Conferencia Magistral: Nanoencapsulación y microencapsulación de aceite de palma alto oleico como nuevas tecnologías para el desarrollo del agro

Keynote Speech: Nano and Microencapsulation of High Oleic Palm Oil. New Technologies for Agricultural Development

Palabras clave: nanoencapsulación, microencapsulación, aceite de palma alto oleico, nanoemulsiones, polvos.

Leidy Ricaurte Puentes
Facultad de Ingeniería,
Universidad de La Sabana

Juan David Beltrán
Facultad de Ingeniería,
Universidad de La Sabana

Alexandra Mondragón Serna
Responsable del Proyecto de Salud y Nutrición, Cenipalma

María Ximena Quintanilla Carvajal
Facultad de Ingeniería,
Universidad de La Sabana
maria.quintanilla1@uniabana.edu.co

Resumen

Durante este proyecto se ha evaluado el comportamiento del aceite de palma alto oleico (APAO) a través de diferentes tecnologías de escala nanométrica. La nanotecnología es un campo multidisciplinar de las ciencias aplicadas dedicado al control y manipulación de la materia en un rango de 1-100 nm. Los resultados de la nano y microencapsulación del APAO han estado relacionados con la protección de los compuestos nutricionales presentes en este aceite contra condiciones de procesamiento a las cuales se somete el alimento. Se utilizó el APAO para el presente estudio debido a sus importantes características y propiedades nutricionales, tales como un alto contenido de provitamina A y vitamina E. Además, se consideró que este es un aceite versátil para la generación de matrices alimenticias que permitan dar mayor valor agregado al sector agroindustrial en Colombia por medio de la producción de nanoemulsiones, nanofibras y polvos a partir del aceite de palma.

Introducción

Según las tasas actuales de consumo, para el año 2050 se espera que la población mundial supere los 9 mil millones de personas. Por este motivo, el ideal a futuro es proporcionar productos que reduzcan los impactos sobre el agotamiento de recursos y la degradación ambiental, siendo la microencapsulación una opción acorde a estas necesidades, donde el mantenimiento de la calidad de vida y la creciente necesidad de prevenir patologías crónicas en la población, especialmente a las personas de la tercera edad, deben ser la prioridad.

Existen alimentos que pueden llegar a ser de gran utilidad en la nanoencapsulación y microencapsulación, aprovechando los nutrientes contenidos en dichos productos y generando mayor atractivo para la industria de alimentos. Un ejemplo de lo anterior es el aceite de palma alto oleico (Ricaurte *et al*., 2017).

Si se habla de palma de aceite, el primer referente en este tema suelen ser países como Malasia e Indonesia, principales productores de aceite de palma. Sin embargo, algunos países latinoamericanos han venido fortaleciendo sus cultivos e investigaciones en el tema durante las últimas décadas. Colombia y Ecuador han venido desarrollando durante los últimos 40 años híbridos interespecíficos de palma de aceite como respuesta a problemas fitosanitarios que han afectado a gran escala los cultivos de palma tradicional. Tales híbridos son producto del cruce de las especies *Elaeis guineensis* y *Elaeis oleifera* y se denominan híbridos OxG.

El aceite de palma alto oleico (APAO) se obtiene del híbrido interespecífico OxG, el cual presenta mayor resistencia a enfermedades y plagas, y es reconocido por su gran composición nutricional. Este aceite aporta 33 % de ácidos grasos saturados y 66 % de ácidos grasos insaturados, en los que predomina el ácido oleico, el cual se caracteriza por su efecto cardioprotector al aumentar el colesterol HDL (lipoproteína de alta densidad) y disminuir el colesterol LDL (lipoproteína de baja densidad), conocido comúnmente como colesterol malo. Con ello, el consumo de este tipo de aceite contribuye a disminuir las enfermedades cardiovasculares. Adicionalmente, el APAO es fuente de tocotrienoles, una forma de vitamina E caracterizada por su alto poder antioxidante. Otra característica importante de este aceite es su gran fuente de carotenos, los cuales actúan como provitamina A, indispensable para el sistema inmunológico y el adecuado desarrollo visual y de la piel. Los anteriores atributos hacen este producto altamente atractivo para el consumo humano y para el desarrollo de productos innovadores dentro de la industria de alimentos.

Sumado a lo anterior, los beneficios sobre la salud humana del consumo de APAO son similares a los del aceite de palma tradicional. Su consumo habitual se relaciona con efectos cardioprotectores, antioxidantes, antiinflamatorios y neuroprotectores, debido a su alto contenido de carotenos, vitaminas y fitonutrientes. Además, estudios recientes nombran al APAO como un "equivalente tropical" del aceite de oliva, ya que sus efectos sobre la salud se asemejan a los presentados tras el consumo de este último (Lucci *et al*., 2016).

Aspectos metodológicos en la microencapsulación

En el campo de la ingeniería de alimentos, la producción de productos con mejor estabilidad y funcionalidad puede lograrse con la protección de los diferentes compuestos bioactivos a través de la encapsulación. La encapsulación de APAO en nanopartículas, las cuales son obtenidas por secado por aspersión, se ha desarrollado a partir de la preparación de emulsiones nanométricas con diferentes sistemas de reducción de partícula (Tabla 1). Por medio de este proceso se han desarrollado productos nanoestructurados que son capaces de liberar y conservar compuestos como antioxidantes, vitaminas, proteínas y lípidos.

Entre los objetivos de este estudio se busca evaluar el proceso de microfluidización como posible método para la obtención de nanoemulsiones de APAO y su influencia sobre la liberación en cápsulas nanoestructuradas obtenidas mediante secado por aspersión.

Tabla 1. Técnicas de encapsulación aplicadas para producción de diferentes productos.

Escala de la encapsulación	Tecnología usada	Condiciones de operación	Condiciones de formulación	Producto*
Nanométrica	Microfluidización	Presión: hasta 20.000 psi Ciclos múltiples	APAO: hasta 40 % p/p con sólidos	Nanoemulsiones
	Ultrasonido	Tiempo de tratamiento hasta de 14 min Amplitud hasta 100 %	APAO: 3 % p/p Otros tensoactivos	Nanoliposoma
	Electro-hilado	Flujo de alimentación hasta de 5 ml/min Voltaje variable Distancia a colector variable	Base polimérica Polímero A: hasta 30 % Suero de leche: hasta 30 % p/p	Nanofibras
Micrométrica	Secado por aspersión	Temperatura de entrada hasta 220 °C Flujo de alimentación según temperatura de salida Presión variable	APAO hasta 40 % Diferentes tensoactivos	Polvos

*Cada uno de los productos se obtuvo siguiendo una metodología de diseño de superficie de respuesta.

Resultados

La encapsulación es una técnica que puede iniciar con la producción de emulsiones a escala macro o nanométrica, las cuales son sistemas formados de dos fases (una oleosa y una acuosa) que son miscibilizados por el uso de un emulsificante. Una tecnología actual para la obtención de nanoemulsiones es la microfluidización, en la cual se utiliza alta presión para forzar el fluido a través de microcanales que poseen una configuración especial, emulsificando mediante un efecto combinado de cavitación, cizalla e impacto (Shen & Tang, 2012). En el caso de las nanoemulsiones producidas con APAO por medio de esta tecnología, se establecieron las condiciones más favorables de operación, formulación y almacenamiento de dichas nanoemulsiones para posteriores aplicaciones en la industria alimenticia. Las variables de respuesta tamaño promedio de gota, índice de polidispersión y potencial zeta arrojaron valores de 163-2.268 nanómetros (nm), 0,2-1, y -29,7 y -47,2 mV, respectivamente.

De estos resultados es posible destacar que las nanoemulsiones fueron menores a 500 nm y mayores a 100 nm, rango que es considerado como nanométrico por estar en un tamaño intermedio entre emulsiones normales y microemulsiones (Xin *et al*., 2013). Además, el índice de polidispersión presentó bajos valores, por lo que fue posible afirmar una estrecha distribución de los tamaños de gota. Lo anterior sugiere que el método de homogenización de alta cizalla (microfluidización) fue bien logrado para la obtención de nanoemulsiones (Barradas *et al*., 2014). Por otro lado, al ser los valores de potencial zeta inferiores a -30 mV, se consideró que las nanoemulsiones fueron estables debido a que las fuerzas de repulsión fueron predominantes en el sistema de la nanoemulsión (Salvia-Trujillo, Rojas-Graü, Soliva-Fortuny, & Martín-Belloso, 2015). Las Figuras 1a y 1b muestran micrografías tomadas a dos de las nanoemulsiones de APAO, obtenidas por microscopía con focal laser de barrido. Este trabajo y sus resultados detallados se presentan en la publicación de Ricaurte, Perea-Flores, Martinez & Quintanilla-Carvajal (2016a).

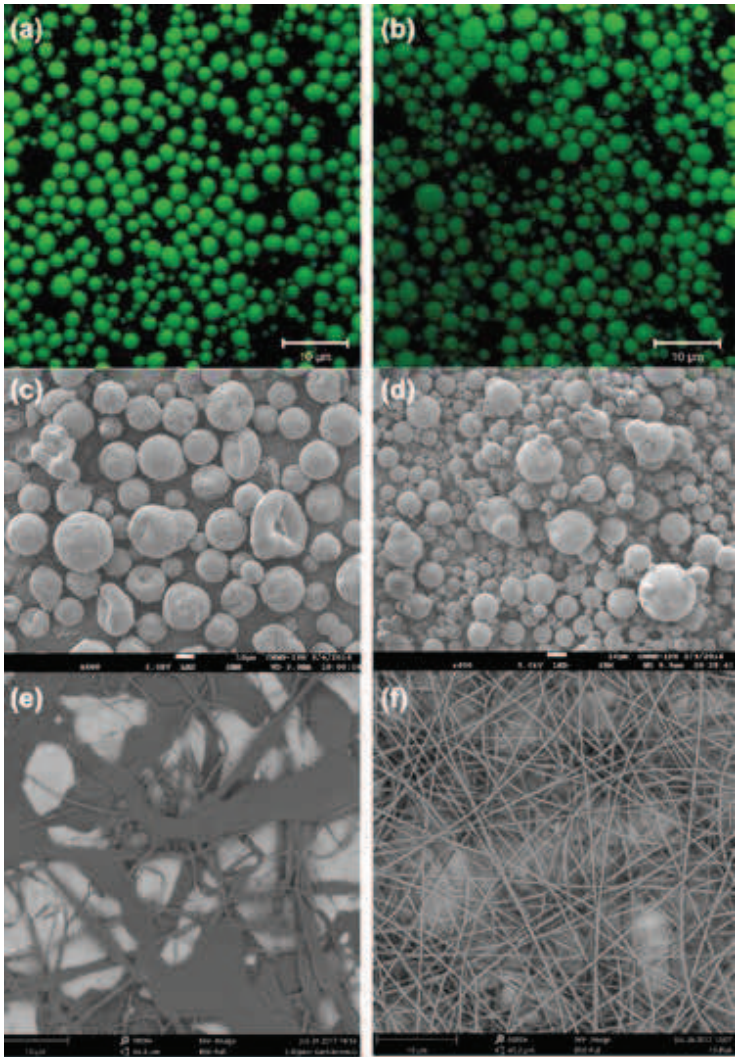

Figura 1. Productos de la nano y macroencapsulación de APAO: **a.** Nanoemulsión; **b.** macroemulsión obtenida por microfluidización; **c.** polvos obtenidos por boquilla de dos fluidos; **d.** polvos obtenidos por disco; **e.** y **f.** nanofibras con APAO.

Tomadas de: Ricaurte, Correa, Perea-Flores & Quintanilla-Carvajal, (2017); Ricaurte, Perea-Flores, Martinez & Quintanilla-Carvajal (2016a).

En una investigación posterior se usaron las condiciones establecidas de las nanoemulsiones para obtener polvos por secado por aspersión empleando dos tipos de atomizadores: boquilla de dos fluidos y disco rotatorio. El secado por aspersión se utiliza para transformar sustancias líquidas en polvos de forma rápida y eficiente. Este proceso incorpora una alimentación líquida que se transporta hasta el atomizador, asperjando gotas de gran área superficial en forma de nube. De manera paralela, un flujo de aire atmosférico es calentado y alimentado en la cámara de secado. Una vez en la cámara de secado las gotas pierden el agua contenida por la diferencia de temperatura, formando partículas sólidas que son llevadas hasta el separador cónico (Heldman & Hartel, 1997).

De otro lado, los atomizadores pueden ser de tipo boquilla de dos fluidos y disco rotatorio, como se mencionó anteriormente. La boquilla de dos fluidos permite un recorrido más corto de las gotas asperjadas para secarse, posee un diseño simple, y es de fácil limpieza y operación (Parikh, 2016). Por su parte, el disco rotatorio es una atomización empleada para la industria alimenticia, ya que las condiciones son moderadas, presenta alto rendimiento, mayor viscosidad de alimentación y alta velocidad de centrifugación, con lo cual permite la descripción de la trayectoria de las gotas desde el disco (Gaonkar, Vasisht, Khare, & Sobel, 2014; Teunou & Poncelet, 2005).

Los polvos que se obtuvieron a partir de la atomización por boquilla de dos-fluidos presentaron tamaños de diámetro de partícula entre 6.1 y 11.8 µm, los cuales fueron inferiores en comparación con los valores de partícula de los ensayos realizados con disco rotatorio que, por su parte, estuvieron entre 13.2 y 18.8 µm. De esta manera ambos se clasificaron como microesferas, ya que estuvieron en un intervalo entre

1 y 1000 µm (Kazemimostaghim, Rajkhowa & Wang, 2015). Esta diferencia en los tamaños de diámetro de partícula entre los dos atomizadores ha sido reportada anteriormente por otros autores, quienes destacan que empleando disco rotatorio se producen gotas (por lo tanto partículas) mucho más uniformes (distribuciones más estrechas) que con atomizadores de presión como la boquilla de dos-fluidos (Ahmed & Youssef, 2014; Wang, Ling & Peng, 2014). Los polvos por ambos tipos de atomizador se muestran en las Figuras 1c y 1d.

Los polvos obtenidos por ambos atomizadores cuentan en la mayoría de los casos con mejores propiedades físicas (actividad de agua, humedad, densidad gruesa, tiempo de disolución, entre otras), en comparación con otras matrices secadas por el mismo sistema. Así mismo, la eficiencia de encapsulación para estos polvos mostró altos niveles, con valores entre 80 y 99 %. Adicionalmente, se estudió la liberación del ácido oleico proveniente del APAO, el cual presentó porcentajes máximos de 83 y 76 % en relación al total encapsulado durante las 7 horas de ensayo para boquilla de dos-fluidos y disco rotatorio, respectivamente. De esta manera, fue posible concluir que el APAO fue encapsulado eficientemente en matrices que pueden presentar alta estabilidad durante el almacenamiento gracias a sus buenas propiedades físicas, lo cual implica un alto potencial para su incorporación en diversas aplicaciones alimenticias. Este trabajo y sus resultados detallados se presentan en la publicación de Ricaurte, Perea-Flores, Martinez & Quintanilla-Carvajal, (2016b).

Además de lo anterior, una técnica que está siendo objeto de estudio es el electrohilado, debido a que es posible obtener nanofibras sin la adición de solventes con condiciones moderadas de procesamiento. El electrohilado consiste en alimentar una solución polimérica a través de una aguja, al mismo tiempo que es sometida a un campo eléctrico alto para atraer las gotas hacia el colector para formar fibras (Faridi, Esfanjani & Jafari, 2016). Al igual que con los dos estudios de secado mencionados anteriormente, las nanofibras fueron obtenidas a partir de las nanoemulsiones de APAO con gelatina y con gelatina y alcohol polivinílico. En el equipo de electrohilado es posible manipular el flujo de alimentación, el voltaje y la distancia aguja-colector. Sin embargo, esta aplicación está en los primeros avances de su investigación, de los cuales se espera obtener una biopelícula estructurada con nanofibras (Figuras 1e y 1f) que pueda ser empleada como empaque comestible con un aporte nutricional de proteína (proveniente de la gelatina) y vitaminas (provenientes del APAO).

Finalmente, un desarrollo que se realizó empleando APAO fueron los nanoliposomas. Estas estructuras son particularmente usadas en la industria nutracéutica, lo cual abre otro campo de aplicación para el aceite de palma. En este trabajo se buscó obtener liposomas de tamaño nanométrico que presentaran alta estabilidad, usando ultrasonido como tecnología para la formación de las vesículas. El ultrasonido se caracteriza por la generación de ondas acústicas que requieren un medio para propagarse a una velocidad característica de la naturaleza de la onda y del medio a través del cual se propaga (Cabrera-Trujillo, Sotelo-Díaz & Quintanilla-Carvajal, 2016). Los tamaños de los liposomas estuvieron entre 174 y 238 nm. Los menores tamaños de liposomas se obtuvieron con mayor tiempo de sonicación a las diferentes amplitudes aplicadas, mostrando un efecto significativo de las condiciones de operación del ultrasonido (amplitud y tiempo). En cuanto a la estabilidad física de los liposomas, se determinó el potencial zeta en un rango entre -36 a -47 mV, lo cual implica una alta repulsión entre las vesículas. Esto muestra al ultrasonido como una tecnología que favorece la producción de liposomas estables a escala nanométrica.

Conclusiones

El aceite de palma alto oleico posee un alto potencial para su uso en la industria alimenticia. Sus aplicaciones son diversas, según la escala y las características del producto en el que se quieran incorporar este tipo de sistemas. Es así como se podrían utilizar las emulsiones para la elaboración de *shortenings* de panadería, los polvos para el enriquecimiento de leches en polvo, los liposomas para la liberación de compuestos en la industria nutracéutica y las nanofibras a partir de APAO para la elaboración de empaques comestibles y biodegradables. Como conclusión general, vale la pena mencionar que este tipo de desarrollos demuestra que las alianzas entre el sector productivo y la academia son estratégicas para el desarrollo del sector agroindustrial en Colombia.

Referencias bibliográficas

Ahmed, M., & Youssef, M. S. (2014). Influence of spinning cup and disk atomizer configurations on droplet size and velocity characteristics. *Chemical Engineering Science*, *107*, 149-157. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2013.12.004.

Barradas, T. N., de Campos, V. E. B., Senna, J. P., Coutinho, C. dos S. C., Tebaldi, B. S., Silva, K. G. de H. e, & Mansur, C. R. E. (2014). Development and characterization of promising o/w nanoemulsions containing sweet fennel essential oil and non-ionic sufactants. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *480*, 214-221. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.12.001.

Cabrera-Trujillo, M. A., Sotelo-Díaz, L. I., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2016). Efecto de la amplitud y pulsación en ultrasonido de sonda a baja frecuencia sobre emulsiones aceite/agua. *DYNA, 83*(199), 63-68. https://doi.org/10.15446/dyna.v83n199.56192.

Faridi-Esfanjani, A., & Jafari, S. M. (2016). Biopolymer nano-particles and natural nano-carriers for nano-encapsulation of phenolic compounds. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *146*, 532-543. https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2016.06.053.

Gaonkar, A. G., Vasisht, N., Khare, A. R., & Sobel, R. (2014). *Microencapsulation in the Food Industry: A Practical Implementation Guide*. Elsevier Science.

Heldman, D. R., & Hartel, R. W. (1997). *Principles of Food Processing*. Springer US.

Kazemimostaghim, M., Rajkhowa, R., & Wang, X. (2015). Drug loading and release studies for milled silk particles of different sizes. *Powder Technology*, *283*, 321-327. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2015.05.042.

Parikh, D. M. (2016). *Handbook of Pharmaceutical Granulation Technology, Third Edition*. Boca Ratón, FL, USA: CRC Press.

Ricaurte, L., Correa, R. E. P., Perea-Flores, M. D. J., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2017). Influence of Milk Whey on High-Oleic Palm Oil Nanoemulsions: Powder Production, Physical and Release Properties. *Food Biophysics, 12*(4), 439-450. https://doi.org/10.1007/s11483-017-9500-9.

Ricaurte, L., Perea-Flores, M. D. J., Martinez, A., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2016a). Production of high-oleic palm oil nanoemulsions by high-shear homogenization (microfluidization). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *35*(April), 75-85. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.004.

Ricaurte, L., Perea-Flores, M. D. J., Martinez, A., & Quintanilla-Carvajal, M. X. (2016b). Production of high-oleic palm oil nanoemulsions by high-shear homogenization (microfluidization). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *35*, 75-85. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.004.

Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2015). Physicochemical characterization and antimicrobial activity of food-grade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils. *Food Hydrocolloids*, *43*(0), 547-556. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.012.

Shen, L., & Tang, C.-H. (2012). Microfluidization as a potential technique to modify surface properties of soy protein isolate. *Food Research International*, *48*(1), 108–118. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.006.

Teunou, E., & Poncelet, D. (2005). Rotary disc atomisation for microencapsulation applications—prediction of the particle trajectories. *Journal of Food Engineering*, *71*(4), 345-353. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.10.048.

Wang, D., Ling, X., & Peng, H. (2014). Theoretical analysis of free-surface film flow on the rotary granulating disk in waste heat recovery process of molten slag. *Applied Thermal Engineering*, *63*(1), 387-395. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.11.033.

Xin, X., Zhang, H., Xu, G., Tan, Y., Zhang, J., & Lv, X. (2013). Influence of CTAB and SDS on the properties of oil-in-water nano-emulsion with paraffin and span 20/Tween 20. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *418*, 60-67. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2012.10.065.

Lucci, P., Borrero, M., Ruiz, A., Pacetti, D., Frega, N., Diez, O., & Angel, M. (2016). Palm oil and cardiovascular disease: A randomized trial of the effects of hybrid palm oil supplementation on human plasma lipid patterns. *Food & Function*, *20*(7), 347-354.