

INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE SOLUTOS DE ALTO PESO MOLECULAR EN LA CALIDAD DE FRESA EN POLVO OBTENIDA POR ATOMIZACIÓN

Tania Cabanes-Vicedo, María Benlloch-Tinoco¹, Eva García-Martínez¹.

RESUMEN

La creciente demanda por parte de los consumidores de productos saludables y listos para el consumo hace que tecnologías como la atomización, resulten interesantes. En este sentido, la posibilidad de comercializar fresa en polvo parece una alternativa a considerar, ya que podría satisfacer las exigencias de los consumidores, al mismo tiempo que fomentar su consumo más allá de su estacionalidad. Por otro lado, un factor a tener presente en la obtención de fruta en polvo es la elevada higroscopicidad que presentan este tipo de productos, siendo necesario la incorporación de solutos de alto peso molecular con efecto encapsulante, antihumectante y antiapelmazante. Seleccionar los solutos y su cantidad es especialmente relevante para asegurar la estabilidad y calidad del producto obtenido. En el presente estudio se evaluó el efecto de la adición de mezclas de goma arábiga, almidón derivatizado con octenil succinato y proteína de suero lácteo, sobre la calidad de fresa en polvo obtenida mediante la atomización. Se empleó un diseño de experimentos para seleccionar la formulación óptima. Se observó que la incorporación de 0,17 g de goma arábiga /g sólidos solubles de fresa y un 0,09 g de proteína del suero lácteo/g sólidos solubles de fresa, resultó ser la mezcla de solutos que permitió maximizar la actividad antioxidante, el contenido de flavonoides y fenoles totales del polvo, al mismo tiempo que minimizar la humedad del mismo y la diferencia de color entre el producto rehidratado y el licuado de fresa fresco.

Palabras clave: fresa, encapsulación, goma arábiga, almidón, proteína de suero lácteo, optimización, compuestos bioactivos.

RESUM

La creixent demanda per part dels consumidors de productes saludables i apunt per al seu consum fa que tecnologies com l'atomització, resulten interessants. En aquest sentit, la possibilitat de comercialitzar maduixa en pols pareix una alternativa a considerar, ja que podria satisfer les exigències dels consumidors, al mateix temps que fomenta el seu consum més enllà de la seua estacionalitat. Per altra banda, un factor a tindre present en la obtenció de fruita en pols es la elevada higroscopicitat que presenta este

tipus de productes, sent necessari la incorporació de soluts d'alt pes molecular amb efecte encapsulant, antihumectant i antiapelmazant. Seleccionar els soluts i la quantitat és especialment rellevant per assegurar la estabilitat i qualitat del producte obtingut. En el present estudi es va evaluar l'efecte de l'adició de mescles de goma aràbiga, midó derivatitzat amb octenil succinat i proteïna de sèrum lacti, sobre la qualitat de maduixa en pols obtinguda mitjançant l'atomització. S'utilitzà un disseny d'experiments per seleccionar la formulació òptima. És va observar que la incorporació de 0,17 g de goma aràbiga/g sòlids solubles de maduixa i 0,09g de proteïna del sèrum lacti/g sòlids solubles de maduixa, va resultar ser la mescla de soluts que va permetre maximitzar la activitat antioxidant, el contingut de flavonoides i fenols totals del pols, al mateix temps que minimitzava la humitat del mateix i la diferencia de color entre el producte rehidratat i el líquat de maduixa fresca.

Paraules claus: maduixa, encapsulació, goma aràbiga, midó derivatitzat amb octenil succinat, proteïna de sèrum lacti, optimització.

ABSTRACT

The growing demand of consumers for healthy products and ready for consumption ago that technologies as spray-drying, are interesting. In this direction, the possibility of market powder strawberry seems an alternative to consider, as it could satisfy requirements of consumers, at the some time that promote it is consumer beyond seasonality. On the other hand, a factor to keep in mind in fruit powder obtained it is the hygroscopicity high that presents this type of product, still necessary the incorporation the solutes of higher molecular weight with effect encapsulant, antihumectante and antiblocking. Solute and select your quantity is particularly relevant to ensure the stability and quality of the product obtained. In the present study it was evaluated addition mixtures effect of Arabic gum, derivatited with octenyl succinate starch and whey protein on the quality of strawberry powder obtained by spray-drying. A design of experiments was used to select the optimal formulation. It was observed that the addition of 0,17 g of gum/g strawberry soluble solids and 0,09 g whey protein/g soluble solids strawberry proved solute mixture allowed maximize antioxidant activity flavonoid content and total phenolic powder, while minimizing moisture therefrom and the color difference between the rehydrated product and liquefied fresh strawberry .

Keywords: strawberry, encapsulation, gum arabic, derivatized with octenyl succinate starch, whey protein optimization.

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

INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de fruta en la actualidad está por debajo de los niveles mínimos recomendados por la OMS. Sin embargo, la fruta es un alimento de excelentes características y cualidades organolépticas, por su riqueza en vitaminas, fibra, sustancias antioxidantes, minerales y otros compuestos beneficiosos para la salud. Estudios epidemiológicos de la FAO confirman la relación inversa entre el consumo de fruta y la incidencia de enfermedades cardiovasculares, cáncer y enfermedades degenerativas (FAO, 2003).

La fresa es una fruta no-climatérica, de una estacionalidad muy marcada, su recolección se centra en los meses de primavera, por lo que la posibilidad de comerla fresca se reduce a un periodo de 3 meses. Tras la recolección presenta una vida útil corta, siendo importante el conocimiento de los principales aspectos influyentes sobre su deterioro. Su textura suave favorece el reblandecimiento debido a la pérdida de turgencia, degradación del almidón y otras modificaciones químicas de la pared celular. También tiene facilidad para sufrir descomposición por la presencia de hongos (Ali et al., 2004; Pérez et al., 2001; Shin et al., 2007).

La fresa es una fruta muy apreciada y popular, tanto por sus propiedades organolépticas, como por su agradable sabor y por su valor nutricional. En términos generales se considera rica en vitaminas, minerales (calcio, potasio, magnesio) y fibra, además de contener otros compuestos bioactivos como ácidos fenólicos y flavonoides, con alto poder antioxidante (Seeram et al., 2006; Ubeda et al., 2012; Giampieri et al., 2012; Mehmet et al., 2007). En general, las frutas rojas, presentan mayor poder antioxidante que por ejemplo, los cítricos o el kiwi, debido a su alto contenido en polifenoles, en particular en antocianinas (Proteggente et al., 2002). Existen estudios que relacionan estas propiedades saludables de la fresa con la prevención de enfermedades cardiovasculares, cancerígenas y enfermedades neurodegenerativas (Olsson et al., 2006; Hannum, 2004).

Debido a que su disponibilidad es limitada por la marcada estacionalidad de su cultivo, una alternativa a su consumo en fresco, es en forma zumo, mermelada o puré, entre otros. El procesado de la fresa permite alargar su vida útil, además de obtener productos transformados con propiedades organolépticas diferentes a las del producto en fresco pero apreciadas por los consumidores. La industria de alimentos ha incorporado una gran variedad de tecnologías y procesos para ofrecer al consumidor productos derivados de frutas que permitan prolongar su vida útil. Sin embargo en muchos casos, los productos transformados poseen propiedades organolépticas, nutritivas y funcionales diferentes a las del producto en fresco.

En los últimos años, una gran cantidad de productos alimentarios se han desarrollado y comercializado en forma de polvo (Cuq et al., 2011). Se trata de productos de gran interés para la industria alimentaria por ser estables química y microbiológicamente, por la reducción de costes que ofrecen en el transporte y por su fácil manejo y manipulación (Forny et al., 2011). Dichos productos pueden tratarse como productos finales listos para su consumo, o

utilizarse en procesos de transformación de alimentos (Cuq et al., 2011). Para llevar a cabo la elaboración de productos en polvo, se pueden emplear diversas técnicas de deshidratación como la atomización o secado por aspersión.

El secado por atomización es una técnica de eliminación de agua que permite obtener productos de muy alta calidad, sobretodo en alimentos sensibles al calor (Leandro et al., 2007). Se requiere partir de alimentos líquidos que se pulverizan en presencia de aire a alta temperatura, consiguiendo una evaporación muy eficiente del agua del producto en tiempos muy cortos. En este sentido, su efecto sobre los compuestos volátiles responsables del aroma, flavor, color y valor nutricional es mínimo (Woun et al., 2011). Sin embargo, la presencia de ácidos orgánicos y azúcares en las frutas, dificultan este proceso, debido a su alta higroscopicidad y termoplasticidad en condiciones de alta temperatura y humedad (Huang et al., 2009; Jittra et al., 2009). El uso de algunos aditivos mejora el rendimiento del proceso, así como la estabilidad del producto obtenido. En los últimos tiempos, la búsqueda de nuevos compuestos con propiedades encapsulantes, capaces de actuar como barrera frente a la adsorción de agua, disminuyendo la velocidad de hidratación ha sido objeto de estudio. En general, estos compuestos poseen buena solubilidad, permiten mantener las características del producto inicial, al evitar la oxidación y volatilización de los compuestos responsables del flavor, preservar los lípidos, las vitaminas, los minerales, colorantes y ácidos (Borrmanna et al., 2013). No obstante, la decisión en el uso de uno u otro aditivo depende, además de la naturaleza del mismo, de su capacidad para asociarse con la matriz de origen y de su efecto en la calidad del producto final. Algunos de los solutos de alto peso molecular, con efecto encapsulante, antihumectante y antiapelmazante que pueden mejorar la estabilidad del producto y la eficacia tecnológica de los procesos, son la goma arábica, el almidón derivatizado con octenil succinato y la proteína de suero lácteo.

La goma arábica es el exudado gomoso de los tallos secos y de las ramas de Acacia Senegal (FAO, 1999) y otras especies de Acacia de origen africano (Doi et al., 2006), con amplios usos en la industria, no sólo alimentaria. En alimentación su utilización se centra como aditivo (E-414) con propiedades espesantes, estabilizantes y emulsificantes (Reglamento N°1333/2008). Su incorporación aporta beneficios relevantes como el aumento de la temperatura de transición vítrea, reducción de la higroscopicidad, aporte de cierta viscosidad al producto y propiedades antiapelmazantes (Cozic et al., 2009; Gabas et al., 2007; Ghosal et al., 2010; Jaya y Das, 2009; Mosquera et al., 2010). Por su parte, los almidones modificados, habitualmente procedentes del maíz, se utilizan como aditivos con propiedades encapsulantes. El almidón derivatizado con octenil succinato (E1450, sal sódica) se consigue mediante la reacción de esterificación estándar del almidón, obteniendo como resultado una molécula de alto peso molecular y de naturaleza anfifílica. Su estructura ramificada permite la estabilización estérica que, mediante la presencia de tensoactivos no iónicos, favorece la estabilidad de la encapsulación formada sin que se

vea afectada por la presencia de agua (Bhosale and Singhal , 2006; Xu et al, 2008). En tecnologías de secado por pulverización la utilización de solutos permite microencapsular compuestos del alimento que son susceptibles a las altas temperaturas, tales como los hidratos de carbono, sabores, aromas, proteínas y vitaminas (Brazel, 1999; King, 1995; Murúa-Pagola 2009). La proteína de suero lácteo es un tensioactivo de alto peso molecular de gran interés como agente funcional de numerosos productos alimenticios, siendo también empleada por sus propiedades encapsulantes en la obtención de productos en polvo (Kinsella et al., 1989; Adhikari et al., 2009). Su utilización en una emulsión la sitúa en la interfase aportando mayor estabilidad al encapsulado (Jayasundera et al., 2009). También se ha empleado para microencapsular productos lácteos al proteger los glóbulos grasos durante la atomización (Young et al., 1993).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la adición de goma arábica, almidón derivatizado con actenil succinato y proteína de suero lácteo, sobre algunos aspectos de calidad de la fresa en polvo obtenida mediante un proceso de atomización.

MATERIAL Y MÉTODOS

Preparación de las muestras

La materia prima utilizada fueron fresas de la variedad *Fragaria x ananassa*, procedentes de Huelva (España) y adquiridas en un mercado local de la ciudad de Valencia. A las piezas de fruta seleccionadas de manera visual en función de su estado de madurez, se les eliminó el pedúnculo, para seguidamente ser lavadas, secadas, troceadas y licuadas, en una licuadora eléctrica (De'Longhi S.p.A-31100, Treviso, Italia). El licuado de fresa fue homogenizado y congelado a -40°C hasta el momento de su utilización, 50 días después. En total las 23 experiencias se realizaron en 8 días. Debido a la centrada estacionalidad de la materia prima, la congelación de la misma permitió poder trabajar a lo largo del estudio con un mismo lote homogéneo. La descongelación del licuado se llevó a cabo a 8°C durante 48h antes de su utilización. Al licuado descongelado se le añadieron solutos con capacidad antiapelmazante y encapsulante como aditivos tecnológicos para la obtención del producto en polvo, en concreto: goma arábica (Alfa Aesar, Germany), almidón derivatizado con octenil succinato (Roquette, France) y aislado de proteína de suero lácteo (Milei, Germany). Las cantidades y combinaciones de solutos aparecen descritas en la tabla 1. La adición de goma arábica (Ga) y almidón (Al) se planteó en un intervalo de 0-1g/ g sólido soluble de fruta, según estudios previos (Mosquera et al., 2010 and 2011). La proteína (Prot) se añadió entre 0-0,02g/g sólido soluble de fruta, según recomendaciones de otros autores (Adhikari et al., 2009; Bernard et al., 2011; Fang y Bhandari, 2012).

Diseño experimental

Para estudiar el efecto de la incorporación de Ga, Al y/o Prot en la calidad del producto atomizado 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). Se consideraron como factores del proceso el contenido de Ga, Al y Prot adicionados al licuado de fresa antes de atomizar (g soluto/g sólido soluble de fresa). Las variables respuesta seleccionadas fueron: humedad (H), higroscopicidad (H_i), actividad antioxidante (AAO), fenoles totales (F) y flavonoides (FI) del producto en polvo, rendimiento del proceso de atomización (R), índice de consistencia del producto atomizado rehidratado y diferencia de color del producto atomizado respecto al licuado sin solutos (ΔE). De acuerdo con el diseño de experimentos, se estudiaron un total de 23 combinaciones de los factores del proceso considerado (tabla 1).

TABLA 1. Formulaciones establecidas por el diseño de experimentos. La cantidad de solutos se expresa como g soluto/g de sólidos solubles de fresa.

Nº Ensayo	Goma Arábica	Almidón	Proteína
1	1,3409	0,5	0,085
2	0,5	0,5	0,227952
3	0,5	0,5	0,085
4	0,5	0,5	0,085
5	1	0	0
6	0,5	0,5	0,085
7	1	0	0,17
8	0,5	0,5	0,085
9	0,5	0,5	0,085
10	0,5	0,5	0,085
11	1	1	0
12	1	1	0,17
13	0	0	0,17
14	0	1	0,17
15	0	0,5	0,085
16	0	0	0
17	0,5	0,5	0,085
18	0,5	0,5	0
19	0	1	0
20	0,5	0,5	0,085
21	0,5	0	0,085
22	0,5	1,3409	0,085
23	0,5	0,5	0,085

Procesado

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 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: temperatura de entrada 150°C, temperatura de salida de 90°C, flujo de aspiración del aire del 90% y un flujo de alimentación de la bomba peristáltica de 30 mL/min. Tras la atomización de las distintas muestras, el polvo resultante fue recogido, pesado y envasado en tubos de plástico al vacío (envasadora Tecnotrip EVO86154, España) y almacenado en un desecador con gel de sílice con cierre de silicona al resguardo de la luz.

REHIDRATACIÓN

La rehidratación del producto en polvo atomizado se llevó a cabo en vasos de precipitado de cristal de 50 mL, de dimensiones estandarizadas (4,2 cm de diámetro y 6 cm de alto), termostatados a 20°C y en agitación continua (700 rpm) durante 20 minutos aproximadamente. A las muestras en polvo se les añadió agua destilada hasta obtener un producto con la misma cantidad de sólidos solubles en la fracción líquida que la del licuado con solutos. Para calcular la cantidad de agua a añadir en cada caso se emplearon los correspondientes balances de materia (ecuaciones 1 y 2):

$$M_{PR} = M_P + M_W \quad (1)$$

$$M_{PR} \cdot X_{FS} = M_P \cdot X_P + M_W \cdot X_W \quad (2)$$

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_{FS} = Humedad inicial del licuado de fresa con solutos (g agua/100g de producto); X_W =100 (g agua/100g de producto); X_P = Humedad del producto en polvo (g agua/100g de producto)

Análisis

Al licuado de fresa sin solutos descongelado empleado como materia prima para la obtención de cada muestra de producto atomizado y al producto en polvo obtenido se les analizó la humedad, °Brix, fenoles totales, flavonoides, actividad antioxidante y el color. Al licuado de fresa con solutos se le midió la humedad y los °Brix. Además, el producto en polvo se caracterizó mediante la medida de la higroscopicidad y el producto en polvo tras ser rehidratado, mediante las propiedades reológicas, °Brix y diferencia

de color respecto al licuado sin solutos. También se estudió el rendimiento del proceso de atomización en cada caso.

Todos los análisis se realizaron por triplicado, según la metodología que se describe a continuación, calculándose la media y la desviación estándar (que se expresa entre paréntesis acompañando al valor medio). Los análisis del producto atomizado fueron determinados en las 24h siguientes a su procesado, a excepción de la humedad, que se determinó inmediatamente después de la atomización. Los análisis realizados al licuado tuvieron lugar el mismo día de su utilización. Los resultados del análisis del producto en polvo se expresaron por gramo de sólidos totales de fresa, con fines comparativos. Para el licuado de fresa, los resultados se expresaron en g/100 g de fruta fresca.

SÓLIDOS SOLUBLES

La determinación de los sólidos solubles (°Brix) de la fracción líquida se llevó a cabo mediante la utilización de un refractómetro digital portátil, Refracto 3PX (METER TOLEDO, Suiza) a una temperatura de 20°C.

HUMEDAD

La humedad se determinó siguiendo el método oficial para alimentos ricos en azúcares (AOAC 934.06, 2000), el cual consiste en determinar la pérdida de peso de la muestra tras someterla a desecación en estufa a vacío (Vacuoterm, J.P. Selecta), P=10mm Hg, a una temperatura constante de 60°C.

HIGROSCOPICIDAD

La determinación de la higroscopicidad del producto en polvo se basa en la metodología descrita por Cai y Corke (2000), para ello se pesaron 2 g de muestra en placas Petri, desecadas con anterioridad, y se dejaron en cámara con disolución saturada de Na₂SO₄ (humedad relativa del 81%) a temperatura ambiente durante 7 días. Las placas se pesaron al cabo de 7 días con el fin de determinar la ganancia de agua que experimentaron. Los resultados se calcularon según la ecuación 3.

$$\frac{P_{7 \text{ días}} - P_0}{\left(1 - \left(\frac{1}{1 - x_w \text{ polvo} / 100}\right) \times \frac{x_w \text{ polvo}}{100}\right)} \times 100 \quad (3)$$

donde:

P_{7días}=peso de las placas con el producto en polvo a los 7 días de permanencia en la cámara a una humedad relativa del 81%; P₀= peso inicial de las placas con el polvo; x_w= humedad del polvo.

ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La determinación del potencial antioxidante se basa en la capacidad de las sustancias antioxidantes para captar radicales libres empleando el método del DPPH (Puupponen-Pimiä et al., 2003). Se midió la absorbancia a 515nm en un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). Los resultados se expresaron en %DPPH (ecuación 4).

$$\% \text{ DPPH} = \frac{(A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}})}{A_{\text{control}}} \times 100 \quad (4)$$

donde:

A_{control} es la absorbancia del control a tiempo cero; A_{muestra} es la absorbancia de la muestra cuando la reacción se ha estabilizado.

Para expresar el porcentaje de inhibición de forma cuantitativa se preparó una recta de calibrado empleando Trolox (Sigma-Aldrich) como patrón.

FENOLES TOTALES

La determinación de los fenoles totales 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 (espectrofotómetro UV-visible Thermo Electron Corporation, USA), utilizando la correspondiente recta patrón de ácido gálico (Sigma-Aldrich).

FLAVONOIDES

El contenido en flavonoides se determinó por espectrofotometría a 430nm de acuerdo con Quettier-Deleu et al. (2000). Se mezcló 1 mL de muestra diluida con 1 mL de solución metanólica de cloruro de aluminio 2% y se incubó durante 30 minutos a temperatura ambiente. Transcurrido el tiempo se midió la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA), utilizando rutina (Sigma Aldrich) como patrón a la hora de expresar el contenido en flavonoides de forma cuantitativa (Djeridane et al., 2006).

REOLOGÍA

El comportamiento al flujo del licuado de fresa descongelado sin solutos y del producto en polvo atomizado rehidratado, se determinaron utilizando un reómetro rotatorio con sensor Z34DIN Ti (Haake Rheostress 1, Thermo Electric Corporation, Germany) a una temperatura de 20°C. Se realizaron barridos ascendentes y descendentes de gradientes de velocidad de 0 a 150 s⁻¹ (600 s). Los resultados obtenidos se ajustaron al modelo de Ostwald de Waele (ecuación 5)

$$\sigma = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad (5)$$

donde: σ =variación del esfuerzo cortante; $\dot{\gamma}$ =gradiente de velocidad; k = índice de consistencia (Pa·sⁿ); n = índice de comportamiento flujo.

COLOR

El color se midió utilizando un fotocolorímetro Minolta CM 3600D (Minolta Co. Ltd., Japón), mediante el cual se obtuvo el espectro de reflectancia colocando las muestras en cubetas de dimensiones estandarizadas (37 mm x 50 mm x 22 mm) sobre fondo negro. Los resultados se expresaron en el sistema de color CIE L* a* b* empleando como referencia el iluminante D65 y observador 10°. La escala del colorímetro se calibró antes de cada análisis con un blanco y un negro estándar. La coordenada L* corresponde a la luminosidad presentando valores entre 0 y 100, que se sitúan desde el negro al blanco; la coordenada a* puede obtener valores tanto positivos como negativos que van desde el color rojo si son valores positivos y color verde si son negativos; para la coordenada b* también existen valores positivos y negativos que van desde el amarillo hasta el azul, respectivamente. A partir de las coordenadas se calculó la diferencia de color ΔE (ecuación 6) de cada muestra atomizada rehidratada respecto al licuado de fresa sin solutos empleado como materia prima (Maskan, 2001; Mohammadi et al., 2008; Chiralt et al., 2007).

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (6)$$

RENDIMIENTO

Se consideró como rendimiento la cantidad de polvo obtenida por cantidad de licuado de fresa, empleando la ecuación propuesta por Fang et al. (2012). Para ello, se llevó a cabo la pesada del recipiente de recogida de producto atomizado antes y después de recoger el producto en polvo obtenido.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos tras los análisis realizados se analizaron usando el programa Statgraphics Centurion XV (StatPoint Technologies, Inc., Warrenton, VA, USA). A partir de un análisis multivariante se obtuvieron ecuaciones de regresión múltiple ($p < 0,05$). De las ecuaciones de regresión se generaron gráficas de superficie de respuesta, con el fin de obtener las condiciones óptimas del proceso y la interacción existente entre los diversos parámetros de interés. Asimismo, las diferencias entre muestras se evaluaron mediante un análisis de la variancia (ANOVA), considerando un nivel de significación del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la materia prima

Se llevó a cabo una caracterización de la fresa recién licuada, que presentó unos valores medios (con su desviación estándar) de humedad=91,99 (0,03) g agua/100g licuado, °Brix=6,50 (0,01), actividad antioxidante=1812(18) mM Trolox/100g, fenoles totales=36,8 (0,8) mg ácido gálico/100g, flavonoides totales=0,56 (0,05) mg rutina/100g, coordenadas de color: $L^*= 36,8 (0,4)$, $a^*=43,4 (0,3)$ y $b^*=29,8 (0,6)$, $k= 0,726 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ y $n=0,389$. En términos generales, dichos valores fueron semejantes a los publicados por otros autores sobre la misma fruta (Fernandes et al., 2012; Holzwarth et al., 2012; Diamanti et al., 2012).

Evaluación del efecto de los factores del proceso en la calidad del producto atomizado

CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO ATOMIZADO

El diseño de experimentos planteado en el presente estudio (tabla 1), herramienta de gran utilidad a la hora de mejorar u optimizar procesos (Mead and Pike, 1975), permitió conocer la relación entre los factores del proceso estudiados (Ga, Al, Prot) y la calidad del producto resultante en términos de humedad, higroscopicidad, actividad antioxidante, contenido en flavonoides totales y fenoles totales del producto en polvo, así como en lo que al índice de consistencia y color del producto en polvo rehidratado respecta.

El análisis e interpretación de los resultados obtenidos se abordó empleando la metodología de superficie respuesta para interpretar la interacción de distintos factores sobre una variable determinada, obteniendo así modelos definidos por funciones de regresión, normalmente polinomios de primer y segundo orden (Guillou and Floros, 1993), que al ser representados gráficamente dan lugar a una superficie sólida en un espacio tridimensional (Montgomery, 2002; Gacula and Singh, 1984).

En la tabla 2 se muestran los modelos obtenidos junto con los valores del coeficiente de regresión ajustado (R^2 -aj.) correspondientes a cada una de las variables de calidad evaluadas, considerándose que se obtienen mejores predicciones cuando mayor es el valor del parámetro R^2 -aj. resultante (Granato et al., 2010; Montgomery et al., 2009).

TABLA 2. Modelos obtenidos para las variables: humedad (g agua/100 g fruta), higroscopicidad (g de agua/100 g sólidos secos), actividad antioxidante (mM Trolox/g sólidos totales), fenoles (mg ácido gálico/g sólidos totales), flavonoides totales (mg rutina/g sólidos totales), diferencia de color del producto atomizado rehidratado respecto al licuado descongelado sin solutos y rendimiento del proceso de atomización. Además se incluye el valor del coeficiente de regresión ajustado (R^2 -aj).

Variable Respuesta	Modelo	R^2 ajustado
Humedad	$H = 7,610 - 9,49 \cdot GA - 7,81 \cdot AI + 4,98 \cdot GA^2 + 3,00 \cdot GA \cdot AI + 3,85 \cdot AI^2$	0,813
Higroscopicidad	$Hi = 17,98 - 3,11 \cdot AI - 21,37 \cdot prot$	0,402
Actividad Antioxidante	$AAO = 503,35 - 5,18 \cdot GA - 164,34 \cdot AI - 182,46 \cdot GA^2$	0,796
Fenoles	$F = 7,29 - 5,83 \cdot GA - 7,12 \cdot AI + 14,01 \cdot prot + 2,34 \cdot GA^2 + 3,01 \cdot GA \cdot AI - 5,86 \cdot GA \cdot prot + 2,85 \cdot AI^2 - 8,23 \cdot AI \cdot prot$	0,977
Flavonoides	$FI = 1,22 - 0,62 \cdot GA - 0,59 \cdot AI - 1,53 \cdot prot + 0,63 \cdot GA \cdot AI$	0,707
Rendimiento	$R = 61,76 - 50,31 \cdot GA - 14,13 \cdot AI + 32,61 \cdot GA^2$	0,457
Diferencia de color	$\Delta E = 2,19 + 10,20 \cdot GA + 9,84 \cdot AI - 54,77 \cdot prot - 11,76 \cdot GA \cdot AI + 322,17 \cdot prot^2$	0,720

Atendiendo al valor de R^2 -aj. obtenido para cada uno de los modelos se puede determinar la capacidad de los mismos de proporcionar una predicción adecuada del comportamiento de las variables. De esta forma se consideró que en todos aquellos casos en los que el valor del parámetro R^2 -aj. fuera menor a 70%, el modelo obtenido no permitiría predecir adecuadamente el comportamiento de la variable y por tanto, dicha variable quedaría excluida en la posterior etapa de optimización. En base a este criterio, es posible afirmar que se obtuvieron modelos capaces de predecir adecuadamente el comportamiento de las variables H, AAO, ΔE , F y FI, mientras que las variables higroscopicidad y rendimiento fueron descartadas. Asimismo, la variable índice de consistencia fue excluida ya que ninguno de los factores considerados en el presente estudio mostró efectos significativos sobre la evolución de la misma. En términos generales, los factores de proceso (Ga, AI, Prot) presentaron, efectos significativos ($p < 0,05$) tanto lineales como cuadráticos.

La figura 1 muestra la gráfica de superficie respuesta correspondiente a la humedad, viendo el efecto que presentan los solutos sobre la misma. Mientras que el factor Prot no presentó un efecto significativo, la adición de Ga y AI presentó efectos lineales negativos y cuadrático positivos además de una interacción significativa de ambos factores ($p < 0,05$). Atendiendo a los efectos lineales, tanto la adición de Ga como de AI conllevó un descenso de la humedad del polvo obtenido. Sin embargo, la interacción de ambos factores implicó un aumento de la humedad del producto. Teniendo en cuenta que el objetivo es obtener un producto en polvo con la menor humedad posible en vistas a favorecer su estabilidad durante el almacenamiento, resultaría conveniente evitar la combinación de estos solutos. En términos generales, la fresa en polvo con menor humedad se obtuvo cuando se adicionó Ga en concentraciones intermedias en ausencia de AI. De acuerdo con otros estudios que contemplan la adición de goma arábica y almidón en procesos de atomización de diversos productos, estos

solutos parecen no favorecer especialmente la eliminación de agua durante el proceso (Barros et al., 2013).

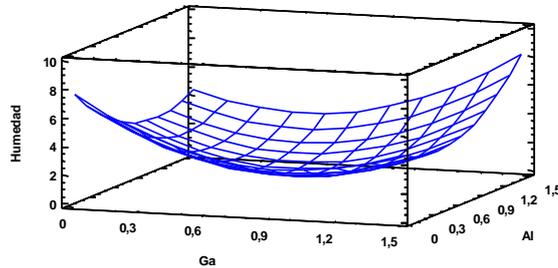


FIGURA 1. Gráfica de superficie de respuesta de la humedad del polvo obtenido tras la atomización con el efecto de los factores goma arábica (Ga) y almidón (Al).

Por otro lado, en la figura 2 se muestra el impacto de la adición de Ga y Al sobre la actividad antioxidante de la fresa en polvo. Los efectos significativos ($p < 0,05$) de los factores del proceso considerados sobre la actividad antioxidante del producto se describen a continuación. Los factores Ga y Al presentaron un efecto lineal negativo, mostrando la adición de Ga también un efecto cuadrático negativo. El factor Prot no mostró ningún efecto significativo sobre esta variable. La presencia de ambos solutos provocó un descenso progresivo de la AAO del producto a medida que se aumentó la concentración de los mismos.

A diferencia de los resultados obtenidos en el presente estudio, el efecto protector de estos, así como de otros tipos solutos frente a la degradación de los compuestos bioactivos responsables de la actividad antioxidante de los alimentos, aportando estabilidad y actuando como barrera frente a su degradación, ha sido descrito por diversos autores (Bhandari et al., 1998; Colin et al., 2009). Una posible explicación a este comportamiento podría ser que la incorporación de dichos solutos, en el rango de concentraciones considerado en este trabajo, no favorezca la extracción de los compuestos con carácter antioxidante presentes en el producto en polvo por el método de análisis empleado para la cuantificación de este parámetro.

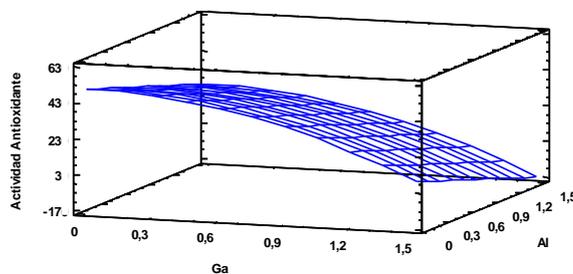


FIGURA 2. Gráfica de superficie de respuesta de la actividad antioxidante del polvo obtenido tras la atomización con el efecto de los factores goma arábica (Ga) y almidón (Al).

La figura 3 muestra las gráficas de superficie respuesta correspondientes al contenido de fenoles totales en la fresa en polvo. Los factores Ga y Al presentaron efectos lineales negativos y cuadráticos positivos, mientras que el factor Prot mostró un efecto lineal positivo. Asimismo, se observó una interacción positiva entre los factores Ga y Al e interacciones negativas entre los factores Ga y Prot y Al y Prot ($p < 0,05$). Por un lado, atendiendo a los efectos lineales, la proteína del suero lácteo fue el único de los solutos que presentó un efecto positivo sobre la preservación de los compuestos fenólicos presentes en la fresa durante el proceso de atomización, mientras que la incorporación de los otros dos solutos (Ga, Al) implicó una reducción de su contenido. La adición de proteína combinada con cualquiera de los otros dos solutos considerados en el presente estudio conllevó una reducción del contenido de compuesto fenólicos en la fresa en polvo a mayor contenido en solutos (figura 3a y figura 3c). Sin embargo, al adicionar Ga combinada con Al se observó una mayor preservación de los compuestos fenólicos a medida que se aumentó la concentración de solutos en el producto (figura 3b).

En este sentido, desde el punto de vista del contenido en fenoles totales del producto y de su estabilidad durante la atomización, parece ser interesante la adición de proteína del suero lácteo como único soluto o bien una combinación de goma arábiga y almidón.

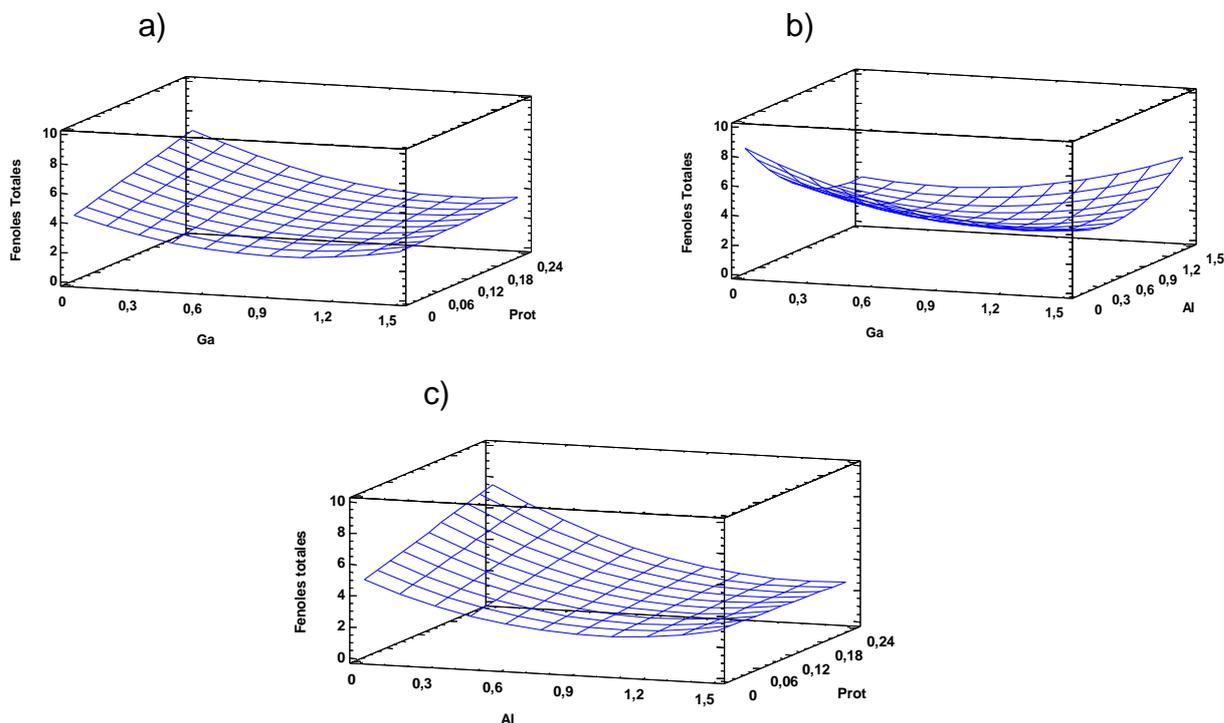


FIGURA 3. Gráficas de superficie de respuesta, contenido de fenoles totales del producto en polvo con los efectos de los factores goma arábiga (Ga), almidón (Al) y proteína (Prot).

La figura 4 representa las gráficas de superficie respuesta correspondientes al contenido de flavonoides totales en la fresa en polvo en función de su contenido en solutos. Los factores Ga, Al y Prot presentaron efectos lineales negativos ($p < 0,05$), mientras que, al igual que sucedió en lo que al contenido en fenoles totales respecta, se observó una interacción positiva de los factores Ga y Al. En este sentido, la adición de cada uno de estos solutos por separado, conllevó un descenso del contenido de flavonoides totales en la fresa atomizada, mientras que la incorporación de una mezcla de Ga y Al favoreció su preservación durante el procesado.

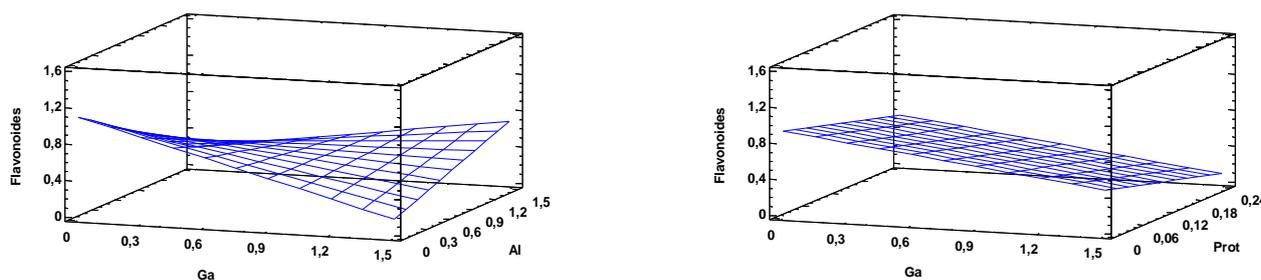


FIGURA 4. Gráficas de superficie de respuesta de flavonoides totales del polvo con los efectos de los factores goma arábica (Ga), almidón (Al) y proteína (Prot).

La figura 5 muestra las gráficas de superficie respuesta correspondientes a las diferencias de color existentes entre el producto en polvo rehidratado y el licuado de fresa descongelado empleado en cada caso para la atomización. Puede observarse que los factores Ga y Al presentaron efectos lineales positivos, el factor Prot mostró un efecto lineal negativo y cuadrático positivo y se observó una interacción negativa de los factores Ga y Al ($p < 0,05$). En este sentido, la adición de Ga y Al por separado implicó un aumento en las diferencias de color encontradas entre el producto antes y después de ser sometido a un proceso de atomización y rehidratación, mientras que cuando estos mismos solutos se adicionaron combinados se observó el efecto contrario, es decir, una mejor preservación del color del producto. Por otro lado, la adición de proteína del suero lácteo conllevó un descenso de las diferencias de color encontradas entre la fresa en polvo rehidratada y el licuado de fresa, según predice el modelo. Sin embargo, presenta un efecto cuadrático positivo tal y como se puede observar en la gráfica de superficie de respuesta en relación a la proteína. Por un lado, cabe tener en cuenta que la adición de solutos así como el proceso de atomización al que se somete el producto conllevan, en mayor o menor medida, una variación del color del mismo (Wu-Ng et al, 2013). Con el fin de causar la mínima alteración posible del color del producto durante el procesado, resultaría interesante el uso de proteína de suero lácteo como soluto o bien la adición de una mezcla de goma arábica y almidón.

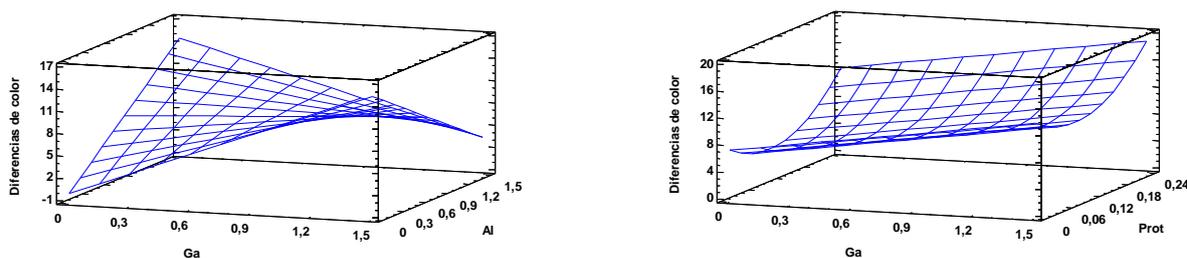


FIGURA 5. Gráficas de superficie de respuesta en cuento a las diferencia de color del licuado rehidratado con respecto al licuado descongelado sin solutos con los efectos de los factores goma arábica (Ga), almidón (Al) y proteína (Prot).

Optimización del diseño

Con el objetivo de identificar la combinación de solutos más adecuada para obtener fresa en polvo atomizada de alta calidad, se llevó acabo la optimización múltiple del diseño, teniendo en consideración las variables respuestas mencionadas anteriormente.

De esta forma se determinó que la incorporación de 0,17 g de goma arábica /g sólidos solubles de fresa y un 0,09 g de proteína del suero lácteo/g sólidos solubles de fresa, resultó ser la mezcla de solutos que permitió maximizar la actividad antioxidante, el contenido de flavonoides y fenoles totales del producto en polvo, al mismo tiempo que minimizar la humedad del polvo y la diferencia de color entre el producto rehidratado y el licuado de fresa sin solutos. Posteriormente, se llevó a término una nueva atomización con las condiciones definidas como óptimas y se analizó de forma experimental la calidad del producto obtenido, en vistas a validar el modelo. En la tabla 3 se pueden observar los valores predichos, a partir de la optimización, y los valores obtenidos de forma experimental.

TABLA 3. Valores predichos estadísticamente y promedios (desviación estándar) de los valores obtenidos de forma experimental de las variables respuestas estudiadas para el producto en polvo: Humedad (g de agua/100g sólidos totales), Actividad antioxidante (mM Trolox/g sólidos totales), Fenoles (mg ácido gálico/ g sólidos totales), Flavonoides (mg rutina/100g) y diferencia de color del polvo rehidratado respecto al licuado de fresa sin solutos.

<i>Variables respuesta</i>	<i>Valores predichos</i>	<i>Valores experimentales</i>
Humedad	4,1698	3,03 (0,12)
Actividad Antioxidante	49,744	60 (11)
Fenoles totales	7,5716	7,27 (0,02)
Flavonoides	0,9761	0,900 (0,003)
Diferencia de color	1,5727	1,9 (0,2)

Parámetros de interés no considerados en la etapa de optimización

Además de los parámetros mencionados anteriormente, en el presente trabajo se evaluaron otras propiedades o aspectos que se consideran relevantes a la hora de evaluar la calidad de los productos en polvo y/o productos en polvo rehidratados. Pese a que, tanto la higroscopicidad y rendimiento del proceso, como el índice de consistencia no mostraron una relación estadísticamente significativa respecto a la adición de Ga, Al y Prot, éstos se consideran parámetros de interés. Por un lado, la higroscopicidad permite conocer la capacidad que tiene el producto en polvo para captar agua durante su almacenamiento. La fresa atomizada en ausencia de solutos dio lugar a un producto en polvo de elevada higroscopicidad=20,8 (0,4) g de agua/g de sólidos totales, mientras que la adición de cualquiera de los solutos contemplados en el presente estudio permitió reducir considerablemente la higroscopicidad del producto, alcanzándose el valor de higroscopicidad más bajo (10,9 (0,3) g de agua/g de sólidos totales) al adicionar 0,17g de proteína/g de sólidos solubles. Por otro lado, el estudio del rendimiento del proceso resulta interesante ya que puede ser interpretado como un indicador de la eficiencia del mismo (Fang et al., 2012). En el caso que nos ocupa, en términos generales, a mayor contenido en solutos mayor resultó ser el rendimiento del proceso. La formulación que mayor rendimiento produjo fue la constituida por 0,5 g Ga/ g sólidos solubles fresa, 1,3409 g Al/ g sólidos solubles fresa y 0,085 g prot/ g sólidos solubles fresa (rendimiento del 72%) y la que menos fue la muestra con 0,5 g Al/g sólidos solubles fresa y 0,085 g prot/g sólidos solubles fresa (rendimiento del 29,6%).

El índice de consistencia (K) y el índice de comportamiento al flujo (n) son indicadores del comportamiento reológico de los alimentos. Los valores de n fueron en todos los casos menores de la unidad (valores entre 0,928 y 0,992) lo que confirma el carácter pseudopástico de todas las muestras (Mechetti et al., 2011). Por otro lado, valores mayores de K implican una mayor viscosidad, así la muestra con 1,3409 g Ga/g sólidos solubles fresa +0,5 g Al/g sólidos solubles fresa +0,085 g Prot/g sólidos solubles fresa presentó $K= 0,0288 (0,0007) \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$, mientras que la muestra menos viscosa fue la que contenía 0,5 g Ga/g sólidos solubles fresa +0,085 g Prot/g sólidos solubles fresa ($K= 0,005 (0,0001) \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$).

Pérdidas de compuestos bioactivos durante la congelación-descongelación y el proceso de atomización.

Tanto la etapa previa de congelación-descongelación a la que se sometió al licuado de fresa, como el propio proceso de atomización conllevaron cambios en los distintos parámetros de calidad contemplados en el presente estudio. Tal y como era de esperar, la etapa de congelación-descongelación conllevó una reducción significativa ($p<0,05$) del contenido de los compuestos bioactivos evaluados, así como de la actividad antioxidante del producto. Así se observaron pérdidas que oscilaron entre 29-38% en los

fenoles totales, 36-47 % en los flavonoides y 20-25% en la actividad antioxidante. Otros autores describen cambios similares en la composición de la fresa tras ser almacenadas en congelación (Holzwarth et al, 2012). Por otro lado, cuando el producto se sometió al proceso de atomización en presencia de solutos (Ga, Al, Prot) fue posible observar que se produjeron pérdidas estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en todos los compuestos bioactivos estudiados. En cuanto al contenido en flavonoides y fenoles totales, se observaron pérdidas en función de los solutos y la cantidad empleada de los mismos hasta un 38% y 23%, respectivamente. La actividad antioxidante disminuyó hasta un 38%.

CONCLUSIONES

La aplicación de atomización junto con la incorporación de goma arábica, almidón y proteína del suero lácteo permitió obtener fresa en polvo de alta calidad. Tanto la etapa previa de congelación-descongelación a la que se sometió al licuado de fresa utilizado como materia prima, como el propio proceso de atomización conllevaron cambios en los distintos parámetros de calidad contemplados en el presente estudio.

Para favorecer la estabilidad del producto en polvo durante el almacenamiento, resultaría conveniente evitar la combinación goma arábica y almidón. En general, los solutos no presentaron en el rango de concentraciones empleado, efecto protector sobre la actividad antioxidante del producto en polvo. Sería necesario contrastar este resultado con el empleo de otra metodología de análisis para evaluar este parámetro. Desde el punto de vista de la estabilidad durante la atomización de los compuestos bioactivos estudiados, así como en la preservación del color del producto, parece ser interesante la adición de proteína del suero lácteo como único soluto o bien una combinación de goma arábica y almidón.

En términos generales, la adición de cualquiera de los solutos contemplados en el presente estudio permitió reducir considerablemente la higroscopicidad del producto y aumentar el rendimiento del proceso de atomización.

REFERENCIAS

- Adhikari, B.; Howes, T.; Bhandari, B.R. 2009. The effect of low molecular weight surfactants and proteins on surface stickiness of sucrose uring powder formation through spray drying. *Journal of Food Engineering* 94, 135–143.
- Ali, Z.M.; Chin, L.H.; Lazan, H. 2004. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science*, 167, 317–327.
- Barros, R.V.; Soraia Vilela, S.; Alvarenga, D.; Silvaa, E.; Gomes da Costaa, J.M. & Queiroz, F. 2013. Microencapsulation of Rosemary Essential Oil: Characterization of Particles. *Drying Technology*, 31 (11): 1245-1254.
- Bernard, C.; Regnault, S.; Solie Gendreau, S.; Charbonneau, S.; Relkin, P. 2011. Enhancement of emulsifying properties of whey proteins by controlling spray-drying parameters. *Food Hydrocolloids* 25: 758-763.
- 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.

- 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.
- Bhosale, R., & Singhal, R. 2006. Process optimization for the synthesis of octenyl succinyl derivative of waxy corn and amaranth starches. *Carbohydrate Polymers*, 66, 521-527
- Borrmanna, D.; Trindade A.P.; Gomes S.; Miguez da Rocha, M.H. 2013. Microencapsulation of passion fruit (*Passiflora*) juice with n-octenylsuccinate-derivatized starch using spray-drying. *Food and bioproducts processing* 91, 23–27.
- Brazel, C.S., 1999. Microencapsulation: offering solutions for the food industry. *Cereal Foods World* 44, 388–393.
- Cai, Y.Z. & Corke, H. 2000. Production and Properties of Spray-dried Amaranthus Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, 65 (7):1248–1252
- Chiralt, A.; Martínez-Navarrete, N.; González, C.; Talens, P.; Moraga, G. 2007. Propiedades físicas de los alimentos. *Editorial Universidad Politécnica de Valencia. España*.
- Colin, J., C. Nolan and B. Holub. 2009. Bioequivalence of encapsulated and microencapsulated fish-oil supplementation. *Journal of Functional Foods* 1: 38 -43
- 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.
- Cuq, B., Rondet, E., Abecassis, J. 2011. Food powders engineering, between knowhow and science: constraints, stakes and opportunities. *Powder Technology* 208 (2), 244–251.
- Diamanti, J.; Capocasa, F.; Denoyes, B.; Petit, A.; Chartier, P.; Faedi, W.; Maltoni, M.L.; Battino, M.; Mezzetti, B. 2012. Standardized method for evaluation of strawberry (*Fragaria ananassa* Duch.) germplasm collections as a genetic resource for fruit nutritional compounds. *Journal of Food Composition and Analysis* 28, 170–178.
- Djeridane, A.; Yousfi M.; Nadjemi B.; Boutassouna D.; Stocker P. and Vidal N. 2006. *Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds*. *Food Chemistry* 97, 654:660
- Doi, Y., Ichihara, T., Hagiwara, A., Imai, N., Tamano, S., Orikoshi, H., Ogasawara, K., Sasaki, Y., Nakamura, M., Shirai, T. 2006. A ninety-day oral toxicity study of a new type of rocessed gum arabic, from Acacia tree (*Acacia senegal*) exudates, in F344 rats. *Food and Chemical Toxicology* 44: 2006: 560–566
- Fang, Z; Bhandari, B. 2012. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International* 48, 478-483.
- FAO (Rome), 1999. Gum Arabic. Food and Nutrition Paper, No. 52, addendum 7.
- FAO, 2003. Prioridad mundial al consumo de fruta y hortalizas.
- Fernandes, V.C.; Domingues, V.F.; Freitas, V.; Delerue-Matos, C.; Mateus, N. 2012. Strawberries from integrated pest management and organic farming: Phenolic composition and antioxidant properties. *Food Chemistry* 134, 192–193.
- Forny, L., Marabi, A., Palzer, S. 2011. Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. *Powder Technology* 206 (1–2), 72–78.
- 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.
- Gacula, M.C. y J. Singh; Statistical methods in food and consumer research. New York, Academic Press, 214-272 (1984).
- 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.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J.M., Quiles, J.L., Mezzetti, B., & Battino, M. 2012. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28 (1), 9– 9.
- Granato D, Branco G, Nazzaro F, Cruz A, and Faria J. 2010. Functional Foods and Nondairy Probiotic Food Development: Trends, Concepts, and Products. *Comprehensive Reviews in Food Science And Food Safety* Vol. 9: 292-302.
- Guillou, A.A.; Floros, J.D. 1993. Multiresponse optimization minimizes salt in natural cucumber fermentation and storage. *J. Food Sci.* 58:1381-1389.
- Hannum, S.M. 2004. Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 44, 1e17.
- Holzwarth, M.; Korhummel, S.; Carle, R.; Kammerer, D.R. 2012. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color, polyphenol and ascorbic acid retention in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Food Research International* 48, 241–248.
- Huang, L.; Zhang, M.; Yan, W.; Mujumdar, A.S.; Sun, D. 2009. Effect of coating on post-drying of freeze-dried strawberry pieces. *Journal of Food engineering* 92, 107-111.
- Jaya, S., Das, H. 2009. Glass transition and sticky point temperatures and stability/mobility diagram of fruit powders. *Food Bioprocess Technology*, 2: 89–95.

- Jayasundera, M.; Adhikari, B.; Aldred, P.; Ghandi, A. 2009. Surface modification of spray dried food and emulsion powders with surface-active proteins: A review. *Journal of Food Engineering* 93, 266–277.
- Jittra, S., Ningsanond, S. and Steve W.C. 2009. Extraction and physicochemical characterisation of polysaccharide gum from Yanang (*Tiliacora triandra*) leaves. *Food Chemistry*, 114, 1301–1307
- Kinsella, J.E.; Whitehead, D.M. 1989. Proteins in Whey: Chemical, Physical, and Functional Properties. *Advances in Food and Nutrition Research*. V 33, 343–438.
- Leandro Ribeiro Rattes, A., Pereira Oliveira, W. 2007. Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation and properties of sodium diclofenac microparticles. *Powder Technology* 171, 7–14
- Maskan, M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48: 177-182.
- Mead, R.; Pike, D. 1975. A review of response surface methodology from a biometric viewpoint. *Biometr.* 31: 803-851.
- Mechetti, M.; Gómez-López, A.; Balella, A. 2011. Propiedades Reológicas de Helados de Caña de Azúcar.
- Mehmet Musa Özcan , Haydar Haciseferogullari 2007. The Strawberry (*Arbutus unedo* L.) fruits: Chemical composition, physical properties and mineral contents. *Journal of Food Engineering* 78 1022–1028
- 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.
- Montgomery, D.; Anderson-Cook, C.M.; Borror, C.M. 2009. Response surface design evaluation and comparison. *Journal of Statistical Planning and Inference*, V 139, Issue 2, 629–641.
- Montgomery, L. 2002; Diseño y análisis de experimentos, México. Limusa-Wiley, 2° edición, p.p. 225-270.
- Mosquera, L.H., Moraga, G., Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of maltodextrin on the stability of freeze-dried borojó (*Borojoa patinoi* Cuatrec.) powder. *Journal of Food Engineering*, 97: 72–78.
- Mosquera L. H., Moraga G., De Córdoba P. F. & Martínez-Navarrete N. 2011. Water content–water activity–glass transition temperature relationships of spray-dried borojó as related to changes in color and mechanical properties. *Food Biophysics*. DOI 10.1007/s11483-011-9215-2.
- Murúa-Pagola, B.; Beristain-Guevara, C.L.; Martínez-Bustos, F. 2009. Preparation of starch derivatives using reactive extrusion and evaluation of modified starches as shell materials for encapsulation of flavoring agents by spray drying. *Journal of Food Engineering* 91, 380–386.
- Olsson, M.E., Andersson, C.S., Oredsson, S., Berglund, R.H., & Gustavsson, K. 2006. Antioxidant levels and inhibition of cancer cell proliferation in vitro by extracts from organically and conventionally cultivated strawberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 1248-1255.
- Pérez, A.G., Sanz, C. 2001. Effect of high-oxygen and high-carbon-dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 2370–2375.
- Proteggente, A. R., Pannala, A. S., Paganga, G., van Buren, L., Wagner, E., Wiseman, S., et al. 2002. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radicals Research*, 36, 217–233.
- 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.
- Quettier-Deleu, C. et al. 2000. Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 35–42.
- REGLAMENTO (CE) No 1333/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2008 sobre aditivos alimentarios (Texto pertinente a efectos del EEE)
- Seeram, N.P., Lee, R., Scheuller, H.S., & Heber, D. 2006. Identification of phenolic compounds in strawberries by liquid chromatography electrospray ionization mass spectroscopy. *Food Chemistry*, 97, 1-11
- Selvendran, R.R.; Ryden, P. 1990. Methods in plant biochemistry, vol 2. Academic Press, Ed., London, United Kingdom.
- Shin, Y., Liu, R.H., Nock, J.F., Holliday, D., Watkins, C. 2007. Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concentrations, and antioxidant activity of strawberry. *Postharvest Biology and Technology* 45, 349–357.
- 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.
- Ubeda, C.; Callejón, R.M.; Hidalgo, C.; Torija, M.J.; Troncoso, A.M.; Morales, M.L. 2012. Employment of different processes for the production of strawberry vinegars: Effects on antioxidant activity, total phenols and monomeric anthocyanins. *Food Science and Technology* xxx 1e7.
- Woun L.; Nordin M.; Kamilb R.; Saleena F.; 2011. Empirical modeling for spray drying process of sticky and non-sticky products. *Procedia Food Science* 1, 690 – 697.

- Wu-Ng, Y.; Benlloch-Tinoco, M.; García-Martínez, E.; Martínez-Navarrete, N. 2013. Impacto de la adición de carboximetilcelulosa en la calidad de kiwi en polvo obtenido por liofilización y atomización. Tesis de master. IIUIAD. Universidad Politécnica de Valencia.
- 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.
- Young, S.L.; Sarda, X.; Rosenberg, M. 1993. Microencapsulating Properties of Whey Proteins. Microencapsulation of Anhydrous Milk Fat. *Journal of Dairy Science*, V 76, Issue 10, 2868–2877.