



Microencapsulación por secado por aspersión de aceite de sachá inchi y aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca

Spray-Drying Microencapsulation of Sacha Inchi Oil (Plukenetia volubilis L.) Combined with Essential Oils of Eucalyptus, Lemon, and Basil

Abraham Rodolfo Sánchez Palacios  

Agroindustria SANPI, Ecuador

Jorge Antonio Vargas Escobar  

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Anabel Chariguamán Coello  

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Gabriela Carolina Miranda Villagómez  

Universidad Estatal Amazónica, Ecuador

Resumen

La oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados representa una limitante importante en la estabilidad de los aceites vegetales, ya que su exposición a distintas condiciones ambientales favorece su deterioro. En este contexto, la incorporación de antioxidantes naturales, como los aceites esenciales, y la aplicación de tecnologías de protección, como la microencapsulación, constituyen estrategias prometedoras para preservar su calidad y extender su vida útil. El objetivo de esta investigación fue microencapsular aceite de sachá inchi en combinación con aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca mediante secado por aspersión. Se utilizó una mezcla de maltodextrina, goma arábica y aceite de sachá inchi en proporción 1:1:1, con la incorporación de aceites esenciales en concentraciones de 0,5 %, 0,4 % y 0,5 %, respectivamente, y una temperatura de entrada de 150 °C. La formación de microcápsulas se confirmó mediante espectrofotometría FTIR-ATR. Además, se evaluaron las propiedades físicas de los polvos obtenidos a través de los índices de Carr y Hausner, encontrándose valores mayores de 38 y 1,6, respectivamente, lo que indica baja fluidez y escasa compresibilidad. La capacidad antioxidante se determinó mediante el ensayo DPPH con diluciones 1:200, 1:250 y 1:300, a partir de la dilución de 0,1 g de muestra en 20, 25 y 30 mL de agua destilada, respectivamente. Los resultados permitieron establecer que la formulación compuesta por aceite de sachá inchi y aceite esencial de limón presentó el mejor comportamiento antioxidante en comparación con las demás mezclas, con un índice de Carr de 42,23, un índice de Hausner de 1,42 y una capacidad antioxidante de 326,74 $\mu\text{mol/L}$ equivalentes de Trolox.

Palabras clave: aceite de sachá inchi, aceites esenciales, microencapsulación, secado por aspersión, antioxidantes.

Recibido: 02-03-2026

Aceptado: 10-03-2026

Publicado: 16-03-2026



Abstract

The oxidation of polyunsaturated fatty acids represents a major limitation to the stability of vegetable oils, since their exposure to different environmental conditions promotes deterioration. In this context, the incorporation of natural antioxidants, such as essential oils, and the application of protective technologies, such as microencapsulation, constitute promising strategies to preserve quality and extend shelf life.

The aim of this study was to microencapsulate sacha inchi oil in combination with eucalyptus, lemon, and basil essential oils through spray drying. A mixture of maltodextrin, gum arabic, and sachá inchi oil in a 1:1:1 ratio was used, with the incorporation of essential oils at concentrations of 0.5%, 0.4%, and 0.5%, respectively, and an inlet temperature of 150 °C. The formation of microcapsules was confirmed by FTIR-ATR spectrophotometry. In addition, the physical properties of the resulting powders were evaluated using the Carr and Hausner indices, with values greater than 38 and 1.6, respectively, indicating low flowability and poor compressibility. Antioxidant capacity was determined by the DPPH assay using 1:200, 1:250, and 1:300 dilutions, prepared from 0.1 g of sample in 20, 25, and 30 mL of distilled water, respectively.

The results showed that the formulation composed of sachá inchi oil and lemon essential oil exhibited the best antioxidant performance compared to the other mixtures, with a Carr index of 42.23, a Hausner index of 1.42, and an antioxidant capacity of 326.74 $\mu\text{mol/L}$ Trolox equivalents.

Key Words: sachá inchi oil, essential oils, microencapsulation, spray drying, antioxidants.

Introducción

Los aceites vegetales ricos en ácidos grasos poliinsaturados presentan un elevado valor nutricional y funcional; sin embargo, su estabilidad se encuentra limitada por su alta susceptibilidad a la oxidación. La exposición a factores ambientales como el oxígeno, la luz y la temperatura favorece reacciones de deterioro que afectan sus propiedades fisicoquímicas, reducen su calidad y acortan su vida útil. Esta problemática ha impulsado la búsqueda de estrategias tecnológicas orientadas a preservar la estabilidad de estos compuestos lipídicos y mantener sus atributos funcionales durante el almacenamiento y uso industrial.



Entre los aceites de interés destaca el aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.), reconocido por su importante contenido de ácidos grasos insaturados, especialmente omega 3, omega 6 y omega 9, además de compuestos bioactivos de interés nutricional. Estas características lo convierten en una materia prima promisoría para aplicaciones alimentarias y nutracéuticas; no obstante, su alto grado de insaturación también lo hace particularmente vulnerable a procesos oxidativos, lo que representa una limitación para su conservación y aprovechamiento tecnológico.



Figura 1. Fruto, semilla y aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

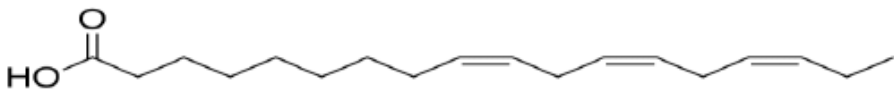

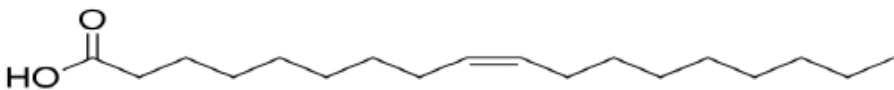
En este contexto, la microencapsulación se ha consolidado como una alternativa tecnológica eficaz para proteger compuestos sensibles frente a agentes externos. Esta técnica consiste en recubrir o atrapar un material activo dentro de una matriz encapsulante, con el propósito de mejorar su estabilidad, facilitar su manipulación y favorecer su liberación controlada. Entre los métodos de microencapsulación, el secado por aspersión destaca por su versatilidad, eficiencia, rapidez y amplia aplicación a nivel industrial, especialmente en la obtención de polvos a partir de aceites y extractos bioactivos.

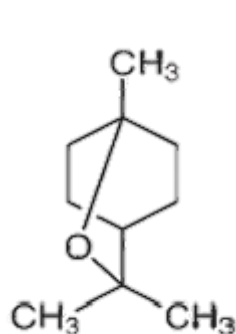
La efectividad de la microencapsulación depende, en gran medida, de la formulación de la emulsión y del material de pared utilizado. En este sentido, compuestos como la maltodextrina y la goma arábiga han mostrado un desempeño favorable como agentes encapsulantes debido a su capacidad para estabilizar emulsiones, proteger sustancias termolábiles y contribuir a la formación de partículas secas con propiedades funcionales adecuadas. Por ello, su empleo en sistemas que contienen aceites ricos en compuestos



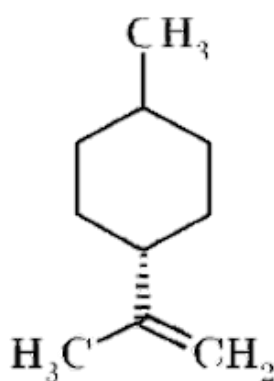
insaturados representa una opción de interés para mejorar la conservación de estos productos.

De manera complementaria, los aceites esenciales han despertado creciente atención como antioxidantes naturales por su contenido de compuestos volátiles bioactivos con capacidad para inhibir o retardar procesos de oxidación. En particular, los aceites esenciales de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.), limón (*Citrus limon*) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.) contienen metabolitos relevantes que podrían contribuir a mejorar la estabilidad oxidativa del aceite de sachu inchi cuando se incorporan en una formulación microencapsulada. La combinación de estos aceites esenciales con el aceite base no solo aporta un enfoque natural de protección antioxidante, sino que también amplía las posibilidades de desarrollo de ingredientes funcionales con mayor valor agregado.

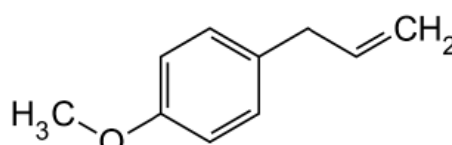
	Ácido linolénico
	Ácido linoleico
	Ácido oleico



1,8-cineol



L-Limoneno



estragol



Figura 2. Estructuras moleculares de compuestos relevantes presentes en el aceite de sachá inchi y en los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca

La caracterización de los microencapsulados obtenidos resulta esencial para verificar la eficiencia del proceso y determinar su potencial aplicación. En este sentido, técnicas analíticas como la espectrofotometría FTIR-ATR permiten confirmar la formación de microcápsulas e identificar interacciones entre sus componentes, mientras que parámetros como los índices de Carr y Hausner proporcionan información sobre la compresibilidad y fluidez de los polvos obtenidos. Asimismo, la evaluación de la capacidad antioxidante mediante ensayos como DPPH permite estimar el efecto funcional de las formulaciones desarrolladas.

A pesar del interés creciente en la microencapsulación de aceites vegetales y en el uso de antioxidantes naturales, aún es necesario profundizar en el estudio de formulaciones que integren aceite de sachá inchi con aceites esenciales y que sean obtenidas mediante secado por aspersión. En ese marco, el presente estudio tuvo como objetivo microencapsular aceite de sachá inchi en combinación con aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca mediante secado por aspersión, así como evaluar la formación de las microcápsulas, sus propiedades físicas y su capacidad antioxidante.

Metodología

Materiales

Se utilizaron aceite de sachá inchi, aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca, goma arábiga, maltodextrina, etanol al 96 %, metanol al 99 %, DPPH y Trolox. Los principales equipos empleados fueron un secador por aspersión Büchi Mini Spray Dryer B-290, un espectrofotómetro FTIR-ATR, una balanza analítica y una balanza de humedad.

Preparación de la emulsión y microencapsulación



La microencapsulación se llevó a cabo mediante secado por aspersión. Como material de pared se empleó una mezcla de goma arábica y maltodextrina en proporción 1:1. La fase lipídica estuvo conformada por aceite de sacha inchi y aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca, incorporados en concentraciones de 0,5 %, 0,4 % y 0,5 %, respectivamente.

Para la preparación de la emulsión, la mezcla de polímeros se dispersó gradualmente en agua mediante homogeneización a alta velocidad hasta obtener una fase continua uniforme. Posteriormente, se adicionó la fase oleosa y se continuó la homogeneización hasta formar una emulsión estable. Esta fue alimentada al secador por aspersión, operando a una temperatura de entrada de 150 °C y una temperatura de salida de 90 °C. El polvo obtenido se recolectó y almacenó en envases herméticos protegidos de la humedad.

Caracterización por FTIR-ATR

La verificación de la microencapsulación se realizó mediante espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier y reflectancia total atenuada (FTIR-ATR). Se analizaron la mezcla encapsulante, las formulaciones de aceite de sacha inchi combinadas con cada aceite esencial y los microencapsulados resultantes. Los espectros se registraron en el intervalo de 550 a 4000 cm^{-1} , con el fin de identificar bandas características y posibles interacciones entre el núcleo y el material de pared.

Determinación de propiedades físicas

La fluidez y compresibilidad de los microencapsulados se evaluaron mediante los índices de Hausner y Carr. Para ello, se colocaron 3 g de muestra en una probeta graduada y se registró el volumen inicial (V_0). Posteriormente, la probeta fue sometida a 250 golpes hasta obtener el volumen final (V_f). A partir de estos datos se calcularon la densidad aparente (ρ_a) y la densidad compactada (ρ_c) mediante las ecuaciones:

$$\rho_a = \frac{m}{V_0} \qquad \rho_c = \frac{m}{V_f}$$



donde m corresponde a la masa de la muestra.

El índice de Hausner se calculó de acuerdo con la ecuación:

$$IH = \frac{\rho_c}{\rho_a}$$

mientras que el índice de Carr se determinó mediante:

$$Ic = \frac{Pc - Pa}{Pc} * 100$$

Estos parámetros permitieron estimar la capacidad de flujo y la compresibilidad de los polvos microencapsulados.

2.5. Determinación de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se determinó mediante el ensayo del radical libre DPPH. Se preparó una curva de calibración con Trolox en diferentes concentraciones y una solución de DPPH en mezcla metanol-agua. Las muestras microencapsuladas se evaluaron en diluciones 1:200, 1:250 y 1:300, preparadas a partir de 0,1 g de muestra en 20, 25 y 30 mL de agua destilada, respectivamente.

Para el análisis, se mezclaron alícuotas de cada muestra con la solución de DPPH en microplacas de 96 pozos. Se incluyó un blanco, un control y las muestras problema, y todas las determinaciones se realizaron por triplicado. La absorbancia se registró a 517 nm. El porcentaje de inhibición se calculó mediante la ecuación:

$$\%Inhibicion = \frac{Ac - Am}{Ac} * 100$$



donde A_c es la absorbancia del control y A_m la absorbancia de la muestra. La capacidad antioxidante se expresó como μmol equivalentes de Trolox por gramo de muestra, a partir de la curva de calibración.

Análisis estadístico

Los resultados se procesaron mediante software estadístico y analítico. Los valores de las propiedades físicas y de la capacidad antioxidante se expresaron como promedios de las determinaciones experimentales realizadas.

Resultados del análisis

Verificación de la microencapsulación mediante FTIR-ATR

Los espectros FTIR-ATR del aceite de sachá inchi, los aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca, así como de sus mezclas y microencapsulados, permitieron identificar los grupos funcionales característicos de cada sistema y verificar la efectividad del proceso de microencapsulación. En el aceite de sachá inchi se observó una banda intensa alrededor de $1742,88 \text{ cm}^{-1}$, atribuida al estiramiento del grupo carbonilo (C=O), característico de los ácidos grasos presentes en aceites ricos en compuestos insaturados. Asimismo, se registraron señales entre 3004 y $2917,64 \text{ cm}^{-1}$, relacionadas con vibraciones de enlaces C=CH y C-H propios de estructuras lipídicas.

En los aceites esenciales, se identificaron bandas características asociadas a sus principales compuestos bioactivos. En el aceite esencial de eucalipto destacó la señal en $984,61 \text{ cm}^{-1}$, atribuida al grupo éter característico del 1,8-cineol. En el aceite esencial de limón, la banda más relevante se localizó en $886,07 \text{ cm}^{-1}$, correspondiente al monoalqueno sustituido característico del D-limoneno. Por su parte, en el aceite esencial de albahaca se observó una señal en $918,32 \text{ cm}^{-1}$, asociada al grupo éter del estragol.

En las mezclas previas al secado por aspersion se conservaron las bandas principales tanto del aceite de sachá inchi como de los aceites esenciales, aunque con ligeras variaciones en intensidad. Después del proceso de microencapsulación, los espectros de los polvos obtenidos mostraron una disminución o atenuación de varias de estas señales, mientras que la mezcla polimérica no presentó las bandas específicas de los



compuestos oleosos. Este comportamiento sugiere que los compuestos activos quedaron recubiertos por la matriz encapsulante, evidenciando la formación efectiva de microcápsulas.

Tabla 1. Principales bandas FTIR-ATR identificadas en los sistemas evaluados

Muestra	Número de onda (cm ⁻¹)	Asignación principal	Interpretación
Aceite de sacha inchi	1742,88	Estiramiento C=O	Presencia de ácidos grasos
Aceite de sacha inchi	3004; 2964,70; 2917,64	C=CH y C-H	Estructuras lipídicas insaturadas
Aceite esencial de eucalipto	984,61	Grupo éter	Presencia de 1,8-cineol
Aceite esencial de limón	886,07	Monoalqueno sustituido	Presencia de D-limoneno
Aceite esencial de albahaca	918,32	Grupo éter	Presencia de estragol
Microencapsulados	Bandas atenuadas	Señales reducidas del núcleo	Evidencia de recubrimiento por la matriz

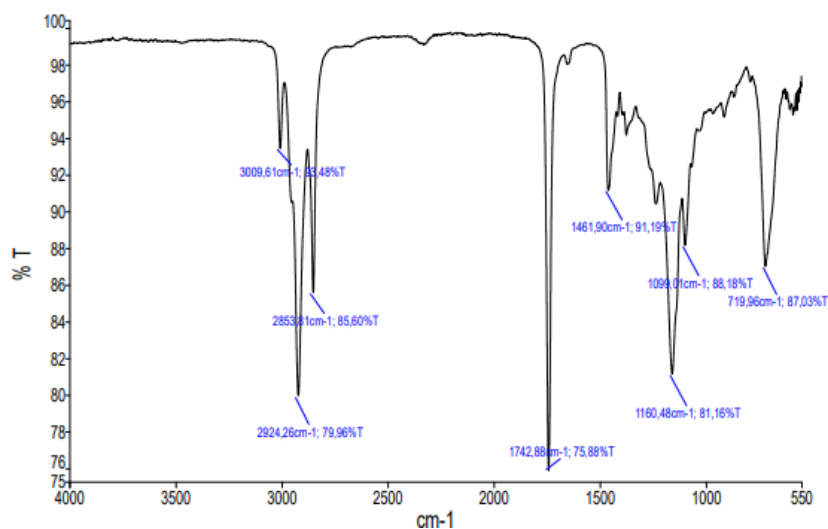




Figura 3. Espectro FTIR-ATR del aceite fijo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.)

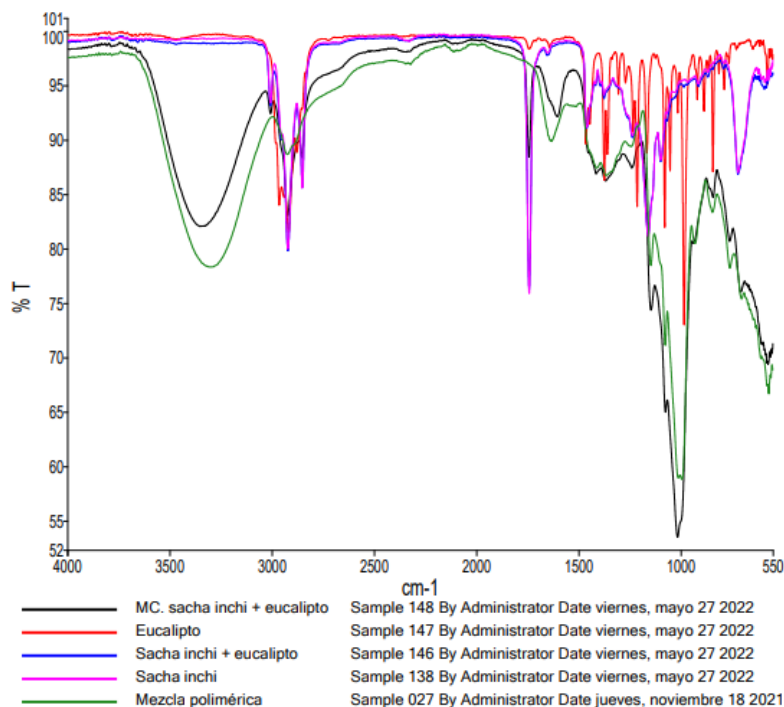


Figura 4. Espectros FTIR-ATR superpuestos del aceite de sachá inchi, aceite esencial, mezcla polimérica y microencapsulados

Propiedades físicas de los microencapsulados: índices de Carr y Hausner

La evaluación de la fluidez y compresibilidad mostró que las tres formulaciones presentaron valores altos en los índices de Carr y Hausner, lo que indica un comportamiento físico desfavorable en términos de manejo del polvo. En el caso del índice de Carr, el análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0,1678$); sin embargo, la comparación de medias evidenció que la mezcla de aceite de sachá inchi con aceite esencial de limón presentó el mejor desempeño relativo.

La formulación con limón registró un **índice de Carr de 42,23 %**, mientras que las mezclas con eucalipto y albahaca alcanzaron valores de **58,45 %** y **69,53 %**, respectivamente. Aunque el tratamiento con limón mostró el valor más bajo entre las formulaciones evaluadas, todos los resultados se ubicaron en rangos considerados



pobres o extremadamente pobres, lo que sugiere una elevada cohesión entre partículas y baja compresibilidad.

De manera similar, en el índice de Hausner tampoco se observaron diferencias significativas ($p = 0,1678$); no obstante, la mezcla con aceite esencial de limón volvió a mostrar la mejor tendencia, con un valor de **1,42**, frente a **1,60** para eucalipto y **1,69** para albahaca. Estos resultados confirman que, si bien ninguna formulación presentó propiedades físicas óptimas, la combinación con limón exhibió el comportamiento más favorable.

La baja fluidez y compresibilidad observadas pueden explicarse por la naturaleza oleosa de las formulaciones, que favorece la cohesión entre partículas. Además, la temperatura de entrada utilizada durante el secado por aspersión pudo influir en el incremento de estos índices, afectando negativamente las propiedades de flujo del polvo final.

Tabla 2. Índices de Carr y Hausner de los microencapsulados obtenidos

Formulación	Índice de Carr (%)	Interpretación	Índice de Hausner	Interpretación
Sacha inchi + eucalipto	58,45	Extremadamente pobre	1,60	Muy mala fluidez
Sacha inchi + limón	42,23	Muy pobre	1,42	Mala fluidez, mejor desempeño relativo
Sacha inchi + albahaca	69,53	Extremadamente pobre	1,69	Muy mala fluidez

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza para los índices físicos



Variable	F	p-valor	Interpretación
Índice de Carr	2,44	0,1678	No hubo diferencias significativas
Índice de Hausner	2,44	0,1678	No hubo diferencias significativas

Gráfico Caja y Bigotes

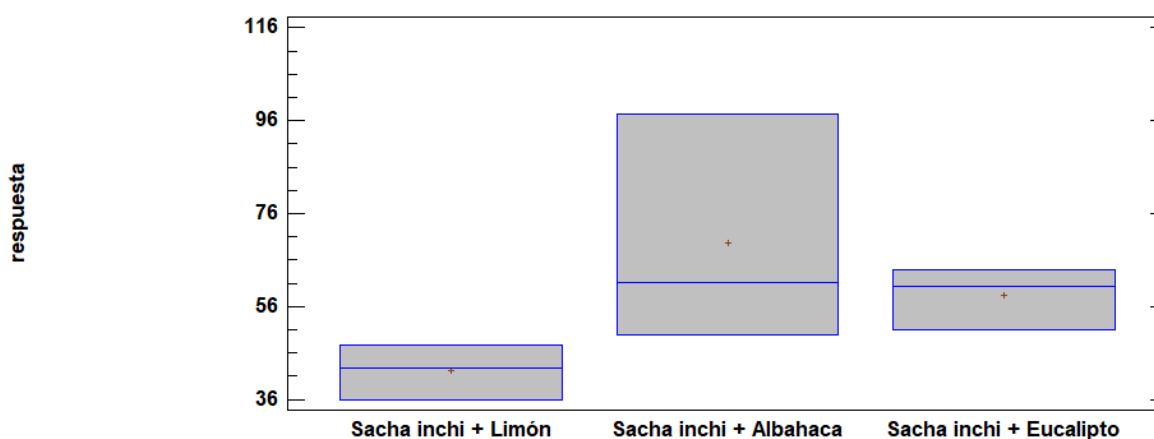


Figura 5. Comparación de los índices de Carr y Hausner de los microencapsulados de aceite de sachá inchi con aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca

Capacidad antioxidante de los microencapsulados

La actividad antioxidante determinada mediante el ensayo DPPH mostró diferencias significativas entre las formulaciones evaluadas. El análisis de varianza indicó un efecto estadísticamente significativo del tipo de mezcla sobre la capacidad antioxidante ($p = 0,0000$), lo que demuestra que el aceite esencial incorporado influyó de manera importante en la respuesta antioxidante del sistema microencapsulado.

Los mayores valores de actividad antioxidante se registraron en la dilución 1:200. En esta condición, la formulación compuesta por aceite de sachá inchi y aceite esencial de limón presentó el valor más alto, con $326,74 \mu\text{mol L}^{-1}$ equivalentes de Trolox, seguida por la mezcla con albahaca ($306,74 \mu\text{mol L}^{-1}$) y por la formulación con eucalipto ($262,63 \mu\text{mol L}^{-1}$). Estos resultados evidencian que todas las mezclas presentaron capacidad



antioxidante, aunque con marcada superioridad de la combinación con aceite esencial de limón.

El mejor comportamiento antioxidante de esta formulación podría estar asociado al D-limoneno, compuesto predominante en el aceite esencial de limón, cuya estructura favorecería la donación de hidrógeno o electrones durante la neutralización del radical DPPH. En contraste, los compuestos predominantes en los aceites esenciales de eucalipto y albahaca presentan estructuras que podrían limitar comparativamente este mecanismo, lo que explicaría la menor capacidad antioxidante observada.

Tabla 4. Capacidad antioxidante de los microencapsulados determinada por DPPH

Formulación	Dilución evaluada	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol L}^{-1}$ equivalentes de Trolox)	Desempeño
Sacha inchi + eucalipto	1:200	262,63	Menor actividad antioxidante
Sacha inchi + limón	1:200	326,74	Mayor actividad antioxidante
Sacha inchi + albahaca	1:200	306,74	Actividad intermedia

Tabla 5. Resultado del análisis de varianza para la capacidad antioxidante

Variable	F	p-valor	Interpretación
Capacidad antioxidante (DPPH)	928,49	0,0000	Hubo diferencias significativas entre formulaciones

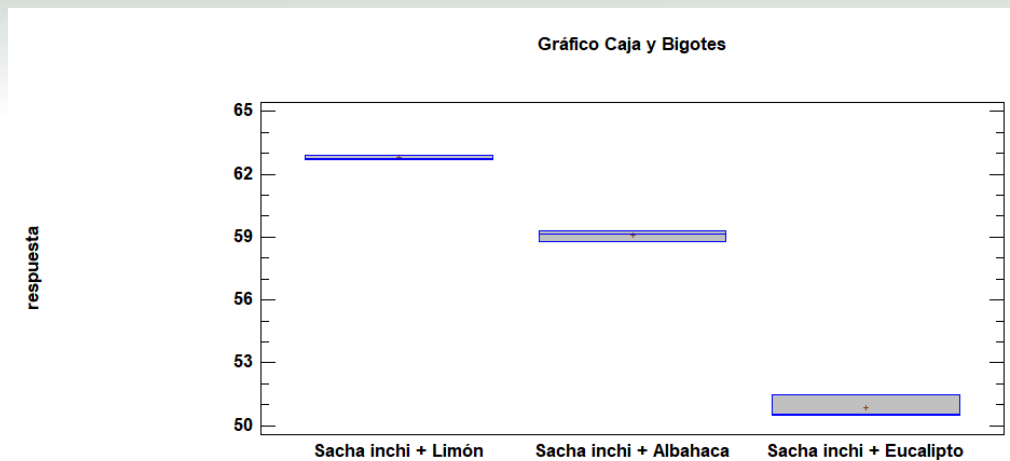


Figura 6. Capacidad antioxidante de los microencapsulados de aceite de sachá inchi con aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca determinada por el método DPPH

Discusión

Los resultados obtenidos mediante FTIR-ATR respaldan la formación de los microencapsulados, ya que la atenuación de las bandas características de los compuestos oleosos después del secado por aspersión sugiere su recubrimiento por la matriz de maltodextrina y goma arábica. Este comportamiento coincide con lo descrito para sistemas microencapsulados en los que la matriz polimérica actúa como barrera protectora del núcleo lipídico, favoreciendo su estabilidad frente a factores ambientales (Bringas et al., 2012). Además, el perfil espectral del aceite de sachá inchi y de los aceites esenciales evaluados fue consistente con la presencia de compuestos insaturados y metabolitos volátiles previamente reportados en la literatura (Pullutasig, López, Debut y Vaca, 2016; Rodríguez et al., 1998; Anuradha et al., 2014; Mondragón, 2020; Fernández et al., 2019).

En cuanto a las propiedades físicas, aunque no se detectaron diferencias estadísticas significativas entre formulaciones, los valores de los índices de Carr y Hausner indican que los polvos obtenidos presentaron baja fluidez y alta cohesividad. Este comportamiento puede atribuirse a la naturaleza lipídica de las formulaciones, ya que este tipo de sistemas tiende a generar partículas con mayor adhesividad y menor capacidad de flujo, como ha sido señalado por Baranauskaitė et al. (2017). Asimismo, es posible que las condiciones de secado, especialmente la temperatura de entrada, hayan influido en la estructura de las partículas y, en consecuencia, en sus propiedades



tecnológicas, en concordancia con lo reportado por Pugliese et al. (2017). Por ello, aunque el proceso fue efectivo para encapsular, aún sería necesario optimizar la formulación o las condiciones operativas para mejorar el comportamiento físico del polvo.

Respecto a la capacidad antioxidante, la superioridad de la formulación con aceite esencial de limón sugiere que la composición química del aceite esencial incorporado desempeña un papel determinante en la respuesta antioxidante del sistema. Este resultado concuerda con el fundamento del método DPPH, basado en la capacidad de ciertos compuestos para donar hidrógeno o electrones y estabilizar radicales libres (Bobo-García et al., 2015; Guija et al., 2015). En este sentido, el mejor desempeño de la mezcla con limón podría estar asociado al predominio de D-limoneno, mientras que las diferencias observadas frente a eucalipto y albahaca responderían a la distinta naturaleza de sus compuestos mayoritarios, tal como señalan Torrenegra et al. (2019) y Fernández et al. (2019). Además, los valores alcanzados por la formulación con limón se encuentran dentro de rangos reportados para aceites esenciales cítricos con actividad antioxidante relevante (Benoudjit, Maameri y Ouared, 2020).

Conclusiones

La microencapsulación por secado por aspersion del aceite de sachá inchi en combinación con aceites esenciales de eucalipto, limón y albahaca fue efectiva, lo cual se corroboró mediante el análisis FTIR-ATR. La atenuación de las bandas características de los compuestos oleosos en los microencapsulados evidenció su recubrimiento por la matriz polimérica de maltodextrina y goma arábiga, confirmando la eficiencia del proceso de encapsulación.

La evaluación de las propiedades físicas mostró que los microencapsulados presentaron baja fluidez y compresibilidad desfavorable. Las formulaciones con aceites esenciales de eucalipto y albahaca mostraron un comportamiento extremadamente deficiente, mientras que la combinación con aceite esencial de limón presentó el mejor desempeño relativo, con un índice de Hausner de 1,42 y un índice de Carr de 42,23, aunque estos valores aún corresponden a una calidad física limitada.



En cuanto a la capacidad antioxidante, la formulación compuesta por aceite de sachá inchi y aceite esencial de limón presentó el mayor valor, con $326,74 \mu\text{mol L}^{-1}$ equivalentes de Trolox, superando a las demás mezclas evaluadas. En conjunto, estos resultados permiten concluir que la combinación con aceite esencial de limón constituye la alternativa más prometedora entre las formulaciones estudiadas, debido a su mejor comportamiento físico relativo y a su mayor actividad antioxidante.

Agradecimientos

La autora expresa su agradecimiento a la Universidad Técnica de Ambato, por la formación académica brindada y el respaldo institucional durante el desarrollo de esta investigación. Asimismo, agradece de manera especial a Luis Jiménez por su valioso apoyo y acompañamiento en el proceso de publicación del presente artículo.

Declaraciones

Este manuscrito corresponde a una adaptación de un trabajo académico elaborado en el tercer nivel de formación. Para su preparación se empleó inteligencia artificial únicamente como herramienta de apoyo en la organización de la información y en la revisión de la redacción del texto. La autora mantuvo el control íntegro del contenido, así como de su análisis, interpretación y versión final.

Referencias

- Baranauskaitė, J., Ivanauskas, L., Masteikova, R., Kopustinskiene, D., Baranauskas, A., & Bernatoniene, J. (2017). Formulation and characterization of Turkish oregano microcapsules prepared by spray-drying technology. *Pharmaceutical Development and Technology*, 22(6), 792–803. <https://doi.org/10.1080/10837450.2016.1189934>
- Benoudjit, F., Maameri, L., & Ouared, K. (2020). Evaluation of the quality and composition of lemon (*Citrus limon*) peel essential oil from an Algerian fruit juice industry. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 6(4), 1575–1581.
- Bobo-García, G., Davidov-Pardo, C., Arroqui, C., Vírseda, P., Marín-Arroyo, M., & Navarro, M. (2015). Intralaboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity in polyphenolic extracts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 204–209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6706>



- Boom, E., Orozco, J., Alean, J., & Rojano, B. (2018). Evaluation of antioxidant activity of eucalyptus essential oils grown in Colombia. *Información Tecnológica*, 29(6), 57–66. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000600057>
- Bringas-Lantigua, M., Valdés, D., & Pino, J. (2012). Influence of spray-dryer air temperatures on encapsulated lime essential oil. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(7), 1511–1517. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02999.x>
- Fanali, C. (2011). Chemical characterization of sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(3), 13045–13048. <https://doi.org/10.1021/jf203184y>
- Fernández, J. S., de Souza, E. L., Oliveira, J. R., Alves, A. C., Kotzebue, L. R., da Silva, D. L., & Tejo, M. (2020). Microencapsulation of sweet orange essential oil using maltodextrin and gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 143, 991–999. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.160>
- Flores, C., Pérez, J., & Minor, H. (2017). Mechanisms of lipid oxidation in food emulsions and use of plant-derived antioxidants for their control. *TecnoCultura*, 10(3), 17–30.
- Guija-Poma, E., Inocente-Camones, M., Ponce-Pardo, J., & Zarzosa-Norabuena, E. (2015). Evaluación de la técnica 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) para determinar capacidad antioxidante. *Horizonte Médico*, 15(1), 57–60. <https://doi.org/10.24265/horizmed.2015.v15n1.08>
- Pastuña-Pullutasig, A., López-Hernández, O., Debut, A., Vaca, A., Rodríguez-Leyes, E., Vicente, R., González, V., & Tapia-Hernández, F. (2016). Microencapsulation of sacha inchi oil (*Plukenetia volubilis* L.) by spray drying. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 422–437. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62029>
- Pugliese, A., Cabassi, G., Chiavaro, E., Paciulli, M., Carini, E., & Mucchetti, G. (2017). Physical characterization of whole and skim dried milk powders. *Journal of Food Science and Technology*, 54(11), 3433–3442. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2795-1>
- Razola, M. C., Guerra, E. J., García, B., & Verardo, V. (2021). Recent developments in extraction and encapsulation techniques of orange essential oil. *Food Chemistry*, 354. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129575>
- Torrenegra-Alarcón, M., Granados-Conde, C., Durán-Lengua, M., León-Méndez, G., Yáñez-Rueda, X., Martínez, C., & Pájaro-Castro, N. (2016). Chemical composition and antibacterial activity of essential oils.
- Yáñez, J., Porras, J., Alamilla, L., & Palacios, E. (2018). Chemical components distribution and morphology of microcapsules of paprika oleoresin by microscopy and spectroscopy. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.005>