

Microencapsulamiento de aceites con alto contenido de ácidos grasos mediante el método de secado por atomización

Juan Sebastian Amaya-Cano*; Felipe Salcedo-Galán

Departamento de Ingeniería Química. Universidad de los Andes,
Cra. 1 #18A-12, Bogotá D. C., Colombia

*js.amaya11@uniandes.edu.co

Fecha recepción: octubre 3 de 2019

Fecha aceptación: enero 10 de 2020

Resumen

En la actualidad, el desarrollo de nuevos productos alimenticios que posean la incorporación de principios activos se ha convertido en un factor de vital importancia para que las industrias alimenticias puedan competir en el mercado, brindando solución a las necesidades actuales y futuras de sus clientes. La microencapsulación se presenta como una novedosa alternativa para generar productos con valor agregado, ya que permite evitar la degradación de compuestos activos, así como también desagradables cambios en el sabor, especialmente en el caso de los aceites esenciales. Se estudió la microencapsulación de aceite de oliva y aceite de almendra desde la formulación de una emulsión para generar las microcápsulas que posteriormente se obtuvieron por el método de secado por atomización en el *Minispray Dryer B-290*. Se analizaron la morfología, el porcentaje de aceite encapsulado y las tasas de liberación dentro del cuerpo humano. Los resultados obtenidos permitieron determinar que es posible encapsular aceites esenciales por el método de secado por atomización. Esto permite prevenir la degradación de los ácidos grasos en el almacenamiento de aceites y la digestión gástrica, además de entregarlos directamente en el intestino delgado. Por otro lado, un aceite con mayor porcentaje de ácidos grasos incrementa la tendencia de aglomeración de las microcápsulas. Finalmente, se comprobó que las microcápsulas con maltodextrina como material de pared pueden retener mayor cantidad de aceite de almendra, en comparación con el aceite de oliva.

Palabras clave: *Microencapsulamiento; Secado por Atomización; Aceite de Oliva; Aceite de Almendra; Tasas de Liberación; Maltodextrina.*

Microencapsulation of oils with high content of fatty acids using the spray-drying method

Abstract

Currently, development of new food products that incorporate active ingredients has become a crucial factor for food industries to successfully compete in the market, providing solutions to existing and future needs of their customers. Microencapsulation is presented as a novel alternative to generate products with added value, since it allows avoiding degradation of active compounds, as well as unpleasant changes in taste, especially in case of essential oils. Microencapsulation of olive oil and almond oil was studied from an emulsion formulation to produce microcapsules that were subsequently obtained by spray drying method in a Minispray Dryer B-290. Morphology, percentage of encapsulated oil and release rates within the human body were analyzed. The results obtained made it possible to determine that it is possible to encapsulate essential oils by the spray-drying method. This allows to prevent degradation of fatty acids in oil storage and gastric digestion, as well as to deliver them straight to small intestine. Furthermore, an oil with a higher percentage of fatty acids increases agglomeration tendency of microcapsules. Lastly, it was found that microcapsules with maltodextrin as wall material can retain a greater amount of almond oil than olive oil.

Keywords: *Microencapsulation; Spray Drying; Olive Oil; Almond Oil; Release Rates; Maltodextrin.*

Microencapsulação de óleos com elevado teor de ácidos gordos pelo método de secagem por pulverização

Resumo

Actualmente, o desenvolvimento de novos produtos alimentares que incorporam ingredientes activos tornou-se um factor crucial para as indústrias alimentares competirem com sucesso no mercado, fornecendo soluções para as necessidades actuais e futuras dos seus clientes. O microencapsulamento é apresentado como uma nova alternativa para gerar produtos com valor acrescentado, uma vez que permite evitar a degradação dos compostos activos, bem como alterações desagradáveis no sabor, em particular no caso dos óleos essenciais. O microencapsulamento de Azeite de oliva e óleo de amêndoa foi estudado a partir de uma formulação de emulsão para produzir microcápsulas que foram posteriormente obtidas por método de secagem por pulverização num secador Minispray B-290. Foram analisadas a morfologia, percentagem de óleo encapsulado e taxas de libertação no corpo humano. Os resultados obtidos permitiram determinar que é possível encapsular óleos essenciais através do método de secagem por pulverização. Isto permite prevenir a degradação dos ácidos gordos no armazenamento do óleo e na digestão gástrica, bem como a sua entrega directa ao intestino delgado. Além disso, um óleo com uma maior percentagem de ácidos gordos aumenta a tendência para a aglomeração das microcápsulas. Por último, verificou-se que as microcápsulas com maltodextrina como material de parede podem reter uma maior quantidade de óleo de amêndoa do que o Azeite de oliva.

Palavras-chave: *Microencapsulação; Secagem por Pulverização; Azeite de oliva; Óleo de Amêndoa; Taxas de Libertação; Maltodextrina.*

Introducción

El desarrollo de productos innovadores se ha convertido en una necesidad para que las industrias alimentarias se puedan adaptar al mercado competitivo. Además, el área de investigación y desarrollo constituye uno de los sectores más valiosos para las nuevas pequeñas industrias que deseen ingresar al mercado actual [1]. Al momento de buscar un producto alimenticio, los consumidores se enfocan principalmente en dos factores: la permanencia del sabor y aroma a lo largo del tiempo y las propiedades nutricionales que estos pueden proveer [2]. Lo anterior ha permitido el desarrollo de alimentos funcionales que, mediante la incorporación de principios activos, logran adecuarse a las necesidades de los consumidores. Del mismo modo, los aceites esenciales con altos contenidos de ácidos grasos han tomado importancia dentro del desarrollo de alimentos funcionales. Sin embargo, debido a la oxidación de lípidos, los ácidos grasos presentan una alta probabilidad de reaccionar con el oxígeno presente en el aire, lo cual hace que se degraden significativamente durante su almacenamiento [3]. Dicha oxidación da paso a la generación de aldehídos, tales como el cronotaldehído y malondialdehído, los cuales, incluso con procesos de separación, no pueden ser removidos en su totalidad [4]. Además, debido a la presencia de saborizantes incorporados en los diferentes alimentos, los productos de la oxidación lipídica no pueden ser detectados por los consumidores y son absorbidos durante la digestión. Estos ácidos grasos previamente oxidados tienen la capacidad de producir inflamación en el cuerpo humano, al igual que cáncer y enfermedades cardiovasculares [4]. Por otro lado, cuando estas sustancias son consumidas sin haberse oxidado, proveen beneficios a la salud humana, tales como un mejor desarrollo del cerebro humano y una reducción de riesgo al cáncer de colon, próstata, pecho y renal [5].

De este modo, la microencapsulación de principios activos surge como una innovadora alternativa para evitar la degradación de los ácidos grasos durante su almacenamiento y simultáneamente entregarlos en el intestino delgado después de su consumo. Este proceso permite crear una barrera de protección entre el componente activo y el ambiente haciendo uso de matrices homogéneas o heterogéneas para producir pequeñas cápsulas. Con una correcta formulación de la microcápsula, es posible evitar el contacto de los ingredientes con agentes que

puedan alterar la composición del principio activo, como oxígeno, agua, luz y aire [6]. Para lograr esto, existen diversos métodos y condiciones de proceso para obtener una apropiada encapsulación de los principios activos, los cuales se pueden dividir en físicos y químicos. Los métodos físicos se caracterizan por generar las cápsulas mediante un método que involucra la aplicación de cizalladura a la muestra, de lo cual resulta una mezcla que involucra tanto a las cápsulas como a la fase dispersa. Dentro de este grupo de procesos se puede encontrar la fluidización y la inyección de fusión. Por el contrario, los procesos químicos de microencapsulación logran la encapsulación principalmente por un mecanismo de reacción química; entre estos procesos se encuentran el entrapamiento de liposomas y la técnica sol-gel [7].

Uno de los métodos más utilizados por las industrias alimentarias es el secado por atomización, debido a que no requiere una gran inversión para su operación. Este método convierte una dispersión o emulsión en un sólido granulado, mediante la eliminación de la humedad utilizando una corriente de aire caliente para evaporar el solvente (la fase continúa en el caso de una emulsión O/W). Después de esto, las gotas previamente secadas atraviesan un ciclón para poder ser separadas, y el producto final es recolectado para futuras aplicaciones [8]. En este método, uno de los parámetros más importantes es la temperatura de entrada de alimentación, debido a que cuando se encuentra en un rango muy alto se comienza a generar gas en el interior de las cápsulas, debido a la ebullición de los aceites esenciales, fenómeno conocido como *ballooning* [9]. Del mismo modo, cuando las temperaturas son demasiado bajas, el secado no es completo y la muestra final podría quedar con humedad. Para el caso de los aceites esenciales con alto contenido de ácidos grasos, se sugiere utilizar temperaturas entre 160 °C y 210 °C [9].

Cuando se realiza la microencapsulación utilizando un secador por atomización, se requiere una emulsión donde se haya formado previamente la estructura de la cápsula. Usualmente, la emulsión que alimenta al secador es O/W, para así poder evaporar el agua alrededor de cada gota. Para este proceso, la emulsificación se puede realizar con uno o múltiples emulsificantes. Sin embargo, en caso de querer obtener emulsiones más estables, se debe recurrir al cálculo del balance hidrofóbico-lipofílico (HLB). El balance se obtiene mediante el cálculo del HLB de mezcla por medio de las propiedades individuales de cada componente. [3,10].

Otro parámetro importante a la hora de encapsular por el método de secado por atomización es el material de pared. Esto se debe a que dicho compuesto debe tener una buena interacción química con el disolvente, así como con el principio que se va a encapsular. Para el caso de la encapsulación de materiales oleosos, se recomienda utilizar materiales hidrofílicos, tales como la goma arábica y la maltodextrina. Esto con el fin de poder incorporarlos apropiadamente en la formulación de la emulsión [10]. No obstante, el material de pared no debe aumentar excesivamente la viscosidad de la solución, dado que la muestra no podrá pasar por el aspersor del secador. Debido a que la maltodextrina es un oligómero de cadena corta (entre 3 y 20 unidades de glucosa), el cual puede disolverse fácilmente en agua a altas concentraciones sin aumentar la viscosidad de manera significativa, suele usarse en la mayoría de los procesos de encapsulación [11,12].

Adicionalmente, debido a la importancia del microencapsulamiento de los aceites esenciales, para este estudio se seleccionaron el aceite de oliva y el aceite de almendras dado su perfil lipídico. En primera instancia, el aceite de oliva presenta una alta presencia de ácidos grasos, específicamente ácido oleico (omega 9), ácido linoleico (omega 6) y ácido palmítico. Los ácidos monoinsaturados del aceite, como el ácido oleico, corresponden al 58,1 %, mientras que los ácidos grasos saturados (SFA) y poliinsaturados (PUFA) completan su composición. En segunda instancia, el aceite de almendras presenta, al igual que el aceite de oliva, una alta presencia de ácidos grasos, específicamente ácido linoleico (omega 6), ácido palmitoleico y ácido palmítico. Este aceite esencial está constituido principalmente por PUFA, los cuales representan el 87,48 % de su composición, de los cuales el ácido linoleico (omega 6) el de mayor contenido (36,2 %) [13].

De acuerdo con los beneficios de la ingesta de aceites esenciales con alto contenido de ácidos grasos en la salud, y la importancia de evitar la formación de peróxidos vía oxidación lipídica, se convierten en los candidatos perfectos para incorporar en el proceso de microencapsulación. Justamente por eso, el objetivo de este estudio es microencapsular el aceite de oliva, y el aceite de almendras aplicando el método de secado por atomización y utilizando la maltodextrina como material de pared. Esto con la finalidad de identificar su morfología, eficiencia de encapsulamiento y, posteriormente, obtener una liberación controlada

de los ingredientes dentro de un sistema de digestión humana *in vitro*.

Metodología

Materiales

Aceite de oliva extra virgen ($\rho=910 \text{ kg/m}^3$ a 20°C) producido por Olivetto y aceite de almendras ($\rho=915 \text{ kg/m}^3$ a 20°C) comprado en una tienda local en Colombia; ambas sustancias serían encapsuladas. Como material de pared se utilizó maltodextrina, suministrada por Quimilan Colombia; y como emulsificantes se usaron Tween 20 y Span 80.

Formulación y secado de las cápsulas

En primera instancia, se preparó la emulsión requerida para poder llevar a cabo la encapsulación de cada uno de los aceites (oliva y almendras). Se utilizaron como emulsificantes el Tween 20 y el Span 80, debido a su amplio uso en la industria alimenticia y a que son surfactantes no iónicos. La formulación de cada emulsión se describe a continuación.

Para poder asegurar una alta producción de las microcápsulas después del proceso de secado por atomización, se ajustó la cantidad deseada de la emulsión a 250 g y la concentración total de la fase dispersa en la emulsión al 15 %. Se prepararon cada una de las fases (dispersa y continua) de forma separada. La fase dispersa se compuso principalmente de agua desionizada; esta correspondió a un 60 %w (150 mL) de la emulsión. Se puso en agitación mecánica a una velocidad de 500 rpm por el transcurso de 10 min. Simultáneamente, se disolvieron 35,13 g de maltodextrina en la mezcla a una tasa de 5 g cada 30 s, para evitar la gelificación de la muestra. Finalmente, se adicionaron 1,1 mL de Tween 20.

Para la formulación de las microcápsulas con aceite de oliva, la fase dispersa se componía solamente del aceite. Sin embargo, para el caso de las microcápsulas de aceite de almendras, fue necesario realizar cálculos de HLB y utilizar el Span 80 como segundo emulsificante. En este caso, el HLB del aceite es de 10,72 cuando el del Tween 20 y del Span 80 es de 16,7 y 4,3, respectivamente [14]. Cada mezcla fue puesta en agitación mecánica a una velocidad de 500 rpm durante 10 min.

Después de haber preparado cada una de las fases, se usó una bomba peristáltica para la incorporación de la fase dispersa en la continua y

se configuró a un flujo de 12 mL/min para agregar 8,02 g de aceite. La solución se homogenizó por 30 min a una velocidad de 6.000 rpm.

Posteriormente, la emulsión se secó con ayuda de un Mini Spray Drying B-290. Se ajustó la temperatura de entrada a 165 °C, el porcentaje de aspersion a 100 %, el flujo de alimentación a 5 mL/s y finalmente 2 ciclos de limpieza por minuto, con el fin de evitar que el atomizador se bloqueara [15]. Después de 1 hora de secado, se obtuvo el producto deseado.

Morfología y eficiencia de las cápsulas

Análisis termogravimétrico (TGA). Para conocer la cantidad de aceite encapsulado, se utilizó un equipo simultaneo TGA. El equipo fue ajustado para que analizara la pérdida del peso de la muestra con respecto a la temperatura, desde la temperatura ambiente (25 °C) hasta 600 °C, con una rampa de 10 °C/min. Como fluido inerte se utilizó el nitrógeno UAP con un flujo constante de 100 mL/min; finalmente, el análisis fue realizado teniendo en consideración las temperaturas de degradación de los reactivos.

Microscopia de Barrido (SEM). Con el fin de evaluar la morfología de las microcápsulas obtenidas, se usó el microscopio electrónico de barrido (SEM); con ayuda de un haz de electrones, se realizó un proceso previo de metalización con oro para aumentar la conductividad de la superficie de las cápsulas. La muestra fue ingresada en el equipo Tescan Lyra 3, y se realizaron las visualizaciones del SEM bajo un voltaje de 10 kV y magnificaciones que oscilaron entre 2.000 y 7.000 aumentos; se seleccionaron los puntos más significativos de cada muestra para su posterior análisis.

Liberación de las cápsulas en el cuerpo humano

(in vitro). Para comprobar si las microcápsulas realmente son capaces de transportar cada uno de los aceites dentro del cuerpo humano y liberarlos en el intestino delgado, se analizaron las tasas de liberación de las microcápsulas en condiciones *in vitro* de los fluidos simulados del cuerpo humano, salival (FSS), gástrico (FGS) e intestinal (FIS). Las concentraciones de cada una de las soluciones bases se encuentran especificadas en la tabla 1.

Tabla 1. Composición de los fluidos bases digestivos simulados. [16]

Componentes	FSS (mM)	FGS (mM)	FIS (mM)
KCl	20,1	6,9	6,8
KH ₂ PO ₄	8,7	0,9	0,8
NaHCO ₃	23,6	25	91
NaCl	-	47,2	38,4
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	0,3	0,12	0,33
(NH ₄)CO ₃	0,12	0,5	-

El pH de cada solución fue ajustado utilizando HCl hasta que se alcance el valor indicado por literatura: FSS = 6,5, FGS = 2,5, FIS = 7,0 [17,18]. Posteriormente, para cada uno los fluidos simulados se llenaron 3 vasos precipitados con 50 mL de su solución. Con la finalidad de acercar este proceso natural del cuerpo humano, la exposición de las microcápsulas de cada aceite y el blanco (maltodextrina) en los 3 fluidos se realizaron a una temperatura constante de 37 °C [17]. Luego, se pesaron 0,1 g de las microcápsulas, tanto de aceite de oliva como de aceite de almendras. Estas muestras se disolvieron en la sustancia de FSS durante 2 min, en el fluido FGS durante 2 horas y en el fluido FIS durante 3 horas, debido a que corresponden a los tiempos estimados de la digestión humana en cada una sus etapas [18].

Luego, se evaluaron las tasas de liberación de ambos aceites encapsulados en cada uno de los fluidos utilizando un barrido de longitud de onda en cada muestra, con ayuda de un espectrofotómetro UV-VIS. Para esto, se recolecto 5 mL de cada muestra después de que pasará el tiempo de digestión, y se realizaron corridas de longitud de onda desde 600 nm hasta 190 nm midiendo la absorbancia obtenida en el espectrofotómetro por cada muestra; se usó el punto de máxima absorbancia bajo una longitud de onda óptima para obtener la concentración después de liberación. Finalmente, con esta absorbancia se utilizó la ley Beer-Lambert, con la longitud de la celda (L = 1 cm) y los coeficientes de extinción del aceite de oliva y almendra, 0,65 L/(mol*cm) y 0,27 L/(mol*cm), respectivamente [19,20] para poder calcular

la concentración de aceite. Cada muestra fue comparada con un blanco de los fluidos simulados de digestión.

$$c = \frac{\alpha L}{A} \quad (1)$$

Resultados y discusión

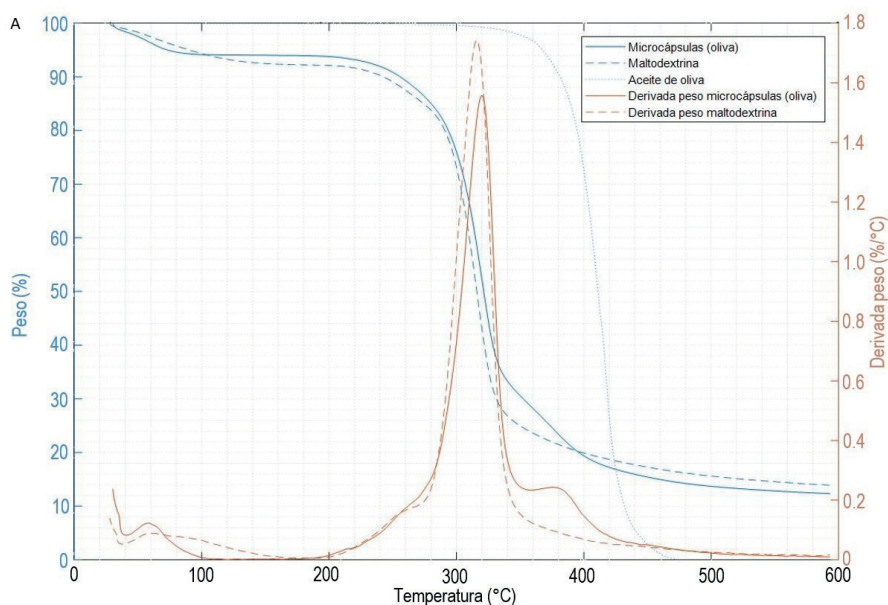
Cantidad de aceite encapsulado

Se realizaron pruebas de análisis termogravimétrico (TGA) para cada una de las formulaciones de cápsulas obtenidas, y, de igual manera, para el aceite de oliva, el aceite de almendra y la maltodextrina; esto, con el fin de corroborar el apropiado encapsulamiento de los componentes activos y discriminarlo de los demás componentes de la muestra. Luego, se obtuvo el porcentaje de aceite contenido en cada formulación de cápsulas y se determinó la formulación con mayor principio activo contenido.

Como se puede observar en la figura 1A, se muestran tres pérdidas porcentuales de peso para las microcápsulas de oliva. La primera caída se da entre 40 °C y 110 °C; esta pérdida de peso se atribuye a la humedad de equilibrio que prevalece en la cápsula, debido al carácter hidrofílico de la maltodextrina, después del proceso de secado por aspersión. Luego, se puede encontrar la segunda caída entre 190 y 350 °C, lo cual corresponde a la temperatura de degradación de la maltodextrina. La siguiente caída sucede entre 360 y 500 °C, donde la reducción del peso se debe al aceite de

oliva encapsulado. Este porcentaje corresponde a 17,79 % del peso total de la muestra, lo cual se confirma al observar la derivada en peso de las microcápsulas. Por otro lado, al igual que lo encontrado por Marques, se puede observar que el porcentaje de cambio de masa con respecto a la temperatura (%/°C) es de 0 para los valores superiores a 500 °C [21]. Lo anterior, se puede atribuir a que la masa restante corresponde a la formación de cenizas de los componentes de las cápsulas.

De la misma forma, las microcápsulas de almendra presentan tres pérdidas de peso significativas. De esta manera, la figura 1B muestra una primera caída que se da entre 30 °C y 90 °C; esta pérdida de peso está asociada al agua sobrante de la muestra. Por otro lado, se puede encontrar la segunda caída entre 180 y 350 °C, lo cual corresponde a la temperatura de degradación de la maltodextrina. La última caída presentada sucede entre 360 y 500 °C, donde la reducción del peso se debe al aceite de almendra encapsulado. Este porcentaje corresponde 22,31 % del peso total de la muestra, lo cual se rectifica con la derivada en peso. Lo anterior sugiere una protección del material de pared al recubrir el aceite impidiendo que el calor se transfiera fácilmente. Por otro lado, al igual que lo obtenido para las microcápsulas de oliva, se puede observar que el porcentaje de cambio de masa con respecto a la temperatura (%/°C) es de 0 para los valores superiores a 510 °C. Lo anterior se puede atribuir a la formación de cenizas de la maltodextrina.



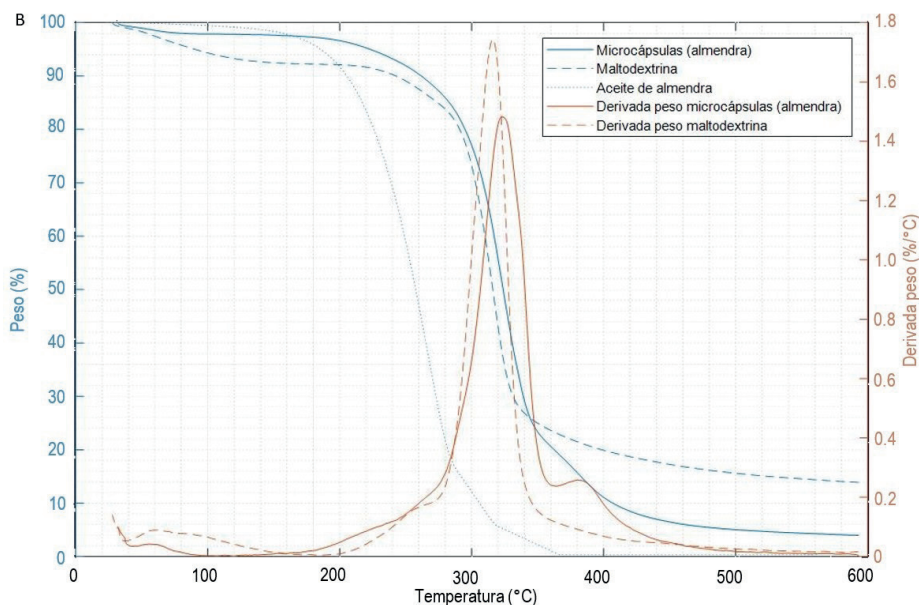


Figura 1. Análisis termogravimétrico de las microcápsulas de aceite de (A) oliva y (B) almendras.

Al comparar los dos análisis termogravimétricos obtenidos de ambas microcápsulas, es posible afirmar que se obtuvo un mayor porcentaje encapsulado en el aceite de almendra. Esto permite deducir que el aceite de almendra posee una mejor interacción con la maltodextrina, lo cual incrementa la cantidad de aceite atrapado.

Morfología de las cápsulas

Tomando en cuenta la figura 2A, se puede evidenciar que las cápsulas de aceite de oliva poseen una forma más esférica empleando el método de secado por atomización. A su vez, se puede observar que las cápsulas presentan aglomeración, esto se puede deber al comportamiento de los ácidos poliinsaturados (PUFA) presentes en el aceite. Dado que los PUFA presentan propiedades surfactantes, las cuales aumentan la tendencia a aglomerar las gotas que posteriormente son secadas como cápsulas [3]. La amplia variación del tamaño de cápsula explica la poca estabilidad de esa misma cápsula, debido a que las cápsulas de gran tamaño tienden a colapsar por su alto contenido de principio activo [22]. De manera similar, al observar la figura 2B, se puede comprobar a través del SEM que el método del secado por atomización generó correctamente cápsulas de aceite de almendras. Las cápsulas que se observan presentan mayor aglomeración que las microcápsulas de aceite de oliva, lo que ocasiona que su forma sea menos esférica. Esto se

puede explicar debido a que el aceite de almendras posee una mayor cantidad de ácidos grasos (87 %) que el de oliva (58 %), lo cual permite que la acción como surfactantes sea mayor y la tendencia a agruparse entre ellos aumente.

Liberación del aceite

Con el fin de conocer la efectividad del material de pared para realizar el transporte de los aceites dentro del tracto digestivo, se realizaron pruebas en un espectrofotómetro UV-VIS contrastando las concentraciones antes y después de la liberación. Las figuras 3A y 3B presentan la absorbancia (A) en función de la longitud de onda (nm) para cada uno de los fluidos simulados, con el fin de determinar la longitud de onda óptima para cada uno de los aceites.

Se probó cada una de las soluciones para ambas microcápsulas obtenidas. Estos datos presentaron valores de absorbancia máxima menores a 260 nm, lo cual, de acuerdo con los estudios de Yu Chen y Lee, se puede confirmar como la longitud de onda para la cual el omega 3 absorbe radiación electromagnética [23]. Por su parte, en el aceite de almendras, se obtuvieron cambios en el barrido de absorbancia para longitudes de onda menores a 300 nm. Esto se debe a que en estas longitudes de onda el ácido linoleico comienza a oxidarse debido a la radiación electromagnética a la longitud de 254 nm, y así se confirma la presencia de este ácido graso luego de liberación [24].

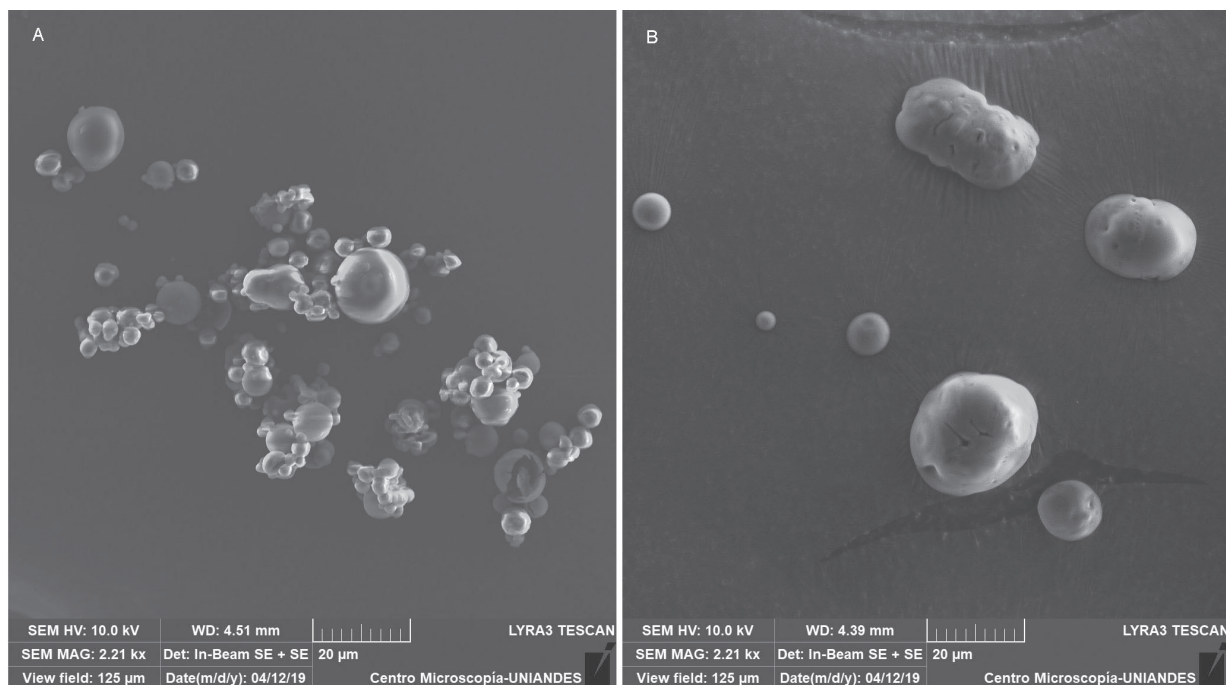


Figura 2. Imágenes obtenidas del SEM de las microcápsulas de aceite de (A) oliva y (B) almendra.

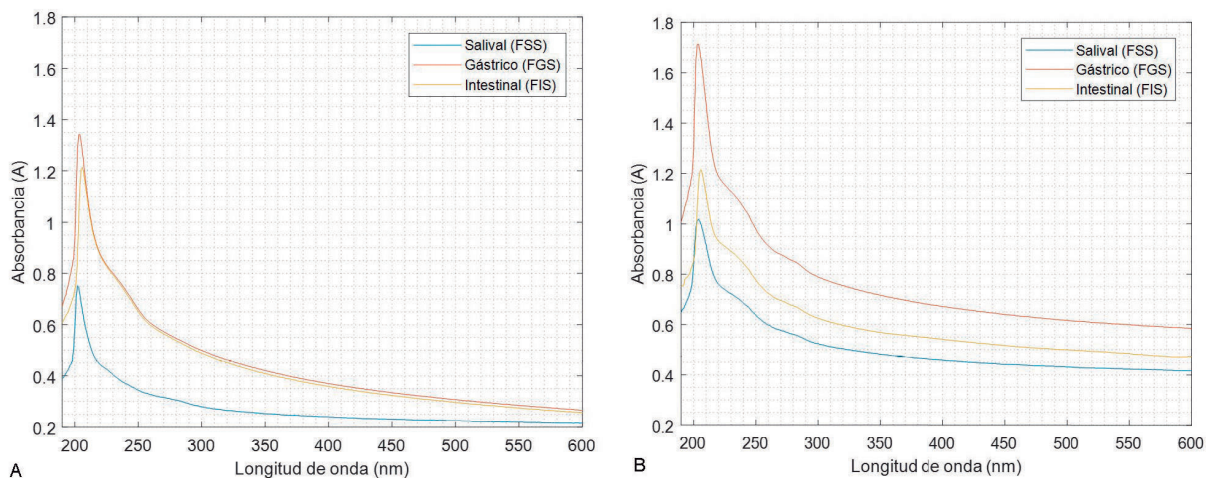


Figura 3. Absorbancia (A) vs Longitud de onda (nm) de las microcápsulas de aceites de (A) oliva y (B) almendra.

Se obtuvieron las concentraciones después de la liberación con la ley de Beer-Lambert, ecuación 1. Las concentraciones después de la liberación se presentan en la tabla 2. Con base en estos valores, se puede confirmar que haber realizado el proceso de microencapsulación permitió proteger tanto el aceite de oliva como el de almendras de los fluidos estomacales (0,48 M para oliva y 0,15

M para almendras), debido a que su liberación fue menor que en el intestino delgado (0,49 M para oliva y 0,22 M para almendras). Sin embargo, se evidencia una alta liberación en el fluido salival simulado (0,86 M para oliva y 0,26 M para almendras), lo cual se puede explicar debido a la cercanía de pH entre el intestino (pH = 7,0) y la saliva (pH = 6,5).

Tabla 2. Concentraciones en cada fluido luego de la liberación.

Microcápsulas	FSS	FGS	FIS
	Concentración (M)	Concentración (M)	Concentración (M)
Aceite de oliva	0,86	0,48	0,49
Aceite de almendra	0,26	0,15	0,22

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en el estudio realizado, se puede afirmar que es posible realizar microcápsulas de aceite de almendras y aceite de oliva utilizando maltodextrina como material de pared mediante el método de secado por atomización. Además, se encontró que son capaces de transportar aceites con alto contenido de ácidos grasos (linoleico y oleico) a través del sistema digestivo humano hasta llegar al intestino delgado para realizar una liberación controlada de compuestos. Por otro lado, a partir de los resultados obtenidos en el análisis termogravimétrico (TGA), se logró encontrar que el porcentaje de aceite retenido de las cápsulas de aceite de almendras es mayor en comparación con lo obtenido para el aceite de oliva. Esto se debe a la interacción que existe entre el aceite encápsulado y la maltodextrina, de lo cual se obtiene un porcentaje de aceite encápsulado de 22,31 % para la almendra y de 17,79 % para la oliva. Se puede concluir que la estructura y la factibilidad de la aglomeración dependen de la cantidad de ácidos grasos que posea el aceite que se desea encápsular. Sumado a esto, por medio del análisis espectrofotométrico, se evidencia una prevención a la degradación de los aceites en el estómago mediante su microencápsulación. Para trabajos futuros, se sugiere utilizar diferentes materiales pared o combinaciones de estos, para prevenir la degradación de las cápsulas con el fluido salival simulado.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración parcial de Santiago Segura Pacheco en la ejecución de dos análisis termogravimétricos (TGA).

Referencias bibliográficas

[1] Grujić S, Grujić R. Food product development as opportunity for success or survival in the market. *CEFood Congress*. 2012;6:1202-6.

- [2] Lin J. *Innovation in Low-Tech Industries An Example of the Food Industry in China*. Switzerland: Lund University; 2017.
- [3] McClements DJ. *Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques*. 3 ed. Estados Unidos: CRC Press; 2015.
- [4] Vieira SA, Zhang G, Decker EA. Biological Implications of Lipid Oxidation Products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2017;94(3):339-51.
- [5] Zárate R, el Jaber-Vazdekis N, Tejera N, Pérez JA, Rodríguez C. Significance of long chain polyunsaturated fatty acids in human health. *Clin Transl Med.* 2017;6(1):25.
- [6] Perez R, Gaonkar AG. *Commercial Applications of Microencapsulation and Controlled Delivery in Food and Beverage Products*. Elsevier Inc. 2014;543-9.
- [7] Jafari SM. An overview of nanoencapsulation techniques and their classification. Elsevier Inc. 2017;1-34.
- [8] Ozkan G, Franco P, De Marco I, Xiao J, Capanoglu E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chem.* 2019;272:494-506.
- [9] Rowe DJ, David J. *Chemistry and Technology of Flavors and Fragrances*. United Kingdom: Blackwell Publishing Ltd; 2005.
- [10] Gregory EN. *Selection of Materials for Hardfacing*. United Kingdom: Welding Institute; 1980.
- [11] Dokic-Baucal L, Dokic P, Jakovljevic J. Influence of different maltodextrins on properties of O/W emulsions. *Food Hydrocoll.* 2004;18(2):233-39.
- [12] Dokic PP, Dokic-Baucal LP, Sovilj JV, Katona JM. Influence of maltodextrin dextrose equivalent value on rheological and dispersion properties of sunflower oil in water emulsions. *Acta Period. Technol.* 2004;(35):17-24.
- [13] García-Inza GP, Castro DN, Hall AJ, Rousseaux MC. Responses to temperature of fruit dry weight, oil concentration, and oil fatty acid composition in olive (*Olea europaea* L. var. 'Arauco'). *Eur. J. Agron.* 2014;54:107-15.

- [14] Rosani L. Desenvolvimento e estudo da estabilidade de nanoemulsoes do tipo oleo em agua com oleos vegetais. Brasil: UFSCar; 2011;
- [15] Fritsche C, Koller E. Büchi Mini Spray Dryer B-290-User Manual. Switzerland: Büchi Labortechnik AG; 2009.
- [16] Eratte D, Dowling K, Barrow CJ, Adhikari BP. In-vitro digestion of probiotic bacteria and omega-3 oil co-microencapsulated in whey protein isolate-gum Arabic complex coacervates. *Food Chem.* 2017;227:129–36.
- [17] Muñoz LZ, Narvárez CG. pH Salival, Capacidad Buffer, Proteínas Totales y Flujo Salival en Pacientes Hipertensos Controlados Usuarios de Diuréticos. *Int. J. Odontostomat* 2012;6(1):11–7.
- [18] Maurer JM, Schellekens RCA, Rieke HMV, Wanke C, Zee D, Woerdenbag HJ, *et al.* Gastrointestinal pH and Transit Time Profiling in Healthy Volunteers Using the IntelliCap System Confirms Ileo-Colonic Release of ColoPulse Tablets. *PLoS ONE.* 2015;10(7):1–17.
- [19] Romero-Segura C, Sanz C, Perez AG. Purification and Characterization of an Olive Fruit β -Glucosidase Involved in the Biosynthesis of Virgin Olive Oil Phenolics. *J Agric Food Chem.* 9 de septiembre de 2009;57(17):7983-8.
- [20] Malhotra P, Dey PM. Purification and Physical Properties of Sweet-Almond. *Biochem J.* 1967;103(2):508-13.
- [21] Marques GR, Birchal VS, Borges SV, Botrel DA, Campelo Felix PH. Physicochemical and thermal stability of microcapsules of cinnamon essential oil by spray drying. *J Food Process Pres.* 2016;41(3):1-9.
- [22] Sobel R, Khare A, Vasisht N, Gaonkar AG. Microencapsulation in the Food Industry. Netherlands: Elsevier Inc; 2014.
- [23] Chen C-Y, Lee Y-H, Chang S-H, Tsai Y-F, Fang J-Y, Hwang T-L. Oleic acid-loaded nanostructured lipid carrier inhibits neutrophil activities in the presence of albumin and alleviates skin inflammation. *Int J Nanomedicine.* 2019;(14):6539-53.
- [24] Yamashoji S, Yoshida H, Kajimoto G. Photooxidation of Linoleic Acid by Ultraviolet Light and Effect of Superoxide Anion Quencher. *Agric Biol Chem.* 1979;43(6):1249-54.