

SECADO POR ATOMIZACIÓN DE JUGOS DE FRUTAS

*Madai Bringas-Lantigua**, Jorge A. Pino y Yojhansel Aragüez-Forte

Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria

Carretera al Guatao km 3½, La Habana, Cuba.

E-mail: madai@iia.edu.cu

RESUMEN

La industria alimentaria necesita de los jugos deshidratados, ya sea para facilitar su manipulación, mezclar con otros ingredientes secos o alargar su vida de anaquel. El secado por atomización puede ser usado para obtener productos con buenas características sensoriales y nutricionales. La calidad de los jugos deshidratados por esta tecnología es muy dependiente de los parámetros operacionales y por tanto, se requiere conocer los factores que afectan las propiedades del producto para lograr la optimización del proceso. Esta reseña aborda los principios fundamentales del secado por atomización de jugos de frutas, así como los principales factores que influyen en este proceso y las características de los jugos deshidratados.

Palabras clave: jugo de fruta, secado por atomización.

ABSTRACT

Spray drying of fruit juices

The food industry needs of the dehydrated juices, either to facilitate their manipulation, to mix with other dry ingredients or to increase their shelf life. Spray drying could be used to obtain products with good sensory and nutritional characteristic. The quality of the juices dehydrated by this technology is very dependent of the operational parameters and therefore, it is required to know the factors that affect the properties of the product to achieve the optimization of the process. This review approaches the fundamental principles of the spray drying of fruit juices, as well as the main factors that influence this process and the characteristics of the dehydrated juices.

Keywords: fruit juice, spray drying.

INTRODUCCIÓN

Las frutas son una fuente importante de vitaminas y carbohidratos que son naturalmente dulces y bajas en calorías. Estas contienen diferentes tipos de vitaminas, por lo que es importante contar con una variedad de ellas. Las frutas son parte de la dieta diaria pues no hay efectos dañinos en su consumo al proveer las vitaminas necesarias para la vida y proveen los medios para alejar varios tipos de enfermedades.

Con el rápido desarrollo económico ha cambiado la tendencia de consumo de alimentos de la seguridad de calorías al enriquecimiento nutricional de la dieta. Los consumidores son bien conscientes de la importancia de vitaminas. Este escenario ha incrementado la de-

**Madai Bringas Lantigua: Ingeniera Química (ISPJAE, 2009) y Máster in Sciences (ISPJAE, 2013). Aspirante a investigador en el Dpto. de Aromas del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. Principales líneas de trabajo: microencapsulación de aceites esenciales y obtención de productos naturales.*

manda del mercado global hacia las frutas frescas. Para garantizar esta demanda a lo largo del año, las frutas frescas deben ser conservadas mediante diferentes técnicas, pues no siempre hay una disponibilidad de las mismas. Por otra parte, la alta humedad en las frutas conduce a una actividad de agua elevada que favorece su pérdida de calidad por el aumento de la actividad enzimática y el crecimiento microbiano. Por consiguiente, la reducción de la humedad y la actividad de agua en las frutas siempre es deseable para mantener la calidad. Los jugos de frutas deshidratados poseen muchos beneficios y potencial económico sobre su variante líquida, tales como la reducción del volumen, reducción del envase, facilidad de manipulación y transportación, así como una mayor vida de anaquel (1).

El secado es una técnica usada para conservar los alimentos mediante reducción del contenido de humedad y la actividad de agua. Existen muchas técnicas de secado como son el secado por atomización, liofilización y secado en bandeja, que se han desarrollado para aumentar la productividad y lograr un mejor control del proceso para elevar la calidad del producto. Entre las técnicas de secado, el secado por atomización puede ser utilizado para producir jugos de frutas deshidratados (2,3).

El objetivo de esta reseña fue recopilar la información más importante con relación al secado por atomización de jugos de frutas.

TIPOS DE SECADORES POR ATOMIZACIÓN

Existen distintos tipos que difieren en tamaño, forma, flujo de aire, tipo de atomización, etc. (4,5). Ellos deben tener un medio de calentamiento de la corriente de entrada del aire, para atomizar el material a ser secado dentro de este aire, una cámara donde ocurre el secado y un medio de separación del polvo y aire (ciclón o filtro). El aire de secado es comúnmente calentado mediante un quemador directo con gas natural. El líquido que se va a secar se atomiza y se introduce en una cámara grande de secado, en donde las gotas se dispersan en una corriente de aire caliente. Las partículas de líquido se evaporan rápidamente y se secan antes de que puedan llegar a las paredes del secador; el polvo seco que se obtiene cae al fondo cónico de la cámara y luego es extraído mediante una corriente de aire hasta un colector de polvos (6,7). Generalmente la atomización se realiza con boquilla de alta presión de un solo fluido o con disco centrífugo. El otro tipo de atomización, con boquilla de dos fluidos, no se usa en la industria de saborizantes (8).

En el secador por atomización con boquilla de alta presión de un solo fluido (Fig. 1), la emulsión es bombeada a presión relativamente alta a través de un orificio pequeño. La energía del líquido a alta presión se utiliza para producir la aspersion de pequeñas gotitas. Un núcleo acanalado insertado antes del orificio, imparte

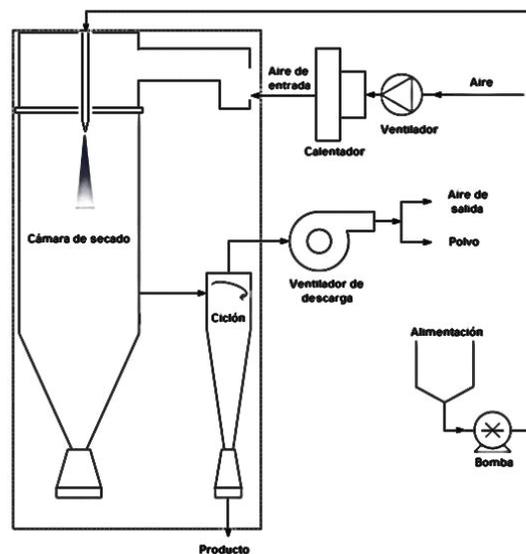


Fig. 1. Secador por atomización con boquilla de alta presión.

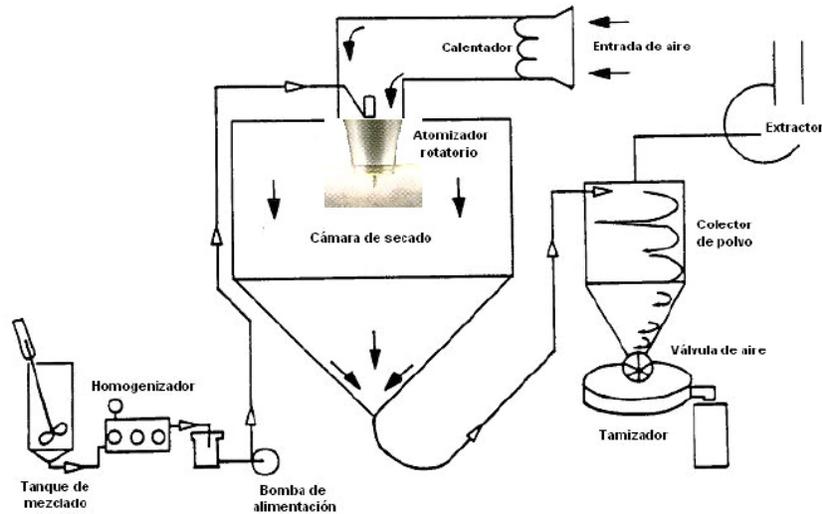


Fig. 2. Secador por atomización con disco centrífugo.

un movimiento de giro al líquido para producir una aspersión en forma de cono. Entre los inconvenientes de este tipo de atomizador figuran la posibilidad de que se afecte el orificio con partículas y se ensanche, sobre todo si el líquido de alimentación contiene sólidos abrasivos (9). En las boquillas de doble fluido, se utiliza un gas como aire o vapor a presiones relativamente bajas para separar al líquido en pequeñas gotas. Las boquillas poseen características relativamente invariables de operación; no permiten siquiera una variación moderada en los flujos del líquido pues se producen cambios muy grandes en el tamaño de las gotas (8).

En la industria alimentaria son más utilizados los discos centrífugos (Fig. 2). Estos pueden ser planos, en forma de aspas o en forma de copas, pueden tener de 0,3 m de longitud aproximadamente y girar a velocidades de 50 a 200 s^{-1} . El líquido o suspensión se alimenta sobre el disco, cerca del centro y se acelera centrífugamente hacia la periferia, de donde se arroja en una atomización en forma de paraguas (8). En estos pueden manejarse satisfactoriamente una variación apreciable en las propiedades del líquido y los flujos de alimentación; aun las suspensiones o pastas espesas se pueden atomizar sin que se obstruyan los orificios, siempre y cuando se bombeen en el disco. El gas de secado, ya sea gas de combustible o aire, puede entrar a una temperatura más elevada, limitada únicamente por la termosensibilidad del producto. Debido a que el tiempo

de contacto entre el producto y el gas es muy corto es posible utilizar temperaturas relativamente elevadas (10).

PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL SECADO POR ATOMIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

La deshidratación mediante secado por atomización se usa en una amplia gama de productos en la industria alimentaria para producir productos secos y aglomerados. Las consideraciones económicas de este método incluyen las condiciones higiénicas durante el proceso, los costos operacionales y el corto tiempo de contacto (11,12).

Otro aspecto a tener en cuenta para el secado por atomización de los jugos es su concentración. Los jugos concentrados poseen mayor contenido de sólidos y se facilita su deshidratación por tener menor contenido de agua. En los secadores a gran escala generalmente se usan jugos concentrados con 50 a 60 % de sólidos solubles, mientras que en los secadores a escala de laboratorio pueden usarse contenido de sólidos más bajos para lograr una menor viscosidad que no afecte la atomización (3,10).

La calidad de los productos secados por atomización depende de diferentes parámetros del sistema operativo del secador y de la composición del material de

alimentación. Estos son la tipos de soporte y su concentración, temperatura del aire de entrada, velocidad del atomizador y velocidad del flujo de alimentación, que afectan las propiedades del jugo deshidratado (3,13-15).

El tipo de soporte y su concentración son factores importantes en la composición del material de alimentación (3). El empleo de compuestos de alto peso molecular antes del secado por atomización es muy usual como opción para elevar la temperatura de transición vítrea (Tg) del producto seco (3,12,16). Los soportes comúnmente usados son maltodextrinas, goma arábica, almidones, celulosa microcristalina y proteínas, en particular los dos primeros mencionados (1,12,17-20). Estos soportes son usados como forma de mejorar las características del jugo para el secado y la estabilidad del producto seco. También se ha reportado el uso de otras gomas, tales como la goma de anacardo (*Anacardium occidentale*) (21,22) y goma de mezquite (*Prosopis juliflora*) (23).

Los jugos secados por atomización tienden a apelmazarse debido a la baja Tg de los azúcares de bajo peso molecular (sacarosa, glucosa y fructosa) y ácidos orgánicos presentes en ellos (24). La Tg es la temperatura a la cual los materiales amorfos cambian del estado vítreo al gomoso y es específica para cada material (3). Como consecuencia, los polvos pueden apelmazarse en las paredes de la cámara del secador, lo que causa un bajo rendimiento, mayor higroscopicidad y problemas operacionales. Estas dificultades pueden ser solucionadas mediante la adición de soportes, tales como polímeros y gomas al jugo antes de la atomización. Además, esta adición protege a los componentes sensibles del jugo contra condiciones ambientales desfavorables (24).

El estudio de la adición de maltodextrina con diferentes grados de hidrólisis en pasta de tomate deshidratado demostró que a mayor equivalente en dextrosa (DE), se obtiene un contenido de humedad mayor en el producto (25). Resultados similares fueron reportados en jugo concentrado de naranja (1) y jugo de mora negra (26). Esto puede explicarse por la estructura química de las maltodextrinas con alto DE. Los almidones hidrolizados poseen un alto número de ramificaciones con grupos hidrófilicos y de esta forma, pueden fácilmente asociarse a moléculas de agua del medio ambiente durante la manipulación del producto después

del secado. Además, la maltodextrina con alto DE causa el incremento de la densidad a granel del producto seco debido a su pegajosidad. A mayor DE en la maltodextrina se obtiene una menor Tg y esto baja la Tg en la mezcla jugo de fruta-maltodextrina (27,28).

La concentración de maltodextrina influye en el contenido de humedad del producto. En el secado de jugo de mora negra se demostró que la humedad disminuye con el incremento del contenido de maltodextrina (8, 12 y 16 %). Esto puede ser explicado debido a que concentraciones adicionales del soporte resultan en un incremento de los sólidos de alimentación y la reducción de la humedad (26). Resultados similares reportaron otros autores (29-32). Sin embargo, otro estudio en jugo concentrado de naranja mostró un incremento del contenido de humedad con la concentración de maltodextrina (1), lo que se atribuyó a la presencia de las moléculas grandes del soporte que dificultan la difusión de las moléculas de agua. En este trabajo se usaron altas concentraciones de maltodextrina (25, 50, 100 y 400 %).

La concentración de maltodextrina también influye en otras propiedades del producto deshidratado. En el jugo de melón de agua se encontró que la maltodextrina en concentraciones menores a 5 % causó la pegajosidad del polvo, mientras que al 10 % se obtuvo un producto de mayor calidad (33). Con relación a la higroscopicidad se ha observado una relación inversa con la concentración de maltodextrina, es decir, las menores higroscopicidades se obtienen a las mayores concentraciones del soporte. Esto es debido a que la maltodextrina posee una baja higroscopicidad, lo que reafirma su efectividad (1,27,34,38).

En general, la temperatura del aire de entrada en el secado por atomización de alimentos se encuentra entre 150 y 220 °C (3). Este parámetro influye en el rendimiento del producto pues su aumento conduce a un mayor rendimiento. Esto es debido a una mayor eficiencia en la transferencia de calor y masa que ocurre cuando son altas las temperaturas del aire de entrada (26,36,39-41). Otros autores han encontrado una disminución del rendimiento con el aumento de la temperatura (14,42,43), lo que puede ser debido a la fusión del polvo. Por otra parte, en el secado de jugo de granada no se encontró ninguna relación entre estos parámetros (38).

Un incremento de la temperatura del aire de entrada, a velocidad de flujo de alimentación constante, causa una disminución del contenido de humedad en el producto. Esto ha sido reportado en jugos de distintas frutas: naranja dulce (1,13,44), melón (33), tomate (25), acerola (21), piña (24), açai (28), lima (45) y banano (41), entre otros.

La temperatura del aire de entrada influye en la higroscopicidad del polvo. A una mayor temperatura, el producto queda con menor humedad y por tanto es más higroscópico pues absorbe mayor humedad del ambiente. Estudios en pulpa de tomate (46) y en jugo de açai (27,36) han confirmado lo antes mencionado.

La densidad a granel también está influenciada por la temperatura del aire de entrada de forma tal que esta disminuye con el aumento de la temperatura debido a un incremento del tamaño de la partícula. Cuando aumenta la temperatura de entrada se forma rápidamente la cápsula alrededor de la gota y quedan atrapadas burbujas de vapor en el interior de la cápsula con la consiguiente expansión de la partícula y disminución de la densidad (13,36,28).

La temperatura del aire de entrada también tiene un efecto en la morfología de la partícula. En el secado de jugo de açai se demostró que cuando la temperatura fue baja, las partículas mostraron una superficie rugosa, mientras que a mayores temperaturas resultó en un mayor número de partículas con superficie lisa (36). Cuando las temperaturas del aire de entrada son bajas, la corteza de la partícula es más flexible; mientras que a mayores temperaturas, esta adquiere una superficie más rígida y porosa debido a que la velocidad de secado es mayor (47).

La velocidad del atomizador es otro factor que ha sido estudiado cuando se usan secadores de disco centrífugo. En el secado de jugo de naranja se observó que el contenido de humedad disminuyó con el aumento de la

velocidad del atomizador (10 000 a 25 000 min⁻¹) (13). A altas velocidades del disco, las gotas son más pequeñas por lo que se logra una mayor superficie de contacto que facilita la evaporación del agua. En el secado de pulpa de tomate se reportó que un incremento de la velocidad del atomizador (25 000 a 35 000 min⁻¹) causó una disminución de la densidad aparente y del tamaño de partícula del producto, y no tuvo efecto significativo en el contenido de humedad (48).

La velocidad del flujo de alimentación también influye en las propiedades del producto deshidratado. Se ha planteado que este parámetro (5 a 25 g/min) tiene una relación directa con el contenido de humedad e inversa con la higroscopicidad y rendimiento del polvo de jugo de açai (36). Estas mismas relaciones fueron encontradas para el rendimiento en el jugo concentrado de naranja (14) y para la humedad en el jugo de ber (*Ziziphus jujube* L.) (49). Una mayor velocidad de flujo conduce a un menor tiempo de contacto entre el líquido de alimentación y el aire de secado, lo que causa una transferencia de calor deficiente y por tanto, una menor evaporación del agua. Adicionalmente, los rendimientos son menores debido a que el producto queda con mayor humedad y se apelmaza en las paredes de la cámara de secado por la deficiente transferencia de calor y masa. En el secado de jugo de granada se demostró que una disminución en la velocidad del flujo de alimentación (0,30 a 0,17 L/min) provoca una disminución en la solubilidad del polvo (50).

La industria alimentaria necesita de los jugos deshidratados, ya sea para facilitar su manipulación, mezclar con otros ingredientes secos o alargar su vida de anaquel. En líneas generales, el secado por atomización aporta productos con buenas características sensoriales y nutricionales. La calidad de los jugos deshidratados por esta tecnología es muy dependiente de los parámetros operacionales y por tanto, se requiere conocer los factores que afectan las propiedades del producto para lograr la optimización del proceso.

REFERENCIAS

1. Goula, M.A. y Adamopoulos, G.K. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 11: 324-351, 2010.
2. Cano-Chauca, M.; Stringheta, P.C.; Ramos, A.M. y Cal-Vidal, J. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 6: 420-428, 2005.
3. Phisut, N. *Int. Food Res. J.* 19 (4): 1297-1306, 2012.
4. Mermelstein, N.H. *Food Technol.* 55 (4): 92-95, 2001.
5. Sharma, D.K. y Tiwari, B.D. *Indian Food Ind.* 20 (2): 48-71, 2001.
6. Gharsallaoui, A.; Roudaut, G.; Chambin, O.; Voilley, A. y Saurel, R. *Food Res. Int.* 40 (9): 1107-1121, 2007.
7. Parize, A.; Rozone, T.; Costa, I.; Fávère, V.; Laranjeira, M.; Spinelli, A. y Longo, E. *Afr. J. Biotechnol.* 7 (17): 3107-3114, 2008.

8. Reineccius, G.A. *Drying Technol.* 22: 1289-1324, 2004.
9. Bringas, M. y Pino, J. *RECITEIA* 11 (2): 34-68, 2012.
10. Murugesan, R. y Orsat, V. *Food Bioprocess Tech.* 8: 1-12, 2011.
11. Sagar, V.R. y Suresh Kumar, P. J. *Food Sci. Technol.* 47: 15-26, 2010.
12. Yousefi, S.; Emam-Djomeh, Z. y Mousavi, M.S. *Sci. Technol.* 48: 677-684, 2011.
13. Chegini, R.G. y Ghobadian, B. *Drying Technol.* 23: 657-668, 2005.
14. Chegini, R.G. y Ghobadian, B. *World J. Agric. Sci.* 3: 230-236, 2007.
15. Krishnaiah, D.; Nithyanandam, R. y Sarbatly, R. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 54 (4): 449-473, 2014.
16. Truong, V.; Bhandari, B.R. y Howes, T. *J. Food Eng.* 71: 55-65, 2005.
17. Tonon, R.V.; Brabet, C. y Hubinger, M.D. *Food Res. Int.* 43: 907-914, 2010.
18. Wang, S.; Konkol, E. y Langrish, T.A.G. *Drying Technol.* 29 (16): 1868-1875, 2011.
19. Fang, Z. y Bhandari, B. *Food Res. Int.* 48: 478-483, 2012.
20. Parthasarathi, S.; Ezhilarasi, P.N.; Jena, B.S. y Anandharamakrishnan, C. *Food Bioprod. Process.* 91:103-110, 2013.
21. Moreira, G.E.G.; Costa, M.G.M.; de Souza, A.C.R.; de Brito, E.S.; de Medeiros, M.F.D. y de Azeredo, H.M.C. *LWT - Food Sci. Technol.* 42: 641-645, 2009.
22. Moreira, G.E.G.; de Azeredo, H.M.C.; de Medeiros, M.F.D.; de Brito, E.S. y de Souza, A.C.R. *J. Food Process. Pres.* 34: 915-925, 2010.
23. Carrillo-Navas, H.; González-Rodea, D.A.; Cruz-Olivares, J.; Barrera-Pichardo, J.F.; Román-Guerrero, A. y Pérez-Alonso, C. *Rev. Mex. Ing. Quím.* 10 (3): 421-430, 2011.
24. Jittanit, W.; Niti-Att, S. y Techanuntachikul, O. *Chiang Mai J. Sci.* 37: 498-506, 2010.
25. Goula, M.A. y Adamopoulos, G.K. *Drying Technol.* 26: 726-737, 2008.
26. Fazaeli, M.; Emam-Djomeh, Z.; Ashtari, A.K. y Omid, M. *Food Bioprod. Process.* 90: 667-675, 2012.
27. Tonon, V.R.; Brabet, C.; Pallet, D.; Brat, P. y Hubinger, D.M. *Int. J. Food Sci. Technol.* 44: 1950-1958, 2009.
28. Tonon, V.R.; Brabet, C. y Hubinger, M.J. *Food Process. Pres.* 5: 691-700, 2011.
29. Abadio, F.D.B.; Domingues, A.M.; Borges, S.V. y Oliveira, V.M. *J. Food Eng.* 64: 285-287, 2004.
30. Grabowski, J.A.; Truong, V.D. y Daubert, C.R. *J. Food Sci.* 71 (5): 209-217, 2006.
31. Kha, T.C.; Nguyen, M.H. y Roach, P.D. *J. Food Eng.* 98: 385-392, 2010.
32. Mishra, P.; Mishra, S. y Lata, C.L. *Food Bioprod. Proc.* 92: 252-258, 2013.
33. Quek, Y.S.; Chok, N.K. y Swedlund, P. *Chem. Eng. Process.* 46: 386-392, 2007.
34. Cai, Y.Z. y Corke, H. *J. Food Sci.* 65: 1248-1252, 2000.
35. Rodríguez-Hernández, G.R.; Gonzalez-García, R.; Grajales-Lagunes, A. y Ruiz-Cabrera, M.A. *Drying Technol.* 23: 955-973, 2005.
36. Tonon, V.R.; Brabet, C. y Hubinger, M. *J. Food Eng.* 88: 411-418, 2008.
37. Ferrari, C.C.; Germer, S.P.M. y de Aguirre, J.M. *Drying Technol.* 30: 154-163, 2012.
38. Horuz, E.; Altan, A. y Maskan, M. *Drying Technol.* 30: 787-798, 2012.
39. Goula, A.M. y Adamopoulos, K.G. *J. Food Eng.* 66: 25-34, 2005.
40. Solval, K.M.; Sundararajan, S.; Alfaro, L. y Sathivel, S. *LWT-Food Sci. Technol.* 46: 287-293, 2012.
41. Chávez-Rodríguez, A.M.; Pérez-Martínez, J.D.; Ibarra-Junquera, V.; Escalante-Minakata, P.; Villa Velazquez-Mendoza, C.I.; Dibildox-Alvarado, E. y Ornelas-Paz, J. *Int. J. Food Eng.* 9 (1): 9-16, 2013.
42. Dolinsky, A.; Maletskata, Y. y Snezhkin, Y. *Drying Technol.* 18: 747-758, 2000.
43. Dolinsky, A. *Drying Technol.* 19: 785-806, 2001.
44. Naddaf, L.; Avalo, B. y Oliveros, M. *Rev. Téc. Fac. Ing. Univ. Zulia (Venezuela)* 35 (1): 20-27, 2012.
45. Zareifard, M.R.; Niakousari, M.; Shokrollahi, Z. y Javadian, S. *Food Bioprocess Tech.* 5 (5): 1896-1906, 2012.
46. Goula, A.M. y Adamopoulos, K.G. *Drying Technol.* 22: 1107-1128, 2004.
47. Alamilla-Beltrán, L.; Chanona-Prez, J.J.; Jiménez-Aparicio, A.R. y Gutiérrez-López, G.F. *J. Food Eng.* 67: 179-184, 2005.
48. Souza, A.S.; Borges, S.V.; Magalhães, N.F.; Ricardo, H.V.; Cereda, M.P. y Daiuto, E.R. *Ciênc. Tecnol. Aliment. (Campinas)* 29 (2): 291-294, 2009.
49. Singh, V.K.; Mandhyan, B.L.; Pandey, S. y Singh, R.B. *Am. J. Food Technol.* 8 (3): 183-191, 2013.
50. Roustapour, O.R.; Azad, N. y Sarshar, M. *Drying Technol.* 30: 1906-1917, 2012.