

Microencapsulación de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión

Alex Pastuña-Pullutasig^{1*}, Orestes López-Hernández¹, Alexis Debut², Andrea Vaca², Eduardo Rodríguez-Leyes³, Roxana Vicente³, Víctor González³, María González-Sanabria⁴, Fausto Tapia-Hernández⁵

¹ Universidad Técnica de Ambato (UTA), Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato, Ecuador

* Correo electrónico: alex.fcial@gmail.com

² Universidad ESPE (Escuela Politécnica del Ejército), Laboratorio de Caracterización de Nanomateriales, Centro de Nanociencias y Nanotecnologías, Pichincha, Ecuador

³ Centro de Productos Naturales del Centro Nacional de Investigaciones Científicas, La Habana, Cuba

⁴ Centro de Investigación y Desarrollo de Medicamentos, La Habana, Cuba

⁵ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Riobamba, Ecuador

Recibido para evaluación: 4 de mayo del 2016

Aceptado para publicación: 25 de noviembre del 2016

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue microencapsular aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión, con el fin de evitar las reacciones oxidativas de degradación, dado su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, los cuales presentan grandes beneficios para la salud. Empleando maltodextrina y goma arábiga en una proporción (1:1), se evaluó la temperatura de entrada y la carga de aceite, siendo 150 °C y 33% las mejores condiciones de trabajo durante el proceso de secado. Se obtuvo un rendimiento y eficiencia de microencapsulación de $82,10 \pm 0,99\%$ y $93,90 \pm 0,56\%$, respectivamente. Cabe mencionar que esta investigación es la primera en emplear la técnica de secado por aspersión, y como agentes formadores de la pared polimérica la mezcla de maltodextrina y goma arábiga en la microencapsulación de aceite de sachá inchi. Mediante análisis fisicoquímico, se evaluó la humedad del aceite de sachá inchi microencapsulado, manteniendo un contenido de humedad a las 26 semanas de $4,60 \pm 0,02\%$. Al utilizar cromatografía de gases se encontró que no existe variación en cuanto al perfil de ácidos grasos antes y después

de la microencapsulación, y mediante espectroscopía infrarroja se demostró que el aceite de sachá inchi se encuentra en el interior de las microcápsulas. La microscopía electrónica de barrido permitió observar que las microcápsulas presentan forma esférica con una superficie lisa y libre de poros, lo que evita la exposición directa del aceite a las diferentes condiciones ambientales.

Palabras claves: Microencapsulación, sachá inchi, secado por aspersión.

SUMMARY

Microencapsulation of oil sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) by spray drying

The objective of this research was microencapsulated sachá inchi oil by spray drying, in order to prevent oxidative degradation reactions, given its high content of mono-unsaturated and polyunsaturated fatty acids, which present great health benefits. Employing a maltodextrin-gum arabic system in the same ratio (1:1), the inlet temperature and the oil charge was evaluated, being 150 °C and 33% the best conditions during the drying process, obtaining a performance and efficiency microencapsulation of $82.10 \pm 0.99\%$ and $93.90 \pm 0.56\%$, respectively. It should be mentioned that this research is the first one to use the spray drying technique and maltodextrin and arabic gum as polymeric wall formers agents for the sachá inchi oil microencapsulation. By physicochemical analysis, the microencapsulated sachá inchi oil moisture was evaluated, keeping a moisture content at 26 weeks of $4.60 \pm 0.02\%$, applying gas chromatography, it was found that there is no variation in the fatty acid profile before and after microencapsulation. Through infrared spectroscopy it was shown that sachá inchi oil is inserted into the core of the microcapsules. The electron microscopy scanning allowed to observe that the microcapsules have a spherical shape with a smooth surface and free of pores which prevent direct contact of the oil with different ambient conditions.

Keywords: Microencapsulation, sachá inchi, spray drying.

INTRODUCCIÓN

Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), es una planta tipo arbusto trepador que crece a una altitud de entre 100 a 1500 msnm [1], y es conocida comúnmente como maní del inca. Esta planta es originaria de la selva peruana, ya que se estima fue empleada por la civilización inca hace 3000 años. Hoy en día, se encuentra en las selvas montañosas de Colombia y Ecuador. En esta última, se evidencia un crecimiento progresivo de estos cultivos. Sacha inchi presenta cápsulas tetra lobulares, las cuales contienen cuatro semillas de un diámetro de alrededor de 2 cm [2].

Las semillas de sachá inchi presentan un contenido de proteína del 33%, y de lípidos en un 54% [1], del cual un 50,8% pertenece a ácidos grasos omega 3 (linolénico), cerca del 33,4% a ácidos grasos omega 6 (linoleico), y aproximadamente un 9% a ácidos grasos omega 9 (oleico) [3]; su contenido de ácidos grasos saturados es relativamente bajo, de alrededor del 6% [4].

El aceite de sachá inchi presenta un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAs) —ya mencionado—, contiene vitaminas liposolubles como la A y E, y antioxidantes, todos estos propensos a reacciones de oxidación [5]. Este tipo de ácidos grasos poliinsaturados contrarrestan enfermedades cardiovasculares, de manera que este aceite de sachá inchi resulta de gran interés para las industrias alimenticias y farmacéuticas a nivel mundial.

Existen métodos físicos que impiden la oxidación al evitar el contacto de las sustancias bioactivas con el oxígeno; dentro de estos se encuentran los procesos de microencapsulación, los cuales llaman la atención por su bajo costo y fácil implementación en procesos industriales.

El proceso de microencapsulación mediante secado por aspersión permite enmascarar diversas sustancias bioactivas por un sistema de carácter polimérico, con el fin de protegerlas e impedir su degradación. La microencapsulación mediante secado por aspersión se considera un método de empaque a micro escala, en el que un material específico se puede recubrir de forma individual con el propósito de preservarlo por más tiempo [3, 6].

El proceso de secado por aspersión reduce al mínimo el deterioro oxidativo, lo que se demuestra mediante la caracterización fisicoquímica, al emplear ciertos métodos de laboratorio. La cromatografía de gases, por su parte, permite cuantificar el contenido de ácidos grasos del aceite microencapsulado. También se suele aplicar espectroscopía infrarroja, lo que permite evaluar la eficiencia de microencapsulación. La morfología de

las microcápsulas se evaluó por microscopía electrónica de barrido, lo cual permite analizar la forma y la superficie de las paredes que forman los polímeros durante el proceso de secado por aspersión [7]. Estos métodos se emplean en investigaciones realizadas sobre microencapsulación mediante secado por aspersión, como lo es un estudio realizado por López *et al.* [8] sobre microencapsulación de aceite de semillas de *Cucurbita pepo* L. También se pueden encontrar en un trabajo realizado por Cuaspuud [9], en la obtención de aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización.

La pared de la microcápsula es un medio que permite envasar, aislar y almacenar materiales a nivel microscópico para su posterior liberación bajo condiciones preestablecidas. Los materiales encapsulantes o formadores de pared más empleados en microencapsulación son los carbohidratos, las gomas, los lípidos y las proteínas.

Entre las gomas empleadas se encuentra la goma arábiga, un coloide vegetal extraído de la planta leguminosa *Acacia senegal* L., compuesta por ácido D-glucurónico, L-ramnosa, D-galactosa y L-arabinosa; contiene aproximadamente un 5% de proteína, responsable de sus propiedades emulsificantes [10]. Asimismo, presenta baja viscosidad en soluciones acuosas en comparación con otras gomas que producen soluciones de alta viscosidad a concentraciones bajas como de 1%. La goma arábiga es preferida como material de pared encapsulante, dada su alta solubilidad en agua (superior al 50%), y por presentar características de tensoactivo.

Entre los carbohidratos está la maltodextrina. Es un polímero sacárido nutritivo, consiste en unidades de D-glucosa unidas por la cadena α 1-4, con un equivalente de dextrosa (DE) menor que 20. Se obtiene por hidrólisis parcial del almidón empleando ácidos o enzimas y se utiliza como estabilizante de emulsiones [10].

La presente investigación busca microencapsular aceite de sachá inchi, empleando una mezcla polimérica con goma arábiga y maltodextrina como pared de revestimiento mediante la técnica de secado por aspersión, con la finalidad de proteger el aceite de procesos oxidativos, debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados.

METODOLOGÍA

Materiales

Aceite de sachá inchi (Isabru botanic, Ecuador); goma arábiga (Roig Farma, España); Maltodextrina (Roig Farma, España); Hexano (Mallinckrodt, EE. UU.); Ácido sulfúrico (Lobamachine, India); Fenol (Reagent, A.C.S., EE. UU.); Glucosa (Hysel, India).

Microencapsulación de aceite de sachá inchi

Para la microencapsulación se empleó como agente encapsulante una mezcla de goma arábica (GA) y maltodextrina (MD), en proporción 1:1. Se incorporó 3,5 partes de agua destilada con respecto a cada parte de polímero, se llevó la mezcla a agitación y se incorporó el aceite (AC) a fin de formar la emulsión. La emulsión tipo aceite agua (o/w) se llevó al secador por aspersión, donde se evaluó la temperatura de entrada a 150° C y 170° C, y la carga de aceite incorporada a la mezcla del 33% y el 50%, con el objetivo de alcanzar un rendimiento y una eficiencia de microencapsulación elevada.

Empleando el *software* Statgraphics Centurion XVI.I versión de prueba, se realizó el análisis estadístico mediante un diseño experimental 2², a fin de evaluar la temperatura de entrada y la carga de aceite incorporada a la mezcla, según los resultados de rendimiento y eficiencia obtenidos. Asimismo, se realizó una comparación de muestras de los resultados obtenidos mediante cromatografía de gases para determinar si existe diferencia significativa entre el contenido de ácidos grasos antes y después de la microencapsulación.

Determinación de la humedad de las micropartículas que contienen aceite de sachá inchi

La humedad se determinó tomando 5 g de aceite de sachá inchi microencapsulado y llevándolo a una balanza de humedad (Citizen, EE. UU.) que evalúa las muestras a 110 °C y a una atmósfera de presión; las mediciones se realizaron a las 0 semanas, 11 semanas, 15 semanas y 26 semanas; las condiciones de laboratorio en las que se realizó el análisis fueron de una temperatura ambiente entre 15 °C y 25 °C, con una humedad relativa del 70%.

Determinación del aceite libre después del proceso de secado por aspersión

Se determinó la cantidad de aceite de sachá inchi libre después del proceso de secado por aspersión utilizando un equipo Soxhlet, junto con 5 g de muestra microencapsulada, la cual se sometió a reflujo con hexano durante un tiempo de 3 h; posteriormente, se evaporó el hexano del balón contenedor empleando un rota evaporador, se llevó el balón a una estufa a 110 °C por 3 h y se dejó enfriar. Luego, se calculó el porcentaje de aceite libre por diferencia de pesos entre el balón vacío y el balón con la cantidad de aceite extraído.

Determinación de la eficiencia de microencapsulación

La eficiencia de microencapsulación (%ME) se calculó empleando la siguiente expresión [8]:

$$\%ME = \frac{\%Aceite\ total - \%Aceite\ libre}{\%Aceite\ total} * 100$$

Cromatografía de gases para el aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación

Las muestras de aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación fueron analizadas en el Centro de Productos Naturales del Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Cuba.

Mediante cromatografía de gases, se determinó el contenido de ácidos grasos como ésteres metílicos por el método 108.003 del “Institute for Nutraceutical Advancement” [11], con la respectiva modificación descrita a continuación. Para la preparación de las muestras respectivas, se pesaron 150 mg de aceite de sachá inchi y 450 mg del aceite microencapsulado, se añadió 1 mL de solución de patrón interno (ácido C13:0, a 10 mg.mL⁻¹ en metanol), y 3 mL de cloruro de acetilo al 10 % (v/v) en metanol, se cerró el tubo de ensayo y se llevó a 85 °C (2 h), aplicando agitación discontinua. Se enfrió y se añadieron 4 mL de hexano y 4 mL de agua destilada. Se agitó (15 min) en una zaranda Agitateur (Francia), y se dejó en reposo. Se adicionaron 4 mL de etanol, se agitó de manera manual por unos segundos y se colocó una alícuota de 3 mL de la fase orgánica en otro tubo de ensayos, en el que se adicionaron 4 mL de hexano y 4 mL de hidróxido de sodio 1 M en metanol. Se cerró y agitó (15 min) en zaranda, luego se adicionaron 4 mL de agua destilada y nuevamente se agitó (15 min). Se dejó en reposo y se transfirió una alícuota de 2 mL hacia un vial de 4 mL de capacidad, del que se tomaron 60 µL y se diluyeron en 1,5 mL de hexano para el respectivo análisis. El análisis se realizó en un cromatógrafo Agilent 7890 A (EE. UU.), utilizando una columna capilar BPX-70 (30 m longitud x 0,25 mm diámetro interior). La temperatura inicial fue de 100 °C (4 min), con un incremento gradual de 10 °C.min⁻¹ hasta llegar a 180 °C; de manera inmediata se llevó a 185 °C con un incremento de 1 °C.min⁻¹, y finalmente se llevó hasta 240 °C, con un incremento de 25 °C.min⁻¹. El flujo de analito empleado fue de 0,8 mL.min⁻¹, el flujo de gas (H₂) fue de 35 mL.min⁻¹, y el flujo de aire fue de 350 mL.min⁻¹.

Espectroscopía infrarroja (IR)

La espectroscopía infrarroja se realizó en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Ciencias, empleando un espectrofotómetro infrarrojo. La obtención de los espectros con la ayuda de este equipo fueron para la mezcla polimérica y el aceite de sachá inchi microencapsulado y sin microencapsular. Mediante el *software* Spectra Analysis se obtuvieron los espectros para su posterior análisis.

Evaluación de las microcápsulas por microscopía electrónica de barrido

Mediante microscopía electrónica de barrido se evaluó la forma y la superficie de las microcápsulas en el Laboratorio de Biotecnología, Facultad de Ciencias Exactas, Escuela Superior Politécnica del Ejército (Quito), para lo cual se empleó un microscopio electrónico de barrido (TESCAN, Alemania). La preparación de la muestra a analizar inició con la fijación de una pequeña cantidad sobre una placa porta muestras metálica (1 cm de diámetro), luego se llevó la placa con la muestra fijada a un metalizador al vacío (Q150R, Reino Unido), a fin de recubrirla con oro a 20 nm de espesor; una vez lista la muestra, se llevó al microscopio electrónico para su visualización y evaluación.

Escalado del proceso de microencapsulación

La reproducibilidad del proceso de microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión a escala industrial, se realizó utilizando la temperatura de entrada y la carga de aceite, lo cual generó mejor rendimiento y eficiencia de microencapsulación en los estudios previos a escala de laboratorio; se empleó un *spray dryer* de capacidad de evaporación de 100 kg/h.

Evaluación de la humedad del aceite microencapsulado a escala industrial

Se evaluó la humedad del aceite de sachá inchi microencapsulado obtenido del proceso industrial a las 0 semanas y 4 semanas, se empleó 5 g de aceite microencapsulado en una balanza de humedad (Citizen, EE. UU.), la cual evalúa las muestras a 110 °C y a una atmósfera de presión. Las condiciones de laboratorio en las que se realizó el análisis fueron de una temperatura ambiente de entre 15 °C y 25 °C, con una humedad relativa del 70%.

Determinación de la eficiencia de microencapsulación del proceso a escala industrial

La eficiencia de microencapsulación a escala industrial se determinó empleando la misma metodología realizada a escala de laboratorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento y eficiencia de microencapsulación

Las emulsiones formadas por maltodextrina y goma arábiga, tuvieron una variación en cuanto a la carga de aceite incorporada a la mezcla y la temperatura de entrada. En la tabla 1 se presentan los tratamientos aplicados y los resultados obtenidos después del secado de las emulsiones.

Tabla 1. Tratamientos para el secado por aspersión.

Tratamientos	Carga %	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)	Rendimiento %	Eficiencia (ME)%
M1	33	150	90	82,10 ± 0,99	93,90 ± 0,56
M2	33	170	90	72,90 ± 2,26	93,65 ± 1,20
M3	50	150	90	62,65 ± 0,21	76,05 ± 0,35
M4	50	170	90	56,95 ± 2,19	73,90 ± 1,98

Los resultados de la microencapsulación muestran que el tratamiento M1 proporciona las mejores condiciones de trabajo, dando el mayor rendimiento y la mejor eficiencia dentro del proceso. En este se empleó una carga del 33% y una temperatura de entrada de 150 °C, alcanzando un rendimiento del 82,10 ± 0,99%, y una eficiencia del 93,90 ± 0,56%. Cabe recalcar que para la determinación del rendimiento obtenido no se considera la cantidad de agua incorporada en la mezcla, ya que se evapora y se elimina casi en su totalidad durante el secado de las emulsiones.

La Escuela de Ingeniería en Alimentos de la Universidad Peruana Unión y el Departamento de Agricultura, Alimentación y Ciencias Nutricionales de la Universidad de Alberta, realizaron una investigación sobre microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersión, en la cual se emplea como material encapsulante zein (proteína extraída del maíz). En la investigación se evaluó el rendimiento de microencapsulación, de lo cual se obtuvo como mejor resultado 92,73% [7]. En cuanto a eficiencia de microencapsulación, un resultado similar se obtuvo en una investigación realizada por López *et al.* [8] sobre microencapsulación de aceite de semillas de *Cucurbita pepo* L., en la que se empleó una carga del 33%, como material encapsulante una mezcla de maltodextrina y goma arábica; la eficiencia de microencapsulación obtenida fue mayor al 90%, lo que permite comparar y establecer que los resultados obtenidos en esta investigación son aceptables. En la investigación realizada por López *et al.* [8] se evaluó la estabilidad de las microcápsulas a 6, 12 y 24 meses, se registró un incremento de la pérdida por desecación, pero no hubo una afectación sobre la permeabilidad de las microcápsulas, estableciendo que esta mezcla polimérica es adecuada para microencapsular aceites ricos en omega-3.

Análisis de humedad de las microcápsulas en función del tiempo

La caracterización fisicoquímica de las microcápsulas se realizó únicamente para el tratamiento que registró el mayor rendimiento. El aceite microencapsulado se conservó en un lugar a temperatura ambiente (15-25 °C), con una humedad relativa del 70%.

La evaluación de humedad de las microcápsulas mostró un incremento en función del tiempo (se evaluó la humedad a las 0, 11, 15 y 26 semanas).

El contenido de humedad después del proceso de secado registró un valor de $1,39 \pm 0,06\%$, y mostró un incremento (figura 1) hasta la última semana de evaluación, debido a que los materiales empleados para la pared de recubrimiento son de carácter hidrofílico. Sin embargo, se mantuvo bajo el límite permisible, el cual se establece para productos en polvo menor al 10% [12]. Este resultado es similar a un estudio realizado para secado por aspersión de aceite de aguacate con maltodextrina y goma arábica en proporción 1:1, a una temperatura de entrada de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, en el que se reporta una humedad de $1,42 \pm 0,12\%$ [9], la cual es similar a la obtenida en esta investigación.

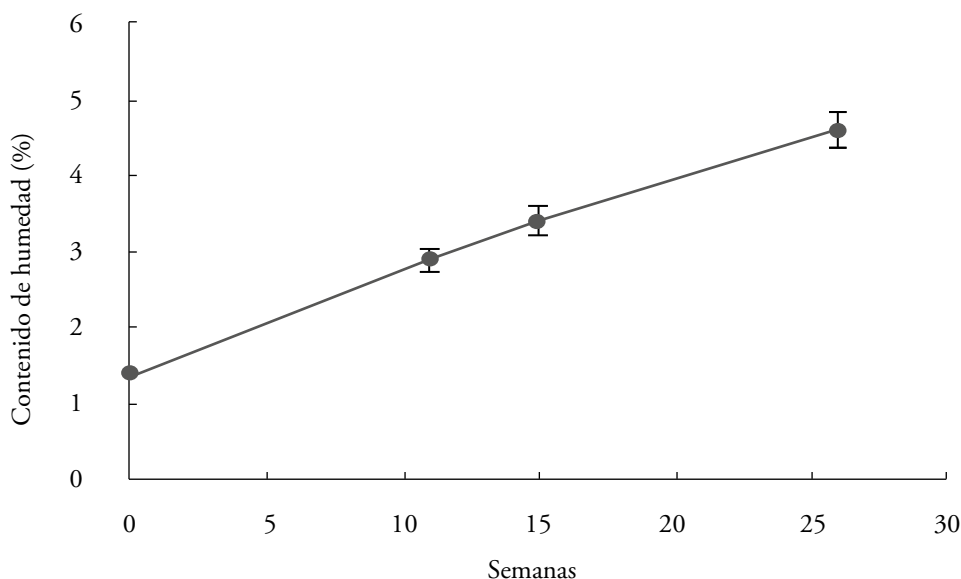


Figura 1. Incremento del contenido de humedad en función del tiempo.

Análisis del contenido de ácidos grasos mediante cromatografía de gases

Mediante cromatografía de gases se cuantificó el contenido de ácidos grasos del aceite de sacha inchi antes y después del proceso de microencapsulación. Estos resultados se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Perfil de los principales ácidos grasos del aceite de sachá inchi antes y después de la microencapsulación.

Ácidos grasos	Aceite sin microencapsular (%) (SM)	Aceite microencapsulado (%) (M)
C16:0	3,93 ± 0,23	3,84 ± 0,00
C18:0	2,67 ± 0,06	2,97 ± 0,00
C18:1	8,93 ± 0,12	8,90 ± 0,17
C18:2	35,47 ± 0,56	35,70 ± 0,34
C18:3	45,87 ± 0,67	45,13 ± 0,22

El aceite de sachá inchi resulta atractivo para la industria alimenticia en la formulación de alimentos funcionales debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados, como lo son el ácido linoléico (omega 6) (C18:2), el ácido linolénico (omega 3) (C18:3), y el ácido oleico (omega 9) (C18:1). También se encuentran presentes ácidos grasos saturados como el ácido esteárico (C18:0) y el ácido palmítico (C16:0). Los ácidos grasos que se nombran en la tabla 2 son los más representativos dentro del análisis.

Mediante una comparación de muestras realizada para los ácidos grasos contenidos en mayor porcentaje en el aceite de sachá inchi, se establece que no existe una diferencia significativa entre los ácidos grasos microencapsulados y sin microencapsular (figura 2), por lo cual se establece que el proceso de microencapsulación no afecta el contenido de ácidos grasos del aceite de sachá inchi.

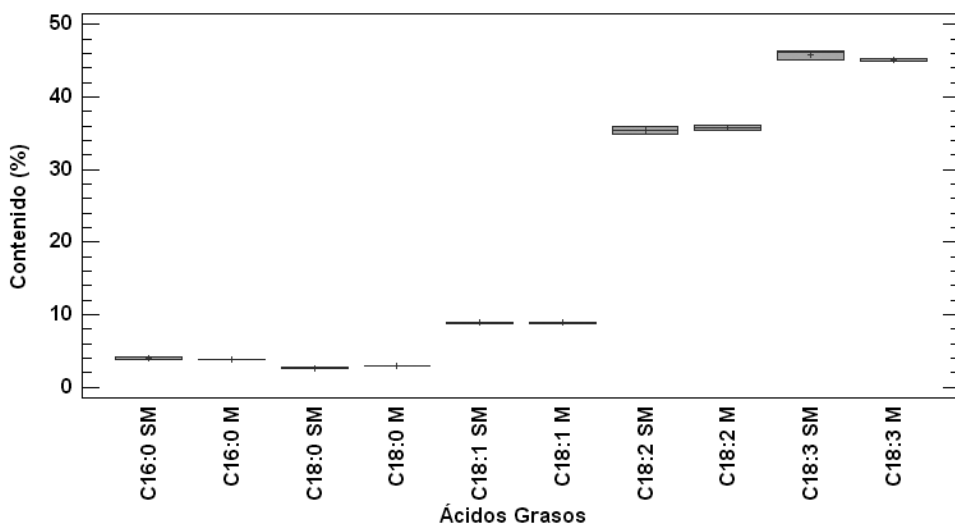


Figura 2. Comparación de muestras en Statgraphics.

Tabla 3. Comparación del contenido de ácidos grasos de aceite de sacha inchi.

Ácidos grasos	Esta investigación	Quispe y Saldaña [7]	Castaño <i>et al.</i> [13]
Palmítico (C16:0)	3,93	4,08	3,60
Esteárico (C18:0)	2,67	2,96	2,90
Oleico (C18:1)	8,93	10,45	8,50
Linoleico (C18:2)	35,47	35,34	33,90
Linolénico (C18:3)	45,87	46,92	50,20

Otros estudios realizados por Quispe y Saldaña [7] y Castaño *et al.* [13] (los cuales se exponen en la tabla 3), demuestran que el aceite de sacha inchi, al igual que en esta investigación, presenta un alto contenido de ácidos grasos insaturados.

Análisis espectroscópico del aceite de sacha inchi microencapsulado

A un rango espectral de 4000 cm^{-1} a 580 cm^{-1} , se obtuvieron los espectros de infrarrojo del aceite de sacha inchi microencapsulado, del aceite sin microencapsular y de la mezcla polimérica (figura 3). Las bandas pertenecientes al grupo carboxilo característico

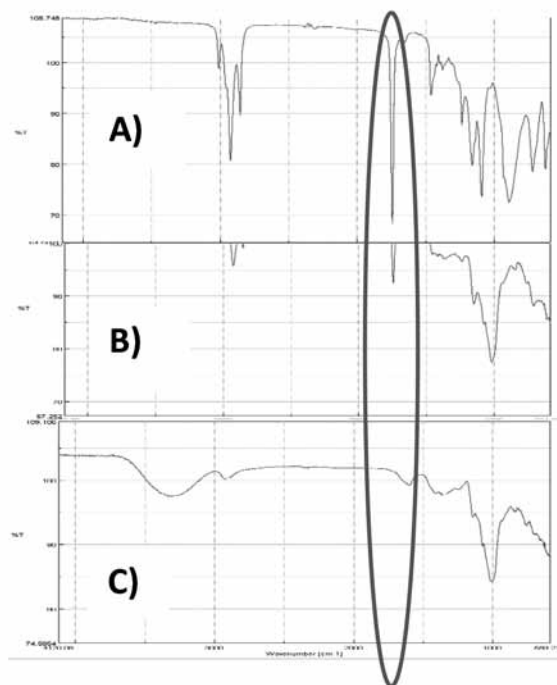


Figura 3. Espectros infrarrojo obtenidos en un rango de 4000 cm^{-1} a 580 cm^{-1} . A) Aceite de sacha inchi, B) aceite microencapsulado, C) mezcla polimérica.

de los ácidos grasos, encontradas entre 3007,44 y 2846,42 cm^{-1} , y entre 1741,41 y 1366,32 cm^{-1} , se encuentran minimizadas en el espectro obtenido del aceite microencapsulado, y en total ausencia en el espectro de la mezcla polimérica. Así, entonces, se determina que gran parte del aceite es enmascarado por la mezcla polimérica mediante secado por aspersion, lo que demuestra la efectividad del proceso de microencapsulación.

Morfología de las microcápsulas

Mediante microscopía electrónica de barrido se analizaron la forma y la superficie de las microcápsulas de aceite de sachá inchi (figura 4), lo que permitió observar la formación de microcápsulas esféricas de diferente tamaño, además de obtener una superficie lisa, compacta y libre de poros que evita el contacto directo del aceite con el oxígeno, previniendo así su degradación y alargando su tiempo de vida útil.

La morfología de las microcápsulas se atribuye a que durante el proceso de secado por aspersion —en el que ocurre una transferencia de calor y masa simultánea—, la emulsión es atomizada dentro de la cámara de secado, debido a una presión de aire que genera el equipo. Mediante otro flujo de aire caliente (transferencia de calor) se produce la rápida evaporación de las gotas formadas (transferencia de masa); al secarse, las gotas toman una forma esférica en la que la parte insoluble queda dentro, y la parte soluble afuera (atracción de masa física), formando la cubierta de la microcápsula [14, 15].

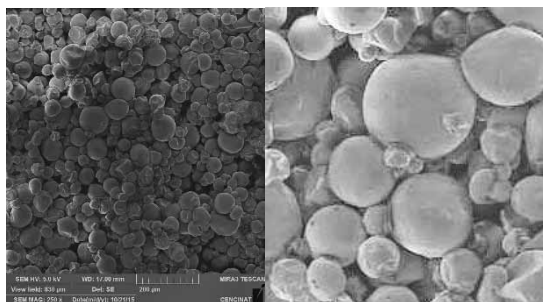


Figura 4. Microcápsulas de aceite de sachá inchi.

Microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersion a escala industrial

Se llevó a cabo el proceso de microencapsulación de aceite de sachá inchi mediante secado por aspersion a escala industrial, empleando las mejores condiciones de trabajo a escala de laboratorio, como lo fueron la temperatura de entrada y salida de 150 °C y 90 °C, respectivamente, una carga del 33% de aceite y una mezcla de maltodextrina y

goma arábiga en proporción 1:1. Se realizaron tres lotes y se determinó el rendimiento, resultados que se pueden observar en la figura 6, en la cual se evidencia un rendimiento superior al 70%, categorizado como óptimo a escala industrial.

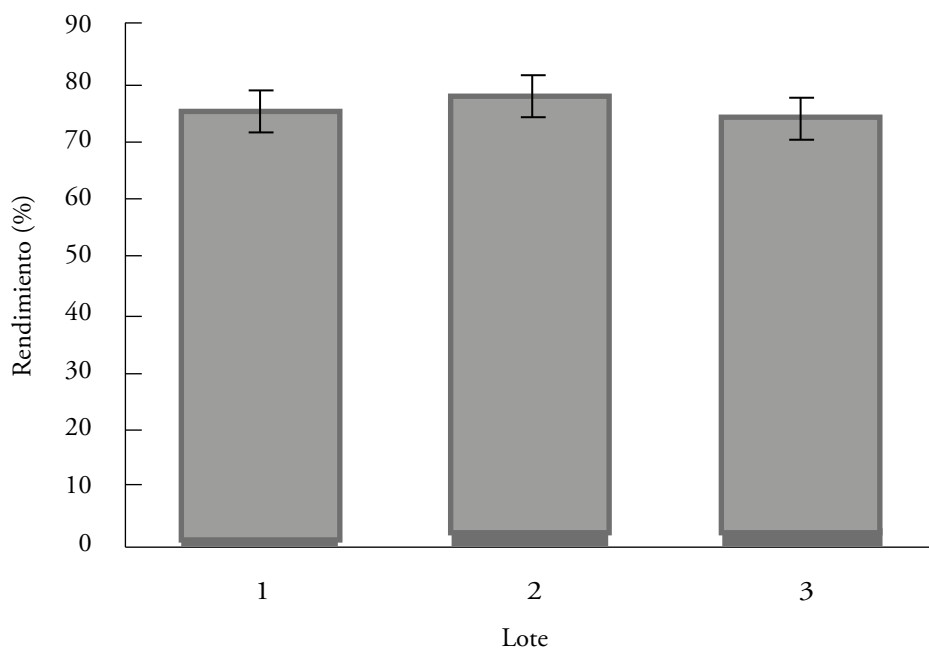


Figura 6. Rendimiento de aceite de sachá inchi microencapsulado de los tres lotes realizados a escala industrial.

Eficiencia de microencapsulación (ME)

A escala industrial se obtuvo una eficiencia de microencapsulación superior al 80%, resultado óptimo generado con las condiciones preestablecidas a escala de laboratorio, manteniendo así el principio de similaridad.

Evaluación de la humedad

La humedad de las microcápsulas obtenidas a escala industrial se mantuvo bajo el límite establecido para productos secos, al igual que las obtenidas a escala de laboratorio, mostrando un ligero incremento en función del tiempo. Se realizó la evaluación a las 0, 4 y 6 semanas (figura 7).

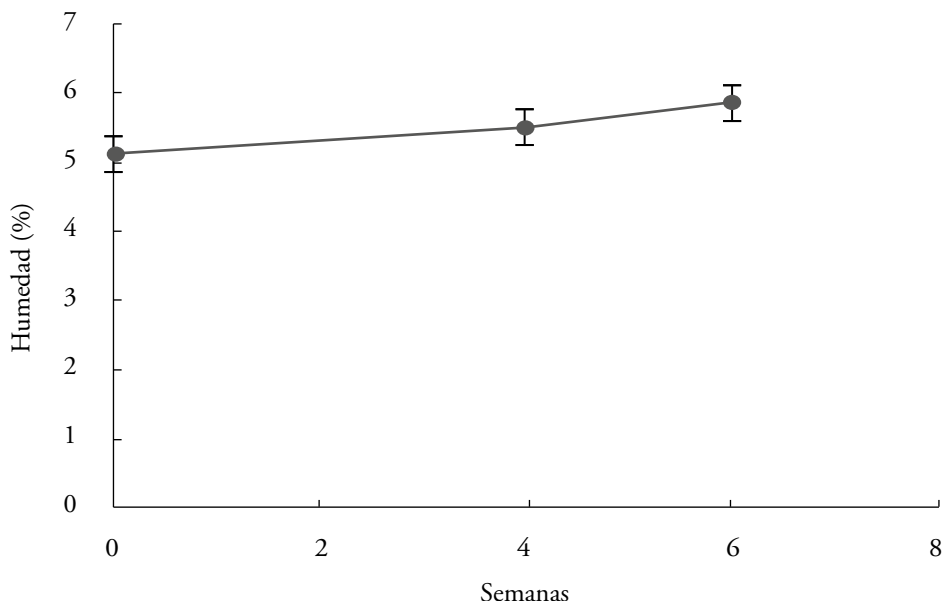


Figura 7. Evaluación del contenido de humedad.

Análisis estadístico

Mediante la aplicación de un diseño 2^2 , se determinó que el proceso de microencapsulación se ve optimizado en cuanto a rendimiento y eficiencia de microencapsulación aplicando el tratamiento M1 (temperatura de entrada $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura de salida $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, y carga de aceite 33%).

CONCLUSIONES

Las mejores condiciones de trabajo del proceso de microencapsulación (temperatura de entrada de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una carga de aceite del 33%), generaron una eficiencia de microencapsulación de $93,90 \pm 0,56\%$, y un rendimiento de $82,10 \pm 0,99\%$. La caracterización del aceite de sachá inchi microencapsulado evidenció que el contenido de humedad a las 26 semanas es inferior al límite permisible, mientras que el perfil de ácidos grasos del aceite microencapsulado no mostró diferencia significativa en comparación con el contenido de ácidos grasos del aceite sin microencapsular. Por espectroscopía infrarroja se determinó que el aceite es enmascarado de forma eficiente, y mediante microscopía electrónica de barrido se fue posible observar que se obtienen partículas esféricas de superficie lisa y libre de poros.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no declaran conflicto de intereses.

REFERENCIAS

1. R. Follegatti, C. Piantino, R. Grimaldi, Supercritical CO₂ extraction of omega-3 rich oil from Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) seeds, *Journal of Supercritical Fluids*, **49**, 323 (2009).
2. B. Krivankova, Z. Polesny, B. Lojka, J. Lojkova, J. Banout, D. Preininger, Sacha inchi (*Plukenetia volubilis*, Euphorbiaceae): a promising oilseed crop from Peruvian Amazon. En: Conference on International Agricultural Research and Development, University of Kassel, Alemania, 2008.
3. L. Gutiérrez, L. Rosada, A. Jiménez, Composición química de las semillas de “Sacha Inchi” (*Plukenetia volubilis* L.) y características de su fracción lipídica, *Grasas y aceites*, **62**, 76 (2011).
4. Pulevasalud, Contenido de ácidos grasos de alimentos [Internet], Granada, URL: <http://www.pulevasalud.com>, consultado en enero de 2016.
5. M. Guillén, A. Ruiz, N. Cabo, R. Chirinos, G. Pascual, Characterization of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil by FTIR spectroscopy and 1H NMR. Comparison with linseed oil, *Journal of the American Oil Chemists Society*, **80**, 755 (2003).
6. F. Garmendia, R. Pando, G. Ronceros, Efecto del aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) sobre el perfil lipídico en pacientes con hiperlipoproteïnemia, *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, **28**, 628 (2011).
7. S. Quispe, M. Saldaña, Microencapsulation of sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil with zein, iCEF 11, International Congress on Engineering and Food (Full Paper Proceedings), Athens (2011).
8. O. López, T. Márquez, O. Mayo, C. Toledo, E. Sanchez, Características del aceite de semillas de *Cucurbita pepo* L. Microencapsulado mediante secado por aspersión con maltodextrina y goma arábica, *Latin American Journal of Pharmacy*, **28**, 628 (2009).

9. M. Cuaspu, Obtención de aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización [Tesis de grado], Facultad de Ingeniería Química y Agroindustrial, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015.
10. S. Hogan, B. McNamee, E. O’Riordan, M. O’Sullivan, Microencapsulating properties of sodium caseinate, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **49**, 1934 (2001).
11. Institute for Nutraceutical Advancement, Method 108.003, Fatty Acid Content in Saw Palmetto by GC [Internet], URL: <http://www.nsf.org/business/ina/fattyacids.asp>, consultado en noviembre de 2015.
12. D. Huntington, The influence of the spray drying process on product properties, *Drying Technology*, **22**, 1261 (2004).
13. D. Castaño, M. Valencia, E. Murillo, J. Méndez, J. Eras, Composición de ácidos grasos de Sachá Inchi (*Plukenetia volubilis* Linneo) y su relación con la bioactividad del vegetal, *Revista Chilena de Nutrición*, **39**, 45 (2012).
14. P. Tamez-Guerra, R. Gómez-Flores, La técnica de secado por aspersión, En: “Procesos Biotecnológicos”, Editado por: J. Galán, M. Wong, P. Santos, R. Tamez, R. Quintero, I. Quintero, Publicaciones UANL (Universidad Autónoma de Nuevo León), San Nicolás de los Garza, México, 2003, p.243.
15. M. Villena, Morales, M. Hernández, L. Gallardo, M. Ruiz, Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos [Internet], URL: <http://digibug.ugr.es/handle/10481/27475#.Vomy2fl97IV>, consultado en enero de 2016.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

A. Pastuña-Pullutasig, O. López-Hernández, A. Debut, A. Vaca, E. Rodríguez-Leyes, R. Vicente, V. Gonzalez *et al.*, Microencapsulación de aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.) mediante secado por aspersión, *Rev. Colomb. Cienc. Quím. Farm.*, **45**(3), 422-437 (2016).