

OPTIMIZACIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL AIRE EN EL SECADO POR ATOMIZACIÓN PARA PRODUCIR ACEITE ESENCIAL DE MANDARINA MICROENCAPSULADO

*Madai Bringas*¹, Idalmis Expósito¹, María I. Reyes² y Jorge A. Pino¹*

*¹Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria,
Carretera al Guatao, km 3½, La Habana, Cuba, C.P. 19200*

E-mail: jpino@iia.edu.cu

²LIORAD, La Habana, Cuba.

RESUMEN

Se optimizaron las temperaturas para la obtención de aceite esencial de mandarina microencapsulado mediante secado por atomización, mediante diseño de superficie de respuesta. Se obtuvo un óptimo con una temperatura de entrada de 200 °C y una de salida de 80 °C, con las cuales se logró 83,6 % de rendimiento; un producto con 47,52 µm de diámetro medio de partícula y una alta calidad sensorial para su empleo en la elaboración de refrescos instantáneos.

Palabras clave: optimización, secado por atomización, aceite esencial de mandarina microencapsulado.

ABSTRACT

Optimization of inlet and exit temperatures in the spray-drying for producing microencapsulated mandarin essential oil

The temperatures were optimized by response surface design for producing microencapsulated mandarin essential oil by spray-drying. An optimal point was determined at 200°C inlet temperature and 80°C exit temperature. With these parameters a product was achieved with 83.6% yield, 47.52 µm of average particle diameter and a high sensorial quality for its use in the preparation of instantaneous sodas.

Keywords: optimization, spray-drying, microencapsulated mandarin essential oil.

INTRODUCCIÓN

La encapsulación de compuestos activos en un sólido se ha convertido en un proceso muy atractivo en las últimas décadas y en particular la encapsulación de aromas es en la actualidad una de las aplicaciones más importantes en la industria alimentaria (1). El propósito principal de la microencapsulación es atrapar ingredientes sensibles, tales como los compuestos volátiles de los aromas, en un soporte sólido para incrementar su protección, reducir su evaporación, facilitar su manipulación y controlar su liberación durante la conservación y aplicación. El secado por atomización de emulsiones es un medio simple y económicamente efectivo de microencapsular aceites esenciales y otros ingredientes aromatizantes (2). Los principales factores que afectan la retención durante el secado son: la selección del agente encapsulante, la concentración de sólidos en la alimentación, la concentración del aroma, las características de la emulsión y los parámetros de operación en el secador, y es este último uno de los

**Madai Bringas Lantigua:* Ingeniera Química, CUJAE, 2009. Trabaja en la Planta de Aromas. Principales líneas de trabajo normalización y control de la calidad de productos aromáticos, microencapsulación de aceites esenciales y obtención de productos naturales.

factores más importantes por lo que la influencia de las temperaturas de entrada del aire y salida ha recibido atención por varios investigadores (3,4). Se recomienda que la temperatura de entrada del aire sea alta para permitir una rápida formación de la membrana semipermeable alrededor de la gota al secarse, pero no puede ser tan alta que cause daño térmico al producto seco (5). Numerosos trabajos han sido reportados con relación a la microencapsulación de aceites esenciales de cítricos y algunos de sus componentes (6-8), pero ninguno de ellos ha abarcado la mandarina.

Cuba dispone de varias plantas procesadoras de frutas cítricas, de las que se obtienen sus jugos y extraen los aceites esenciales. Considerando las potencialidades de la industria citrícola cubana, no se ha aprovechado la posibilidad de producir aceite esencial de mandarina microencapsulado. El objetivo de este trabajo fue optimizar las temperaturas de entrada y salida del aire en el secado por atomización para producir aceite esencial de mandarina microencapsulado.

MATERIALES Y MÉTODOS

El aceite esencial de mandarina exprimido en frío se produjo en la empresa citrícola ubicada en Contramaestre, provincia de Santiago de Cuba.

Para el secado se utilizaron goma arábica (Dallant, Barcelona) y maltodextrina DE <20 (Tate and Lyle Inc., Decatur, EE.UU.), ambas para uso alimentario. Además se empleó agua suavizada mediante resina de intercambio iónico en ciclo sódico (dureza total: 0 mg/L expresado como CaCO_3) para preparar las emulsiones. La mezcla de soportes (goma arábica:maltodextrina 1:2 m/m) se disolvió en agua tratada (relación soportes/agua de 1:2,08 m/m) a temperatura ambiente, se mezcló vigorosamente en un tanque con agitador mecánico, se dejó reposar durante 24 h antes del secado para garantizar una adecuada hidratación de los soportes y posteriormente se añadió el aceite esencial. Esta mezcla quedó constituida por 26,7 % de goma arábica; 53,3 % de maltodextrina y 20 % de aceite esencial (todos expresados en base seca) y fue homogenizada en una licuadora comercial Oster mod. 6802 (Sunbeam Products Inc., Boca Raton, FL.) por 2 min.

La emulsión se trasladó a un tanque con agitador mecánico y de aquí se alimentó con una bomba de desplazamiento positiva a un secador por atomización Niro Production Minor (Niro Atomizer Ltd., Columbia, EE.UU.) a escala piloto del tipo de disco centrífugo ($2 \times 10^4 \text{ min}^{-1}$). Se evaluaron temperaturas de entrada del aire entre 160 y 200 °C, así como de salida del aire entre 80 y 100 °C. En cada experiencia se secaron 3 kg de emulsión con tres réplicas cada una. Los productos fueron mezclados y envasados en bolsas de polietileno de baja densidad (10 kg) para su posterior análisis.

El rendimiento del aceite esencial microencapsulado se calculó, mediante un balance de materiales, a partir de la masa del producto en base seca obtenido de una masa de emulsión, según la expresión:

$$R = \frac{D \times X_D}{L \times X_L} \times 100$$

donde R: rendimiento (% m/m), L: masa de líquido de alimentación, X_L : fracción de sólidos en el líquido de alimentación, W: masa de agua evaporada, X_W : fracción de sólidos en el agua evaporada, D: masa de polvo obtenido y X_D : fracción de sólidos en el polvo obtenido.

Para evaluar sensorialmente los productos obtenidos del diseño experimental se utilizó una prueba de puntuación con escala continua estructurada (seis categorías) de 10 cm, de intensidad del sabor a mandarina, enmarcada en: ausencia (0 cm), muy ligero (2 cm), ligero (4 cm), moderado (6 cm), marcado (8 cm) y muy marcado (10 cm) (9). Se utilizó una comisión integrada por seis catadores adiestrados, con la habilidad de detectar defectos que pueden presentarse para el rechazo de un refresco. Para ello se utilizó la formulación siguiente: azúcar refino (135,32 g), ácido cítrico anhidro (2,18 g), aroma microencapsulado (0,50 g) y se enrasó con agua desmineralizada a 1 L. Los refrescos se sirvieron en frío y en dosis de 50 mL. Los resultados se expresaron como puntuación sensorial al tomar la medida en centímetros desde el origen de la escala hasta el punto señalado por cada catador. Los análisis se realizaron por triplicado.

La optimización de las temperaturas de entrada y salida se realizó mediante las técnicas de superficie de respuesta. La Tabla 1 muestra que se utilizó un modelo de diseño factorial de tres niveles (modelo 3²), lo que equivale a dos factores con tres niveles. Los factores fueron la temperatura de entrada y salida, mientras que las variables de respuesta fueron el rendimiento y evaluación sensorial. Las variables de respuesta se maximizaron para calcular los valores óptimos. La adecuación de los modelos obtenidos se evaluó mediante la prueba t de *Student* para p≤0,05. La prueba fue dirigida para comparar los valores experimentales con los predichos por el modelo en cuestión. Las experiencias se hicieron aleatoriamente y sus resultados se procesaron con el programa Design-Expert 5 ver. 5.0.7 (1997).

Tabla 1. Niveles de los factores del diseño experimental

Factor	Nivel -1	Nivel 0	Nivel +1
Temperatura de entrada (°C)	160	180	200
Temperatura de salida (°C)	80	90	100

El aceite esencial microencapsulado obtenido con los parámetros optimizados fue evaluado sensorialmente como refresco instantáneo. Se utilizó la formulación siguiente: azúcar refino (135,32 g), ácido cítrico anhidro (2,18 g), aceite esencial microencapsulado (0,50 g) y se enrasó con agua desmineralizada a 1 L. Las muestras se sirvieron en frío y en dosis de 50 mL. Se utilizó una prueba hedónica de preferencia con 90 personas de ambos sexos y en el intervalo de edad entre 20 y 50 años, con una escala continua estructurada (cinco categorías) de 10 cm: me disgusta extremadamente (0 cm), me disgusta mucho (2,5 cm), ni me gusta ni me disgusta (5 cm), me gusta mucho (7,5 cm) y me gusta extremadamente (10 cm) (9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza para el modelo de regresión cuadrática para el rendimiento demostró que el valor F del modelo (5,76) fue mayor que el valor F de la tabla, por lo tanto se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que el modelo y las diferencias fueron significativos (p≤0,02). La probabilidad que el modelo cuadrático no explique satisfactoriamente las interacciones de las variables fue muy baja.

La Tabla 2 refleja que a partir de la matriz experimental del diseño de superficie de respuesta se obtuvo un modelo polinomial de segundo orden que fue empleado para expresar al rendimiento como una función de las variables independientes:

$$R=B_0+B_1\cdot X_E+B_2\cdot X_S+B_{11}\cdot X_E^2+B_{22}\cdot X_S^2+B_{12}\cdot X_E\cdot X_S$$

Donde R: rendimiento; B₀: constante del modelo; B₁, B₂, B₁₁, B₂₂ y B₁₂: coeficientes de regresión; X_E: temperatura de entrada codificada; X_S: temperatura de salida codificada.

Tabla 2. Matriz experimental del diseño de superficie de respuesta

Corrida	T _E (°C)	T _S (°C)	Rendimiento (%)	Evaluación sensorial
1	160 [-1]	80 [-1]	80,8	7,3
2	180 [0]	90 [0]	73,0	7,6
3	200 [+1]	90 [0]	77,0	8,1
4	180 [+1]	90 [0]	66,9	7,6
5	160 [-1]	100 [+1]	68,3	7,4
6	180 [0]	90 [0]	67,6	7,5
7	200 [+1]	100 [+1]	76,3	8,0
8	180 [0]	100 [+1]	73,4	8,2
9	180 [0]	90 [0]	70,0	7,4
10	200 [+1]	80 [-1]	82,1	8,2
11	160 [-1]	90 [0]	74,7	7,0
12	180 [0]	80 [-1]	84,8	8,2
13	180 [0]	90 [0]	68,8	7,4

T_E: temperatura de entrada; T_S: temperatura de salida

La Tabla 3 presenta que en el modelo obtenido para el rendimiento resultaron significativos la temperatura de salida (X_S) y su término cuadrático (X_S²). El coeficiente del término lineal de la temperatura de salida resultó con signo negativo y menor que el del término cuadrático, por lo que puede afirmarse que una disminución de la temperatura de salida favoreció el aumento del rendimiento. El factor de interacción entre las temperaturas de entrada y salida (X_EX_S) resultó no significativo.

La Tabla 4 muestra que el hecho de que la temperatura de salida esté inversamente relacionada con el rendimiento puede deberse a que con la temperatura de salida de 80 °C se obtuvieron los mayores tamaños medios de partículas. Como resultado de las pérdidas de producto por la corriente del extractor fueron menores,

Tabla 3. Diseño de superficie de respuesta para el rendimiento (variables codificadas)

Factor	Coefficiente estimados	Desviación estándar	t	p
Intercepto	70,49	1,40	-	-
X _E (temperatura de entrada)	1,92	1,38	1,39	0,2061
X _S (temperatura de salida)	-4,94	1,38	-3,58	0,0089
X _E ²	2,32	2,03	1,14	0,2910
X _S ²	5,56	2,03	2,73	0,0292
X _E X _S	1,67	1,69	0,99	0,3549

lo cual se demostró en el balance de materiales (Tabla 4), con el consiguiente aumento del rendimiento. Por esta razón, es recomendable instalar un filtro de mangas a la salida del extractor para minimizar las pérdidas de producto y a su vez, la contaminación del medio ambiente. Un aumento del tamaño de partícula en el aroma microencapsulado es ventajoso pues se facilita su posterior rehidratación y manipulación (10). El coeficiente de determinación de la ecuación fue 0,805; lo que resulta aceptable para considerar adecuado el modelo.

Tabla 4. Balance de materiales del proceso y tamaño de partícula

T _E (°C)	T _S (°C)	Aroma ¹ (kg)	Aroma perdido b.s. (kg)	Tamaño de partícula (µm)
160	80	0,922	0,221	45,16
180	90	0,840	0,304	32,60
200	90	0,880	0,259	29,02
180	90	0,770	0,372	29,95
160	100	0,784	0,357	26,71
180	90	0,780	0,364	27,30
200	100	0,871	0,267	28,20
180	100	0,837	0,299	27,30
180	90	0,806	0,337	30,23
200	80	0,948	0,201	47,52
160	90	0,854	0,284	28,65
180	80	0,979	0,171	42,97
180	90	0,792	0,351	30,02

T_E: Temperatura de entrada (°C); T_S: Temperatura de salida (°C).

¹Masa de producto (base húmeda) a partir de 3 kg de emulsion con 1,125 kg de sólidos (0,300 kg de goma arábica; 0,600 kg de maltodextrina y 0,225 kg de aceite esencial de mandarina).

La Fig. 1 representa la superficie de respuesta para el diseño evaluado. Se encontró una respuesta máxima para el rendimiento a temperaturas de entrada cercanas a 200 °C y temperaturas de salida de 80 °C. Al disminuir la temperatura de entrada e incrementar la temperatura de salida se observa un suave descenso del rendimiento que tiene un mínimo de rendimiento en la combinación T_E = 160 °C y T_S = 100 °C.

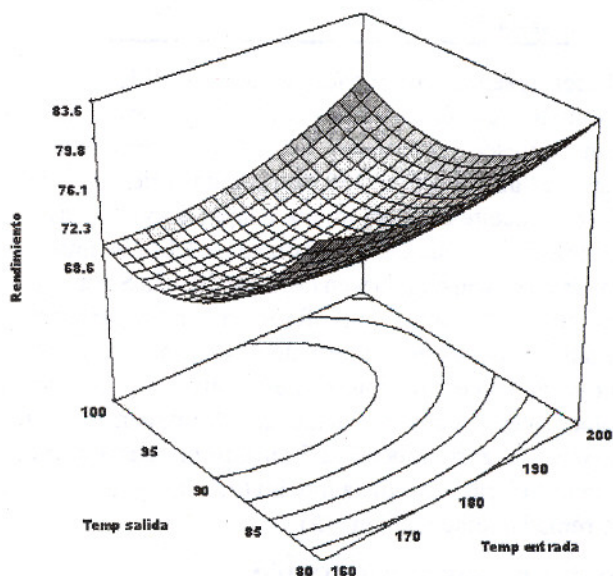


Fig. 1. Superficie de respuesta para el rendimiento.

La calidad del producto microencapsulado solo será posible asegurarla como resultado de una evaluación sensorial hecha por catadores conocedores del producto. También se consideró esta evaluación como una variable de respuesta del proceso bajo estudio, lo que

resulta original pues en los trabajos reportados no se aborda este importante aspecto. Ninguna muestra dio señales de oxidación, por lo que solo se utilizaron los resultados de la prueba sensorial de intensidad del sabor a mandarina.

El análisis de varianza para el modelo de regresión cuadrática demostró que el valor F del modelo (8,82) fue mayor que el valor F de la tabla, por lo tanto se rechazó la hipótesis nula y se concluyó que el modelo y las diferencias fueron significativos ($p \leq 0,006$). La probabilidad que el modelo cuadrático no explique satisfactoriamente las interacciones de las variables fue muy baja. La Tabla 5 refleja los resultados para el diseño de superficie de respuesta. A partir de ellos se obtuvo un modelo polinomial de segundo orden que fue empleado para expresar la evaluación sensorial como una función de las variables independientes. En el modelo obtenido para la evaluación sensorial resultaron significativos la temperatura de entrada (X_E) y el término cuadrático de la temperatura de salida (X_S^2). Ambos coeficientes resultaron del mismo orden y signo positivo, por lo que puede afirmarse que un aumento de la temperatura de entrada, independientemente de la de salida, favorece la calidad sensorial del aroma microencapsulado. El coeficiente de determinación de la ecuación fue 0,863; lo que resulta aceptable para considerar adecuado el modelo.

La Fig. 2 presenta la superficie de respuesta para el diseño evaluado. Se encontró una respuesta máxima para la evaluación sensorial a temperaturas de entrada (T_E) cercanas a 200 °C y de salida (T_S) de 80 a 85 °C.

Al disminuir las temperaturas de entrada y salida se observa un descenso acelerado de la evaluación sensorial que alcanza un mínimo hacia la temperatura de entrada de 160 °C y de salida de 80 °C.

Una vez comprobados el buen ajuste y adecuación de los dos modelos se procedió a la optimización de las variables de respuesta: rendimiento y evaluación sensorial, mediante su maximización.

La Fig. 3 refleja la superficie de respuesta obtenida para la optimización de las variables evaluadas. Del gráfico de contorno, el punto definido por la temperatura de entrada de 200 °C y de salida de 80 °C, fue sugerido como el más adecuado para la microencapsulación del aceite esencial de mandarina.

En este punto se obtuvo un valor de 0,8 para la función objetivo (*desirability function*) (de un máximo posible de uno). De acuerdo a estos resultados, se seleccionó la combinación temperatura de entrada de 200 °C y de salida de 80 °C para la microencapsulación del aceite esencial de mandarina. Con esta combinación se lograron los mejores resultados para cada variable de respuesta evaluada que fueron: 83,6 % de rendimiento y una puntuación sensorial de 8,3 para el producto obtenido. El aceite esencial de mandarina microencapsulado con los parámetros optimizados se aplicó satisfactoriamente en refrescos instantáneos. En la evaluación sensorial del refresco se alcanzó una puntuación de 8,4 ($S=0,8$), que corresponde entre me gusta mucho y me gusta extremadamente, por lo que puede ser considerado como un producto con potencial para su comercialización.

Tabla 5. Diseño de superficie de respuesta para la evaluación sensorial (variables codificadas)

Factor	Coficiente estimado	Desviación estándar	t	p
Intercepto	7,56	0,08	-	-
X_E (temperatura de entrada)	0,43	0,08	5,36	0,0011
X_S (temperatura de salida)	-0,017	0,08	-0,21	0,8425
X_E^2	-0,19	0,12	-1,62	0,1491
X_S^2	0,46	0,12	3,83	0,0064
$X_E X_S$	-0,08	0,09	-0,76	0,4735

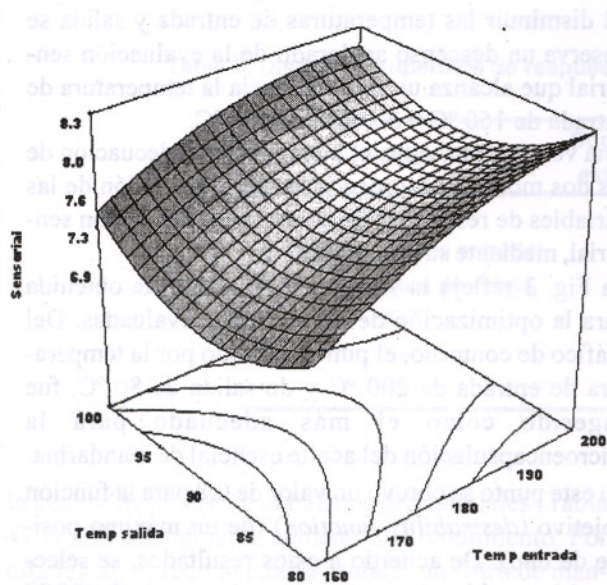


Fig. 2. Superficie de respuesta para la evaluación sensorial.

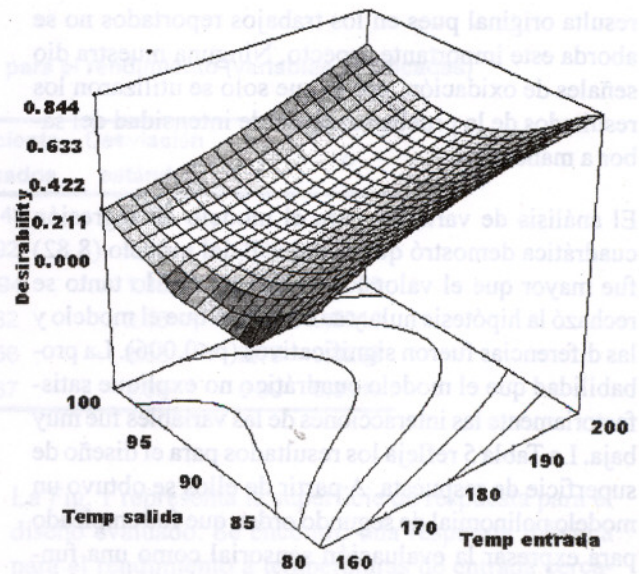


Fig. 3. Superficie de respuesta obtenida para la optimización de las variables.

CONCLUSIONES

Se optimizaron las temperaturas para la obtención de aceite esencial de mandarina microencapsulado mediante secado por atomización, donde se obtuvo un óptimo con una temperatura de entrada de 200 °C y una de salida de 80 °C. Con estos parámetros se logró un producto con 83,6 % de rendimiento, 47,52 μm de diámetro medio de partícula y una alta calidad sensorial para su empleo en la elaboración de refrescos instantáneos.

REFERENCIAS

1. Gouin, S. *Trends Food Sci. Technol.* 15: 330-347, 2004.
2. Reineccius, G. *Flavor Chemistry and Technology*. Boca Ratón, FL, Taylor & Francis Group, 2006.
3. Rosenberg, M.; Kopelman, I. y Talmon, Y. *J. Agric. Food Chem.* 38: 1288-1294, 1990.
4. Buffo, R. *Optimization of the Emulsifying and Encapsulation Properties of Gum Acacia*, Ph.D. thesis, Department of Food Science and Nutrition, University of Minnesota, St. Paul, 1999.
5. Shiga, H.; Yoshii, H.; Ohe, H.; Yasuda, M.; Furuta, T.; Kuwahara, H.; Ohkawara, M. y Linko, P. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 68 (1): 68-71, 2004.
6. Furuta, T.; Yoshii, H.; Kobayashi, T.; Nishitarumi, T. y Yasunishi, A. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 58: 847-850, 1994.
7. Kim, Y.; Morr, C. y Schenz, T. *J. Agric. Food Chem.* 44: 1308-1313, 1996.
8. Mirhosseini, H.; Tan, C.; Hamid, N. y Yusof, S. *Food Chem.* 107: 1161-1172, 2008.
9. Torricella, R.; Zamora, E. y Pulido, H. *Evaluación sensorial aplicada a la industria alimentaria*, La Habana, Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, 1989.
10. Reineccius, G. *Drying Technol.* 22: 1289-1324, 2004.