

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE ATOMIZACIÓN DE POMELO. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y DE LA ADICIÓN DE DIFERENTES SOLUTOS DE ALTO PESO MOLECULAR.

L. Egas, F. González, MM. Camacho.

Grupo de Investigación e Innovación Alimentaria (CUINA). Departamento de Tecnología de Alimentos. Universitat Politècnica de València. Camino de Vera s/n, 46022, Valencia.

RESUMEN

La variedad de aromas y sabores que poseen las frutas han hecho que se busque la posibilidad de que estos, por efecto de los tratamientos tecnológicos no se pierdan o, que en su defecto, su pérdida sea la mínima posible. Es por esto por lo que la obtención de polvos de frutas mediante deshidratación por atomización ha tomado un gran realce. El presente estudio sobre pomelo (*Start ruby*) licuado muestra la influencia de la temperatura y los adyuvantes de secado Goma arábica (GA), Maltodextrina (MD), Carboximetilcelulosa (CMC) y proteína en la calidad y en el rendimiento del proceso, además de establecer las condiciones óptimas de atomización, para lo cual se ha realizado un diseño experimental (centrado compuesto, rotatorio ortogonal), donde las variables independientes son la temperatura de entrada del aire (100-170 °C), el contenido en MD y GA (0-9,44 g/100 g de licuado de fruta) y el contenido en CMC y proteína (0-1,7 g/100 g de licuado de fruta). Este diseño permitió el análisis de las variables dependientes humedad ($X_{w_{S,T}}^p$), higroscopicidad (H_g), luminosidad (L^*), tono (h^*), croma (C^*), porosidad (ϵ), solubilidad (SD) y rendimiento en materia seca ($\eta_{m.s}$), a través de modelos de regresión y superficies de respuesta.

Palabras clave: Frutas, Pomelo, atomización, coadyuvantes de secado, luminosidad, porosidad, solubilidad, rendimiento, optimización.

RESUM

A varietat d'aromes i tasts que posseixen les fruites han fet que s'obriga la possibilitat de que estos, per efecte dels tractaments tecnològics no se perguen o, que en el seu defecte, la seua perduda siga la mínima possible. Es per açò per lo que l'obtenció de pols de fruites mediant deshidratació per Atomització ha pres un gran realçament. El present estudi sobre pomelo (*Start Ruby*) fos mostra l'influència de la temperatura i els coadjuvants de torcat Goma aràbiga (GA), Maltodextrina (MD), Carboximetilcelulosa (CMC) i proteïna en la qualitat i en el rendiment del proces, ademés d'establir les

condicions òptimes d'atomització, per a lo qual s'ha realitzat un disseny experimental (centrat compost, rotatori ortogonal), a on les variables independents son la temperatura d'entrada de l'aire (100-170 °C), el contingut en MD i GA (0-9,44 g/100 g de fos de fruita) i el contingut en CMC i proteïna (0-1,7 g/100 g de fos de fruita). Este disseny permete l'anàlisi de les variables dependents humitat ($X_{w_{S,T}}^p$), higroscopicitat (H_g), lluminositat (L^*), to (h^*), cromat (C^*), porositat (ϵ), solubilitat (SD) i rendiment en matèria seca ($\eta_{m,s}$), mitjançant models de regressió i superfícies de resposta.

Paraules clau: Fruites, Pomelo, atomització coadjuvants de torcat, lluminositat, porositat, solubilitat, rendiment, optimització

Abstract

The variety of fruits flavor had allowed the possibility to search the ways to avoid their lost or to minimize the lost by the effects of the technic treatments; one of this treatment is the powder obtention by spray drying. This study of smoothie grapefruit (Start ruby) show the effects of the temperature and the drying coadjuvants: gum Arabic (GA), Maltodextrin (MD), Carboxymethylcellulose (CMC), protein in the quality and yield of the process, also establishes the optimal conditions of spray drying for that is established a experimental design (centered compound rotating ortogonal), in which the independent variables are the input temperature of the air (100-170 °C), the contain of MD and GA (0-9,44 g/100 g of fruit smoothie) and the CMC and Protein content (0-1,7 g/100 g of fruit smoothie) this design allowed the analysis of the dependent variables humidity ($X_{w_{S,T}}^p$), hygroscopic (H_g), brightness (L^*), hue (h^*), chroma (C^*), porosity (ϵ), solubility (SD), and row material yield ($\eta_{m,s}$) by useful regression models and response surfaces models (RSM).

Key words: Fruits, grapefruit, spray drying, drying coadjuvants, brightness, porosity, solubility, yield, optimal conditions.

INTRODUCCIÓN

La amplia variedad de alimentos sobre los cuales existen distintas consideraciones sociales, económicas o culturales, que repercuten sobre su demanda, han provocado nuevas tendencias y necesidades por parte del consumidor. Estos, en la actualidad, buscan una identificación con lo que consumen (“*somos lo que comemos*”), además de una garantía de calidad y seguridad (Martín, 2014). La preocupación por la salud y el buen estado físico están relacionados con el consumo de alimentos específicos, lo que ha generado una creciente atención en los alimentos funcionales. De aquí la importancia de las frutas, que son conocidas por ser una rica fuente de compuestos polifenólicos. Sus beneficios para la salud como antioxidantes, antitrombóticas, antidiabéticas, quimioprotectoras frente al cáncer y vasodilatadoras han sido demostrados ampliamente (Mäkynen et al., 2013). Entre ellas, el género *Citrus* incluye algunas de las especies más ampliamente cultivadas en el mundo por sus muchos beneficios nutricionales y de salud. El pomelo (*Citrus grandis* L. Osbeck) pertenece a la familia Rutaceae y la variedad Start Ruby es la más representativa. Ésta fue obtenida mediante la irradiación de una semilla de la variedad Hudson en Texas en 1959. La pulpa es de coloración intensa, presenta escasas semillas y el contenido de zumo es muy alto, con un sabor más dulce y menos amargo que el de la variedad Marsh y otras variedades pigmentadas. El pomelo de variedad Start Ruby es el modelo con el que se suelen comparar otras variedades rojas (González, et al., 2013). Sus principales flavonoides son neohesperidina, hesperidina, naringenina y naringina. También es destacable su gran contenido en vitamina C (Sârbu et al., 2013).

Pese al sin número de propiedades beneficiosas que tiene el pomelo fresco, su consumo se ve dificultado por sus características sensoriales (acidez y amargor) al contrario que la naranja y la tangerina (Spreen, 2001). Un informe sobre el comercio de cítricos de la Secretaría de Agricultura de Estados Unidos (USDA) estima que el comercio mundial de cítricos, en concreto de naranja, crecerá un 7% en el año 2014. Esto se debe principalmente a la fuerte demanda de zumos envasados por parte de países de la Unión Europea. En cuanto al pomelo, este mismo organismo señala que la producción global será de 5,2 millones de toneladas, un 5% inferior a la de la temporada anterior (Aguilar, et al., 2012). Si los consumidores en los países desarrollados siguen prefiriendo el zumo de naranja al de pomelo, los productores de pomelo necesitarán encontrar nuevos mercados y/o nuevos productos (Spreen, 2001b). Todo esto ha llevado a pensar en el interés de desarrollar nuevos productos que satisfagan al consumidor y que proporcionen los mismos beneficios de la fruta fresca, además de tener una vida útil más prolongada. Los productos deshidratados, en polvo, podrían ser un nuevo formato de consumo de fruta por parte de la industria agroalimentaria. La deshidratación permitiría reducir el volumen y el peso del producto y, por tanto, reducir el coste de almacenamiento, envasado y distribución, además de obtener productos con una baja actividad del agua y estables (Martín, 2014b). Dentro de los

procesos de deshidratación, el secado por atomización o spray drying es uno de los métodos en los que se obtienen productos en polvo. Esta técnica a menudo se utiliza en alimentos de alta calidad en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas (Dobry et al., 2009). El proceso consiste en pulverizar un fluido dentro de una cámara con una corriente controlada de aire caliente. Este fluido es atomizado mediante un disco rotativo o boquilla. Cuando este se encuentra con la corriente de aire de secado, se produce una vaporización rápida del solvente, que seca suavemente sin choque térmico, obteniéndose el polvo (Nandiyanto et al., 2011). Las propiedades fisicoquímicas de los polvos secados por atomización dependen de variables tales como la viscosidad del alimentos líquido, el flujo de aire, la presión y la temperatura, así como el tipo de atomizador (Tee et al., 2012). Además del contenido de humedad, el tamaño de la partícula, la densidad aparente, la porosidad y la capacidad de rehidratación son algunas de las características importantes que deben controlarse en los productos en polvo obtenidos por atomización (Grabowski et al., 2006). Por otra parte, para facilitar el proceso de secado, mejorarlo y reducir los problemas de pegajosidad y aglomeración durante el almacenamiento, mejorando así la estabilidad del producto, se añaden solutos (Dobry et al., 2009b; Georgettia et al., 2008; Ozdikicierler et al., 2014) tales como la maltodextrina (MD) que aumenta el volumen y favorece la formación de la película además de reducir la permeabilidad al oxígeno.

Otro hidrocoloide ampliamente utilizado es la goma arábica (GA). Esta tiene mayor valor comercial debido a su amplia aplicación en la industria cosmética de alimentos y farmacéutica. (Mahfoudhi, et al., 2014). Es uno de los materiales más utilizados en microencapsulación mediante secado por atomización y produce emulsiones estables (Fernandes, et al., 2014). También se utiliza como fijador de aromas en aplicaciones de secado por atomización, donde la goma actúa como encapsulante y protege al aroma de la oxidación y de la volatilización(Krishnan, et ál., 2005).

La Carboximetilcelulosa (CMC) tienen una alta solubilidad en agua fría y se utilizan principalmente para controlar la viscosidad no gelificante en alimentos (Aravind, et al., 2012). De acuerdo con González et al., (2013b), la CMC disminuye la higroscopicidad y aumenta la porosidad, pero disminuye el rendimiento del pomelo licuado cuando a este se añade una concentración de GA de 6,2% y de CMC de 0,1% y la mezcla entra en el atomizador a una temperatura de 100°C. La proteína del suero de leche se ha aplicado ampliamente en la microencapsulación de sabores, aceites y micronutrientes. Esta funciona como material de pared en la superficie de la partícula para prevenir el daño oxidativo y la liberación de los materiales de la matriz (Wang et al., 2013). Por otra parte, la cantidad de solutos adicionados para favorecer el proceso debe ser mínima para que los cambios ocurridos en las propiedades del producto por su presencia sean mínimos y el coste del producto sea el menor posible (Ozdikicierler et al., 2014b).

El objetivo de este trabajo es evaluar cómo afecta la adición de maltodextrina, goma arábica, Carboximetilcelulosa y Proteína a la calidad del pomelo atomizado y al rendimiento del proceso. Además, en base a

estos resultados, se propone establecer las condiciones óptimas de atomización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para establecer el efecto de la adición de Maltodextrina (MD), Goma arábiga (GA), Carboximetilcelulosa (CMC) y Proteína e identificar las condiciones óptimas para la atomización de un licuado de pomelo, se aplicó la metodología de superficie de respuesta, que supone seleccionar y ejecutar un diseño experimental, aplicar el tratamiento matemático y estadístico adecuado a los resultados, a fin de obtener las correspondiente funciones polinómicas, y utilizar un proceso de optimización de respuesta múltiple.

Para este estudio se utilizara un aislado proteico funcional de suero de leche LACPRODAN® DI-9212 con el fin de evaluar su incidencia como adyuvante en la obtención de polvos de pomelo licuado, el producto se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones en medio ácido. Posee una alta estabilidad al calor y es claro en soluciones, lo que hace especialmente adecuado para los productos líquidos pasteurizados o UHT.

Las variables respuesta que se tomaron en consideración fueron: humedad del producto referida a los sólidos totales del pomelo ($X_{w_{S.T}}^p$), higroscopicidad (H_g), luminosidad (L^*), tono (h^*), croma (C^*), porosidad (ϵ), solubilidad (SD) y rendimiento en materia seca ($\eta_{m.s}$).

Materias primas

La fruta empleada fue pomelo (*Citrus paradisi*, var. Star Ruby), obtenida de un supermercado local de la ciudad de Valencia. Las frutas fueron seleccionadas en base a su color, tamaño y ausencia de daños. Los solutos utilizados para la obtención del pomelo en polvo, fueron MD, GA, CMC y Proteína (LACPRODAN® DI-9212). Los primeros tres suministrados por la empresa Alfa Aesar (Alemania) y el último por la empresa Arla Foods Ingredients (Dinamarca).

Preparación de muestras

El pomelo fue lavado, pelado, licuado y tamizado. El pomelo licuado fue mezclado con la MD, GA, CMC y Proteína, preparados previamente en una disolución de agua de acuerdo a las proporciones indicadas en el diseño experimental obtenido según la metodología de superficie respuesta (Tabla 1). La incorporación de solutos se realizó en un agitador magnético (OVAN, Basic MagMix, España) a 1200 rpm hasta obtener una disolución homogénea. Una vez preparada la disolución, 500 g de agua destilada se mezclaron con 500 g de solutos, que incluían la GA, la MD, la CMC, la Proteína y el licuado de pomelo. Las mezclas fueron caracterizadas en cuanto a contenido en agua y °Brix. El contenido en agua se determinó por el método gravimétrico de secado en estufa a vacío (VACIOTEM,

J.P.Selecta, España) a 60°C hasta alcanzar peso constante. Los °Brix fueron obtenidos utilizando un refractómetro (METTLER TOLEDO, Refracto 30PX, España) a 20°C. Inmediatamente después, las muestras fueron congeladas a -40°C para su posterior atomización.

Proceso de atomización

Veinticuatro horas antes de la atomización, las muestras se retiraron del congelador y se mantuvieron en nevera hasta su descongelación. La atomización de las muestras se realizó en un atomizador Büchi-mini (B-290). En todos los casos se trabajó a una velocidad de aspiración, flujo del alimento y flujo del aire de atomización de 35 m³/h, 9 mL/min y 473 L/h, respectivamente. La temperatura de entrada del aire se varió según el diseño experimental descrito en la Tabla 1. Durante la atomización se registró la temperatura de salida del producto. Los polvos obtenidos de los diferentes tratamientos fueron recogidos en tubos de centrifuga de fondo cónico con faldón graduados (50mL), cuando su temperatura fue menor de 50°C, manteniéndolos en un desecador con silicagel a temperatura ambiente (25°C) hasta realizar los análisis preliminares de humedad e higroscopicidad. Una vez realizados estos análisis, se procedió a almacenar las muestra envasándolas al vacío, para el posterior análisis de la pruebas restantes.

Diseño experimental

Las variables independientes fueron la temperatura de entrada del aire al atomizador (100-170°C), el contenido en MD y GA (0-9,44 g/100 g de licuado de fruta) y el contenido en CMC y proteína (0-1,7 g/100 g de licuado de fruta), establecidas de acuerdo a estudios previos. Para estudiar el efecto de estas variables con el menor número de tratamientos posibles, se realizó un diseño experimental centrado compuesto, rotatorio y ortogonal. El diseño propuso llevar a cabo las 59 experiencias que se muestran en la Tabla 1. Estas experiencias se realizaron en orden aleatorio.

Análisis de las variables respuestas

Para obtener la humedad del producto referida a los sólidos totales del pomelo ($X_{w_{S.T}}^p$), se utilizó el método gravimétrico en estufa a vacío (VACIOTEM, J.P. Selecta, España) a 60°C hasta alcanzar peso constante, realizando un triplicado de cada muestra.

Para el análisis de la higroscopicidad (Hg), se dispuso 1,5 g de muestra en placas petri, por triplicado, que se ubicaron en un desecador que contenía una disolución saturada de Na₂SO₄ (81% de humedad relativa) durante 7 días. La diferencia de peso en ese tiempo delimitaba la cantidad de agua ganada por la muestra, considerada como la higroscopicidad.

El color de las muestras se midió, por triplicado, utilizando un espectrocolorímetro (MINOLTA, CM3600-D, España) tomando como referencia el iluminante D65 y el observador 10°. Con él se obtuvieron las

coordenadas CIE $L^*a^*b^*$, a partir de las que se calculó el tono (h^* , ec. 1) y el croma (C^* , ec. 2).

$$h_{ab}^* = \arctg \frac{b^*}{a^*} \quad (1)$$

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

Para la determinación de la porosidad (ε) se utilizó la ecuación 3. En esta ecuación, la densidad real (ρ) se calculó a partir de la composición en agua, carbohidratos y proteína de las muestras, aplicando la ecuación 4. La densidad aparente se basó en la medida del volumen ocupado por una cantidad de muestra conocida después de haber sido sometida a una etapa de vibración a 1600 rpm durante 10s (Infrared Vortex Mixer, F202A0175, España), ecuación 5.

$$\varepsilon = \frac{\rho - \rho_a}{\rho} \quad (3)$$

Donde ε es la porosidad (%), ρ es la densidad real (g/cm^3), y ρ_a es la densidad aparente g/cm^3

$$\rho = \frac{1}{\frac{(1 - Xw_{b.h}^p) \left(\frac{gCH}{gsolutos} \right)}{\rho_{CH}} + \frac{(1 - Xw_{b.h}^p) \left(\frac{gprot}{gsolutos} \right)}{\rho_{prot}} + \frac{Xw_{b.h}^p}{\rho_{H2O}}} \quad (4)$$

Siendo $Xw_{b.h}^p$ la humedad del producto en polvo (g agua/g polvo obtenido), gCH/g solutos el porcentaje de carbohidratos presentes en el polvo, $gprot/g$ solutos el porcentaje de proteína presente en el polvo, $0,9976 \text{ g}/\text{cm}^3$ (ρ_{H2O}), $1,4246 \text{ g}/\text{cm}^3$ (ρ_{CH}) y $1,892 \text{ g}/\text{cm}^3$ (ρ_{prot}) la densidad del agua, carbohidratos y proteína respectivamente.

$$\rho_a = \frac{m}{v_f} \quad (5)$$

Donde ρ_a es la densidad aparente, m es la masa (g) de polvo y V_f el volumen final (cm^3).

La variable solubilidad (SD), se determinó partiendo de la metodología de Mimouni et al., (2009), con algunas variaciones. Al pomelo en polvo se le adicionó agua destilada hasta lograr el mismo contenido en sólidos solubles que la disolución inicial de pomelo licuado adicionado con solutos. Se prepararon 45 mL de producto rehidratado en un vaso de 50 mL, mantenido a 20°C (Refrigerated Circulator 9101, PolyScience) durante 50 min aproximadamente y en constante agitación (700 rpm) en una placa agitadora (RET Basic, IKA, Spain). Una cantidad conocida (1,5 g) del producto rehidratado, por triplicado, se colocó en una placa petri en una estufa de

secado a 60°C (Dry-line, DL-115, España) durante 24h para su posterior pesaje. La diferencia de pesos en relación a la masa de producto rehidratado de partida dio como resultado el contenido en sólidos totales (ST). Por otra parte, se centrifugó una parte del producto rehidratado a 10000 rpm y 4°C durante 10min (Eppendorf 5804R, Alemania). El sobrenadante obtenido se filtró (Whatman N°1) a vacío (Knf, Neuberger Laboport, España). Una cantidad conocida (1,5 g) del filtrado, por triplicado, se colocó en una placa Petri en una estufa de secado a 60°C (Dry-line, DL-115, España) durante 24h para su posterior pesaje. La diferencia de pesos en relación a la masa de filtrado de partida dio como resultado el contenido en sólidos solubles (SS). La solubilidad (SD) o fracción másica de sólidos solubles respecto a los totales, se calculó con la ecuación 6.

$$SD = \frac{SS}{ST} \quad (6)$$

La variable rendimiento de la materia seca ($\eta_{m.s}$), se determinó aplicando la ecuación 7

$$\eta_{m.s} = \frac{m^p * (1 - X_w^p b. h)}{m * (1 - X_w b. h)} \quad (7)$$

Donde:

- m^p :Masa (g) de polvo obtenido.
- m :Masa (g) de producto que entra al atomizador.
- $X_w^p b. h$:Humedad del producto en polvo (g agua/g polvo obtenido)
- $X_w b. h$:Humedad del producto que entra al atomizador (g agua/ g producto que entra al atomizador)

Análisis matemático y estadístico

Para seleccionar el modelo de regresión que ajuste 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:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_i \beta_i x_i + \sum_i \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j \quad (9)$$

Donde Y_i es el valor de la variable respuesta i predicho por el modelo, β_0 es una constante; β_i , son los valores de los coeficientes correspondientes a los efectos lineales de cada variable independiente; $\beta_{ii} x_i^2$ son los coeficientes correspondientes a los efectos cuadráticos de cada variable independiente; $\beta_{ij} x_i x_j$ son los coeficientes correspondientes a la interacción de efectos. Para ser incluidos en el modelo final reducido de cada variable

respuesta, sólo se consideraron aquellos términos que resultaron estadísticamente significativos ($p < 0,5$) (Romero et al., 2013). La bondad del ajuste del modelo final reducido obtenido se evaluó a partir del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y el error estándar entre los valores predichos y experimentales.

Optimización de respuesta múltiple

Los modelos reducidos obtenidos se utilizaron para la optimización del proceso de atomización. 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, maximizando unas y minimizando otras.

Todo el análisis estadístico se realizó utilizando Statgraphics Centurion XVI.

TABLA 1. Matriz del diseño experimental centrado compuesto. Variables independientes (X_i) y resultados experimentales obtenidos para las variables de respuesta (Y_i).

EXP	x1	x2	x3	x4	x5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
1	120	6	1	0	0	0,0327	19	85,9	75	15,5	74,7611	0,9	45,820
2	120	1	6	0	1	0,0236	15,2	85,3	73,1	17,2	61,2248	1,1	43,038
3	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0215	19,8	92,18	88,5	5,7	70,697	1,003	38,129
4	170	3,5	3,5	0,5	0,5	0,010717	20,5	90	83	9,1	70,946	1,0021	35,502
5	120	1	1	0	0	0,0065	23	46	57	37	65,110	1,0056	8,782
6	150	6	1	0	0	0,0182	20,7	90,2	84	10,6	65,2093	1,003	52,034
7	120	6	1	1	0	0,0170	24,7	90	85,2	10,1	75,0386	0,998	19,652
8	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0116	22	90,97	85,7	9,2	69,084	1,05	22,701
9	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,01509	22,7	89,93	83,58	12,66	70,357	1,002	27,783
10	135	3,5	3,5	0	0,5	0,01661	14,9	88,8	78,2	12,9	71,066	1,0066	48,726
11	120	1	6	1	1	0,0308	18,5	87,44	78,7	16,5	67,2720	0,994	24,176
12	150	1	1	1	0	0,0196	23,5	84,4	73,0	18,9	69,502	1,003	15,539
13	120	1	6	0	0	0,00610	16,4	79	67,2	24	56,9600	0,93	31,194
14	135	3,5	9,44	0,5	0,5	0,0135	18	90,9	78,6	8,7	67,9303	1,0054	29,523
15	150	1	6	1	1	0,0119	16,17	90,76	79,6	7,30	76,854	1,003	19,830
16	120	6	6	0	1	0,00668	16,0	90,2	87	5,3	72,0906	1,016	33,890
17	120	1	6	1	0	0,0258	24,11	91,8	87,4	7,52	76,1559	1,00	23,243
18	150	1	1	1	1	0,0108	22	87,6	78	13,5	70,6297	1,020	25,482
19	120	6	1	1	1	0,0089	19	88	87,03	6,8	69,4346	0,95	15,709
20	150	1	1	0	0	0,0166	14	64	61,3	37	50,9573	1,0107	35,652
21	135	3,5	0	0,5	0,5	0,0158	17,2	84	84	8,2	72,083	1,016	21,601
22	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0109	18	89	87,4	5,3	71,7029	1,017	38,436
23	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,01276	16	91,7	87,9	7,3	69,8597	1,019	36,876
24	120	6	6	1	1	0,0105	9,2	92	99	5,3	73,814	1,02	28,398
25	135	0	3,5	0,5	0,5	0,0242	16,9	75	70	22	56,301	1,07	25,605
26	150	1	6	0	0	0,0188	14	82	74,1	15	68,871	1,014	44,442
27	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0046	13,1	85	78	10,0	68,671	1,14	9,307
28	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0222	23,7	90,0	89,6	5,8	69,635	1,023	28,961
29	150	6	1	0	1	0,0164	10,4	89,2	86,5	8,7	72,378	1,015	43,242
30	135	9,44	3,5	0,5	0,5	0,0173	18,4	92,0	88	6,3	73,078	0,999	36,483

31	135	3,5	3,5	0,5	1,7	0,0157	16,9	88	87,9	7,8	67,081	1,002	38,505
32	150	6	1	1	0	0,04	32	87,91	86	9,8	73,6714	1,01550	34,380
33	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0114	20	85	83	10,48	66,897	1,026	27,262
34	150	6	6	1	1	0,0060	16,8	91,8	89	5,1	69,6455	1,0012	28,632
35	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0106	17,7	89	82	6,9	68,9994	1,002	37,721
36	150	1	6	0	1	0,0126	15,3	91	84	7,1	72,387	1,004	59,000
37	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,00937	16	90	77	8,8	70,4506	1,037	28,785
38	150	6	6	1	0	0,00610	18,2	88	73,4	9,5	70,8766	1,06	26,494
39	135	3,5	3,5	0,5	0	0,00795	19,3	87,9	74,0	11,5	73,1795	1,002	28,653
40	120	6	1	0	1	0,029	15,8	86	71,3	10,5	73,122	1,1	54,813
41	120	1	1	1	1	0,00120	19,9	69,2	68,9	17,3	71,6848	0,994	23,724
42	150	6	6	0	1	0,0206	16,9	91,0	74,9	7,9	71,269	0,9975	55,004
43	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0149	20,8	88,3	74,8	9	73,380	1,02	27,183
44	135	3,5	3,5	1,7	0,5	0,0109	20,31	89,0	71,63	9,46	76,396	1,008	15,161
45	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,017	15,4	87,7	83,5	9,5	70,360	1,008	28,054
46	150	6	6	0	0	0,01633	15,0	89,6	76,8	9,69	71,664	1,002	46,380
47	100	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0198	16,2	72	84,0	12,0	65,774	1,003	25,120
48	120	1	1	0	1	0,0013	11,8	63	62,2	32	51,270	0,999	25,894
49	150	1	1	0	1	0,0202	18,8	66,9	63	32	55,8739	1,0011	43,524
50	120	1	1	1	0	0,01817	22,3	72,0	60,2	24	68,565	0,99	20,604
51	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0183	14,8	89,2	78,2	8,91	71,5005	0,983	29,429
52	120	6	6	0	0	0,0327	10,5	89,8	76,0	8,9	72,441	1,000	41,277
53	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0194	15,2	87	85	7,5	71,8605	1,10	38,709
54	120	6	6	1	0	0,0097	17	89,2	72,5	8,8	78,761	1,00402	25,852
55	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0257	13,6	86	85,03	8,0	72,011	1,001	38,208
56	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0197	14,3	89,2	83,0	7,5	71,2787	0,9974	39,091
57	135	3,5	3,5	0,5	0,5	0,0211	12	85,8	77,2	11,5	71,5543	0,997	34,586
58	150	6	1	1	1	0,0091	23,3	91,46	84,2	6,5	76,2027	0,997	33,837
59	150	1	6	1	0	0,0005	22	86,5	69,9	12,0	78,6827	1,001	29,002

Exp: experiencia, X1: Temperatura de entrada (°C), X2: Goma arábica (g/100g licuado), X3: Maltodextrina (g/100g licuado), X4: Carboximetilcelulosa (g/100g licuado), X5: LACPRODAN® DI-9212 (g/100g licuado), Y1: sólidos del pomelo (g agua /100g de sólidos del pomelo) Y2: Higroscopicidad (g agua ganados/100 g polvo), Y3: Luminosidad (L*), Y4: Tono (H°), Y5: Cromo (C), Y6: Porosidad (volumen aire/volumen total), Y7: Solubilidad (fracción másica de sólidos solubles respecto a los totales), Y8: Rendimiento de materia seca (g totales de sólidos secos/ 100 g sólidos secos del producto que entra en el atomizador).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis de las diferentes variables estudiadas, humedad ($x_{w_{S,T}}^p$), higroscopicidad (H_g), luminosidad (L^*), tono (h^*), cromo (C^*), porosidad (ϵ), solubilidad (SD) y rendimiento en materia seca ($\eta_{m.s.}$), para cada una de las formulaciones obtenidas del diseño experimental, se presentan en la Tabla 1.

Para establecer cómo afectan los solutos y la temperatura de entrada del aire al atomizador a las características del polvo de pomelo licuado obtenido por atomización, estos resultados fueron analizados mediante la técnica de superficie de respuesta a partir de los modelos de correlación de las

variables respuesta obtenidas con las variables independientes consideradas. La Tabla 2 presenta estos modelos además de los coeficientes de determinación R^2_{adj} ($p < 0,5$), que oscilaron entre 0,11 – 0,85. La humedad, la higroscopicidad y la solubilidad fueron los parámetros que presentaron los menores coeficientes de determinación mientras que el resto de los parámetros analizados mostraron R^2 mayores de 0,54, lo que indica que más de 50% de la variación de respuesta se puede explicar en función de las cuatro variables independientes consideradas.

TABLA 2. Parámetros del modelo ajustado a la variación de las variables respuesta (Y_i) en función de las variables independientes (T, GA, MD, CMC y proteína)

Coeficientes de Regresión	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8
	humedad	Hg	L*	h*	C*	ϵ	SD	Rendimiento
Constante								
b0	-0,0255	19,1676	-128,189	25,857	54,7733	46,3898	0,8804	-0,9777
Lineal								
b1	0,0003		2,1513	0,1994	-0,0667	0,0375	0,0009	0,2341
b2	0,0017		13,6371	5,9808	-7,2564	9,6056		2,8745
b3	0,0118	-0,5827	12,4585	10,1546	-4,9155	1,4247		1,545
b4		4,3693	17,9213	20,1205	-23,797	13,6401	0,0287	-16,8696
b5		-2,8445	2,2784	5,6485	-3,3262	-24,573	0,2626	
Cuadrática								
b11			-0,0062					
b22			-0,3155	-0,2842	0,3663	-0,1847		
b33			-0,2008		0,1939			
b44				-13,8366	6,7101			
b55								
Interacciones								
b12			-0,04279			-0,03672		
b13	-7,43E-05		-0,04638	-0,05698				
b14								
b15						0,182002	-0,00173	
b23	-0,00049		-0,63885	-0,50515	0,43535	-0,27035		-0,44142
b24			-2,15075		1,72725	-2,05457		
b25								
b34			-1,4925		1,33325			
b35								
b45							-0,0575	
R²adj	0,11	0,32	0,85	0,62	0,85	0,64	0,13	0,54

b_i : coeficientes correspondientes a los efectos lineales de cada variable independiente, b_i^2 : coeficientes correspondientes a los efectos cuadráticos de cada variable independiente, b_{ij} : coeficientes correspondientes a la interacción de efectos, $i=1$: Temperatura de entrada del aire, $i=2$: Goma arábica(g GA/100 gramos de polvo) $i=3$: Maltodextrina(g MD/100 gramos de polvo), $i=4$: Carboximetilcelulosa(g CMC/100 gramos de polvo), $i=5$: Proteína (g Proteína/100 gramos de polvo)

La humedad del polvo de pomelo, referida a sólidos totales del polvo ($X_{w,S,T}^p$), según el modelo obtenido, se vio afectada significativamente tanto por la temperatura como por la adición de GA y MD. El contenido en proteína y CMC no resultó significativo para este parámetro. Este comportamiento concuerda con los resultados de trabajos anteriores (González, et al., 2013c). También se observó una interacción negativa significativa entre T-MD y GA-MD (Tabla 2). La Figura 1 muestra un ejemplo

de las superficies de respuesta obtenidas por el modelo en el que se observa el comportamiento de la humedad frente a la Temperatura y el contenido en maltodextrina, soluto que parece tener más influencia, por su interacción con la T y con GA, en la disminución de la humedad del polvo de pomelo licuado. Estos resultados concuerdan con los señalados por Tuyen, et al. (2010), el cual menciona que el aumento de la temperatura y de la concentración de maltodextrina, en pulpa de tomate, da lugar a una disminución del contenido de humedad ($p < 0,001$).

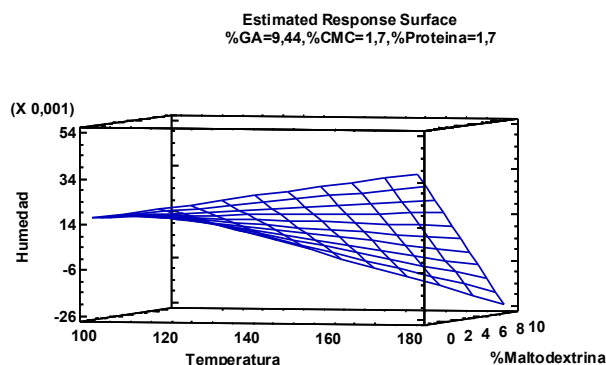


FIGURA 1. Comportamiento de la humedad frente a la variación de la temperatura y el contenido en MD añadida a 100g de licuado de pomelo cuando la adición de GA, CMC y Proteína es de 9.44, 1.7 y 1.7%, respectivamente.

La humedad registró su menor valor (0,0005 g agua/g solidos del polvo) en la experiencia con una temperatura de 150°C y la combinación de solutos 1:6:1:0 g/100g licuado de GA, MD, CMC y proteína, respectivamente. El máximo valor (0,0417 g agua/g solidos del polvo) se obtuvo con la experiencia a 150°C de temperatura de entrada al atomizador y la combinación de solutos 6:1:1:0 g/100g licuado.

La higroscopicidad del polvo de pomelo aumenta al incorporar CMC mientras que disminuye cuando los solutos utilizados son MD o Proteína, no viéndose afectada ni por la GA ni por la T (Tabla 2). Este efecto podría deberse a la rotura de las partículas tanto de CMC como de proteína provocado por la pulverización del jugo licuado de pomelo, según Wu et al. (2014). En una emulsión en la que participa la CMC y proteína, la mayor presencia de esta última obliga a la CMC a cubrir todas las partículas de proteína y mantener un sistema estable. Sin embargo el mismo efecto de rompimiento es experimentado por la CMC por lo cual el efecto de estabilización se debilita provocando una mayor predisposición del polvo a captar agua. Por otro lado, la desnaturalización de las proteínas, especialmente globulares, es provocada esencialmente por la elevada actividad del agua y de la temperatura, lo que da como resultado una difícil predicción del efecto del proceso de secado sobre la estabilidad de la película de proteína formada. El efecto de la maltodextrina (MD), que

disminuye la higroscopicidad del polvo, podría explicarse por la capacidad que tiene la MD para la formación de película, la cual reducen la permeabilidad al oxígeno, además de proporcionar protección contra el deterioro (Gharsallaoui, et al., 2007). El valor máximo de higroscopicidad fue de un 32% cuando la Temperatura de entrada al atomizador fue de 150 °C y el contenido en solutos de 6%GA, 1%MD, 1%CMC y 0% de Proteína. El valor mínimo fue de un 9,2 % con una temperatura de 120 °C y 6%GA, 6%MD, 1%CMC y 1% de Proteína.

La percepción de color es una sensación tridimensional en donde interactúan tres atributos bien definidos, tono (h^*_{ab}), Croma o pureza de color (C^*_{ab}) y luminosidad (L^*), remarcando que la pureza es proporcional a la luminosidad y el tono nos da la sanción visual permitiéndonos establecer similitudes (Chiralt, et al., 2007). El análisis de los resultados muestra que L^* y h^* aumentan al aumentar la temperatura y la concentración de solutos añadidos, mientras que C^* disminuye con estas variables en el polvo de pomelo, a excepción, en este último parámetro, con la CMC (Tabla 2). Resultado similares se mencionan por parte de Lujan et al. (2013). En la Figura 2, se muestra un ejemplo del efecto de la concentración de MD y de la temperatura, a la mínima y a la máxima concentración del resto de los solutos, sobre la luminosidad y el tono del polvo, respectivamente.

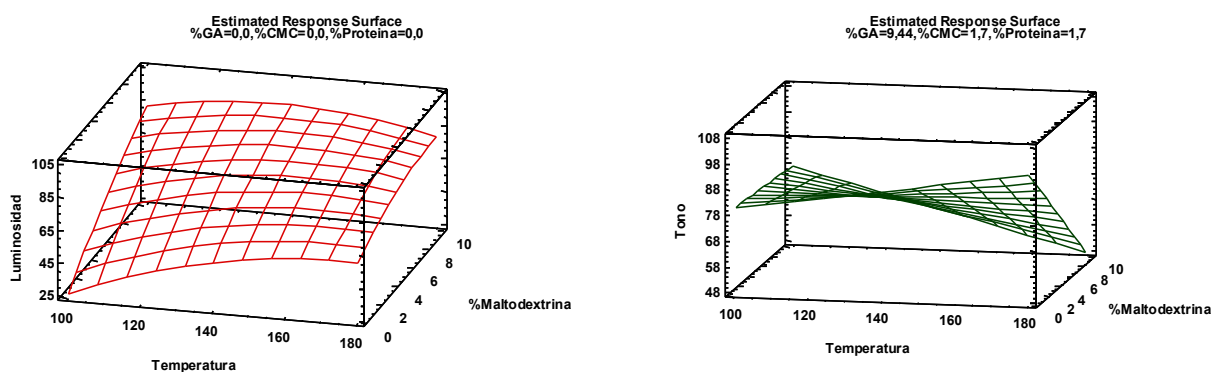


FIGURA 2. Efecto de la concentración de MD y de la temperatura, a la mínima y a la máxima concentración del resto de los solutos, sobre la luminosidad y el tono del polvo, respectivamente.

En los tres parámetros de color analizados, la CMC es la que presenta según el modelo mayor influencia, mostrando un efecto protector de la luminosidad al interactuar con la GA y a temperaturas bajas de trabajo. Además la CMC presenta un efecto de recuperación cuando la temperatura de entrada al atomizador y los solutos añadidos son los mínimos y cuando hay interacción con GA y MD. Resultados similares son reportados por González et al. (2013d). Además, Aranvid et al. (2012b) indican que la CMC presenta un bajo impacto en las propiedades tecnológicas como material coadyuvante. En el caso del tono, se observa una interacción negativa entre

la T y la MD y entre la GA y la MD, observándose que a altas temperaturas la MD disminuye el ángulo de tono mientras que a bajas temperaturas lo mantiene. Resultados contrarios son reportados por Tuyen, et al. (2010b) indicando que ángulos de tonalidad más altos se observaron con el aumento de la concentración de maltodextrina y el aumento de la temperatura de entrada de secado por atomización. Hay que decir que en este estudio tanto las concentraciones de MD como de T fueron superiores al presente variando entre 10-30% de MD y 120-200 °C de T. Para el croma se observan interacciones entre la GA y la MD y la CMC y entre la MD y la CMC, observándose un aumento del parámetro cuando la T es alta y una disminución del mismo cuando T es baja.

Los valores de porosidad (ϵ) en el polvo de pomelo variaron entre un 51% (a 150°C de temperatura de entrada y 1%GA, 1%MD, 0%CMC y 0%proteína) y un 79% a (120 °C, 6%GA, 6%MD, 1%CMC y 0%proteína) (Tabla 1). Al analizar el efecto de las variables independientes, se vio que tanto la temperatura de entrada del producto como los solutos tienen efecto sobre esta propiedad, observándose un aumento con T, GA, CMC y MD y una disminución con la Proteínas. Además, también se observa una interacción significativa (Figura 3) entre la T, la GA y la proteína. Esta última presenta un efecto de recuperación de la porosidad frente a la disminución provocada por la temperatura, bajo condiciones de máxima adición de solutos. Esto sea, tal vez, provocado por las características tecnológicas de la proteína utilizada en el ensayo y la presencia del resto de solutos que permite que el polvo forme partículas más densas, reduciendo su densidad aparente y provocando el aumento de la porosidad. Hay que señalar que la porosidad depende de la densidad aparente y de la densidad real del polvo (ec. 4), de manera que una aumenta cuando disminuye a otra. En cuanto a la interacción entre la temperatura y GA, en condiciones de mínima adición de solutos, la temperatura no muestra una acción significativa en el aumento de la porosidad, sin embargo la adición de GA aumenta la porosidad, debido probablemente a las características propias de la goma arábica, la cual, según Gharsallaoui et al. (2007b), no es un material eficiente para la encapsulación, de hecho las películas de GA muestran una limitada barrera al oxígeno dándole un carácter de barrera semipermeable. En referencia a este aspecto, Goula, et al. (2005) mencionan que a mayor contenido de humedad las partículas tienden a permanecer juntas dejando más espacios intermedios entre ellas y provocando así el aumento de volumen. Es decir, la permeabilidad al oxígeno de la goma arábica pudo incrementar el contenido de humedad del polvo, lo que permitió a su vez el incremento del volumen incrementando su porosidad.

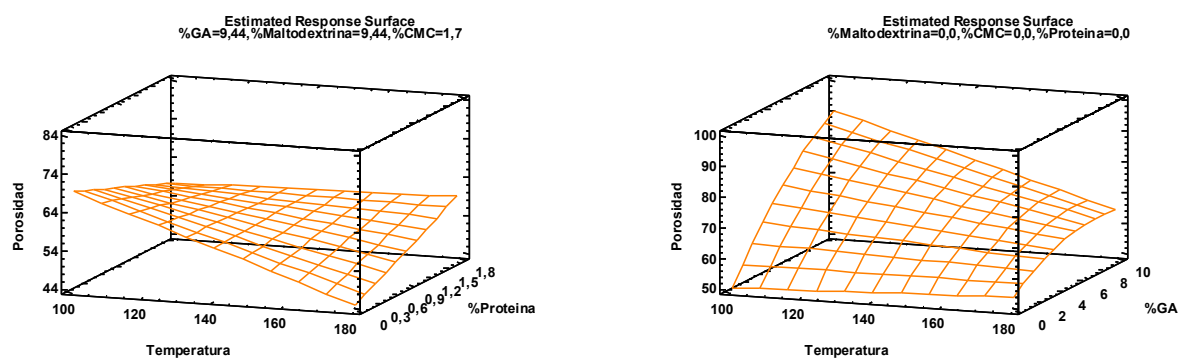


FIGURA 3. Variación de la Porosidad del producto en polvo en función de la Temperatura de entrada al atomizador y del contenido en Goma arábica y Proteína a la máxima y a la mínima concentración del resto de solutos.

La solubilidad (SD) del polvo de pomelo licuado varió alrededor de 0,85-1,13 (Tabla 1). Estos resultados se obtuvieron con temperatura de entrada al atomizador de 120°C y concentración en solutos de 6%GA, 1%MD, 0%CMC y 0% de Proteína y 135°C, 3,5%, 3,5%MD, 0,5%CMC y 0,5% de Proteína, respectivamente, de lo cual se desprende que la solubilidad de los productos en polvo puede verse afectada por muchos parámetros tales como la composición inicial de la materia prima, los agentes de soporte, las temperatura de entrada del aire, etc. (Tuyen et al., 2010c). El modelo obtenido del análisis de la influencia de las variables independientes sobre la SD (Tabla 2) muestra que la solubilidad del polvo de pomelo aumenta de manera lineal con la temperatura, la CMC y la proteína, independientemente de las condiciones de máxima o mínima adición del resto de los solutos. En lo referente a la temperatura, Goula et al. (2005b) reportan que el aumento de ésta provoca la disminución de la humedad lo cual hace que el polvo se muestre más soluble. Sin embargo, el aumento de la solubilidad provocada por la CMC y la proteína contrastan con los resultados obtenidos anteriormente de la porosidad del polvo de pomelo, donde la disminución de esta variable es provocada por el aumento de la densidad aparente influenciada por la proteína, y ese aumento de densidad provoca la disminución de la solubilidad, mostrándonos la relación inversa descrita por Fazareli et al. (2012) entre la densidad aparente y la solubilidad.

Los resultados obtenidos para el rendimiento en materia seca ($\eta_{m.s.}$), dependiente del rendimiento de producto (ec. 8), variaron entre el 59,0 y el 8,78%, en función de las experiencias T=150°C y adición de solutos 1:6:0:1 (GA:MD:CMC:proteína%) y T=120°C y concentración de solutos 1:1:1:0 (GA:MD:CMC:proteína%), respectivamente (Tabla 1). Los resultados obtenidos del análisis estadístico (Tabla 2) indican que el rendimiento del pomelo presenta una influencia debida a la adición de solutos y a la temperatura, siendo en todos los casos positiva a excepción del contenido en CMC que provoca, según el modelo, una disminución del rendimiento. Por otra parte, se observa también que sólo es significativa la interacción

producida entre la GA y la MD. En la Figura 4 se muestra la superficie de respuesta para el rendimiento y el efecto de GA y MD a una temperatura de 170°C, como ejemplo del comportamiento que es similar cuando se varía la temperatura. El rendimiento aumenta cuando se adiciona GA y MD en bajas concentraciones, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Lujan et al. (2013b).

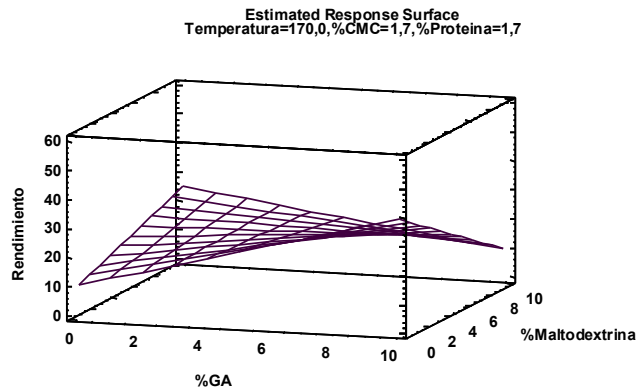


FIGURA 4. Comportamiento del rendimiento del producto en polvo frente a la cantidad de solutos añadidos a 100 g de licuado de fruta (goma arábica y maltodextrina), a la máxima temperatura y concentración del resto de solutos.

La optimización permite determinar la combinación de factores experimentales que optimicen simultáneamente varias respuestas (Igual et al., 2011) identificando, de esta forma, la combinación de solutos y temperatura de entrada del aire al atomizador más adecuada para obtener un polvo de pomelo de calidad. Esto supone obtener un polvo con la menor humedad, higroscopicidad, luminosidad y tono y con la mayor porosidad, solubilidad, croma y rendimiento en materia seca. Las condiciones óptimas proponen una temperatura de entrada de 122°C, añadiendo 3,1 g GA/100 g de polvo, 0,4 g MD/100 g de polvo, 7,41 2E-9 g CMC/ 100g de polvo y 1,7 g Proteína/100 gr polvo. Esto muestra que para la obtención de un polvo de pomelo de calidad y tomando en cuenta las variables de interés es necesario una temperatura moderada y prácticamente la no adición de CMC.

CONCLUSION

De forma general, tanto la concentración de los solutos añadidos como la temperatura de trabajo para la obtención de polvo de pomelo licuado afectan a todos los parámetros estudiados. Además, se observa que la presencia de CMC protege el color pero aumenta la higroscopicidad; la temperatura afecta a la porosidad disminuyéndola, pero interacciona con la proteína que la recupera; la GA aumenta la solubilidad al igual que la combinación entre CMC y la proteína; la MD disminuye el rendimiento mientras que la GA lo

aumenta... Las diferentes interacciones entre las variables independientes, y la manera en la que afectan a las variables respuesta, hacen difícil la interpretación de los resultados. No obstante, en concordancia con los resultados obtenidos y teniendo en cuenta la optimización llevada a cabo, se propone el uso de temperaturas bajas (120°C) y la no adición de CMC para la obtención de un polvo de calidad bajo los estándares estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la ayuda recibida por parte del Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto AGL 2012-39103.

El autor agradece el apoyo del Gobierno Ecuatoriano a través del Programa de Becas de la Senescyt.

REFERENCIAS

- Aguilar, P.; Escobar, M.; Pássaro, C. 2012. Situación actual de la cadena de cítricos en Colombia limitantes y perspectivas, en: Cítricos: Cultivo, poscosecha e Industrialización. Serie Lasallista de Investigación y Ciencia. Ed. Artes y Letras S.A.S. Colombia, 1: 7-49.
- Aravind, N.; Sissons, M.; Fellows, Ch. 2012. Effect of soluble fibre (guar gum and carboxymethylcellulose) addition on technological, sensory and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 131:893–900.
- Chiralt, A.; Martínez-Navarrete, N.; Martínez, Ch.; Oliag, P.; Ballesteros, G. 2012. Propiedades Físicas de los Alimentos. Ed. UPV. Valencia, 203.
- Dobry, D.; Settell, D; Baumann, J.; Ray, R.; Graham, L.; Beyerinck, R. 2009. A Model-Based Methodology for Spray-Drying Process Development, *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 4 (3): 133-142.
- Fazaeli, Mahboubeh.; Zahra, Emam-Djomeh.; Ahmad, Kalbasi.; Ashtari, Mahmoud-Omid. 2012. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*, 90: 667–675.
- Fernandes, R.; Vilela, S.; Alvarenga, D. 2014. Gum arabic/ starch/ maltodextrin/ inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, 101: 524-532.
- Georgettia, S.; Casagrande, R.; Souza, C.; Pereira, W.; Vieira, M.J. 2008. Spray drying of the soybean extract: Effects on chemical properties and antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 41: 1521–1527.
- Gharsallaoui, Adem.; GaeÑlle, Roudaut.; Odile, Chambin.; AndreÑle, Voilley, ReÑlmi, Saurel. 2007. Applications of Spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40: 1107–1121.
- González, F.; Igual, M.; Martínez-Navarrete, N. 2013. Efecto de la goma arábica y de la Carboximetilcelulosa en las propiedades fisicoquímicas del licuado de pomelo atomizado. Trabajo Fin de Master. Universidad Politécnica de Valencia, 20.
- Goula, Athanasia. M.; Konstantinos. G.; Adamopoulos. 2005. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66: 35–42.
- Grabowski, J.; Truong, D.; Daubert, C. 2006. Spray-drying of amylase hydrolyzed sweetpotato puree and physicochemical properties of powder. *Journal of Food Science*, 71(5): 209-217.
- 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.
- Krishnan, S.; Kshirsagar, A.; Singhal, R. 2005, The use of gum arabic and modified starch in

- the microencapsulation of a food flavoring agent. *Carbohydrate Polymers*, 62: 309–315.
- Luján-Olivares, G.; Agudelo, C.; Igual, M.; Martínez-Navarrete, N. 2013. Optimización de las Condiciones de Atomización de pulpa de pomelo. Trabajo Fin de Master. Universidad Politécnica de Valencia, 20.
- Mahfoudhi, N.; Sessa, M.; Chouaibi, M.; Ferrari, G.; Donsì, F.; Hamdi, S. 2014. Assessment of emulsifying ability of almond gum in comparison with gum arabic using response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, 37: 49-59.
- Mäkynen, K.; Jitsaardkul, S.; Tachasamran, P.; Sakai, N. 2013. Cultivar variations in antioxidant and antihyperlipidemic properties of pomelo pulp (*Citrus grandis* [L.] Osbeck). *Thailand Food Chemistry*, 139: 735–743.
- Martín-Cerdeño, V. 2014. Treinta claves del Mercado Alimentario: Pasado, presente y futuro. *Distribución y Consumo*, 1: 5-21.
- Mimouni, A., Deeth, C., Whittaker, K., Gidley, J., Bhandari, B.R. 2009. Rehydration process of milk protein concentrate powder monitored by static light scattering. *Journal Food Hydrocolloids*, 23: 1958–1965.
- Nandiyanto, A.; Okuyama, K. 2011. Progress in developing spray-drying methods for the production of controlled morphology particles: From the nanometer to submicrometer size ranges. *Advanced Powder Technology*, 22: 1–19.
- Ozdikicierler, O.; Nur, S.; Pazir, F. 2014. The effects of spray drying process parameters on the characteristic process indices and rheological powder properties of microencapsulated plant (*Gypsophila*) extract powder. *Powder Technology*, 253: 474–480.
- Romero-Villafranca, R.; Zúnica Ramajo, L. 2013. Métodos Estadísticos para Ingenieros. Ed. UPV. Valencia, 245.
- Sârbu, C.; Naşcu-Briciu, C.; Kot-Wasik, A.; Gorinstein, S.; Wasik, A.; NamiesÅlnik, J. 2012. Classification and fingerprinting of kiwi and pomelo fruits by multivariate analysis of chromatographic and spectroscopic data. *Food Chemistry*, 130: 994–1002.
- Spreen, T. 2001. Proyecciones de la producción y consumo mundial de los cítricos para el 2010, en: FAO Simposio sobre cítricos. FAO, China. 7 p.
- Tee, L.; Luqman Chuah, A.; Pin, K.; Abdull Rashih, A.; Yusof, Y. 2012. Optimization of spray drying process parameters of Piper betle L.(Sirih) leaves extract coated with maltodextrina. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 4(3): 1833-1841.
- Tuyen, Kha.; Minh, Nguyen.; Paul, Roach. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98: 385–392.
- Wang, W.; Jiang, Y.; Zhou, W. 2013. Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. *Journal of Food Engineering*, 119: 724–730.
- Wu, J.; Baiqiao, Du.; Jing, Li.; Hongbin, Zhang. 2014. Influence of homogenisation and the degradation of stabilizer on the stability of acidified milk drinks stabilized by carboxymethylcellulose. *Food Science and Technology*, 56: 370-376.