1999. Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. *Methods in Enzymology*, 299: 15-27.
- Berk, Z. 2009. *Food Process Engineering and Technology*. Elsevier Inc, 511.
- Borrego, M.M.; Ángulo, R.; Costaber, I.; Jodral, M.; Serrano, S. 1996. *Alimentaria*, Octubre (96): 19-27.
- Cai, Y.Z. & Corke, H. 2000. Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65 (7):1248–1252.
- Carvalho, A.V.; Lima, L.C.O. 2002. Quality of kiwis minimally processed and treated with ascorbic acid, citric acid and calcium chloride. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37: 679-685.
- 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.
- Castillo-Villanueva, W. 2012. Efecto de la dilución y concentración de carboximetilcelulosa sódica en la estabilidad y aceptación general de néctar de membrillo (*Cydonia oblonga* L.). Proyecto de fin de carrera. Universidad Nacional de Trujillo.
- Concha-Valencia, J.; Guevara-Pérez, A.; Araujo-Vargas, M. 2002. Obtención de polvo de papaya de monte (*Carica pubescens*) por atomización.
- De Ancos, B.; Gonzáles, E.; Cano, M.P. 1999. Differentiation of raspberry varieties according to anthocyanin composition. *European Food Research and Technology*, 208:33-38.
- 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.

- Elez-Martinez, P.; Aguilo-Aguayo, I.; & Martin-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.
- 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.
- Hunter, D.; Skinner, M.; Ferguson, R.; Stevenson, L. 2010. *Bioactive Foods in Promoting Health: Fruits and Vegetables*. The New Zealand Institute for Plant & Food Research Ltd, Auckland, New Zealand.
- Ibano glu, E. 2002. Rheological behaviour of whey protein stabilized emulsions in the presence of gum arabic *Journal of Food Engineering* 52:273-277.
- 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.
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 177-182.
- Masters, K. 2002. *Spray drying in practice*. Ed. SprayDyConsult International ApS, Charlottenlund, Denmark.
- McNamee, B.; O'Riordan, D.; O'Sullivan, M. 1998. Emulsification and Microencapsulation Properties of Gum Arabic. *J. Agric. Food Chem* 46, 4551-4555.
- Mechetti, M.; Gómez-López, A.; Balella, A. 2011. Propiedades Reológicas de Helados de Caña de Azúcar.
- 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.
- Miravet-Valero, G. 2009. Secado por Atomización de zumo de granada. Tesis de Máster. Universidad Politécnica de Cartagena.
- 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.; Moraga, G.; Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borjón (*Borjón patinoi* Cuatrec.) powder. *J. Food Eng.* 97 (1): 72–78.
- Munzuroglu, O.; Karatas, F.; Geckil, H. 2003. The vitamin and selenium contents of apricot fruit of different varieties cultivated in different geographical regions. *Food Chemistry*, 83: 205-212.
- Murrieta-Pazos, I.; Gaiani, C.; Galet, L.; Calvet, R.; Cuq, B.; & Scher, J. 2012. Food powders: Surface and form characterization revisited. *Journal of Food Engineering*, 112, 1-21.
- 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.
- Puupponen, P.; Hakkinen, S.; Aarni, M.; Suortti, T.; Lampi, A.; Euro, M.; Piironen, V.; Nuutila, A.; Oksman-Caldentey. 2003. Blanching and longterm freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 83: 1389-1402.
- Rémésy, Christian. 2004. *Alimentación y salud*. Siglo xxi editores, s. a. 107 pp.
- Sahin, H.; Ozdemir, F. 2004. Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. *Food Hydrocolloids* 18: 1015-1022
- Sánchez-Mata, M. C.; Cámara-Hurtado, M.; Díez-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.

- 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.
- Selvendran, R.R.; Ryden, P. 1990. Methods in plant biochemistry. En: P.M.Dey (Ed.), *Carbohydrates*. vol.2., Academic Press, London, 549.
- 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.
- 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. *Food Science and Technology*, 43 (9): 744–75.
- 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.
- 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.