

Determinación de la temperatura de secado para la encapsulación de proteasa mediante secado por atomización

Determining drying temperature for protease encapsulation by spray drying

Determinação da temperatura de secagem para a encapsulação de protease mediante secagem por atomização

Para citar este artículo / To reference this article / Para citar este artigo: Díaz Martínez, Y. L., Serna-Jiménez, J. A., Torres-Valenzuela, L. S. y Hoyos Concha, J. L. (2016). Determinación de la temperatura de secado para la encapsulación de proteasa mediante secado por atomización. *Ingenio Magno*, 7(1), 134-142.

Yessica Lorena Díaz-Martínez

Universidad La Gran Colombia,
seccional Armenia, Facultad de Ingenierías,
Programa de Ingeniería
Agroindustrial, Grupo de Investigación GIDA
diazmaryessica@miugca.edu.co

Johanna Andrea Serna-Jiménez

Universidad La Gran Colombia,
seccional Armenia, Facultad de Ingenierías,
Programa de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de
Investigación GIDA
sernajimjohanna@miugca.edu.co

Laura Sofía Torres-Valenzuela

Universidad La Gran Colombia,
seccional Armenia, Facultad de Ingenierías,
Programa de Ingeniería Agroindustrial, Grupo de
Investigación GIDA
torresvallaura@miugca.edu.co

José Luis Hoyos-Concha

Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias,
Programa de Ingeniería Agroindustrial,
Grupo de Investigación Asubagroin,
jlhoyos@unicauca.edu.co

Fecha de recepción: 6 de mayo de 2016
Fecha de aprobación: 16 de Junio de 2016

Resumen

La encapsulación es una técnica mediante la cual ciertas sustancias son introducidas en una matriz o un sistema pared con el objetivo de evitar su pérdida a causa de condiciones ambientales, de procesamiento y gastrointestinales a las que por lo general son sometidas; sin embargo, durante este proceso es preciso tener en cuenta las condiciones en que se realiza, es decir, la concentración del material de recubrimiento y la temperatura de secado empleada, para de este modo obtener cápsulas con las características requeridas. Por ello, en este estudio se procede a determinar la temperatura óptima de secado para la encapsulación de enzima proteasa alcalina líquida DT-ZYME L 500 (Proenzimas, Colombia) al 1%, para lo cual se hace encapsulación mediante secado por atomización, empleando diferentes temperaturas de entrada (80, 90, 100, 110, 150 °C), una temperatura de salida de 40 °C y concentración de maltodextrina al 50%. A dichos tratamientos se les evaluó el rendimiento, el tamaño de partícula, la actividad de agua (aw) y el contenido de humedad (CH). Los resultados mostraron rendimientos de 3.83, 10.30, 12.82, 8.91 y 7.58% para los tratamientos 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente, tamaños de partículas entre $22,98 \pm 3,67$ y $101,21 \pm 47,92$, porcentajes de contenido de humedad entre $5,55 \pm 0,06$ y $6,66 \pm 0,03$ y de actividades de agua entre $0,024 \pm 0,001$ y $0,053 \pm 0,001$.

Palabras clave: inmovilización de enzimas, microencapsulación, secado por aspersión, sustancias bioactivas.

Abstract

Encapsulation is a technique by which substances are introduced to an array or wall system with the goal of avoiding their loss due to environmental, processing and gastrointestinal conditions to which they are generally subjected, however during this process, it is necessary to take into account the conditions under which it is carried out, in other words the concentration of coating material and the drying temperature used, in order to in this way obtain capsules with the required characteristics. Taking this into account, the optimal drying temperature is determined for the encapsulation of liquid alkaline protease enzyme DT-ZYME L 500 (Proenzimas, Colombia) at 1%, performing encapsulation by spray drying using different entry temperatures (80, 90, 100, 110, 150 °C), an exit temperature of 40 °C and a maltodextrin concentration of 50%. The performance, particle size, water activity (aw) and humidity content (CH) of said treatments were evaluated. The results showed performances of 3.83, 10.30, 12.82, 8.91 and 7.58% for treatments 1, 2, 3, 4 and 5 respectively, as well as particles sizes between 22.98 ± 3.67 and 101.21 ± 47.92 , humidity content percentages between 5.55 ± 0.06 and 6.66 ± 0.03 , and water activity between 0.024 ± 0.001 and 0.053 ± 0.001 .

Keywords: Enzyme immobilization, micro-encapsulation spray drying, bioactive substances

Resumo

A encapsulação é uma técnica através da qual as substâncias são introduzidas num sistema de matriz ou de parede a fim de evitar a perda devido a condições ambientais, processamento e gastrointestinal que geralmente, são submetidos; durante este processo, é preciso ter em conta as condições em que é efetuada, isto é, a concentração do material de revestimento e a temperatura de secagem utilizada, para obter cápsulas com as características exigidas. Tendo isso em conta, para determinar a temperatura de secagem ótima para encapsular líquidos enzima protease alcalina DT-Zyme L 500 (pró-enzimas, Colômbia) em 1%, realizando encapsulação por secagem via

atomização usando diferentes temperaturas de entrada (80 , 90, 100, 110, 150 ° C), uma temperatura de saída de 40 ° C e a concentração de 50% de maltodextrina. Em estes tratamentos, foram avaliados o desempenho, o tamanho das partículas, a atividade da água (aw) e teor de humidade (CH). Os resultados mostraram rendimentos 3,83, 10,30, 12,82, 8,91 e 7,58% para os tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente, bem como tamanho de partícula entre $22,98 \pm 3,67$ e $101,21 \pm 47,92$, percentuais de umidade entre $5,55 \pm 0,06$ e $6,66 \pm 0,03$. Valores encontrados para a atividade da água entre $0,024 \pm 0,001$ e $0,053 \pm 0,001$.

Palavras Chave: imobilização de enzimas, secagem por pulverização, microencapsulação de substâncias bio-ativas.

1. Introducción

Los procesos de transformación que se aplican a alimentos de consumo humano o animal pueden modificar su composición nutricional; por ello, se requiere desarrollar o implementar técnicas que mitiguen esta problemática y permitan ofrecer productos de calidad.

Así, pues, una forma de lograrlo es incorporando nuevamente dichos componentes en las matrices alimentarias ya procesadas, es decir, fortificándolas; sin embargo, tales componentes utilizados en la fortificación requieren de una adecuación que involucra métodos que promueven el mejoramiento tanto de su estabilidad como de su biodisponibilidad, a la vez que conlleven ofrecer productos que realmente cumplan con el efecto nutricional requerido.

Dentro de estos métodos se encuentra la encapsulación, un proceso mediante el cual una sustancia (agente activo) es introducida en un material de soporte, una matriz o un sistema pared constituido por compuestos poliméricos, con el objetivo de impedir su pérdida, protegerlo del ambiente y de la reacción con otros constituyentes alimentarios o impedir que sufra reacciones de oxidación debido a la luz o al oxígeno.

Por esta razón se convierte en una herramienta útil para mejorar la entrega de alimentos con moléculas bioactivas (antioxidantes, minerales, vitaminas, fitoesteroles, luteína, ácidos grasos y licopeno) y células vivas (probióticos y enzimas). Se obtienen de esta

manera cápsulas que generalmente tienen un tamaño pequeño (puede ser del orden de nanómetros) y liberan su contenido a velocidades controladas durante periodos prolongados y en condiciones específicas (López, 2010; Nedovic *et al.*, 2011; Pulido y Bristain, 2010).

Existen diferentes técnicas para encapsular, pero el secado por atomización es la más utilizada en la industria, debido a que es flexible, continua, económica y efectiva en la estabilización de materiales activos (Pulido y Bristain, 2010). Su funcionamiento se basa en atomizar la solución que va a ser secada en forma de gotas muy finas, en el seno de una corriente de gas caliente, que generalmente es aire, a una temperatura que oscila entre 100 y 200 °C.

De este modo se forman partículas de geometría esférica, con aspecto de espuma desecada y de esferillas huecas de un diámetro entre los 20 y 200 μm . Estas partículas presentan gran solubilidad y permiten liberar el material de interés donde verdaderamente sea aprovechado por el organismo (López, 2010).

La estabilización de biocomponentes mediante secado por atomización se ha aplicado a diferentes matrices. Hay múltiples estudios que evalúan su efecto sobre las propiedades microestructurales y distribución de componentes en las micropartículas obtenidas (Porrás *et al.*, 2015), al igual que sobre las propiedades fisicoquímicas (Ee *et al.*, 2014), reológicas (García *et al.*, 2013) y antioxidantes (Kar-Hing, Ta-Yeong y

Lee-Fong, 2013) de cáscara, mucílago de pencas y zumos de pitahaya encapsuladas.

También se ha logrado determinar el efecto sobre la conservación de antioxidantes como la catequina (Ayala, Serna y Mosquera, 2010), el zumo de *Opuntia stricta* (Lozano, 2009) y de las propiedades fisicoquímicas de sandía (Quek, Chok y Swedlund, 2007).

Otros autores han comparado esta técnica con otras, como en el caso de Ramírez, Salgado y Orrego (2012), que determinaron el efecto la conservación de polifenoles en un jugo de fruta modelo secado por aspersión y liofilización. Un trabajo similar es el reportado por Ceballos (2008), que realizó un estudio comparativo de tres sistemas de secado (liofilización, aspersión y vacío) para la producción de polvo deshidratado de guanábana.

Además, se ha investigado el efecto de diferentes variables como el pH de la solución por secar (Estevinho, Ramos y Rocha, 2015), el material de recubrimiento empleado (Arslan, Erbas, Tontul y Topuz, 2015; Estevinho, Damas, Martins y Rocha, 2014)

y las temperaturas de secado aplicadas (Tan *et al.*, 2015) sobre las propiedades fisicoquímicas de las micropartículas obtenidas.

Por lo anterior, se plantea llevar a cabo la encapsulación de una enzima proteasa, mediante el método de secado por atomización a diferentes temperaturas de entrada, para de este modo conocer los aspectos y las condiciones que requiere su ejecución, al igual que determinar la influencia de la variable *temperatura* sobre la formación de partículas.

2. Materiales y métodos

A. Encapsulación mediante secado por atomización

La encapsulación de enzima proteasa alcalina líquida DT-ZYME L 500 (Proenzimas, Colombia) se realizó en un equipo de secado por atomización (Lab-Scale Spray Dryer 7614YC-015, Pilottech, China), a 5 condiciones de temperaturas de secado (tabla 1). Se utilizó maltodextrina grado alimentario (TECNAS, Colombia) con dextrosa equivalente (DE) del 17% como material de recubrimiento.

Tabla 1.
Condiciones de encapsulación

Tratamiento	Temperatura de secado (°C)		Concentración del material de recubrimiento (%)	Concentración de enzima (%)
	Entrada	Salida		
T1	80			
T2	90			
T3	100	40	50	1
T4	110			
T5	150			

Fuente: Autoras

1) Rendimientos en el proceso de secado

El rendimiento en el proceso de secado se cuantificó pesando la cantidad de material seco obtenido después del proceso con la ecuación [1]:

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{masa de encapsulado obtenido}}{\text{masa de solución alimentada}} * 100 \quad [1]$$

Adicionalmente, se analizaron variables cualitativas asociadas al taponamiento de inyectores, la solubilidad de la solución (maltodextrina + proteasa) y la adherencia de esta a las paredes del equipo de secado.

2) Tamaño de partícula

El tamaño de partícula se evaluó en un microscopio óptico (Unico G383, Estados Unidos), utilizando los lentes 4X y 10X. La dimensión de las partículas fue calculada haciendo uso del *software* ScopePhoto.

3) Determinación de actividad de agua y contenido de humedad

La determinación de actividad de agua se realizó por el método del punto de rocío en un medidor de actividad de agua (Aqualab Lite 7614AQUALITE, Decagon Device Inc., Estados Unidos). El contenido de humedad fue determinado a través del método gravimétrico, siguiendo la norma AOAC 934.06 (AOAC, 2000) y usando una estufa (UT 6120, Binder, Estados Unidos) y una balanza de humedad (OHAUS, Suiza).

B. Análisis estadístico

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), con comparación de los valores medios mediante la prueba de Tukey, a un nivel de significancia del 95%, y utilizando el *software* estadístico Statgraphics®.

3. Resultados y discusión

A. Encapsulación mediante secado por atomización

1. Rendimientos en el proceso de secado

Los rendimientos obtenidos y las variables cualitativas asociadas al taponamiento de inyectores, la solubilidad de la solución (maltodextrina+proteasa) y la adherencia de esta a las paredes del equipo de secado se encuentran en la tabla 2. En esta se evidencia que el tratamiento que presentó mejores condiciones en el secado por atomización fue el 3, con un rendimiento de 12,82%, el cual fue hecho a una temperatura de entrada de 100 °C. Asimismo, se muestra que el tratamiento que menor rendimiento presentó fue aquel que se realizó a una temperatura de entrada de 80 °C (3,83%).

Dado que ningún P-valor es inferior a 0,05, ninguno de los tratamientos tiene efecto estadísticamente significativo en rendimiento, lo cual resulta en un nivel de confianza del 95,0%; sin embargo para llevar a cabo la encapsulación de proteasa, se puede elegir aquel que genere el mayor.

Tabla 2.
Rendimientos obtenidos y variables cualitativas observadas, asociadas al taponamiento de inyectores y solubilidad de la solución (maltodextrina+proteasa)

Rendimiento en los diferentes tratamientos de secado (%)					Variables cualitativas
T1	T2	T3	T4	T5	
3.83	10.30	12.82	8.91	7.58	Completa solubilidad de la solución (maltodextrina+proteasa). Funcionamiento constante del equipo de secado.

Fuente: Autoras

2. Tamaño de partícula

Los tamaños de partículas obtenidos mediante secado por atomización se muestran en la tabla 3. Estos oscilaron entre $22,98 \pm 3,67$ y $101,21 \pm 47,92$ μm . De igual forma, no se encuentra un efecto estadísticamente significativo del tratamiento empleado en el secado

sobre el tamaño de partícula obtenida, lo cual arroja un nivel de confianza del 95%.

Tabla 3.
Tamaño de partículas obtenidas mediante el secado a diferentes temperaturas de entrada al secador por atomización (μm)

T1	T2	T3	T4	T5
22.98 \pm 3.67	101.21 \pm 47.92	38.69 \pm 21.70	73.06 \pm 68.41	35.12 \pm 14.79

Fuente: Autoras

3. Determinación de actividad de agua y contenido de humedad

Los resultados de actividad de agua (a_w) y contenido de humedad (CH) de las partículas se muestran en la tabla 4. Allí se encuentran valores de a_w entre 0,024 \pm 0,001 y 0,053 \pm 0,001. El tratamiento 2 es el que menor a_w presenta (0,024 \pm 0,001). Ahora bien, con respecto al contenido de humedad (CH), se encuentran valores que

oscilan entre 5,55 \pm 0,06 y 6,66 \pm 0,03%. Igualmente, el tratamiento 2 es el que menor CH presenta (5,55 \pm 0,06),

A su vez, se evidencia que ninguno de los tratamientos tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la a_w y el CH presente en los encapsulados, lo cual arroja un nivel de confianza del 95%.

Tabla 4.
Actividad de agua (a_w) y contenido de humedad (CH) de las partículas obtenidas mediante el secado por atomización

Tratamiento	a_w	CH (%)
T1	0.053 \pm 0.001	6.66 \pm 0.03
T2	0.024 \pm 0.001	5.55 \pm 0.06
T3	0.032 \pm 0.001	6.23 \pm 0.09
T4	0.035 \pm 0.001	6.46 \pm .26
T5	0.029 \pm 0.001	5.92 \pm 0.30

Fuente: Autoras

4. Discusión

1. Rendimientos en el proceso de secado

Estos resultados concuerdan con lo dicho por López (2010), que expone que la temperatura del aire de secado debe ser mayor a 100°C.

Por otro lado, se destaca que los rendimientos de los tratamientos fueron menores a los encontrados en la literatura para esta técnica con otro tipo de matrices: 64% para *Boerhaavia erecta* L., conocida popularmente como tostón (López, Torres, González y Rodríguez, 2008), 71,4% para melón (Tan *et al.*, 2015), 41,8 a 55,6% para vitamina B12 y 43,6 a 45,4% para vitamina C (Estevinho, Carlan, Blaga y Rocha, 2016).

Esto puede deberse a parámetros como el caudal del líquido de entrada, puesto que si hay mayor volumen de fluido por dispersar, mayor será la cantidad de partículas. El caudal del aire de atomización (que proporciona un mejor rendimiento cuando este es menor), la concentración de solutos contenidos en la solución por atomizar, la temperatura y la presencia de aditivos en la suspensión favorecen la formación de estas partículas (Miravet, 2009).

2. Tamaño de partícula

Los tamaños de partículas obtenidos oscilan entre 22,98 \pm 3,67 y 101,21 \pm 47,92 μm , los cuales están dentro del rango de 20 a 200 μm reportado por López (2010). Sin embargo, si se contrastan con el

diámetro de partículas obtenidas mediante secado por atomización de otras matrices, se encuentra que son mayores en comparación con las conseguidas mediante encapsulación de ácido ascórbico (Alvim *et al.*, 2016), -galactosidasa (Estevinho *et al.*, 2015), fitoesteres (Di Battista, Constenla, Ramírez-Rigo y Piña, 2015), vitamina B12 y C (Estevinho *et al.*, 2016), que fueron de 9.3, 3.5, 5.89 y 3.0, respectivamente.

Los resultados de este estudio difieren de los hallados en otras investigaciones, lo cual puede deberse a las variables utilizadas en el proceso que influyen de manera directa: el caudal del aire, que puede disminuir el tamaño de las partículas, dado que aumenta la energía para la dispersión del fluido; la concentración de solutos por atomizar, ya que a mayor contenido, mayor cantidad de partículas se pueden obtener; y la velocidad de secado, pues entre más rápido se seque la solución, más pequeñas serán las partículas (Miravet, 2009; Mondragón, Julia, Barba y Jarque, 2013).

3. Determinación de actividad de agua y contenido de humedad

Los resultados de actividad de agua (a_w) y contenido de humedad (CH) de las partículas se muestran en la tabla 4, donde se encuentran valores de a_w entre $0,024 \pm 0,001$ y $0,053 \pm 0,001$. El tratamiento 2 es el que menor a_w presenta ($0,024 \pm 0,001$).

Así, a partir de estos valores, y teniendo en cuenta lo reportado por Quek *et al.* (2007), Marques, Ferreira y Freire (2007) y Caliskan y Nur Dirim (2013), se puede estimar que son estables tanto microbiológica como físico-químicamente, puesto que productos con valores de actividad de agua bajo 0,6 se consideran generalmente microbiológicamente estables, mientras con valores entre 0,20 y 0,40 se asegura la estabilidad del producto frente al pardeamiento y reacciones hidrolíticas, la oxidación de lípidos, la autooxidación y la actividad enzimática cuenta considerar con dichos valores.

Ahora bien, con respecto al contenido de humedad (CH), se encuentran valores que oscilan entre $5,55 \pm 0,06$ y $6,66 \pm 0,03\%$. Igualmente, el tratamiento 2 es el que menor CH presenta ($5,55 \pm 0,06$). Estos valores, aunque son mayores a los encontrados en concentrado de caña panelera secada por aspersión ($1,11 \pm 0,03\%$), reportados por Cortés *et al.* (2012), están dentro de los rangos obtenidos en la encapsulación de pigmentos encapsulados de luteína-enocianina utilizando maltodextrina como material de recubrimiento, correspondientes a 5,09 y 6,29% (Escalona, 2004).

5. Conclusión

La encapsulación puede considerarse una técnica viable para la conservación de componentes activos. Sin embargo, es necesario establecer parámetros relacionados tanto con la solución que se va a alimentar al equipo de secado por atomización como también del proceso; es decir, instaurar condiciones de alimentación y atomización, tales como contenido en sólidos, material de recubrimiento y temperatura de secado, que le son propias a cada material y que solo se pueden determinar por medio de ensayos y error, puesto que estos tienen una relación directa con las propiedades finales del polvo obtenido (morfología, microestructura, densidad, resistencia mecánica y fluidez), las cuales definirán la calidad y finalidad industrial que este pueda tener. Por ello, este proceso se convierte en una alternativa para la generación de productos con alto valor agregado.

6. Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación Colciencias, a la Universidad del Cauca y a la Universidad La Gran Colombia Seccional Armenia por la financiación de este trabajo.

Referencias

Alvim, I. D. *et al.* (2016). Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain

- ascorbic acid in a baked product application. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 689-694. Doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.049
- Arslan, S., Erbas, M., Tontul, I. y Topuz, A. (2015). Microencapsulation of probiotic *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* with different wall materials by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 685-690. Doi: 10.1016/j.lwt.2015.03.034
- Ayala, A, Serna, L. y Mosquera, E. (2010). Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). *Vitae*, 17, 121-127.
- Caliskan, G. y Nur Dirim, S. (2013). The effects of the different drying conditions and the amounts of maltodextrin addition during spray drying of sumac extract. *Food and Bioproducts Processing*, 91(4), 539-548. Doi: 10.1016/j.fbp.2013.06.004
- Ceballos-Peñaloza, A. M. (2008). *Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción en polvo deshidratado de fruta* (tesis de maestría). Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Di Battista, C. A., Constenla, D., Ramírez-Rigo, M. V. y Piña, J. (2015). The use of arabic gum, maltodextrin and surfactants in the microencapsulation of phytosterols by spray drying. *Powder Technology*, 286, 193-201. Doi: 10.1016/j.powtec.2015.08.016
- Ee, S. C., Jamilah, B., Muhammad, K., Hashim, D. M. y Adzahan, N. (2014). Physico-chemical properties of spray-dried red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder during storage. *International Food Research Journal*, 21(1), 155-160.
- Escalona, S. E. (2004). *Encapsulados de luteína-enocianina y su aplicación en alimentos* (tesis de pregrado). Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Estevinho, B. N., Carlan, I., Blaga, A. y Rocha, F. (2016). Soluble vitamins (vitamin B12 and vitamin C) microencapsulated with different biopolymers by a spray drying process. *Powder Technology*, 289, 71-78. Doi: 10.1016/j.powtec.2015.11.019
- Estevinho, B. N., Damas, A. M., Martins, P. y Rocha, F. (2014). Microencapsulation of α -galactosidase with different biopolymers by a spray-drying process. *Food Research International*, 64, 134-140. Doi: 10.1016/j.foodres.2014.05.057
- Estevinho, B. N., Ramos, I. y Rocha, F. (2015). Effect of the pH in the formation of α -galactosidase microparticles produced by a spray-drying process. *International Journal of Biological Macromolecules*, 78, 238-242. Doi: 10.1016/j.ijbiomac.2015.03.049
- García-Cruz, E. E., Rodríguez-Ramírez, J., Méndez Lagunas, L. L. y Medina-Torres, L. (2013). Rheological and physical properties of spray-dried mucilage obtained from *Hylocereus undatus* cladodes. *Carbohydrate Polymers*, 91(1), 394-402. Doi: 10.1016/j.carbpol.2012.08.048
- Kar-Hing, L., Ta-Yeong, W. y Lee-Fong, S. (2013). Spray drying of red (*Hylocereus polyrhizus*) and white (*Hylocereus undatus*) dragon fruit juices: physicochemical and antioxidant properties of the powder. *International Journal of Food Science and Technology*, 4(1), 2391-2399. Doi: 10.1111/ijfs.12230
- López, O. D., Torres, L., González, M. L. y Rodríguez, C. A. (2008). Estudio de secado por aspersion hasta escala de banco del extracto acuoso de *Boerhaavia erecta* L. *Revistas Médicas Cubanas*, 13(4). Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962008000400011

- López-Hernández, O. D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*, 44(3), 381-389.
- Lozano-Berna, M. (2009). *Obtención de microencapsulados de zumo de Opuntia stricta mediante secado por atomización* (tesis de pregrado). Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Marques, L. G., Ferreira, M. C. y Freire, J. T. (2007). Freeze-drying of acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 451-457. Doi: /10.1016/j.cep.2006.04.011
- Miravet, G. M. (2009). *Secado por Atomización de zumo de granada* (tesis de maestría). Cartagena, España: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Mondragón, R., Julia, J. E., Barba, A. y Jarque, J. C. (2013). El proceso de secado por atomización: formación de gránulos y cinética de secado de gotas. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 52(4), 159-168. Doi: 10.3989/cyv.212013
- Nedovic, V., Kalusevica, A., Manojlovicb, V., Levica, S. y Bugarskib, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, 1, 1806-1815. Doi: 10.1016/j.profoo.2011.09.265
- Porras-Saavedra, J. *et al.* (2015). Microstructural properties and distribution of components in microparticles obtained by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 152(0), 105-112. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2014.11.014
- Pulido, A. y Bristain, C. I. (2010). Encapsulación de ácido ascórbico mediante secado por aspersión, utilizando quitosano como material de pared. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9, 189-195.
- Quek, S. Y., Chok, N. K y Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392. Doi: 10.1016/j.cep.2006.06.020
- Ramírez, M. J., Salgado-Aristizabal, N. y Orrego-Alzate, C. E. (2012). Conservación de polifenoles en un jugo de fruta modelo secado por aspersión y liofilización. *Vitae*, 19(1), S87-S89.
- Tan, S. P., Kha, T. C., Parks, S. E., Stathopoulos, C. E. y Roach, P. D. (2015). Effects of the spray-drying temperatures on the physicochemical properties of an encapsulated bitter melon aqueous extract powder. *Powder Technology*, 281, 65-75. Doi: 10.1016/j.powtec.2015.04.074