



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
MASTER EN CIENCIA E INGENIERIA DE LOS ALIMENTOS

TRABAJO FIN DE MASTER
**OPTIMIZACION DE LAS CONDICIONES DE ATOMIZACION DE
PULPA DE POMELO**

PRESENTA
GEORGINA LUJÁN OLIVARES

DIRECTORA ACADÉMICA
NURIA MARTÍNEZ NAVARRETE

DIRECTORA EXPERIMENTAL
MARTA IGUAL RAMO
CLAUDIA AGUDELO STERLING

VALENCIA, NOVIEMBRE 2013

OPTIMIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE ATOMIZACIÓN DE PULPA DE POMELO.

Luján-Olivares, Georgina; Agudelo, Claudia; Igual, Marta; Martínez-Navarrete, Nuria.

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

RESUMEN

Las frutas cítricas como el pomelo (*Citrus paradisi*, var. Star Ruby) son alimentos de gran interés en la nutrición humana. Sin embargo su estacionalidad y su corta vida útil limitan su disponibilidad. Dentro de los procesos de deshidratación, la atomización es una alternativa interesante. Para optimizar la atomización de la pulpa de pomelo se ha utilizado la metodología de superficie de respuesta partiendo de un diseño centrado compuesto. Para ello se ha considerado el efecto de las variables independientes temperatura de entrada del aire (x_1 , 120-180°C), concentración de goma arábica (x_2 , 4-12%, p/p) y concentración de fibra de bambú (x_3 , 0-2%, p/p) sobre diferentes variables respuesta. Los modelos individuales de superficie de respuesta significativos ($p < 0,05$) mostraron que más del 66% de la variabilidad de la respuesta fue explicada por las tres variables independientes elegidas. Así, el aumento de x_1 y x_2 , en mayor proporción que x_3 , aumentaron la temperatura de salida, el rendimiento en producto, rendimiento del secado, la solubilidad, la luminosidad, el tono y la diferencia de color con respecto a la muestra con menor contenido en solutos, mientras que redujeron la humedad, la higroscopicidad y el croma de los polvos obtenidos. Además ayudaron a la conservación del contenido en vitamina C, en fenoles, en flavonoides y carotenoides totales de los polvos, aunque redujeron la actividad antioxidante. La optimización de las variables respuesta indicó una temperatura óptima de entrada de 120,36°C, un porcentaje de goma arábica de 4,68 y un porcentaje de fibra de bambú de 0,000000029, para la obtención del polvo con las mejores características.

Palabras clave: atomización, goma arábica, fibra de bambú, compuestos bioactivos, color, higroscopicidad, producto en polvo.

RESUM

Les fruites cítriques com el pomelo (*Citrus paradisi*, var. Star Ruby) són aliments de gran interès en la nutrició humana. No obstant això la seua estacionalitat i la seua curta vida útil limiten la seua disponibilitat. Dins dels processos de deshidratació, l'atomització és una alternativa interessant. Per a optimitzar l'atomització de la polpa de pomelo s'ha utilitzat la metodologia

de superfície de resposta partint d'un disseny centrat compost. Per a això s'ha considerat l'efecte de les variables independents temperatura d'entrada d'aire (x_1 , 120-180°C), concentració de goma aràbiga (x_2 , 4-12%, p/p) i concentració de fibra de bambú (x_3 , 0-2%, p/p) sobre diferents variables resposta. Els models individuals de superfície de resposta significatius ($p < 0,05$) van mostrar que més del 66% de la variabilitat de la resposta va ser explicada per les tres variables independents triades. Així, x_1 i x_2 , en major mesura que x_3 , van augmentar la temperatura d'eixida, el rendiment en producte, rendiment de l'assecat, la solubilitat, la lluminositat, el to i la diferència de color respecte a la mostra amb menor contingut en soluts, al temps que van reduir la humitat, la higroscopicitat i el croma de les pols obtinguts. A més van ajudar a la conservació del contingut en vitamina C, en fenols, en flavonoides i carotenoides totals de les pols, encara que van reduir l'activitat antioxidant. L'optimització de les variables resposta va indicar una temperatura òptima d'entrada de 120,36°C, un percentatge de goma aràbiga de 4,68 i un percentatge de fibra de bambú de 0,00000029, per a l'obtenció de la pols amb les millors característiques.

Paraules clau: atomització, goma aràbiga, fibra de bambú, compostos bioactius, color, higroscopicitat, producte en pols

ABSTRACT

Citrus fruits like grapefruit (*Citrus paradisi*, var. Star Ruby) are food of great interest in human nutrition. However its seasonality and short life limit their availability. Among dehydration processes, spray-drying is an interesting alternative. To optimize the spray-drying of grapefruit pulp the Response Surface Methodology, based on a central composite design, was used. For this purpose the effect of the independent variables inlet air temperature (x_1 , 120-180°C), arabic gum concentration (x_2 , 4-12%, w/w) and bamboo fiber concentration (x_3 , 0-2%, w/w) on different response variables was considered. Significant ($p < 0.05$) individual response surface models showed that over 66% of the variability of the response was explained in terms of the three independent variables chosen. Thus, an increase in x_1 and x_2 , more than x_3 , increased the outlet temperature, product yield, drying yield, solubility, brightness, hue angle and color difference with respect to the sample with the lower solutes content, while reduced the water content, hygroscopicity and chrome of the obtained powders. Moreover they helped to preserve the vitamin C content, phenols, flavonoids and total carotenoids of the powders, although they reduced the antioxidant activity. The optimization of the response variables indicated an optimum inlet air temperature of 120.36 °C, a percentage of arabic gum of 4.68 and a percentage of bamboo fiber of 0.00000029, to obtain the powder with the best features.

Key words: spray-drying, arabic gum, bamboo fiber, bioactive compounds, color, hygroscopicity, powder.

INTRODUCCIÓN

Las frutas son alimentos de gran interés en la nutrición humana, no sólo porque poseen características físicas y sensoriales que las hacen atractivas para su consumo, sino también porque son una fuente importante de compuestos bioactivos con una marcada actividad antioxidante que redundan en efectos beneficiosos para la salud (Vanamala *et al.*, 2006; Xu *et al.*, 2008; García-Lafuente *et al.*, 2009). Se ha demostrado que los individuos que consumen cinco o más porciones diarias de frutas y verduras tienen aproximadamente la mitad del riesgo de padecer cáncer (Dembitsky *et al.*, 2011). Especialmente, los cítricos son una fuente abundante de vitamina C, carotenoides, fenoles y flavonoides (Xu *et al.*, 2008; Guimarães *et al.*, 2010; Kittana *et al.*, 2013), que contribuyen a su elevado valor nutritivo y funcional. Dentro de los cítricos, el pomelo (*Citrus paradisi*) es una fruta de gran interés ya que aporta a la dieta mayor cantidad de compuestos bioactivos que la naranja, la mandarina, el limón o la lima (Peterson *et al.*, 2006, a y b; Xu *et al.*, 2008). Sin embargo, la presencia en esta fruta de flavonoides como la narangina, le aporta un sabor amargo que limita su consumo en fresco. Además, la estacionalidad de las frutas y su corta vida útil, debida al elevado contenido en agua, limitan su disponibilidad y por tanto el aprovechamiento de todas sus propiedades nutritivas. Es así como el consumo de fruta en fresco ha disminuido en los últimos años y ha aumentado el mercado los productos procesados a base de frutas (Zulueta *et al.*, 2007), tales como zumos, mermeladas, compotas, frutas deshidratadas, entre otras, como una alternativa para potenciar su consumo y para alargar su vida útil y disponibilidad durante todo el año.

Uno de los métodos más aplicados para la estabilización y aumento de la vida útil de los productos agroalimentarios es la deshidratación (Bennett *et al.*, 2011). Esta técnica es aplicada ampliamente en frutas, con lo que se consigue, además, reducir su volumen y peso, facilitando su transporte y manipulación (Fazaeli *et al.*, 2012). Dentro de los procesos de deshidratación, la atomización (*spray drying*) es una alternativa interesante. Su aplicación se inició con la obtención de leche, café y cacao en polvo extendiéndose actualmente a los zumos de frutas y a la encapsulación de compuestos sensibles al calor como los carotenoides y polifenoles (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Frascareli *et al.*, 2012; Zhongxiang y Bhesh, 2012).

La atomización consiste en la pulverización de un producto líquido, de manera que las gotas entran en contacto con una corriente de aire o gas inerte caliente que permite la evaporación inmediata del agua de las mismas. Este tipo de deshidratación es una forma rápida de eliminación de agua en un tiempo corto de contacto gota-aire caliente, conservando en mayor grado las características iniciales del producto. La técnica permite, por lo tanto, obtener un polvo atomizado de alta calidad (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Horszwald *et al.*, 2013), ya que la transferencia de calor entre el aire caliente y la gota es absorbida en su mayoría por el agua para su evaporación. No obstante, la temperatura del aire caliente tiene una atribución en la formación

de la costra o corteza superficial de la gota que permitirá una mayor o menor difusión del agua a la superficie para su correcto secado. De la misma forma, el material de partida y el caudal de alimentación tienen una influencia sobre el secado del producto permitiendo obtener un polvo muy fino o partículas de mayor tamaño (Gharsallaoui *et al.*, 2007). En función de los parámetros de atomización seleccionados se obtendrán polvos más o menos higroscópicos, con un contenido mayor o menor de agua y unas características finales distintas (Alamilla-Beltran *et al.*, 2005; Tonon *et al.*, 2008; Fazaeli *et al.*, 2012). Conjuntamente se ha visto que el tipo de proceso de secado aplicado al fruto así como sus condiciones establecidas de trabajo, generan un comportamiento diferente en los compuestos bioactivos, influyendo en sus características nutricionales, así como en el color y textura del producto final (Vanamala *et al.*, 2005; Horszwald *et al.*, 2013). Por todo lo anterior, es substancial la definición de las condiciones óptimas de atomización para la obtención de un alimento en polvo con características adecuadas.

La obtención de producto en polvo a partir de fruta no es un proceso fácil debido al alto contenido en ácidos, como el cítrico y el málico, y azúcares de bajo peso molecular como la sacarosa, glucosa y fructuosa en su composición, que hace que el producto obtenido sea altamente higroscópico, mostrando, enseguida, problemas de pegajosidad y apelmazamiento (Adhikari *et al.*, 2003; Gabas *et al.*, 2007; Kelebek, 2010). Una técnica habitual para contrarrestar estos problemas es la incorporación de determinados solutos que eviten la adherencia de las partículas en polvo tanto al equipo como entre sí (Gabas *et al.*, 2007; Zhongxiang y Bhesh, 2012). Los solutos deben ser solubles y aportar baja viscosidad al zumo para realizar una pulverización correcta del producto durante el atomizado (Fazaeli *et al.*, 2012). En general, se trata de solutos de alto peso molecular. Un soluto empleado en la industria alimentaria es la goma arábica, goma natural obtenida del exudado de plantas de diferentes especies *Acacia*. La goma arábica es una mezcla de múltiples fracciones de polisacáridos, compuestos de D-galactosa y L-arabinosa en estructuras altamente ramificadas, de un complejo arabinogalactano-proteína y de glicoproteínas, constituidas por una porción de carbohidratos de alta y baja masa molecular, respectivamente, así como de proteína (Verbeken *et al.*, 2003; Makoto *et al.*, 2008). La goma arábica posee características como emulsificante y aporta estabilidad tanto a gotas recién formadas como a los polvos a largo plazo (Verbeken *et al.*, 2003; Dickinson, 2009). Su alto peso molecular, alta solubilidad y baja viscosidad permiten una mejor atomización de licuados de frutas (Verbeken *et al.*, 2003; Gharsallaoui *et al.*, 2007; Frascareli *et al.*, 2012). Tiene varias aplicaciones en el ámbito alimentario una de ellas es en bebidas de cola, cítricas y dietéticas, debido a su estabilidad y aporte en semejanza a la pulpa de los zumos de frutas naturales (Dickinson, 2003; Verbeken *et al.*, 2003). Otro soluto es la fibra de bambú, fibra natural proveniente de la planta de subfamilia *Bambusoideae*, compuesta por hemicelulosa, celulosa, pectina y lignina (Scurlock *et al.*, 2000; Eun-Jin y Deok-Young, 2009; Ming-Fei *et al.*, 2010; Pai *et al.*, 2011). Actualmente la fibra de bambú se ha incorporado en los alimentos demostrando las características propias de una fibra. Además de generar estabilidad,

contribuye a la prevención de enfermedades crónicas (Dello *et. al.*, 2004; Mejía *et al.*, 2009; Eun-Jin y Deok-Young, 2009; O'Shea *et al.*, 2012). Si bien su efecto estabilizador de productos en polvo no está descrito, su composición podría hacerlo un buen candidato para este fin.

Por todo lo anterior, el objetivo de este estudio ha sido identificar las condiciones óptimas de atomización de un licuado de pomelo adicionado con goma arábica y fibra de bambú, para obtener un producto atomizado con alto contenido en compuestos bioactivos y actividad antioxidante, así como con baja higroscopicidad y humedad, al mismo tiempo que con unas características apropiadas de color.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materias primas

El pomelo (*Citrus paradisi*, var. Star Ruby) fue adquirido en un supermercado local en Valencia y seleccionado en función de su color, firmeza, tamaño y ausencia de daños físicos superficiales. En el proceso de atomización los solutos empleados fueron goma arábica y fibra de bambú (Sigma-Aldrich, USA).

Diseño experimental

Como variables independientes para el estudio se han considerado la temperatura de entrada del producto al atomizador (x_1 , 120-180 °C), la concentración de goma arábica (GA) (x_2 , 4-12%, p/p) y la concentración de fibra de bambú (FB) (x_3 , 0-2%, p/p), establecidas de acuerdo a resultados de estudios pre-experimentales. Para estudiar el efecto de estas variables con el menor número de tratamientos posibles, se ha realizado un diseño experimental centrado compuesto, rotatorio y ortogonal. El diseño propuso llevar a cabo las 23 experiencias que se muestran en la Tabla 1. Estas experiencias se llevaron a cabo en orden aleatorio. Las variables respuesta estudiadas con el polvo obtenido fueron la temperatura de salida (y_1), el rendimiento en producto (y_2), el rendimiento del secado (y_3), la humedad (y_4), la higroscopicidad (y_5), la solubilidad (y_6), la luminosidad (y_7), el tono (y_8), el croma (y_9), la diferencia de color con respecto a la muestra con menor contenido en solutos (y_{10}), el contenido en fenoles totales (y_{11}), en flavonoides totales (y_{12}), en carotenoides totales (y_{13}), en vitamina C (y_{14}) y la capacidad antioxidante (y_{15}).

Preparación de la muestra y condiciones de atomización

La fruta fue previamente lavada, pelada y licuada. Para el proceso de atomización, el pomelo licuado fue mezclado con la goma arábica y fibra de bambú, preparadas previamente en una disolución en agua, de acuerdo a las proporciones planteadas en el diseño experimental obtenido (Tabla 1). La incorporación de los solutos se realizó en un agitador magnético (MBG-05E

TABLA 1. Matriz del diseño experimental centrado compuesto. Variables independientes (x_i) y datos experimentales obtenidos para las variables de respuesta (y_i).

#	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_{15}
1	150	8	1	76,67	3,70	90,08	1,90	24,31	0,997	90,39	65,47	8,91	44,80	12.981,12	649,11	352,66	433,22	6.391,13
2	150	8	1	77,50	4,15	90,11	2,06	23,08	0,988	90,23	64,08	8,33	44,67	13.495,42	757,93	418,10	474,91	6.609,18
3	150	8	1	78,00	3,92	90,11	1,75	21,75	0,982	90,40	65,27	9,37	44,73	13.312,92	723,47	380,04	449,07	5.400,90
4	150	8	1	82,33	4,12	90,15	2,31	22,30	0,975	90,25	64,20	8,49	44,67	17.961,39	782,64	768,99	463,70	3.927,52
5	150	8	1	84,33	4,46	90,26	1,92	23,80	0,984	89,15	64,32	9,33	43,54	17.835,60	846,62	914,63	503,84	4.207,23
6	150	8	1	81,00	4,56	90,21	1,20	28,90	1,006	90,66	79,25	8,99	45,97	18.023,78	609,68	478,51	516,17	6.246,86
7	150	8	1	87,50	4,10	90,23	1,39	23,68	0,977	90,48	66,42	9,15	44,91	15.953,82	751,04	818,50	441,94	3.817,96
8	150	8	1	93,00	5,20	89,94	2,92	21,05	0,975	88,10	63,36	10,96	42,24	16.341,71	1.004,62	794,76	588,79	6.659,18
9	150	8	1	78,00	5,04	90,15	1,82	33,48	0,953	89,32	66,08	9,81	43,73	15.398,64	940,44	529,69	557,93	6.017,81
10	120	4	0	64,63	4,02	92,31	5,27	14,08	0,951	83,59	55,79	13,95	36,91	6.329,56	1.560,19	868,96	531,97	6.331,35
11	150	14.72	1	84,00	6,66	86,88	1,67	33,29	0,979	90,25	67,74	7,65	45,02	15.608,07	2.221,50	298,37	613,72	4.113,98
12	200	8	1	99,00	4,64	90,22	1,03	15,36	0,979	89,16	72,83	12,04	43,83	11.096,56	880,12	000,00	389,88	6.606,11
13	120	12	0	64,00	5,83	88,37	1,90	20,11	1,000	89,50	65,02	8,54	44,03	17.859,09	1.118,12	877,65	537,25	4.338,74
14	180	4	2	98,00	3,59	91,60	2,84	9,90	0,928	85,69	59,33	13,21	39,30	13.946,67	924,24	501,65	290,70	7.051,90
15	120	4	2	64,00	3,84	92,15	2,39	10,67	0,929	81,02	57,21	17,86	34,33	13.662,41	757,46	273,08	478,64	7.465,78
16	180	12	2	99,33	6,39	87,72	1,16	22,82	0,959	89,10	69,80	9,66	43,82	17.962,66	1.143,47	592,92	397,65	3.632,47
17	180	4	0	99,00	3,18	92,65	3,00	9,61	0,981	83,79	59,54	16,09	37,03	13.361,66	675,03	1.162,77	267,45	4.838,92
18	180	12	0	93,50	6,69	88,72	0,79	31,06	0,988	88,63	69,37	10,90	43,21	19.457,32	2.385,43	524,23	421,91	2.429,55
19	150	8	2.68	72,00	4,64	89,26	2,95	21,44	0,923	88,53	65,71	10,36	42,90	21.844,25	1.113,42	474,75	472,06	3.679,48
20	150	8	0	81,00	5,11	90,37	4,90	21,40	1,004	88,78	65,98	9,95	43,21	21.248,60	1.337,42	363,37	512,38	5.397,27
21	120	12	2	68,00	5,25	87,60	1,64	16,57	0,968	90,24	69,62	7,86	45,08	15.408,05	2.269,42	7,38	500,76	5.605,11
22	100	8	1	46,56	4,29	89,43	7,81	15,61	0,967	87,96	64,50	10,66	42,24	3.977,25	1.276,02	478,38	568,69	3.632,53
23	150	1.27	1	86,00	0,99	93,30	5,34	6,10	0,872	49,63	45,44	32,92	00,00	6.697,70	236,70	42,27	151,35	2.029,47

Donde x_1 es la temperatura de entrada ($^{\circ}\text{C}$), x_2 es la concentración de goma arábica en %p/p, x_3 es la concentración de fibra de bambú en %p/p, y_1 la temperatura de salida ($^{\circ}\text{C}$), y_2 es el rendimiento en producto en $\text{g}_{\text{polvo}}/100\text{g}_{\text{producto que entra en el atomizador}}$, y_3 es el rendimiento del secado en $\text{g}_{\text{agua perdida}}/100\text{g}_{\text{producto que entra en el atomizador}}$, y_4 es la humedad en $\text{g}_{\text{agua}}/100\text{g}_{\text{polvo}}$, y_5 es la higroscopicidad en $\text{g}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$, y_6 es la solubilidad en fracción másica, y_7 es la Luminosidad (L^*), y_8 es el tono (h^*_{ab}), y_9 es el croma (C^*_{ab}), y_{10} es la diferencia de color (ΔE) respecto a la muestra con menor contenido de solutos, y_{11} es el contenido en fenoles totales en $\text{mgGAE}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$, y_{12} es el contenido en flavonoides totales en $\text{mgRE}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$, y_{13} es el contenido en carotenoides totales en $\text{mg}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$, y_{14} es el contenido en vitamina C en $\text{mg}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$, y_{15} es la actividad antioxidante en $\text{mmolTE}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$.

OVAN, EU) a 750 rpm, hasta obtener una disolución homogénea. Una vez preparada la disolución, 400g de cada una de ellas se mezcló con 400 g de licuado de pomelo. Tanto el pomelo licuado como las disoluciones de los solutos como las mezclas fueron caracterizadas a nivel de contenido en agua, °Brix y pH. El contenido en agua se determinó por el método gravimétrico en estufa a vacío (Vaciotem, J.P. Selecta) a 60°C hasta peso constante. Los °Brix fueron medidos con un refractómetro Abbe Atago 89553, Zeiss (Japan) a 20 °C; el pH con un pHmetro Consort C830 (Bélgica). Inmediatamente las muestras fueron congeladas a -40°C, en un ultracongelador (ARC-45/87, Dycometal), hasta su posterior atomización. Para ello, las muestras se sacaban 24 h antes del congelador y se mantenían en nevera hasta su procesado. Para la atomización de las muestras se empleó un atomizador Buchi-mini (B-290, Suiza). En todos los casos la velocidad de aspiración, el flujo del alimento y el aire de atomización fueron de 35 m³/h, 9 mL/min y 473 L/h, respectivamente. La temperatura de entrada fue variada según el diseño experimental (Tabla 1). Durante la atomización se registró en el equipo la temperatura de salida (°C). Los polvos obtenidos de los diferentes tratamientos fueron recuperados en viales cuando su temperatura alcanzó 50°C y fueron mantenidos en un desecador a temperatura ambiente (25°C) hasta realizar las diferentes determinaciones.

Análisis de las variables respuesta

Con los polvos recuperados se determinó el rendimiento en producto (y_2) y el del secado (y_3), (Ecuaciones 1, 2 y 3).

$$\text{Rendimiento en producto} = \frac{m^p}{m} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento del secado} = \frac{\text{masa agua perdida (g)}}{m} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Masa agua perdida} = m - \{[(m_s - m_s^p) \cdot x_w] + (m_s - m_s^p)\} - m^p \quad (3)$$

donde: m = masa de producto que entra al atomizador (g); m_s = masa de sólidos en el producto que entra al atomizador (g); m_s^p = masa de sólidos en el polvo (g); x_w = humedad del polvo (bs); m^p = masa de polvo recuperado (g).

La humedad (y_4) en g_{agua}/100g polvo fue obtenida bajo la misma metodología descrita para las diferentes muestras a atomizar. Para la higroscopicidad (y_5) se siguió la metodología de Cai y Corke, 2000 colocando 1g de muestra en un ambiente creado por una disolución de Na₂SO₄ saturada (81% de humedad relativa) a 25°C durante 24 h en un desecador cerrado herméticamente. Las muestras fueron pesadas antes y

después de la experiencia y los resultados se expresaron como g de agua ganada/100 g de sólidos de pomelo. La solubilidad (y_6) de las muestras se evaluó de acuerdo a la metodología descrita por Mimouni *et al.*, 2009 con algunas modificaciones. Al pomelo en polvo se le adicionó agua destilada en un vaso de precipitados de 50 mL conectado a un baño de agua circulante (Refrigerated Circulator 9101, PolyScience), a 20°C y bajo agitación magnética constante (750 rpm) hasta lograr el mismo contenido de sólidos solubles que la disolución inicial de pomelo licuado adicionado con solutos. Al final de cada periodo de rehidratación, 1,5 g de la disolución obtenida fue muestreada por triplicado para la determinación del contenido de los sólidos totales (ST), por el método gravimétrico en estufa a 60°C a vacío (Vaciotem, J.P. Selecta) durante 24 h. Al mismo tiempo, parte de la muestra rehidratada fue centrifugada a 10000 rpm durante 10 minutos a 4°C. El sobrenadante se filtró (papel filtro Whatman n°. 1) a vacío. Posteriormente, 1,5 g del filtrado fue muestreado por triplicado para la determinación de los sólidos solubles (SS), por el mismo método gravimétrico de los ST. La fracción másica de los solutos disueltos (SD) fue calculada aplicando la Ecuación 4.

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

La obtención de las propiedades ópticas se realizó midiendo el espectro de reflexión (colorímetro MINOLTA CM-2002, Japón). Se seleccionó el espacio de color uniforme CIE-L*a*b* para obtener las coordenadas de color, donde L* indica luminosidad (variable de respuesta y_7), a* indica cromaticidad de un eje verde (-) a rojo (+) y b* cromaticidad de un eje azul (-) a amarillo (+). Las coordenadas de color se obtuvieron a partir de un observador 10° y un iluminante D65, y fueron utilizadas para calcular el tono (h_{ab}^*) (Ecuación 5) y el croma (C_{ab}^*) (Ecuación 6), que fueron las variables respuesta y_8 y y_9 , respectivamente. Además, se calculó la diferencia de color de cada muestra con respecto al polvo obtenido a partir de la muestra con el menor contenido en solutos (ΔE^* , Ecuación 7). Ésta fue la variable respuesta y_{10} .

$$h_{ab}^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (5)$$

$$C_{ab}^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (7)$$

Las propiedades ópticas de los polvos fueron medidas una vez que se habían comprimido las muestras, con la finalidad de obtener muestras con una superficie uniforme, con menor porosidad e igual espesor, y así disponer de resultados reproducibles. Para ello el polvo se colocó en un soporte de aluminio circular de 11 mm de diámetro y 5,5 mm de altura. La muestra se comprimió en 3 mm usando una sonda cilíndrica de 10 mm acoplada a un

texturómetro TA-XT Plus (Stable Micro Systems, UK). Posteriormente, para la medida de color, se colocó un vidrio óptico (CR-A51, cámara Minolta, Japón) entre la muestra y la lente del espectrocolorímetro con una ventana de medición de 6 mm de diámetro. Las muestras de pomelo fresco y licuado fueron colocadas en una cubeta de 38 x 50 mm situada directamente en el lente del espectrocolorímetro. En este caso la ventana de medición fue de 30 mm de diámetro.

La medida de los fenoles, flavonoides y carotenoides totales, variables respuesta y_{11} , y_{12} e y_{13} , respectivamente, se realizó por espectrofotometría a una absorbancia de 765 nm, 430 nm y 446 nm, respectivamente, utilizando un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). La determinación de los fenoles totales se llevó a cabo utilizando el ensayo Folin-Ciocalteu según Benzie y Strain (1999). Para la extracción de los fenoles totales se siguió la metodología descrita por Tomás-Barberán *et al.* (2001). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de ácido gálico. Los flavonoides totales (y_{12}) se determinaron tomando 1 mL del extracto obtenido de los fenoles totales al que se le añadió 1 mL de una dilución en metanol de $AlCl_3$ (20g/L) y se dejó en oscuridad por 30 minutos. Se cuantificaron empleando rutina como patrón. Para la extracción de los carotenoides totales (y_{13}) se siguió la metodología descrita por Olives Barba *et al.* (2006), utilizando β -caroteno como patrón.

Para la determinación de la vitamina C (variable respuesta y_{14}) se procedió a la reducción del ácido dehidroascórbico (DHAA) a ácido ascórbico (AA) usando el DL-ditriotritol (Sigma-Aldrich), de acuerdo con Sánchez-Moreno *et al.* (2003). Para la determinación del AA se siguió la metodología descrita por Xu *et al.* (2008). Los análisis se realizaron por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) empleando 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 650nm. El equipo cuenta con un desgasificador incorporado y un inyector automático. Se empleó una columna Zorbax SB-C18 de 5 μ m (4,6 x 25 mm), junto con una precolumna (C18 Teknokroma).

La actividad antioxidante de las muestras (variable respuesta y_{15}) 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 es recomendado por distintos autores (Sánchez-Moreno *et al.*, 2003). Se midió la absorbancia a 515 nm en un espectrofotómetro UV-visible (Thermo Electron Corporation, USA). El porcentaje de DPPH fue calculado según la Ecuación 8. Los resultados finales fueron expresados como mmoles de trolox equivalentes (TE), empleando una curva de calibración de trolox en el intervalo de 6,25-150 μ mol TE.

$$\%DPPH = \frac{A_{control} - A_{muestra}}{A_{control}} \quad (8)$$

donde: A_{control} = absorbancia del control (absorbancia de la muestra a tiempo 0); A_{muestra} = absorbancia de la muestra cuando la reacción se ha estabilizado.

Los análisis de las variables y_4 a y_{15} fueron realizados por triplicado. Los resultados de y_{11} a y_{14} fueron expresados como mg de cada componente/100g de sólidos de pomelo, excepto y_{15} que fue expresada como mmoles de TE/100g de sólidos de pomelo. Los resultados del pomelo fresco y licuado fueron expresados como mg de cada componente/100g de pomelo fresco y mg de cada componente/100g de pomelo licuado, respectivamente, excepto en la actividad antioxidante que fue expresado como mmoles de TE/100g de pomelo fresco y mmoles de TE/100g de pomelo licuado, respectivamente.

Análisis estadístico

Para seleccionar el modelo de regresión que ajustara de forma adecuada los resultados experimentales con las variables independientes se realizó un análisis de varianza y un análisis de superficie de regresión. El modelo polinómico generalizado propuesto para la predicción de las variables respuesta en función de las variables independientes fue el dado por la Ecuación 9:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i x_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{ij=1}^3 \beta_{ij} x_i x_j \quad (9)$$

donde: y_i = variable respuesta predicha por el modelo; β_0 = constante; β_i , β_{ii} y β_{ij} = coeficientes de los términos lineales, cuadráticos y de las interacciones, respectivamente; x_i y x_j = representan las variables independientes.

En el modelo final reducido, para cada variable respuesta se incluyeron únicamente los términos que fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$) y se descartaron los no estadísticamente significativos ($p > 0,05$). La bondad del ajuste de los modelos finales reducidos con los datos experimentales fue evaluada a partir del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y el error estándar (SE). Aquellos modelos con un R^2_{adj} significativo se utilizaron para la optimización del proceso. Para ello se realizó una optimización de respuesta múltiple, utilizando un optimizador que permite establecer la combinación de los valores de las variables de entrada que conjuntamente optimizan las variables respuesta. A través de este procedimiento de optimización, fue obtenida la combinación de las variables independientes del secado por atomización que permite conseguir un polvo con las propiedades más deseables en cuanto al mayor contenido en vitamina C, fenoles totales, actividad antioxidante y rendimiento del producto y de menor temperatura de salida, humedad, higroscopicidad y diferencia de color.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados usando el programa estadístico Statgraphics Plus 5.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la pulpa de pomelo

Los valores medios (y desviación estándar) de humedad, °Brix, pH, concentración de compuestos funcionales y propiedades ópticas tanto del pomelo fresco (PF) como licuado (PL) se muestran en la Tabla 2. Inicialmente los valores de los resultados del PL fueron expresados en base 100g de PL para observar el efecto del licuado en la muestra. Posteriormente para comparar los resultados del PL con respecto a los del PF se expresaron en base a 100g de PF.

TABLA 2. Caracterización del pomelo fresco (PF) y del pomelo licuado (PL).

	PF (referido a 100g PF)	PL (referido a 100g PL)	PL (referido a 100g PF)
Humedad ¹	0,885±0,002 ^{b, A}	0,8920±0,0005 ^a	0,5143±0,0003 ^B
° Brix	10,4 ± 0,2 ^{a, A}	10,7±0,2 ^a	10,7±0,2 ^A
pH	3,14±0,02 ^{a, A}	3,04±0,06 ^a	3,04±0,06 ^A
Vitamina C ²	46,7±0,9 ^{a, A}	40,6±0,9 ^b	23,4±0,5 ^B
Acido ascórbico ²	46±3 ^{a, A}	35,7±1,6 ^b	20,6±0,9 ^B
Fenoles totales ²	54,0±0,8 ^{a, A}	25,7±0,3 ^b	14,79±0,14 ^B
Flavonoides totales ²	6,42±0,02 ^{a, A}	3,59±0,11 ^b	2,10±0,02 ^B
Carotenoides totales ²	4,75±0,12 ^{a, A}	4,13±0,10 ^b	2,38±0,06 ^B
Actividad antioxidante ³	15,5±0,3 ^{a, A}	8,2±0,3 ^b	4,7±0,2 ^B
Propiedades ópticas ⁴			
L*	39,5±0,4 ^a	32,1±0,3 ^b	
a*	26,08±1,2 ^a	21,5±0,2 ^b	
b*	17,6±0,5 ^a	14,34±0,12 ^b	
C* _{ab}	31,4±1,2 ^a	25,84±0,20 ^b	
h* _{ab}	34,0±0,3 ^a	33,72±0,07 ^a	
ΔE	9,30		

Letras diferentes en superíndices dentro de las filas, entre las mayúsculas y las minúsculas, indica diferencia estadísticamente significativa, ANOVA ($p < 0,05$). Unidades: ¹g agua/g producto; ²mg/100 g producto; ³mmol TE/100 g producto; ⁴ Iluminante D65, observador 10°

La humedad del PF y PL presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), mientras que en los °Brix y el pH de las muestra no existieron diferencias significativas ($p > 0,05$). Esto se debe a que durante el proceso del licuado se eliminan componentes sólidos de la fruta, mayormente fibra, que presentan menor humedad que el resto del material del pomelo, dando valores mayores de humedad (0,8920±0,0005) sin que se afecten los °Brix. En general los valores obtenidos de humedad, °Brix y pH fueron similares a los reportados en bibliografía para el pomelo fresco (Iguar *et al.*, 2010; Moraga *et al.*, 2012). El proceso de licuado del pomelo provocó, además, cambios significativos ($p < 0,05$) en el valor funcional del zumo. Se observaron menores contenidos de fenoles, flavonoides, carotenoides totales y vitamina

C, que, además, se reflejó en una menor actividad antioxidante. En general la vitamina C, el ácido ascórbico y la actividad antioxidante muestran valores similares en comparación con los reportados en estudios anteriores, mientras que el resto de los componentes funcionales resultaron ligeramente inferiores (Iguar *et al.*, 2010; Iguar *et al.*, 2011; Moraga *et al.*, 2012).

Las muestras estudiadas presentaron diferencias significativa ($p > 0,05$) en cuanto a sus propiedades ópticas, con excepción del tono (h^*_{ab}). Los valores positivos de a^* y b^* indican que tanto el PF como el PL tienen rojo y amarillo, si bien por el ángulo de tono (h^*_{ab}), éste se sitúa más cerca del rojo. El croma, sin embargo, fue mayor en PF que en PL hecho que puede deberse a la eliminación de la pulpa más gruesa en el licuado generando menor saturación de color. El valor de ΔE con respecto al pomelo fresco resultó de 9,30 unidades, resultando ésta una diferencia visualmente perceptible (Bodart *et al.*, 2008).

Modelo de superficie de respuesta

Los resultados experimentales obtenidos para cada variable respuesta se observan en la Tabla 1. Los modelos reducidos finales correspondientes a la correlación de cada variable respuesta con las variables independientes están reportados en la Tabla 3. Los resultados muestran los modelos de superficie respuesta significativos ($p < 0,05$) con unos coeficientes de regresión entre 0,66 y 0,98. Por lo tanto más del 66% de la variabilidad fue explicada en función de las tres variables independientes elegidas.

La temperatura de salida se mantuvo en un intervalo de 46 a 99 °C y fue afectada únicamente por la temperatura de entrada (x_1), de manera que si la temperatura de entrada aumenta la temperatura de salida también aumentará ya que, aunque existe un efecto cuadrático negativo, éste es menor al efecto lineal positivo (Tabla 3). El rendimiento en producto (y_2) estuvo en valores entre 0,99 y 6,69 g polvo/100 g producto que entra al atomizador y fue afectado positivamente por la concentración de goma arábica (x_2). La baja viscosidad y la reducción de pegajosidad que aporta la goma arábica favorecieron el proceso de atomización en sí y también el hecho de que una menor cantidad de polvo se pegara en la pared de la cámara de secado del atomizador incrementando y_2 . El rendimiento del secado (y_3) se encontró en valores entre aproximadamente 87 y 93 g agua perdida/100g de producto que entra al atomizador, siendo mayor cuando aumentan la temperatura de entrada y/o la concentración de fibra de bambú y menor al aumentar la concentración de goma arábica. El efecto positivo de la fibra de bambú puede deberse a su naturaleza menos soluble que permite dejar una cantidad de agua libre adecuada para su evaporación y consecuentemente el aumento de y_3 . La goma arábica al ser más soluble forma enlaces con el agua reduciendo su disponibilidad para su evaporación. En conjunto la temperatura de entrada y la concentración de fibra de bambú contrarrestan el efecto de la goma arábica. El aumento del rendimiento del secado debido al incremento de la temperatura de entrada también ha sido observado por Fazaeli *et al.* (2012) en el secado por aspersion de jugo de mora negra.

TABLA 3. Modelos reducidos finales de las variables respuesta en función de las variables independientes (según Ecuación 9).

	y_1	y_2	y_3	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	y_{14}
Constante											
β_0	-61,3475	1,74621	93,1724	-59,8772	0,883271	52,4457	40,8247	33,175	2,62071	-70743,2	512,593
Lineal											
β_1	1,3432		0,0085425	1,01126						980,338	-2,37154
β_2		0,348949	-0,49617	0,282255	0,0238657	7,80202	5,02525	-4,71149	8,65691	2193,36	62,4628
β_3			0,312261		-0,0216228					-5578,07	
Cuadrático											
β_{11}	-0,00284559			-0,00399434						-3,07707	
β_{22}				-0,131538	-0,00114195	-0,382708	-0,223185	0,218195	-0,421763	-93,183	-2,6838
β_{33}										2789,04	
Interacciones											
β_{12}				0,0233797							
β_{13}			-0,0047099								
β_{23}											
% R_{adj}^2	88,2235	78,3257	98,6126	74,4084	77,8159	74,3114	68,4455	81,3868	75,9881	76,6898	66,5916

Donde los subíndices de la constante β 1, 2 y 3 hacen referencia a la temperatura de entrada ($^{\circ}\text{C}$), concentración de goma arábica en %p/p y concentración de fibra de bambú en %p/p, respectivamente. y_1 la temperatura de salida ($^{\circ}\text{C}$), y_2 es el rendimiento en producto en $\text{g}_{\text{polvo}}/100\text{g}_{\text{producto que entra en el atomizador}}$, y_3 es el rendimiento del secado $\text{g}_{\text{agua perdida}}/100\text{g}_{\text{producto que entra en el atomizador}}$, y_5 es la higroscopicidad $\text{g}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$, y_6 es la solubilidad en fracción masica, y_7 es la Luminosidad (L^*), y_8 es el tono (h^*_{ab}), y_9 es el croma (C^*_{ab}), y_{10} es la diferencia de color (ΔE) respecto a la muestra con menor contenido de solutos, y_{11} es el contenido en fenoles totales en $\text{mgGAE}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$, y_{14} es el contenido en vitamina C en $\text{mg}/100\text{g}_{\text{sólidos totales pomelo}}$.

La higroscopicidad (y_5) de los polvos osciló en valores entre algo más de 6 y 33 g/100 g sólidos totales de pomelo y fue afectada tanto por la temperatura de entrada como por la concentración de goma arábica (Tabla 3). En la Tabla 1 se observa que, inicialmente, al aumentar x_1 y x_2 aumenta también la higroscopicidad. Sin embargo a partir de temperaturas de entrada de 150°C, la higroscopicidad tiende a disminuir por efecto de la temperatura. El aumento de la higroscopicidad de los polvos debido al efecto de la goma arábica puede deberse probablemente a la propia higroscopicidad de la goma (Fazaeli *et al.*, 2012). Esta influencia fue vista también por Telis y Martínez-Navarrete (2009), que observaron una mayor higroscopicidad en polvos con este soluto. Aunque en el modelo final obtenido (Tabla 3) la higroscopicidad presenta un efecto cuadrático negativo con x_1 y x_2 , sus efectos positivos lineales y la interacción son mayores. En cuanto a la solubilidad de los polvos (y_6), ésta se vio afectada por la concentración de ambos solutos. En la Tabla 1 se observa que al aumentar la concentración de goma arábica aumenta también la solubilidad de los polvos coincidiendo con el comportamiento natural de la goma arábica (Verbeken *et al.*, 2003; Nadeem *et al.*, 2011). Contrariamente al aumentar la concentración de fibra de bambú la solubilidad de los polvos disminuye. El efecto de aumento y disminución de la solubilidad por efecto de diferentes solutos también fue reportado por Cano-Chauca *et al.* (2005) en el secado por aspersión de mango.

Las propiedades ópticas de los polvos, $L^*(y_7)$, $h^*ab(y_8)$, $C^*ab(y_9)$ y la diferencias de color (y_{10}), se vieron afectadas sólo por la concentración de goma arábica. Los valores de los resultados experimentales de luminosidad, tono y diferencia de color aumentan al incrementarse la concentración de goma arábica, contrariamente a los valores del croma que disminuyen (Tabla 1). Lo anterior puede observarse claramente en los valores más bajo y más alto de concentración de goma arábica (ensayo 23 y 11, Tabla 1). Aunque en el modelo final existe un efecto cuadrático negativo de x_2 para y_7 , y_8 e y_{10} y positivo para y_9 , éste resulta más pequeño que el efecto lineal. Efectos semejantes debido a la adición de solutos fueron observados por otros autores (Pua *et al.*, 2007; Telis y Martínez-Navarrete, 2009; Caparino *et al.*, 2012).

Los componentes bioactivos de los polvos de pomelo fueron afectados por las variables independientes x_1 , x_2 y x_3 . El contenido en fenoles totales varió entre casi 4 y 22 g de GAE/100g sólidos totales de pomelo. Éstos se vieron afectados por la temperatura de entrada y la concentración de GA, con un efecto lineal positivo y un efecto cuadrático negativo, y por la concentración de FB con un efecto lineal negativo y cuadrático positivo (Tabla 3). El efecto positivo se observó en el aumento del contenido en fenoles totales al incrementarse la temperatura de entrada (ver ensayos 10 y 17, p.e.) y la concentración de goma arábica (ensayos 10 y 13, p.e.), según se observa en la Tabla 1. El contenido de vitamina C (y_{14}) se encontró en valores entre 151 y 614 mg/100g sólidos totales de pomelo. El aumento de la concentración de goma arábica incrementó el contenido en vitamina C y contrarrestó su disminución por efecto de la temperatura. El efecto de disminución de vitamina C por su degradación debido a la temperatura

durante la atomización, fue observado por otros autores (Langrish, 2009; Solval *et al.*, 2012). Sin embargo la goma arábica generó un efecto protector en el contenido en vitamina C en los polvos que puede deberse a su comportamiento como buen material de encapsulación, que le confiere una mayor protección con respecto a otros solutos contra la oxidación y volatilización de compuestos de interés, como lo reportan otros autores (Krishnan *et al.*, 2005; Shaikh *et al.*, 2006).

En el atomizado de pulpa de pomelo existieron variables respuesta que no resultaron significativas ($p > 0,05$) al correlacionarlas con las variables independientes, como fueron la humedad del polvo, los flavonoides y carotenoides totales y la actividad antioxidante. No obstante, a continuación se menciona la tendencia de su evolución.

La humedad de los polvos (y_4) varió entre 0,8 y 8 %. En general el aumento de x_1 y x_2 generaron la reducción de la humedad en los polvos. La disminución de y_4 por el incremento de x_1 de 100 a 200 °C, a una concentración constante de x_2 de 8 y de x_3 de 1 %, se observa en los ensayos 22 y 12, respectivamente (Tabla 1). Lo anterior puede deberse a que se origina una diferencia mayor de temperatura entre el producto atomizado y el aire de secado, permitiendo que la transferencia de calor entre el aire caliente y el agua de la gota sea mayor favoreciendo su evaporación (Alamilla-Beltran *et al.*, 2005; Gharsallaoui *et al.*, 2007). Además, la humedad descendió al aumentar x_2 de 1,27 a 14,72 %, con unas constantes x_1 de 150°C y x_3 de 1% (ensayos 23 y 11, Tabla 1). Esto puede explicarse considerando que la adición de la goma para facilitar el atomizado genera un aumento de los sólidos en el producto a atomizar disminuyendo el contenido de agua para la evaporación (Fazaeli *et al.*, 2012). Lo anterior también fue observado por Mosquera *et al.* (2012) y Gabas *et al.* (2009) en polvos de fresa y lulo, respectivamente.

El contenido de flavonoides totales tuvo valores entre 0,6 y 2,3 g de RE/100g sólidos totales de pomelo, tendiendo a aumentar debido al incremento de la concentración de goma arábica (Tabla 1). El contenido de carotenoides totales (y_{13}) estuvo entre 0 y 1,2 g/100g de sólidos totales de pomelo. En general, el incremento de la temperatura disminuyó el contenido de carotenoides totales (Tabla 1), pero los solutos resultaron un factor necesario para su protección. La actividad antioxidante (y_{15}) osciló entre 2 y 7,5 mol TE/100g de sólidos totales de pomelo. En la Tabla 1 se observa que el incremento de la temperatura de entrada tiende a disminuir y_{15} , sobre todo si la presencia de solutos es baja. En este caso parece especialmente favorable el aumento de la concentración de fibra de bambú.

Procedimiento de optimización para la predicción de un secado óptimo por aspersion de pulpa de pomelo

El polvo obtenido mediante el secado por aspersion puede considerarse óptimo cuando su temperatura de salida es baja, el rendimiento de producto y del secado son altos, la higroscopicidad es baja, la solubilidad alta, el cambio de color pequeño y cuando tiene un alto contenido en compuestos bioactivos. Al seleccionar de éstas las variables cuyos modelos habían

resultado correlacionados de forma significativa ($p < 0,05$) con las variables independientes ($y_1, y_2, y_3, y_5, y_6, y_{10}, y_{11}, y_{14}$) y realizar con ellas una optimización de respuesta múltiple, se obtuvo que la combinación óptima de las variables independientes del secado por aspersión para la obtención del mejor polvo de pulpa de pomelo son una temperatura de entrada del aire de 120,36 °C, un porcentaje de goma arábica de 4,68 y de fibra de bambú de 0,000000029. Bajo estas condiciones óptimas obtendremos un polvo con unos valores predichos de temperatura de salida de 64,05°C, un rendimiento del producto de 3,38%, un rendimiento del secado de 91,88%, una higroscopicidad de 15,58%, una solubilidad de 0,97, una diferencia de color de 33,88, un contenido de fenoles totales de 10.892,9 mg de GAE/100g sólidos de pomelo y un contenido en vitamina C de 460,52 mg/100g de sólidos de pomelo.

CONCLUSION

Las variables independientes elegidas para este estudio, temperatura de entrada de aire, concentración de goma arábica y concentración de fibra de bambú, explicaron más del 66% la variabilidad de la respuesta. El aumento de la temperatura de entrada sólo favorece el rendimiento del secado. El aumento de la concentración de goma arábica aumenta el rendimiento en producto y protege a los compuestos bioactivos, pero afecta al color y aumenta la higroscopicidad del polvo. El empleo de la fibra de bambú no aporta beneficios significativos. Por todo lo anterior, se propone el uso de una temperatura de secado baja y de una concentración moderada de goma arábica para obtener un polvo con las mejores condiciones de entre las estudiadas.

REFERENCIAS

- Adhikari, B.; Howes, T.; Bhandari, B.R.; Truong, V. 2003. In situ characterization of stickiness of sugar-rich foods using a linear actuator driven stickiness testing device. *Journal of Food Engineering*, **58(1)**:11–22.
- Alamilla-Beltran, L.; Chanona-Perez, J.J.; Jimenez-Aparicio A.R.; Gutierrez-Lopez G.F. 2005. Description of morphological changes of particles along spray drying. *Journal of Food Engineering*, **67(1-2)**:179–184.
- Bennett, L. E.; Jegasothya, H.; Konczakb, I.; Frankb, D.; Sudharmarajana, S.; Clingefferc, P. R. 2011. Total polyphenolics and anti-oxidant properties of selected dried fruits and relationships to drying conditions. *Journal of functional foods*, **3(2)**:115-124.
- Bodart, M.; Peñaranda, R.; Deneyerc, A.; Flamant, G. 2008. Photometry and colorimetry characterization of materials in daylighting evaluation tools. *Building and Environment*, **43(12)**:2046-2058.
- Cai Y.Z.; Corke H. 2000. Production and Properties of Spray-dried *Amaranthus* Betacyanin Pigments. *Journal of Food Science*, **65(6)**:1248-1252.

- Cano-Chauca, M.; Stringheta, P.C.; Ramos, A.M.; Cal-Vidal, J. 2005. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **6(4)**:420-428.
- Caparino, O.A.; Tang, J.; Nindo, C.I.; Sablani, S.S.; Powers, J.R.; Fellman, J.K. 2012. Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (*Philippine 'Carabao' var.*) powder. *Journal of Food Engineering*, **111(1)**:135-148.
- Dello, S. M.; Bertola, N.; Martino, M.; Bevilacqua, A. 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *International Dairy Journal*, **14(3)**:263-268.
- Dembitsky, V. M.; Poovarodom, S.; Leontowicz, H.; Leontowicz, M.; Vearasilp, S.; Trakhtenberg, S.; Gorinstein S. 2011. The multiple nutrition properties of some exotic fruits: Biological activity and active metabolites. *Food Research International*, **44(7)**:1671-1701.
- Dickinson, E. 2003. Hydrocolloids and interfaces and influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, **17(1)**:25-39.
- Dickinson, E. 2009. Hydrocolloids as emulsifiers and emulsion stabilizers. *Food Hydrocolloids*, **23(6)**:1473-1482.
- Eun-Jin, P.; Deok-Young, J. 2009. Effects of bamboo shoot consumption on lipid profiles and bowel function in healthy young women. *Nutrition*, **25(7)**:723-728.
- Fazaeli, M.; Emam-Djomeh, Z.; Kalbasi, A. A.; Omid, M. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*, **90(4)**:667-675.
- Frascareli, E.C.; Silva, V.M.; Tonon, R.V.; Hubinger, M.D. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioproducts Processing*, **90(3)**:413-424.
- Gabas, A. L.; Telis-Romero, J.; Giraldo-Gómez, G. I.; Nicoletti, T. V. R. "Propiedades termodinámicas de sorción de agua de la pulpa de lulo en polvo con encapsulantes", [en línea]. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. Vol.29, No. 4. (2009). Dirección URL: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010120612009000400032&lng=en&nrm=iso>. ISSN 0101-2061. http://dx.doi.org/10.1590/S0101_20612009000400032. [Consulta: 26 de sept. 2013]
- 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(2)**:246-252.
- Garcia-Lafuente, A.; Guillamon, E.; Villares, A.; Rostagno, M. A.; Martinez, J. A. 2009. Flavonoids as anti-inflammatory agents: implications in cancer and cardiovascular disease. (Report). *Inflammation Research*, **58(9)**:537-553.
- Gharsallaoui, A.; Roudaut, G.; Chambin, O.; Voilley, A.; Saurel, R. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, **40(9)**:1107-1121.
- Guimarães, R.; Barros, L.; Barreira, J. C. M.; Sousa M. J.; Carvalho, A. M.; Ferreira, I. C. F.R. 2010. Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: Grapefruit, lemon, lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*, **48(1)**:99-106.

- Horszwald, A.; Julien, H.; Andlauer, W. 2013. Characterisation of Aronia powders obtained by different drying Processes. *Food Chemistry*, **141(3)**:2858–2863.
- Igual, M.; García-Martínez, E.; Camacho, M. M.; Martínez-Navarrete, N. 2010. Effect of thermal treatment and storage on the stability of organic acids and the functional value of grapefruit juice. *Food Chemistry*, **118(2)**:291-299.
- Igual, M.; García-Martínez, E.; Camacho, M. M.; Martínez-Navarrete, N. 2011. Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **12(2)**:153-162.
- Kelebek, H. 2010. Sugars, organic acids, phenolic compositions and antioxidant activity of Grapefruit (*Citrus paradisi*) cultivars grown in Turkey. *Industrial Crops and Products*, **32(3)**:269–274.
- Kittana, M.; Sritanaporn, J.; Pansiree, T.; Nathaporn, S.; Supitcha, P.; Natthapat, N.; Vipaporn, C.; Natarin, C.; Sathaporn, N.; Sirichai, A. 2013. Cultivar variations in antioxidant and antihyperlipidemic properties of pomelo pulp (*Citrus grandis* [L.] Osbeck) in Thailand. *Food Chemistry*, **139(1-4)**:735-743.
- Krishnan, S.; Kshirsagar, A. C.; Singhal, R. S. 2005. The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. *Carbohydrate Polymers*, **62(4)**:309-315.
- Langrish, T. A. G. 2009. Degradation of Vitamin C in Spray Dryers and Temperature and Moisture Content Profiles in these Dryers. *Food Bioprocess Technol*, **2(4)**:400–408.
- Makoto, N.; Takahiro, F.; Sakie, N.; Sayaka, I.; Saphwan, A.; Katsuyoshi, N.; Glyn, O. P. 2008. Comparison of sugar beet pectin, soybean soluble polysaccharide, and gum arabic as food emulsifiers. 1. Effect of concentration, pH, and salts on the emulsifying properties. *Food Hydrocolloids*, **22(7)**:1254–1267.
- Mejía, G. A. I.; Gallardo, C. C.; Vallejo, O. J. J.; Ramírez, L. G.; Arboleda, E. C.; Durango, A. E. S.; Jaramillo, Y. F. A.; Cadavid, T. E. 2009. Plantas del género bambusa: importancia y aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria. *VITAE, Revista de la facultad de química farmacéutica*, ISSN 0121-4004, ISSN 2145-2660, **16(3)**:396-405.
- 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(7)**:1958-1965.
- Ming-Fei, L.; Yong-Ming, F.; Feng, X.; Run-Cang, S.; Xun-Li, Z. 2010. Cold sodium hydroxide/urea based pretreatment of bamboo for bioethanol production: Characterization of the cellulose rich fraction. *Industrial Crops and Products*, **32(3)**:551-559.
- Moraga, G.; Igual, M.; García-Martínez, E.; Mosquera, L.H.; Martínez-Navarrete, N. 2012. Effect of relative humidity and storage time on the bioactive compounds and functional properties of grapefruit powder. *Journal of Food Engineering*, **112(3)**:191-199.
- Mosquera, L. H.; Moraga, G.; Martínez-Navarrete, N. 2012. Critical water activity and critical water content of freeze-dried strawberry powder as affected by maltodextrin and arabic gum. *Food Research International*, **47(2)**:201-206.
- Nadeem, H. S. A.; Torun, M.; Özdemir, F. 2011. Spray drying of the mountain tea (*Sideritis stricta*) water extract by using different hydrocolloid carriers. *LWT - Food Science and Technology*, **44(7)**:1626-1635.

- Olives, B. A. I.; Cámara, H. M.; Sánchez, M. M. C.; Fernández, R. V.; López, S. de T. M. 2006. Application of a UV–vis detection-HPLC method for a rapid determination of lycopene and b-carotene in vegetables. *Food Chemistry*, **95(2)**:328-336.
- O'Shea, N.; Arendt, E. K.; Gallagher, E. 2012. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **16**:1–10.
- Pai, P.; Feng, P.; Jing, B.; Feng, X.; Run-Cang, S.; Kennedy, J. F. 2011. Isolation and structural characterization of hemicelluloses from the bamboo species *Phyllostachys incarnata* Wen. *Carbohydrate Polymers*, **86(2)**:883-890.
- Peterson, J.; Beecher, G.; Bhagwat, S.; Dwyer, J.; Gebhardt, S.; Haytowitz, D.; Holden, J. 2006. Flavanones in grapefruit, lemons and limes: a compilation and review of the data from the analytical literature. *Journal Food Composition and Analysis*, **19**:S74-S80. **a**
- Peterson, J.; Dwyer, J.; Beecher, G.; Bhagwat, S.; Gebhardt, S.; Haytowitz, D.; Holden, J. 2006. Flavanones in oranges, tangerines (mandarins), tangors, and tangelos: a compilation and review of the data from the analytical literature. *Journal of Food Composition and Analysis*, **19**: S66-73. **b**
- Pua, C. K.; Hamid, N. S. A.; Rusul, G.; Rahman, R. A. 2007. Production of drum-dried jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) powder with different concentration of soy lecithin and gum Arabic. *Journal of Food Engineering*, **78(2)**:630–636.
- Sánchez-Moreno, C.; Plaza, L.; De Ancos, B.; Cano, P. M. 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(5)**:430-439.
- Scurlock, J. M. O.; Dayton, D.C.; Hames, B. 2000. Bamboo: an overlooked biomass resource. *Biomass and Bioenergy*, **19(4)**:229-244.
- Shaikh, J.; Bhosale, R.; Singhal, R. 2006. Microencapsulation of black pepper oleoresin. *Food Chemistry*, **94(1)**:105-110.
- Solval, K. M.; Sundararajan, S.; Alfaro, L.; Sathivel, S. 2012. Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying Technology. *LWT - Food Science and Technology*, **46(1)**:287-293.
- Telis, V. R. N.; Martínez-Navarrete, N. 2009. Collapse and color changes in grapefruit juice powder as affected by water activity, glass transition, and addition of carbohydrate polymers. *Food Biophysics*, **4(2)**:83–93.
- 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(10)**:4748-4760.
- Tonon, R. V.; Brabet, C.; Hubinger, M. D. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, **88(3)**:411-418.
- Vanamala, J.; Cobb, G.; Turner, N. D.; Lupton, J. R., Yoo, K. S.; Pike, L. M.; Patil, B. S. 2005. Bioactive compounds of grapefruit (*Citrus paradisi* cv Rio Red) respond differently to postharvest irradiation, storage and freeze drying. *Journal of Agriculture and Food Chemistry in press*, **53(10)**:3980-3985.

- Vanamala, J.; Leonardi, T.; Patil, B. S.; Taddeo, S. S.; Murphy, M. E.; Pike, L. M.; Chapkin, R. S.; Lupton, J. R.; Turner, N. D. 2006. Suppression of colon carcinogenesis by bioactive compounds in grapefruit. *Carcinogenesis*, **27(6)**:1257-1265.
- Verbeken, D.; Dierckx, S.; Dewettinck, K. 2003. Exudate gums: occurrence, production, and applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, **63(1)**:10–21.
- 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(2)**:545–551.
- Zhongxiang, F.; Bhesh, B. 2012. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, **48(2)**:478-483.
- Zulueta, A.; Esteve, M. J.; Frasquet, I.; Frígola, A. 2007. Vitamin C, vitamin A, phenolic compounds and total antioxidant capacity of new fruit juice and skim milk mixture beverages marketed in Spain. *Food Chemistry*, **103(4)**:1365–1374.