

Microencapsulación de componentes bioactivos

Microencapsulation of bioactive compounds

Erika Nava Reyna^{1*}, Georgina Michelena Álvarez², Anna Iliná³,
José Luis Martínez Hernández³

Nava Reyna, E., Michelena Álvarez, G., Iliná, A., Martínez Hernández, J. L. Microencapsulación de componentes bioactivos. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. Número 66: 64-70, septiembre-diciembre 2015.

RESUMEN

La microencapsulación es el proceso con el cual se rodea una sustancia activa con una pared porosa y se obtienen cápsulas de 50 nm a 2 mm. Diferentes materiales biológicamente activos como enzimas, microorganismos, vitaminas, hormonas, entre otros, pueden ser microencapsulados para protegerlos contra condiciones medioambientales. Existen diferentes métodos de microencapsulación, por lo que la elección de alguno se basa en las propiedades físicas y químicas que se requieran para su aplicación y los costos de producción. En el presente artículo se analizan los avances en el área de microencapsulación enfocados a las propiedades de los sistemas, algunos ejemplos de su aplicación y ventajas y desventajas.

Palabras clave: microencapsulación, componentes bioactivos, material de recubrimiento, tipos, métodos, aplicaciones.

Keywords: microencapsulation, structure of microcapsule, coating material, types of microcapsules, microencapsulation methods, microencapsulation applications.

Recibido: 19 de agosto de 2014, aceptado: 14 de agosto de 2015

¹ Departamento de Biotecnología, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila.

² Instituto Cubano de Investigación de los Derivados de la Caña de Azúcar.

³ Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila.

* Autor para correspondencia: erikanava@uadec.edu.mx

ABSTRACT

Microencapsulation is the process of covering an active substance with a porous wall, obtaining capsules between 50 nm to 2 mm. Different biologically active materials as enzymes, microorganisms, vitamins, hormones, among others, can be microencapsulated to protect them against environmental conditions. There are different microencapsulation methods, so the choice is based on the physical and chemical properties needed for the application and the production costs. This article discusses the advances in the area of microencapsulation focused on the properties of systems and some examples of its application, advantages and disadvantages.

INTRODUCCIÓN

La microencapsulación se define como el proceso con el cual se rodea una sustancia activa con una pared porosa que la protege. El término *micropartícula* se refiere básicamente a una *partícula con un diámetro de 1-1000 µm*. Un tipo particular de micropartículas son las microcápsulas, las cuales tienen una sustancia activa rodeada por un material distinto (Chaumeil et al., 1986; Berkland et al., 2004). De acuerdo con Singh et al. (2010), el tamaño de las microcápsulas varía entre 50 nm y 2 mm.

El proceso en estudio es una herramienta útil para mejorar la liberación de componentes bioactivos, es decir, sustancias que tienen un efecto en organismos vivos, tejidos o células, como fitoesteroles, ácidos grasos, prebióticos, entre otros.

Existen diversas aplicaciones para los microencapsulados en diferentes sectores, en donde se incluyen la industria alimentaria, cosmética, farmacéutica, textil, metalúrgica, entre otras. En el presente artículo se presentan aspectos generales y métodos comúnmente utilizados para microencapsular, así como avances en dicha área y algunos ejemplos de su aplicación.

Elementos principales de un sistema de microencapsulación

Una microcápsula se compone de dos fases: el núcleo y la pared. La primera (activo o fase interna) se refiere al material específico a ser recubierto, que puede estar en cualquiera estado de la materia (Villena et al., 2009). Depende de su estado si es necesario un tratamiento del núcleo previo a la microencapsulación —como la esferoidización, granulación, emulsificación, molienda y atomización—, lo cual influye fuertemente en la configuración final de las cápsulas y el rendimiento de estas en su aplicación final. La habilidad para variar la composición del material del núcleo provee una flexibilidad definida, lo que permite el diseño efectivo para obtener las propiedades deseadas en las microcápsulas.

Por su parte, la selección del material o materiales del recubrimiento está determinada generalmente por los requerimientos del sistema en cuestión y su aplicación final, así como el método de microencapsulación seleccionado y las condiciones ambientales a las que las microcápsulas serán sometidas. Las propiedades físicoquímicas de los microencapsulados dependerán mayormente del material seleccionado para el recubrimiento, ya que deberá ser capaz de formar películas cohesivas con la fase del núcleo, además de presentar propiedades como fuerza, flexi-

bilidad, permeabilidad selectiva, absorción de humedad y luz, solubilidad, y estabilidad. Sin embargo, no hay que olvidar que los materiales de recubrimiento son susceptibles a la modificación *in situ* (Bansode et al., 2010).

Existen diferentes materiales utilizados para formar la matriz de encapsulación (Tabla 1), entre los cuales se consideran importantes los derivados de celulosa, lípidos, proteínas, gomas, carbohidratos y algunos materiales inorgánicos.

Tipos de microcápsulas

Las microcápsulas pueden clasificarse en tres categorías de acuerdo a su morfología: mononucleares, polinucleares y tipo matriz (Ghosh, 2006). (Figura 1).

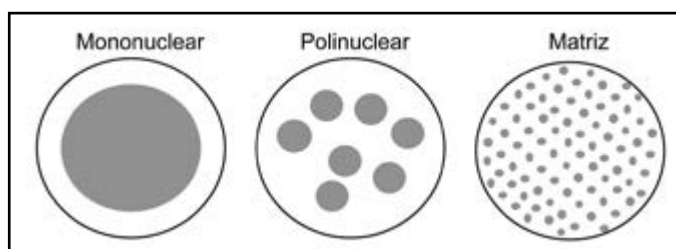


Figura 1. Tipos de microencapsulados.
Imagen elaborada por los autores.

Las microcápsulas mononucleares tienen una cubierta alrededor del núcleo, mientras que las polinucleares tienen varios núcleos dentro de la pared. En la encapsulación tipo matriz, el material del núcleo se distribuye homogéneamente en el material de la pared y puede presentarse en diferentes estructuras (Figura 2): en forma de espuma, en la cual el material activo se reparte en toda la cápsula y la cubierta (a), en forma de red con una estructura

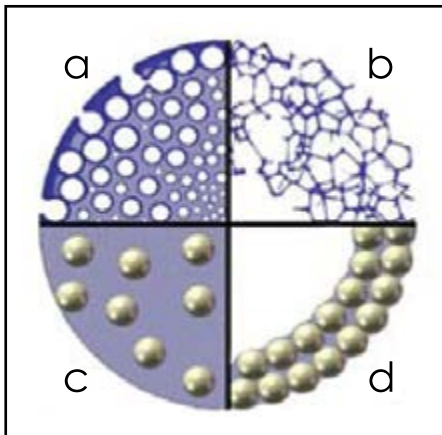
Tabla 1. Sustancias más utilizadas como recubrimiento en la microencapsulación

| Tipos de cobertura | Cobertura específica |
|-------------------------------|--|
| Gomas | Agar, alginato de sodio, carragenina, goma arábiga |
| Carbohidratos | Almidón, dextranos, sacarosa, jarabes de maíz |
| Celulosas | Etilcelulosa, metilcelulosa, acetilcelulosa, nitrocelulosa, carboximetil-celulosa |
| Lípidos | Ceras, parafinas, diglicéridos, monoglicéridos, aceites, grasas, ácido esteárico, trisetearina |
| Proteínas | Gluten, caseína, albúmina |
| Materiales inorgánicos | Sulfato de calcio, silicatos |

Fuente: Elaborada por los autores, basado en Martín Villena et al. (2009).

Tabla 2. Principales métodos de microencapsulación según la naturaleza del proceso

| PROCESOS FÍSICOS | PROCESOS QUÍMICOS | PROCESOS FISICOQUÍMICOS |
|--|---|---|
| Secado por aspersión Extrusión Recubrimiento por aspersión | Polimerización interfacial Inclusión molecular | Coacervación Atrapamiento en liposomas o micelas inversas |


Figura 2. Morfología de los diferentes estilos de microcápsulas tipo matriz. Imagen tomada de Vehring (2008).

abierta (b) microcápsulas donde el material activo se encuentra disperso en la matriz que actúa como cubierta, tanto en la esfera llena (c) como en la periferia (d) (Vehring, 2008).

Métodos generales de microencapsulación

Los procesos de microencapsulación pueden dividirse en físicos, químicos y fisicoquímicos; según la naturaleza del proceso (Tabla 2), lo que da como resultado productos con características específicas y aplicaciones diversas.

El secado por aspersión es el proceso más utilizado para microencapsular ingredientes activos, especialmente en la industria alimenticia; debido en gran medida a su bajo costo, buena estabilidad del producto final y eficacia de encapsulación relativamente alta (Favaro et al., 2010). Este método consiste en asperjar el material líquido y formar gotas en las que el solvente se evapora al entrar en contacto con una corriente de gas caliente y formar una fina película del recubrimiento utilizado (Gharsallaoui et al., 2007).

En la técnica de extrusión, la emulsión del material activo y el de recubrimiento forman gotas al pasar por un dispositivo extrusor a alta presión. El

alginateo de calcio es comúnmente utilizado como material de recubrimiento (Lupo Pasin et al., 2012). Esta técnica ha sido utilizada para encapsular microorganismos, enzimas, ácidos grasos y prebióticos y genera microcápsulas menos porosas que el secado por aspersión (Serfert et al., 2009), aunque duplica su costo y el empleo de extrusores de tornillo a alta presión genera grandes fuerzas de cizallamiento que son perjudiciales para la estabilidad de materiales sensibles del núcleo, como el aceite omega-3 (Gouin, 2004).

La coextrusión o extrusión centrífuga es un tipo de tecnología de extrusión, en la cual una solución acuosa de polímero caliente fluye a través del tubo exterior, la sustancia a encapsular pasa por el tubo interior y ambos fluidos son descargados finalmente en una corriente del fluido transportador. Esta técnica es comúnmente utilizada para encapsular aceites y microorganismos (Shinde et al., 2014).

En la polimerización interfacial se disuelve un monómero hidrofóbico con capacidad de formar polímeros en un material activo hidrofóbico, lo que provoca que la mezcla se disperse en una fase polar mientras un catalizador genera la polimerización del monómero, hace insoluble al polímero en la sustancia activa hidrofóbica y se deposita como cubierta de la sustancia activa. Algunos polímeros utilizados como material de recubrimiento son las poliamidas, poliuretanos y nylon; los cuales son ampliamente utilizados para preparar microcápsulas de proteínas, farmacéuticos, entre otros. Existen reportes sobre la obtención de microesferas de ácidos carboxílicos por polimerización interfacial con cubierta estructurada dura de $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PS-PAA}$. Dichas microcápsulas exhiben superparamagnetismo y magnetización de alta saturación, lo que las convierte en candidatas promisorias de su aplicación para bioseparación, liberación de fármacos y biocatálisis (Jiang et al., 2012).

La inclusión molecular es definida como una nueva asociación supramolecular de un ligando (material encapsulado) dentro de un sustrato con una cavidad (agente encapsulante) por enlaces de hidrógeno y/o fuerzas de van der Waals. La

ciclodextrina es uno de los materiales encapsulantes más utilizados, sobre todo para proteger saborizantes y otros ingredientes termolábiles en los alimentos, vitaminas y aceites (Nunes y Mercadante, 2007; Hill et al., 2013).

La coacervación es un método fisicoquímico de separación de fases en el cual el soluto polimérico separado en pequeñas gotas constituye el coacervado y la otra fase sin polímero es llamada solución de equilibrio. En la coacervación simple solo existe un polímero, mientras que en la compleja interactúan dos coloides cargados opuestamente (Ke Gang et al., 2005). Las microcápsulas finales se forman por gelificación de las cápsulas formadas cuando el coacervado se deposita alrededor de partículas insolubles dispersas en un líquido. Este método se ha utilizado para producir microcápsulas de enzimas, ácidos grasos, aminoácidos, organismos, entre otros mediante el uso de alcohol polivinílico, gelatina-acacia y varios otros polímeros (Özonur et al., 2006; Maji et al., 2007; Dong et al., 2008; Rocha-Selmi et al., 2013; Aziz et al., 2014).

Los liposomas están constituidos por fosfolípidos dispersos en un medio acuoso, lo que los hace selectivamente permeables a los iones y les confiere, entre otras cosas, características biológicas especiales que les permite interactuar con membranas biológicas y células. Dichas propiedades permiten aplicarlos como liberadores de drogas contra el cáncer y otras enfermedades, así como para proteger sustancias activas en productos cosméticos (Foco et al., 2005). De igual forma, se han aplicado para inmovilizar enzimas micolíticas como quitinasa y laminarina en la generación de biofungicidas (Balvanfín García et al., 2011).

Los costos de producción, el tipo y tamaño que deberán tener las microcápsulas, así como las propiedades físicas y químicas del recubrimiento y el mecanismo de liberación del principio activo, son los principales aspectos a considerar para seleccionar un método de encapsulación en específico (Yáñez Fernández et al., 2002; Villena et al., 2009).

En cuanto al mecanismo de liberación de la sustancia activa existen diferentes tipos. Uno de ellos se da con la ruptura de la pared de la microcápsula al aplicar una fuerza, lo que requiere que la cubierta sea frágil. Otro tipo de mecanismo ocurre al disolver la pared de la microcápsula en el medio, que puede darse mediante diferentes procesos como la fusión, ataque enzimático, desintegración lenta, reacción

química o fotoquímica. Sin embargo, ambos mecanismos descritos anteriormente son inmediatos.

Para lograr una liberación gradual a través del tiempo se pueden emplear recubrimientos capaces de cambiar su morfología ante ciertas condiciones ambientales, como cambios de pH, fuerza iónica, luz y temperatura. Por otro lado, se puede utilizar también un mecanismo de difusión a través de una cubierta porosa, en donde la velocidad de difusión depende de la permeabilidad de la pared, además del tamaño y forma del material encapsulado.

Aplicaciones de los microencapsulados

La microencapsulación de sustancias bioactivas tiene diversas aplicaciones en diferentes industrias. En la agroindustria se ha reportado la disminución de la toxicidad de sustancias al ser microencapsuladas, lo que reduce considerablemente los daños de herbicidas, insecticidas y pesticidas (Carrasquillo et al., 2001).

En la industria farmacéutica se puede emplear esta tecnología para diferentes propósitos como controlar la liberación de una dosis adecuada del principio activo (Jiang et al., 2012), enmascarar el sabor de medicamentos masticables y/o líquidos en emulsiones (Hu et al., 2013), preparar formas de dosificación con recubrimiento entérico (Felt et al., 1998), reducir la irritabilidad gástrica del medicamento (Jiang y Schwendeman, 2001) y proporcionar la separación de sustancias incompatibles como fármacos eutécticos, que si estuvieran en contacto directo formarían un líquido y favorecerían la estabilidad de dichos compuestos (Chaumeil et al., 1986).

Se ha utilizado también para proteger a microorganismos probióticos (Shinde et al., 2014) y sustancias bioactivas como compuestos fenólicos extraídos de plantas, los cuales inhiben la oxidación de lipoproteínas de baja densidad y actúan como agentes antiinflamatorios y eliminadores de radicales libres (Boonchu y Utama-Ang, 2015). Además, existen reportes sobre la microencapsulación de células de islotes pancreáticos de Langerhans y secretoras de insulina, con el fin de atenuar la pérdida prematura del injerto y evitar la terapia inmunosupresora (Teramura et al., 2013).

En la industria textil se han microencapsulado varios agentes antimicrobianos que son utilizados en el desarrollo de materiales textiles, en donde destacan compuestos naturales derivados de plantas como el neem, árbol de té, judías azuki,

aloe vera, hojas de tulsi (*Ocimum sanctum*), aceite de clavo, cáscara de la granada, cúrcuma, aceite de eucalipto, piel de cebolla, y extractos de pulpa (Sumithra y Vasugi-Raja, 2012; Ganesan et al., 2013). Además, microcápsulas de extractos de plantas también pueden ser utilizadas para teñir telas (Kartick et al., 2014; Samanta et al., 2014).

El uso de microcápsulas con aplicaciones cosméticas permite solucionar problemas como la incompatibilidad de sustancias, conversión del olor (como los ácidos grasos esenciales) y protección de sustancias sensibles a la oxidación o a la humedad ambiental. Se ha reportado la microencapsulación de filtros solares en cremas bloqueadoras UV, donde liposomas de 4-colesterocarbonil-4'-(N,N'-dietilaminobutiloxi) azobenzeno (CDBA) contenían ácido ascórbico o catalasa como antioxidantes (Xu et al., 2013), así como enzimas encapsuladas en cremas depiladoras, que las protegen de la inactivación por la presencia de agentes activos de superficie como esterato de sodio o lauril sulfato de sodio. Behan et al. (1992) reportaron la microencapsulación de materiales hidrofóbicos con una alta carga del mismo en presencia de sustancias como surfactantes o aceites minerales para su uso en shampoos y acondicionadores. Por su parte, Charle et al. (1974) desarrollaron un quitaesmalte que funciona con base en una múltiple ruptura de microencapsulados, en donde una parte tiene un solvente para el esmalte y la otra con una mayor acción solvente sobre el esmalte que el primero, al igual que un perfume para enmascarar su olor.

La microencapsulación de distintos materiales activos en la industria alimentaria es ampliamente utilizada. Esta tecnología, dentro de todas sus aplicaciones, ha sido utilizada para inmovilizar enzimas en la producción de materiales o productos alimenticios (Zuidam y Shimoni, 2010), ha alterado sus propiedades fisicoquímicas, incluso pH, constante de saturación, K_{M_r} especificidad de sustrato y

estabilidad. También se han microencapsulado bacterias probióticas utilizando una mezcla de un polímero, un promotor de crecimiento y prebióticos para formar la pared, con el objetivo de incrementar la protección del microorganismo activo contra factores adversos como la oxidación, sales biliares, cambios de pH, temperatura, humedad, entre otros (Chen et al., 2005). Al microencapsular saborizantes se reduce su volatilidad y se previenen reacciones con otros componentes del alimento. También se pueden microencapsular otros componentes como vitaminas y minerales para enriquecer los alimentos y favorecer la máxima absorción de estos dentro del tracto digestivo.

Conclusiones y perspectivas

La microencapsulación de materiales biológicamente activos permite mejorar su suministro y liberación, por lo cual es una herramienta ampliamente utilizada en la generación de productos "inteligentes", que facilitan y mejoran la vida cotidiana al tomar los mismos un papel activo durante su uso, ya sea proporcionando medicamentos, aromas, mejores filtros solares, alimentos con mejor consistencia y valor nutricional; entre otros.

El mejoramiento y desarrollo de las técnicas de encapsulación, al igual que la búsqueda de nuevos materiales para recubrimiento seguirá siendo una prioridad biotecnológica dada la utilidad de esta tecnología en diversas industrias y con múltiples objetivos diferentes, desde el mejoramiento de las cualidades nutrimentales de un alimento hasta la fabricación de medicamentos especializados. Aplicaciones como el trasplante de células específicas microencapsuladas sin la utilización de inmunosupresores o el uso de metodologías de coencapsulación para establecer un efecto sinérgico entre los componentes activos son algunas de las principales perspectivas para esta tecnología (Teramura et al., 2013; Mathew et al., 2014).

LITERATURA CITADA

- AZIZ, S. et al. Microencapsulation of krill oil using complex coacervation. *Journal of Microencapsulation*, 31(8): 774-784, 2014.
- BANSODE, S. S. et al. Microencapsulation: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 1(2): 38-43, 2010.
- BEHAN, J. M. et al. Encapsulating method and products containing encapsulated material. US Patent EP0478326 A1, 1 de abril de 1992.
- BERKLAND, C. et al. Microsphere size, precipitation kinetics and drug distribution control drug release from biodegradable polyanhydride microspheres. *Journal of Controlled Release*, 94(1): 129-141, 2004.
- BOONCHU, T. y UTAMA ANG, N. Optimization of extraction and microencapsulation of bioactive compounds from red grape (*Vitis vinifera* L.) pomace. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2): 783-792, 2015.
- CARRASQUILLO, K. G. et al. Non-aqueous encapsulation of excipient-stabilized spray-freeze dried BSA into poly(lactide-co-glycolide) microspheres results in release of native protein. *Journal of Controlled Release*, 76(3): 199-208, 2001.
- CHARLE, L. et al. Cosmetic composition containing microencapsulated solvents for nail enamel. US 3,978,204, 31 de agosto de 1974.
- CHAUMEIL, J. C. et al. Tablets of metronidazole microcapsules: reléase characterization. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, 29, 83-92, 1986.
- CHEN, K. N. et al. Optimization of incorporated prebiotics as coating materials for probiotic microencapsulation. *Journal of Food Science*, 70(5): M260-M266, 2005.
- DONG, Z. J. et al. Optimization of cross-linking parameters during production of transglutaminase-hardened spherical multinuclear microcapsules by complex coacervation. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 63(1): 41-47, 2008.
- FAVARO, C. et al. The use of spray drying technology to reduce bitter taste of casein hydrolysate. *Food Hydrocolloids*, 24(4): 336-340, 2010.
- FELT, O. et al. Chitosan: a unique polysaccharide for drug delivery. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 24(11): 979-993, 1998.
- FOCO, A. et al. Investigation of liposomes as carriers of sodium ascorbyl phosphate for cutaneous photoprotection. *International Journal of Pharmaceutics*, 291(1-2): 21-29, 2005.
- GANESAN, P. et al. Process optimization of *Aerva lanata* extract treated textile material for microbial resistance in healthcare textiles. *Fibers and Polymers*, 14(10): 1663-1673, 2013.
- GHARSALLAOUI, A. et al. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9): 1107-1121, 2007.
- GOUIN, S. Micro-encapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 15(7-8): 330-347, 2004.
- HILL, L. E. et al. Characterization of beta-cyclodextrin inclusion complexes containing essential oils (trans-cinnamaldehyde, eugenol, cinnamon bark, and clove bud extracts) for antimicrobial delivery applications. *LWT-Food Science and Technology*, 51(1): 86-93, 2013.
- HU, X. et al. Preparation and evaluation of orally disintegrating tablets containing taste-masked microcapsules of berberine hydrochloride. *AAPS PharmSciTech*, 14(1): 29-37, 2013.
- JIANG, H. et al. Superparamagnetic core-shell structured microspheres carrying carboxyl groups as adsorbents for purification of genomic DNA. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 401, 74-80, 2012.
- JIANG, W. y SCHWENDEMAN, S. P. Stabilization of a model formalized protein antigen encapsulated in poly (lactide-co-glycolide)-based microspheres. *Journal of Pharmaceutical Science*, 90: 1558-1569, 2001.
- KE GANG, W. et al. Microencapsulation of fish oil by simple coacervation of hydroxypropyl methylcellulose. *Chinese Journal Chemistry*, 23: 1569-1572, 2005.
- LUPO PASIN, B. et al. Microencapsulation in alginate for food. Technologies and applications. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3(1): 130-151, 2012.
- MAJI, T. et al. Microencapsulation of Zanthoxylum limonella oil (ZLO) in glutaraldehyde crosslinked gelatin for mosquito repellent application. *Bioresource Technology*, 98(4): 840-844, 2007.
- MARTÍN VILLENA, M. J. et al. Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *ARS Pharmaceutica*, 50(1): 43-50, 2009.
- MATHEW, S. et al. Characterization of protein-adjuvant coencapsulation in microparticles for vaccine delivery. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 87(2): 403-407, 2014.

- NUNES, I. L. y MERCADANTE, A. Z. Encapsulation of lycopene using spray-drying and molecular inclusion processes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(5): 893-900, 2007.
- ÖZONUR, Y. et al. Microencapsulation of coco fatty acid mixture for thermal energy storage with phase change material. *International Journal of Energy Research*, 30(10): 741-749, 2006.
- PÉREZ ALONSO, C. et al. Estimation of the activation energy of carbohydrate polymers blends as selection criteria for their use as wall material for spray-dried microcapsules. *Carbohydrate Polymers*, 53(2): 197-203, 2003.
- PÉREZ LEONARD, H. et al. Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos. *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, 47(1): 14-25, 2013.
- SAMANTA, K. K. et al. Eco-friendly Coloration and Functionalization of Textile Using Plant Extracts. En *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*. Singapore: Springer Singapore, 263-287, 2014.
- SERFERT, Y. et al. Chemical stabilisation of oils rich in long-chain polyunsaturated fatty acids during homogenisation, microencapsulation and storage. *Food Chemistry*, 113(4): 1106-1112, 2009.
- SHINDE, T. et al. Co-extrusion encapsulation of probiotic *Lactobacillus acidophilus* alone or together with apple skin polyphenols: an aqueous and value-added delivery system using alginate. *Food and Bioprocess Technology*, 7(6): 1581-1596, 2014.
- SINGH, M. N. et al. Microencapsulation: A promising technique for controlled drug delivery. *Research in Pharmaceutical Science*, 5(2): 65-77, 2010.
- SUMITHRA, M. y RAAJA, N. V. Micro-encapsulation and nano-encapsulation of denim fabrics with herbal extracts. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*, 37(4): 321-325, 2012.
- TERAMURA, Y. et al. Microencapsulation of cells, including islets, within stable ultra-thin membranes of maleimide-conjugated PEG-lipid with multifunctional crosslinkers. *Biomaterials*, 34(11): 2683-2693, 2013.
- VEHRING, R. Pharmaceutical particle engineering via spray drying. *Pharmaceutical Research*, 25(5): 999-1022, 2008.
- VILLENA, M. et al. Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *Ars Pharmaceutica*, 50(1): 43-50, 2009.
- XU, Q. et al. CDBA-liposome as an effective sunscreen with longer UV protection and longer shelf life. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 129, 78-86, 2013.
- ZUIDAM, N. J. y SHIMONI, E. Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to make them. In *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp.3-5). USA: Springer New York, 2010.

De páginas electrónicas

- BALVANTÍN GARCÍA, C. et al. Biocatalysts in Control of Phytopatogenic Fungi and Methods for Antifungal Effect Detection In *Progress in Molecular and Environmental Bioengineering From Analysis and Modeling to Technology Applications*. Croacia: InTech, 2011. doi: 10.5772/22675.
- GHOSH, S.K. (Ed.). Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective. En *Functional Coatings: by Polymer Microencapsulation* (pp. 1-28). Weinheim, Alemania: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. Recuperado de http://www.wiley-vch.de/books/sample/352731296X_c01.pdf