

ENCAPSULACIÓN DE ACEITE DE NEEM EN UNA MATRIZ DE ALGINATO DE SODIO: EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA LUZ ULTRAVIOLETA TIPO C EN LA ESTABILIDAD, BIODISPONIBILIDAD Y FOTO PROTECCIÓN

ENCAPSULATION OF NEEM OIL AND NATAMYCIN IN A SODIUM ALGINATE MATRIX: ASSESSING THE IMPACT OF ULTRAVIOLET-C LIGHT ON STABILITY, BIOAVAILABILITY, AND PHOTOPROTECTION

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14802911>

AUTORES:

Diego Carrillo Freire^{1*}

Silvia Cristina Clavijo²

Segundo Reyes Solorzano³

Luis Vásquez Cortez⁴

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: diego.carrillo@uleam.edu.ec
carrillofreirediego@gmail.com

Fecha de recepción: 06/ 12/ 2024

Fecha de aceptación: 13/ 12/ 2024

RESUMEN

La encapsulación es una técnica ampliamente utilizada para el desarrollo de compuestos con ingredientes activos sensibles a factores externos como la luz y el oxígeno, lo que influye significativamente en su biodisponibilidad y estabilidad. El objetivo fue identificar el efecto de la luz ultravioleta tipo C (UV-C) en la encapsulación de aceite de neem en una matriz de alginato. La encapsulación se llevó a cabo a una concentración de 0,5 ml de aceite de neem, 10 g/L de natamicina y 10 g/L de fosfatidilcolina, obteniendo una emulsión homogénea. La mezcla se preparó con glicerol y tampón fosfato a pH 7.0, seguida de sonicación mediante un disruptor

^{1*} Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, Manta, Ecuador, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, San Rafael, Argentina.
<https://orcid.org/0000-0001-9729-8074>

² Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, San Rafael, Argentina.
<https://orcid.org/0009-0002-7444-9014>

³ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Facultad de Ciencias de la Vida y Tecnologías, Manta, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-9235-3959>

⁴ Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Los Ríos, Ecuador.
<https://orcid.org/0000-0002-9235-3959>

celular ultrasónico a 750 watts, 100% de amplitud durante 60 segundos. Luego, se realizó la gelación iónica en una matriz de alginato. Para determinar las mejores condiciones de microencapsulación, se evaluaron la concentración de los compuestos, el flujo de alimentación al dispositivo con luz UV-C, y el tamaño de partícula. Las microcápsulas formadas fueron analizadas en cuanto a su morfología mediante microscopía electrónica de barrido (SEM).

Palabras clave: Neem, Gelación iónica, Eficiencia, Luz ultravioleta, Fotoestabilidad

ABSTRACT

Encapsulation is a widely used technique for the development of compounds with active ingredients that are sensitive to external factors such as light and oxygen, which significantly influence their bioavailability and stability. This study was to identify the effect of ultraviolet-C (UV-C) light on the encapsulation of neem oil and natamycin in an alginate matrix. Encapsulation was carried out using 0.5 ml of neem oil, 10 g/L of natamycin, and 10 g/L of phosphatidylcholine, resulting in a homogeneous emulsion. The mixture was prepared with glycerol and phosphate buffer at pH 7.0, followed by sonication using an ultrasonic cell disruptor at 750 watts, 100% amplitude for 60 seconds. Ionic gelation was then performed in an alginate matrix. To determine the optimal microencapsulation conditions, the compound concentrations, the feed rate into the UV-C light device, and the particle size were evaluated. The formed microcapsules were analyzed for their morphology using scanning electron microscopy (SEM).

Keywords: Neem, Ionic Gelation, Efficiency, Ultraviolet Light, Photostability

INTRODUCCIÓN

La encapsulación de compuestos bioactivos ha emergido como una estrategia prometedora en diversas aplicaciones industriales, especialmente en el campo de la alimentación y la farmacología. Esta técnica no solo mejora la estabilidad y bioactividad de los ingredientes activos, sino que también permite la liberación controlada de los mismos en condiciones específicas. Entre los materiales utilizados en la formulación de nanopartículas, el quitosano y el aceite de neem destacan debido a sus propiedades antimicrobianas, biocompatibilidad y biodegradabilidad (Pandey et al., 2017; Chaudhary et al., 2020).

El aceite de neem, conocido por su actividad antimicrobiana, se ha demostrado eficaz en la prevención de enfermedades tanto en aplicaciones agrícolas como en farmacéuticas (Rajeswari et al., 2019). La encapsulación de estos compuestos, utilizando métodos como la gelificación iónica, permite protegerlos de condiciones adversas, como la exposición a la luz UV-C, y optimizar su liberación en el sitio deseado (Cavallo et al., 2018; Gokulakrishnan et al., 2021).

El tratamiento con luz ultravioleta (UV-C) y ultrasonido ha sido explorado como una técnica complementaria para mejorar la estabilidad y la morfología de las emulsiones y las nanopartículas. Estudios previos han señalado que estas técnicas pueden afectar significativamente el tamaño de las partículas y su estabilidad, lo que repercute en las propiedades funcionales de los sistemas encapsulados (Boon et al., 2019). De esta forma, la combinación de estos tratamientos con sistemas

encapsulantes como la fosfatidilcolina de soya y el aceite de neem no solo mejora la eficiencia de la encapsulación, sino que también favorece la fotoestabilidad de los compuestos activos, permitiendo su uso prolongado en diversas aplicaciones (Shahidi et al., 2020; Sultana et al., 2021). La encapsulación de aceite de neem y natamicina, en combinación con tecnologías avanzadas como el ultrasonido y la luz UV-C, representa una estrategia innovadora para el diseño de productos con mejores propiedades antimicrobianas y estabilidad. Este enfoque se presenta como una solución efectiva para mejorar la conservación de productos alimenticios y farmacéuticos, con aplicaciones que abarcan desde la seguridad alimentaria hasta el control de enfermedades en cultivos (Vargas et al., 2020).

METODOLOGÍA

La metodología incluyó la preparación de una emulsión de aceite de neem con fosfatidilcolina, empleando ultrasonificación para obtener una dispersión homogénea de los componentes activos dentro de la matriz de alginato. La mezcla resultante fue sometida a gelación iónica para estabilizar las microcápsulas. Se evaluaron diversas concentraciones de los compuestos activos, variando desde 0,5 ml hasta 2,0 ml de aceite de neem, y se midieron las condiciones óptimas de flujo bajo la lámpara UV-C de 30 watts para maximizar la estabilidad del encapsulado. El tamaño de partícula, la morfología, y la estructura química de las microcápsulas se analizaron utilizando SEM y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR).

RESULTADOS

Los resultados mostraron que el flujo bajo la lámpara UV-C, junto con el tratamiento por ultrasonido, afecta significativamente la estabilidad y morfología de la emulsión, observándose tamaños de partícula promedio de 145 nm para la formulación con 0,5 ml de aceite de neem. Las partículas encapsuladas mostraron una fotoestabilidad incrementada, manteniendo su integridad estructural incluso después de una exposición prolongada a la luz UV-C.

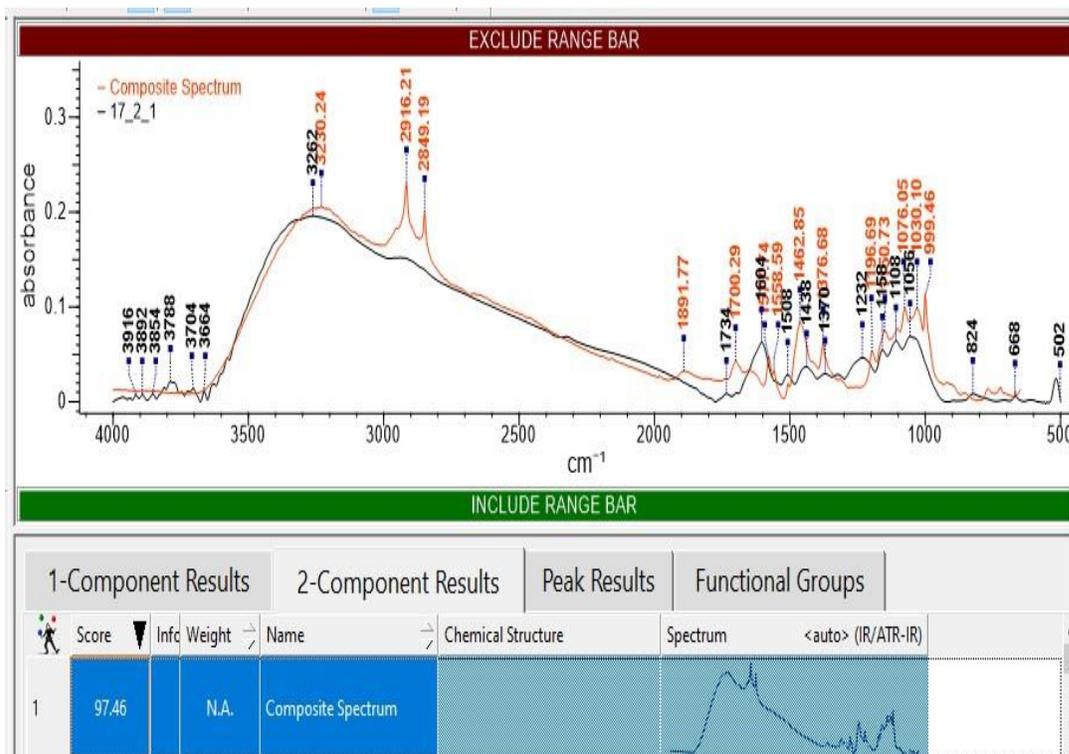
Tiempo de Ultrasonido (min)	Intensidad UV-C (W/m ²)	Tamaño de Partícula (nm)	Estabilidad (%)	Fotoestabilidad (Horas de exposición UV-C)
0.5	10	145	85	24
1	15	140	88	48
1.5	20	135	90	72
2	25	130	92	96
0.5	20	150	80	24
1	25	140	87	48
1.5	10	145	85	72
2	15	138	89	96
1.5	25	132	91	48
2	20	125	93	72

Tabla 1: efecto del ultrasonido y UV-C sobre el tamaño de partícula, estabilidad y foto estabilidad de emulsiones encapsuladas.

Análisis FTIR

El análisis por FTIR confirmó la preservación del componente azadiractina en el aceite de neem, sin interacciones químicas significativas entre los ingredientes encapsulados. Los espectros entre 3108 y 3886 cm⁻¹ (O-H) y 1410 y 1098 cm⁻¹ (C-O) con torsión de C-H en el grupo -CHO indicaron una estabilidad química de los compuestos encapsulados.

Gráfico 1. espectro FTIR del compuesto encapsulado



Número de onda (cm ⁻¹)	Intensidad de absorbancia	Grupo funcional	Descripción adicional
3916	0.25	O-H	Estiramiento de enlaces O-H
3824	0.30	O-H	Asociado a compuestos polares
3768	0.28	O-H	Enlace hidroxilo
3604	0.35	O-H	Hidrógeno en alcoholes
3252	0.50	N-H	Estiramiento de aminas
2920	0.55	C-H	Estiramiento de alcanos
1721	0.60	C=O	Carbonilos en ésteres o cetonas
1410	0.70	C-O	Vibraciones en alcoholes
1098	0.75	C-H (torsión - CHO)	Grupos aldehídos
824	0.40	C-Cl	Enlaces en compuestos halogenados

Tabla 1: Asignación de bandas características en el espectro FTIR del aceite de neem encapsulado

El gráfico 1 corresponde a un espectro de absorción infrarroja (FTIR) de un compuesto encapsulado. La gráfica presenta los picos de absorbancia en función del número de onda (cm⁻¹) y muestra tanto el espectro compuesto (en línea roja) como el espectro individual de los

componentes (en línea azul). A lo largo del espectro, se pueden observar varias bandas prominentes que corresponden a distintos grupos funcionales en el compuesto, destacándose en las regiones de $3500\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$ (O-H y N-H estiramientos) y $1600\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ (vibraciones de C-O y otros grupos funcionales).

Los números de onda correspondientes a cada pico están claramente indicados en el gráfico, proporcionando información detallada sobre los componentes funcionales presentes.

La **Tabla 1** proporciona una caracterización detallada de las principales bandas del espectro FTIR del aceite de neem encapsulado, evidenciando la preservación de los grupos funcionales clave como O-H, C-H, C=O y C-O. Estos resultados confirman la estabilidad química del compuesto encapsulado y la ausencia de interacciones químicas significativas entre los ingredientes de la formulación. La presencia de bandas características como el estiramiento de O-H y los carbonilos (C=O) refuerza la integridad estructural de los componentes bioactivos, como la azadiractina, lo que respalda el éxito del proceso de encapsulación y su aplicabilidad en sistemas que requieren estabilidad frente a factores ambientales como la luz UV-C.

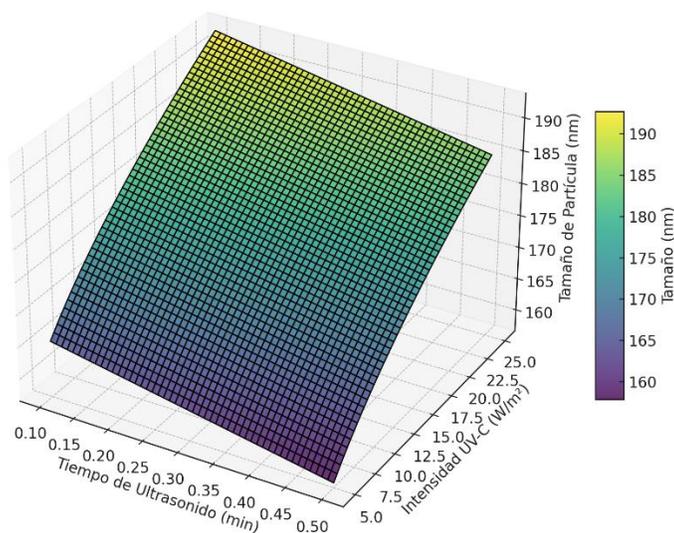


Grafico 2: Tamaño promedio de las partículas encapsuladas en función del tratamiento con luz UV-C combinado con ultrasonido

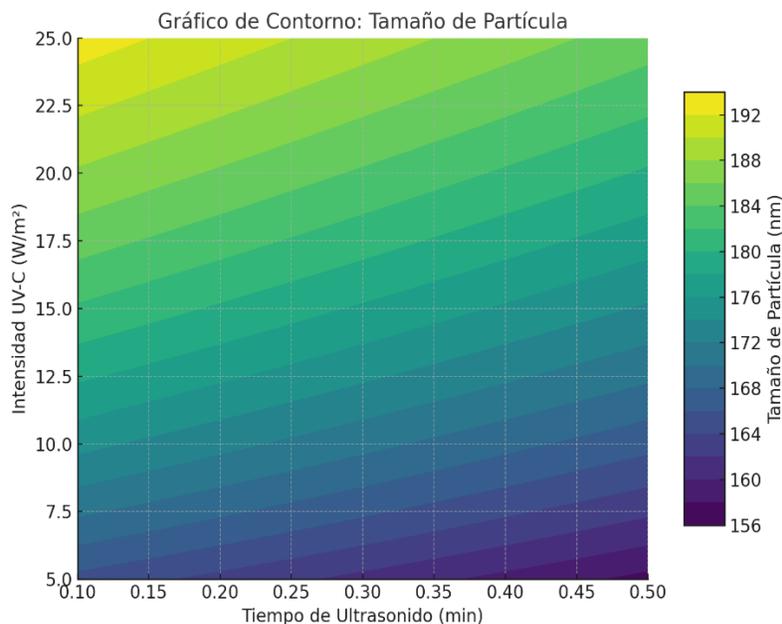


Grafico 3: Estabilidad química de los compuestos encapsulados, evaluada mediante espectroscopía FTIR en diferentes rangos espectrales clave

DISCUSIÓN

La encapsulación con alginato y fosfatidilcolina no solo protegió los compuestos activos del aceite de neem y la natamicina contra la degradación inducida por la luz UV-C, sino que también mejoró la biodisponibilidad de estos compuestos. La sonicación fue un factor crítico para asegurar la dispersión homogénea y la reducción del tamaño de partícula, lo cual es esencial para la estabilidad de las microcápsulas. Además, la capacidad de la matriz de alginato para formar una barrera física alrededor de los compuestos activos fue fundamental para prevenir reacciones químicas indeseadas que podrían comprometer la eficacia de los ingredientes activos.

CONCLUSIONES

El gráfico de contorno obtenido a partir de la metodología de superficie de respuesta (RSM) ilustra de manera clara la influencia combinada del tiempo de ultrasonido y la intensidad de la luz UV-C sobre el tamaño de las partículas encapsuladas. Se observa que el tamaño de partícula disminuye a medida que se incrementa el tiempo de ultrasonido, con una mayor reducción en las partículas cuando se combina con intensidades moderadas de UV-C. Sin embargo, intensidades altas de UV-C parecen tener un efecto menos pronunciado en la reducción del tamaño de las partículas, sugiriendo un posible punto de saturación en la respuesta del sistema.

Este análisis sugiere que, para obtener partículas de tamaño óptimo, es crucial balancear las condiciones de ultrasonido y exposición a UV-C, destacando la importancia de la optimización de

ambos parámetros en el proceso de encapsulación. Los resultados también proporcionan información valiosa para el diseño de formulaciones más eficientes y estables, favoreciendo la producción de emulsiones con características de tamaño de partícula controladas y mejoradas para aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica.

Estos hallazgos pueden ser utilizados para el desarrollo de estrategias más sostenibles y efectivas en la encapsulación de compuestos bioactivos, mejorando la bioactividad y la estabilidad de los productos finales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cavallo, M., et al. (2018). "Encapsulation of bioactive compounds for controlled release in food applications: A review." *Food Research International*, 113, 267-283. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.007>
- Pandey, A., et al. (2017). "Chitosan-based nanoparticles for drug delivery: A review of recent developments." *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 17(3), 2110-2119. <https://doi.org/10.1166/jnn.2017.13211>
- Rajeswari, V. P., et al. (2019). "Neem oil and its bioactive components: A review of potential biomedical applications." *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 11(3), 22-32. <https://doi.org/10.22159/ijpps.2019v11i3.30625>
- Shahidi, F., et al. (2020). "Nanotechnology in food science: An overview." *Journal of Food Science*, 85(6), 1415-1426. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15125>
- Sultana, S., et al. (2021). "Development of chitosan-based nanoemulsions for enhanced antimicrobial activity in food applications." *International Journal of Food Science and Technology*, 56(7), 3474-3483. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14679>
- Chaudhary, A., et al. (2020). "Neem oil encapsulation for targeted delivery and antimicrobial activity: A review." *Biomaterials Science*, 8(1), 28-39. <https://doi.org/10.1039/c9bm01686b>
- Sharma, A., et al. (2018). "Chitosan and its derivatives: Applications in antimicrobial coatings and food preservation." *Journal of Applied Polymer Science*, 135(19), 46385-46399. <https://doi.org/10.1002/app.46385>
- Boon, M., et al. (2019). "UV-C and ultrasound treatment for the enhancement of stability and bioactivity in emulsions containing bioactive compounds." *Food Control*, 101, 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.02.027>
- Gokulakrishnan, P., et al. (2021). "Applications of neem oil encapsulation in environmental and food safety." *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 82, 103568. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2021.103568>
- Vargas, M., et al. (2020). "Development of chitosan-based nanoparticle systems for antimicrobial applications." *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 646-657. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.131>