

# Review of Essential Oil Nanoemulsions and Their Application for Fruit Preservation

Daniel Arizaga Linares<sup>1</sup>; Fanny Blas Rodriguez<sup>1</sup>; Tarsila Tuesta Chavez<sup>2</sup>; Ana María Osorio Anaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GI MATINTEC-FQIQ-Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú, [daniel.arizaga@unmsm.edu.pe](mailto:daniel.arizaga@unmsm.edu.pe),

[fblasr@unmsm.edu.pe](mailto:fblasr@unmsm.edu.pe), [aosorioa@unmsm.edu.pe](mailto:aosorioa@unmsm.edu.pe)

<sup>2</sup>GIA-FIQT-Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, [tarsilat@uni.edu.pe](mailto:tarsilat@uni.edu.pe).

**Abstract**– The study reviews the use of essential oil (EO) nanoemulsions (NEs) as an innovative and sustainable alternative for the postharvest preservation of fruits. It starts from the problem of the high perishability of fruits and the limitations of synthetic preservatives, as well as issues related to food waste. EOs, due to their antimicrobial and antioxidant properties, are promising; however, their direct application is limited by volatility and low solubility. Nanoencapsulation in the form of NEs improves the stability, controlled release, and efficacy of EOs, allowing their incorporation into biodegradable edible coatings. The work compiles and compares recent studies on different essential oils and polymeric matrices, showing that these coatings extend shelf life, maintain quality, and reduce the incidence of postharvest diseases in fruits such as apples, papayas, and strawberries. In addition, information gaps are identified, such as the lack of long-term toxicological studies, formulation optimization, scalability to a sustainable industrial process, and consumer acceptance. The study concludes that EO NEs represents a promising and sustainable alternative, but further research is required for their safe and effective industrial application.

**Keywords**-- Essential oils; nanoemulsions; edible coatings; postharvest preservation.

# Revisión de nanoemulsiones de aceites esenciales y su aplicación para la conservación de frutas

Daniel Arizaga Linares<sup>1</sup> ; Fanny Blas Rodriguez<sup>1</sup> ; Tarsila Tuesta Chavez<sup>2</sup> ; Ana María Osorio Anaya<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>GI MATINTEC-FQIQ-Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú, [daniel.arizaga@unmsm.edu.pe](mailto:daniel.arizaga@unmsm.edu.pe),

[fblasr@unmsm.edu.pe](mailto:fblasr@unmsm.edu.pe), [aosorioa@unmsm.edu.pe](mailto:aosorioa@unmsm.edu.pe)

<sup>2</sup>GIA-FIQT-Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, [tarsilat@uni.edu.pe](mailto:tarsilat@uni.edu.pe).

**Resumen**– El estudio revisa el uso de nanoemulsiones (NEs) de aceites esenciales (AEs) como alternativa innovadora y sostenible para la conservación postcosecha de frutas. Se parte del problema de la alta perecibilidad de las frutas y las limitaciones de los conservantes sintéticos, y los problemas relacionados a los desperdicios de alimentos. Los AEs, por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes, son prometedores, pero su aplicación directa es limitada por volatilidad y baja solubilidad. La nanoencapsulación en forma de NE (nanoemulsión) mejora la estabilidad, la liberación controlada y la eficacia de los AEs, permitiendo su incorporación en recubrimientos comestibles biodegradables. El trabajo recopila y compara estudios recientes sobre diferentes AEs y matrices poliméricas, mostrando que estos recubrimientos prolongan la vida útil, mantienen la calidad y reducen la incidencia de enfermedades postcosecha en frutas como manzanas, papayas y fresas. Además, se identifican vacíos de información, como la falta de estudios toxicológicos a largo plazo, la optimización de formulaciones, la escalabilidad a un proceso industrial sostenible y la aceptación del consumidor. El estudio concluye que las NEs de AEs representan una alternativa prometedora y sostenible, pero se requiere más investigación para su aplicación industrial segura y efectiva.

**Palabras clave** -- Aceites esenciales; nanoemulsiones; recubrimientos comestibles; conservación poscosecha.

## I. INTRODUCCIÓN

La preservación postcosecha de frutas representa un desafío crucial para la industria y la seguridad alimentarias mundial, debido a la alta susceptibilidad de estos productos al deterioro microbiano, la pérdida de agua, la oxidación y el daño físico, lo que genera pérdidas económicas significativas y limita la disponibilidad de productos frescos para los consumidores. Se ha investigado el empleo de aceites esenciales (AEs) para la conservación de alimentos, evidenciando así su gran potencial como los AEs de *Lavandula angustifolia*, *Salvia rosmarinus*, *Thymus serpyllum* o *Cymbopogon citratus*, por lo que, el uso de los AEs puede ser un método complementario a la congelación, acidificación o pasteurización, además de poder ser sustituto de conservantes sintéticos como el benzoato de sodio, sorbato de potasio, entre otros [1]. Existe evidencia de que los AEs cuentan con propiedades antibacteriales y antifúngicas como es el caso del AE de menta el cual tuvo como principal compuesto al mentol que logró un MIC y MFC de alrededor de 1000 ug/mL contra *S. aureus*, *E. Coli*, *Streptococcus Mutans* y *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*; de forma similar, el AE de limón y canela reflejaron unos valores

inclusive más bajos de 5 ug/mL y 6 ug/mL de MIC para *S. aureus*, respectivamente, con resultados parecidos para MBC/MFC [2]. Asimismo, se pudo corroborar el efecto de terpenos fenólicos y aldehídicos contra *Cryptococcus neoformans*. Los terpenos actúan principalmente sobre la membrana plasmática, sin afectar la pared celular, como se evidenció por el aumento de los valores de BIC<sub>50</sub> al añadir ergosterol, confirmando el secuestro de ergosterol y su posterior formación de poros; además, reducen la síntesis de este lípido esencial [3].

Las NEs, al tener un tamaño de gota nanométrico, incrementan la superficie de contacto, mejoran la adhesión sobre la fruta y potencian la eficacia antimicrobiana y antioxidante de los recubrimientos comestibles. Además, permiten una liberación controlada y sostenida de los compuestos activos, mejorando la estabilidad y las propiedades de barrera de los recubrimientos, y reduciendo la dosis necesaria de AEs, lo que minimiza el impacto en el sabor y aroma del producto final [4]. Estas características han permitido que los recubrimientos basados en NEs de AEs demuestren eficacia en la prolongación de la vida útil de frutas como papaya, fresa, tomate, uva y arándano, reduciendo la incidencia de enfermedades postcosecha, manteniendo la firmeza, el color y el contenido de compuestos bioactivos, e incluso mejorando la aceptabilidad sensorial [5]. La síntesis de una NE puede expresarse mediante dos pasos. El primer paso se la formación de una microemulsión o macroemulsión y, posteriormente, la disminución de su tamaño de gota y, por lo tanto, un aumento en el área total de interfase haciendo incrementar la contribución entálpica, además, este incremento de la energía interfacial es compensado por un incremento de la entropía gracias a que el aumento de gotas promueve el aumento de nuevos arreglos de estas mismas pudiendo ser cuantificada en casos ideales como cuando se emplea dispersión monodispersa de partículas esféricas para el cálculo de dicho valor energético de mezcla [6]. Las NEs son sistemas fuera de equilibrio que requieren energía externa o interna para su formación, pudiendo elaborarse mediante métodos de alta o baja energía. Los métodos de alta energía emplean equipos mecánicos para generar gotas pequeñas, mientras que los de baja energía se basan en cambios espontáneos en condiciones como temperatura o composición, además, las condiciones operativas y el diseño de los equipos influyen en el tamaño de gota y la estabilidad del sistema y las NEs requieren menos surfactante que las microemulsiones [7]. Por otro lado, el incremento en la eficacia de las NE de aceites esenciales frente a los recubrimientos convencionales se

fundamenta en su capacidad de penetración a nivel celular. Debido a su tamaño nanométrico (generalmente <200 nm), las gotas de AE poseen una mayor relación superficie-volumen, lo que facilita su fusión con las membranas lipídicas de hongos y bacterias [8].

Este fenómeno induce un aumento en la permeabilidad de la pared celular, provocando la despolarización de la membrana y la fuga de componentes citoplasmáticos críticos (iones, ATP y proteínas), lo que finalmente conduce a la muerte del patógeno. Además, la nanoencapsulación protege a los compuestos fenólicos del AE contra la degradación ambiental, asegurando una liberación sostenida que inhibe la formación de biopelículas, un aspecto crítico para la preservación prolongada de frutas como la fresa y la manzana [3]. Las NE de aceites esenciales, actúan como sistemas de entrega biocompatibles que superan la barrera de la volatilidad, permitiendo una liberación sostenida de compuestos hidrofóbicos en la interfaz fruta-ambiente [4], [6] y [7].

De acuerdo con lo mencionado, resulta muy ventajoso realizar recubrimiento de alimentos, en particular de frutas por las propiedades que presenta en la escala nanométrica con respecto a la escala convencional. En la Tabla N° 1 se pueden verificar las ventajas de las NEs respecto a los recubrimientos con emulsiones convencionales.

TABLA I  
PARÁMETROS DE CALIDAD DE RECUBRIMIENTOS CONVENCIONALES CON RESPECTO A LOS RECUBRIMIENTOS CON NANOEMULSIÓN

| PARÁMETRO DE CALIDAD     | RECUBRIMIENTO CONVENCIONAL     | RECUBRIMIENTO CON NANOEMULSIÓN |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Transparencia/brillo     | Opaco (puede afectar estética) | Alta (efecto "cera natural")   |
| Liberación del aceite    | Rápida (pérdida de eficacia)   | Controlada (efecto prolongado) |
| Actividad antimicrobiana | Superficial                    | Penetración celular mejorada   |
| Estabilidad física       | Separación de fases frecuente  | Alta estabilidad termodinámica |

Los recubrimientos comestibles han resultado ser efectivos para la preservación postcosecha de diversas frutas y alimentos Ready to Eat (RTE) debido a que son una alternativa biodegradable y no tóxicos y pueden ser de diversos materiales como polisacáridos(almidón, quitosano, pectina, alginato), proteínas(gelatina, caseína, gluten) y lípidos(ceras y ácidos grasos); asimismo, existen agentes que pueden mejorar sus propiedades como los de entrecruzamiento que potencian sus propiedades mecánicas como el ácido tánico, transglutaminasa, lactato de calcio y otros que les dan características antimicrobianas y antioxidantes como los AEs, extractos vegetales y nanopartículas [9]. Además, enfocándolo en la conservación de frutas y verduras, lo que se trata de controlar es el intercambio de gases y vapor de agua, respiración y producción de etileno, pardeamiento enzimático, firmeza, aroma y color y, por ende, preservar la cantidad de la fruta [9]. El enfoque del empleo de estos recubrimientos es

obstruir los estomas, lenticelas y heridas para justamente el control de gases anteriormente produciendo así una inhibición de ACC sintasa y oxidasa además de inhibir la formación de compuestos indeseables como el etanol, acetaldehído y etil acetato y el pardeamiento [10]. Como ejemplos, se formuló un recubrimiento comestible de quitosano(1,5 % w/v), ácido ascórbico( 2 % w/v), ácido cítrico (2 % w/v) y AEs de orégano(0,06 y 0,15 % v/v) y hojas de canela (0,06 y 0,1 v/v) aplicándola para preservar manzana "Braubunn" recién cortada donde el tratamiento con 1,5 % de quitosano y 0,1 % de AE de hoja de canela fue el más eficaz, reduciendo la pérdida de peso hasta 2,7 % y la actividad de agua a 0,866, mientras que inhibió completamente la actividad de polifenol oxidasa y mantuvo la firmeza [11]. La cera de abeja se ha empleado para la conservación postcosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*) aplicando las soluciones con 15 g y 25 g de cera de abeja mediante un pintado con brocha lograron reducir la pérdida de peso hasta 46 % en 30 días, mostrando un incremento máximo hasta 5,27 °Brix, pH y acidez titulable constante y contenido de licopeno aumentando con el valor más alto en 4,44 mg/100 g [12].

Como se logra apreciar en el párrafo anterior, se puede deducir que los recubrimientos comestibles elaborados pueden ser potenciados con NE de AE generando así una barrera activa no solo para controlar el intercambio de gases sino también la proliferación de microorganismos que perjudicarían la preservación de la fruta luego de ser cosechada. Se han hallado diversos estudios valiosos los cuales detallan ello para diversas frutas. Sin embargo, cabe destacar que estos presentan ciertos puntos que se podrían tratar mejor y que generan ciertos vacíos como la posible toxicidad de las NE de AE para la salud humana, un método estandarizado de preparación entre trabajos de investigación de NE con AE con parámetros operacionales establecidos como la cantidad de revoluciones por minuto (RPM), potencia empleada en sonificadores de punta, las concentraciones de los compuestos dentro de la matriz del AE, etc generando esto una posible incertidumbre a la hora de realizar una preparación en laboratorio con respecto al tamaño de partícula de la NE resultante y su efecto preservante sobre la fruta.

## II. METODOLOGÍA

Se incluyeron artículos científicos revisados por pares, publicados entre 2014 y 2025, enfocados en la aplicación de nanoemulsiones (NE) de aceites esenciales (AE) en la conservación de frutas. Se excluyeron aquellos estudios que no contaban con evaluaciones experimentales de desempeño. La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos Scopus, ScienceDirect y Google Scholar entre junio y diciembre de 2025, empleando como palabras clave "nanoemulsion", "essential oils" y "fruit preservation", combinadas mediante operadores booleanos. Inicialmente se identificaron diversos artículos, de los cuales se seleccionaron 19 estudios representativos tras aplicar criterios de inclusión y exclusión. La selección se basó en que los trabajos reportaran

al menos tres análisis de desempeño de las NE de AE, además de la medición del tamaño de gota y/o del índice de polidispersidad. A partir de estos estudios, se recopiló información relacionada con los principales análisis empleados en la conservación de frutas, así como los métodos de aplicación y preparación de las NE. Asimismo, se priorizó la revisión de estudios que emplean aceites esenciales de orégano y clavo de olor, debido a la amplia disponibilidad de información, y el uso frecuente de Tween 80 como surfactante. Finalmente, se analizaron investigaciones relacionadas con el uso de recubrimientos comestibles con AE y su combinación con NE, evaluando su efecto en la conservación de frutas a través de parámetros de calidad, madurez y color.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan a través de gráficos de comparación. En la figura 1, podemos observar que la mayoría de artículos (más del 50 %) tienen análisis básicos para la caracterización de NE como el tamaño de partícula, índice de polidispersidad y potencial Z mientras que, para el análisis de conservación de frutas, la cantidad de sólidos solubles, acidez titulable, firmeza, pérdida de peso, análisis antimicrobiano y color son los más predominantes, no obstante, los artículos evidencian que no se suele caracterizar el AE antes de formularlo como NE ni tampoco después ya sea por Cromatografía de gases o Espectrometría de Infrarojo con Transformada de Fourier por lo que el análisis no estaría completo ya que no se conoce qué compuestos están actuando ya que los AEs son extremadamente variables dependiendo del lugar donde creció la planta, factores asociados al estrés de esta, altura, temperatura, entre otros. Enfocándonos en el análisis sensorial, se demostró que menos del 50 % de los artículos este mismo, lo cual puede ser perjudicial, ya que no se evalúa la calidad para el consumidor final en caso de que se plantee como un producto. En la mayoría de los estudios no se realizaron análisis de estabilidad como ciclos de cambios de temperatura, cambios de pH u otro y, no se observó en ningún artículo analizado, alguna evaluación de toxicidad más que los propios análisis antimicrobianos. En la figura 2 podemos ver que existen una tendencia de incremento sobre los artículos limitados al empleo de NE de AE aplicados para la preservación de frutas. Además, el método de aplicación por excelencia es la inmersión como se puede observar en la figura 3 posiblemente debiéndose a la simpleza y rapidez de la aplicación. En la figura 4, el método de preparación más empleado (31,82 %) es la homogeneización a altos RPM y posteriormente una sonicación, pero el 22,73 % prefiere solo el empleo de sonicación, el 13,63 % empleó ciclos de homogeneización a altos RPM y, por último, el 9,09 % solo empleó homogeneización a altos RPM seguido de microfluidización. La preferencia del método se puede deber a que primero se necesita una emulsión gruesa o microemulsión y esta puede formarse gracias a emplear un homogeneizador de altos RPM llegando hasta un tamaño de partícula entre 200

y 300 nm logrando ser esto efectivo y permitiendo que la sonicación no requiera mucha energía para romper la interface [13]. En realidad, el tamaño de partícula o de gota producida depende de factores como el tipo de AE, el tipo de surfactante usado y el método empleado para la formulación y síntesis, es decir, si es un método de alta energía o de baja energía. La agitación magnética de por sí no genera una energía suficiente para poder llegar a los requerimientos generales de una NE los cuales son, según la literatura, son el tamaño de partícula menor a 200 nm y este debe ser cinéticamente estable pero no termodinámicamente estable, por ello no se puede formar espontáneamente, pero una vez generada, esta debería permanecer con el tamaño de gota relativamente estable [13].

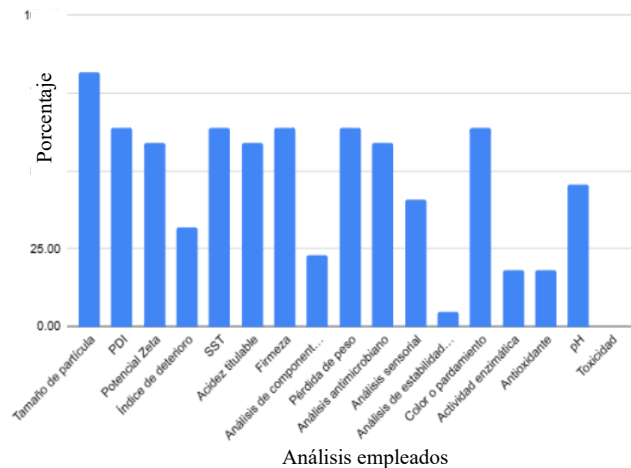


Fig. 1 Conteo de artículos con principales análisis de preservación de frutas.

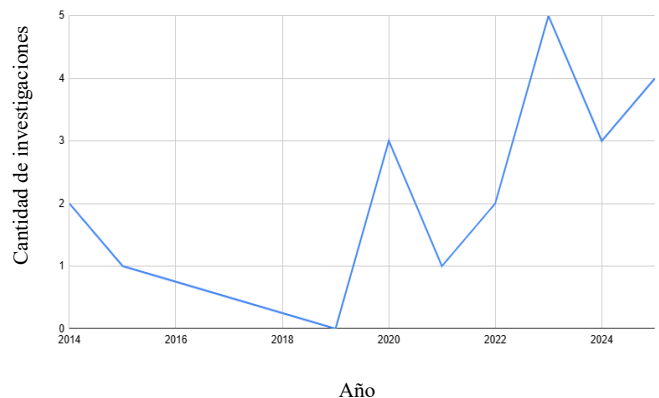


Fig. 2 Tendencia de creación de trabajos de investigación de NE de AEs para la preservación de frutas

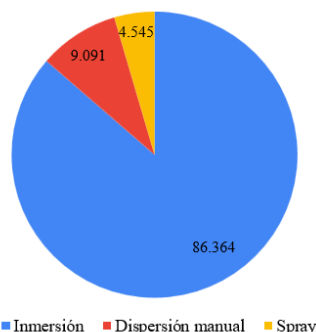


Fig. 3 Principales métodos empleados para la aplicación

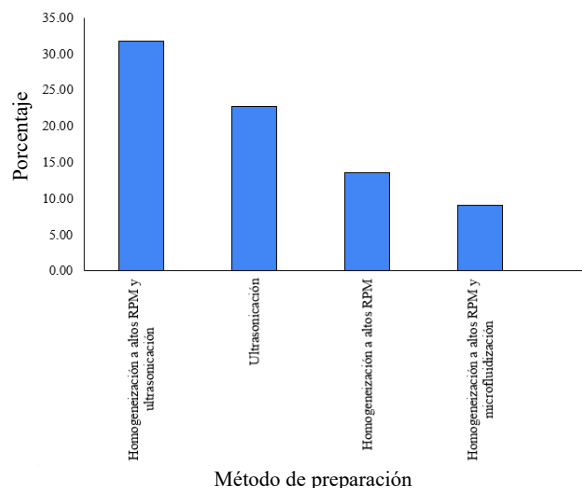


Fig. 4 Principales métodos de preparación de NE.

Con respecto a los trabajos de investigación revisados, se evidenció un menor crecimiento de hongos en rodajas de pan y arándano cuando se emplean nanoemulsiones (NE) de aceite esencial (AE) de orégano en comparación con emulsiones gruesas; una tendencia similar se observa con el AE de clavo de olor frente a su correspondiente emulsión gruesa [14, 15]. Asimismo, se identificó un comportamiento comparable con el AE de canela, donde la emulsión gruesa presentó una menor área inhibitoria que la NE frente a *A. niger*, *Penicillium* sp., *R. arrhizus* y *C. gloeosporoides*, como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2.  
Diferencia de actividad inhibitoria contra hongos en mm

| Muestra                | <i>A. niger</i> | <i>R. arrhizus</i> | <i>Penicillium</i> sp. | <i>C. gloeosporoides</i> |
|------------------------|-----------------|--------------------|------------------------|--------------------------|
| NE de CEO              | 23.74 ± 0.73    | 22.12 ± 0.16       | 19.27 ± 0.71           | 16.34 ± 0.94             |
| Emulsión gruesa de CEO | 12.29 ± 0.52    | 10.43 ± 0.87       | 9.31 ± 0.63            | 7.62 ± 0.35              |

Nota. CEO = aceite esencial de canela. Adaptado [16]

En términos generales, las NEs presentan un potencial Z más grande a medida que el tamaño de partícula disminuye y el índice de polidispersidad disminuye, en el caso de aceites de plantas como la oliva o el aceite de almendras, se ha evidenciado una mejora en la estabilidad fisicoquímica de las NE con respecto a las emulsiones gruesas a temperaturas ambiente y refrigerada debido a que el pequeño tamaño favoreciendo el movimiento browniano y minimizando la separación como la sedimentación o cremación, pero a temperaturas mayores a 45 °C, la estabilidad disminuye por el aumento de la energía cinética acelerando la maduración de Ostwald [17]. Sin embargo, un tamaño de gota menor no significa necesariamente mayor estabilidad dentro del ámbito de las NEs, esto depende del AE empleado como el AE de limón que logró un tamaño de gota de 20 nm a 5 % con 5 % de tween 80, pero resultó no ser estable luego de 20 días separándose las fases mientras que empleando AE de clavo de olor se llegó a un tamaño de gota de 140 nm el cual se mantuvo estable por más de 28 días [18]. Entonces, se debería realizar pruebas complementarias de estabilidad como ciclos de centrifugado y cambios de temperatura o cambios de pH y así poder tener un entendimiento mayor de su comportamiento a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones.

Un vacío identificado en la literatura es la limitada comprensión de la relación entre el tamaño de partícula y el compuesto principal del AE. Por ello, a menos que se disponga de estudios realizados con un mismo AE, resulta más adecuado comparar inicialmente la composición química de los aceites esenciales y, posteriormente, la metodología y concentración empleadas. En el caso de las NEs de AE de clavo de olor, se observa un comportamiento consistente en el que el tamaño de gota aumenta con la concentración del AE [18]. De manera similar, se evidencia una relación proporcional entre el tamaño de partícula y la concentración de AE de orégano, así como una disminución de esta propiedad al incrementar la cantidad de surfactante. Sin embargo, el índice de polidispersidad no sigue una tendencia clara, ya que depende en mayor medida de parámetros operacionales. Por ejemplo, en procesos de ultrasonificación influyen variables como el tiempo de sonicación, la potencia, el número de ciclos y la duración de cada ciclo, entre otros [19]. Esta variabilidad también ha sido reportada en otros estudios, donde incluso se observa un aumento de la polidispersidad con mayores concentraciones de surfactante [20]. En relación con los métodos de formulación, la revisión bibliográfica evidencia la ausencia de un procedimiento estandarizado para la obtención de NEs. Factores como el orden de adición de los componentes (mezcla inicial del surfactante con la fase oleosa o acuosa), las condiciones operativas, las características de los equipos utilizados y las formulaciones específicas varían significativamente entre los diferentes estudios.

Con respecto a los surfactantes empleados, se ha reportado que el uso de mezclas que generen un HLB de 9 permite que, en un periodo de 6 meses, una NE con una concentración de 10 % v/v de AE y 5 % v/v de surfactantes

incremento su tamaño de partícula de 43 nm a 100 nm, manteniéndose dentro de la escala nanométrica [21]. En general, destacan surfactantes como Tween 20 y Tween 80, los cuales, debido a sus valores de HLB de 16,7 y 15, respectivamente, favorecen la formación de emulsiones tipo oil-in-water (O/W). Además, presentan diferencias en su concentración micelar crítica, siendo mayor en el Tween 20 (0,059 mM) que en el Tween 80 (0,012 mM), lo que implica que este último requiere una menor concentración para la formación de emulsiones [22]. Por otro lado, se ha observado que la incorporación de compuestos activos en matrices poliméricas permite mejorar la barrera física, transformándola en una barrera activa con aplicaciones en la conservación de frutas. Por ejemplo, en la jujube china, el uso de 0,1 % de AE de canela permitió obtener una pérdida de peso de solo 0,53 % tras 60 días de almacenamiento a 4 °C [23]. De manera similar, en manzanas tratadas con diferentes concentraciones de AE de canela, se evidenció que a mayor concentración se logra mantener la acidez titulable, reducir la pérdida de peso hasta 3,1 % y limitar el incremento de sólidos solubles de 13,34 a 14,84 °Brix en 60 días [24]. Resultados comparables se han reportado en manzanas “Red Delicious” [25, 26]. El quitosano es uno de los polímeros más utilizados en recubrimientos comestibles; sin embargo, también se emplean otros como el almidón de cassava, gelatina y alginato de sodio. En este contexto, el uso de almidón de cassava combinado con goma gellan baja en acilo y AE de tomillo mostró mayor eficiencia, alcanzando un menor índice de deterioro (83 %) con 0,25 g/g de polímero en comparación con 0,5 g/g (92 %) tras 14 días en manzanas “Golden Delicious” [27]. Asimismo, el aceite esencial de romero ha demostrado ser eficiente para la preservación de manzanas este tipo de manzanas a través de una matriz natural como el almidón [28].

La conservación de frutas muy demandadas en el mercado como las fresas empleando AE de canela y matriz de pululano han logrado mantenerlas en mejores condiciones y con un índice de deterioro menor de 30 % que solo empleando la matriz de pululano evidencia así el efecto de las propiedades conservantes de dicho AE y manteniendo una firmeza mayor en 6 días a 20 °C de almacenamiento [29]. Asimismo, se puede inferir que existe una sinergia entre el Aloe vera y el AE de *Echinofora platyloba* para conservar la fresa manteniendo la acidez titulable constante en 4,48 %, un índice de deterioro de 20 % y una pérdida de peso de 2,46 % menor que empleando AE de dicha planta y goma arábiga [30]. En frutas con alto contenido de vitamina C, como el kiwi, se logra mantener esto gracias al poder antioxidante de los AEs. La papaya es una fruta a la cual se le ha aplicado recubrimientos de AE clavo de olor y menta spicata generando poca pérdida de peso y siento el AE de menta spicata un mejor conservante para la papaya cuando se emplea con cera de carnauba [31]. También estudiaron la preservación de la papaya, pero en presentación recién cortada a través de alginato de sodio con NE de AE de orégano presentando menor pérdida de peso a 2 % v/v como concentración de compuesto activo, pero sólidos solubles totales relativamente constantes a 1 % v/v. Se

comprende también que no se puede realizar una comparación entre fruta recién cortada y fruta fresca ya que último presenta la cáscara recubriendo toda la superficie y la pulpa no se ve expuesta al ambiente [5]. Diversos estudios revelan la diferencia entre las propiedades de las emulsiones gruesas y las NE. Las fresas que fueron recubiertas con una capa solamente de AE de eryngo mostraron un mayor deterioro examinando la acidez titulable de la fruta, firmeza y cambio de color que empleando un recubrimiento con NE de este AE de eryngo presentando también una menor actividad enzimática de peroxidasa [32]. Estos resultados son coherentes con otras investigaciones como la de [5] que emplearon NE y emulsiones gruesas de orégano generando las NE menor pérdida de peso, pero siendo realmente notable a una concentración de 1 % y 2 % de AE de orégano si tenemos en cuenta su efecto antifúngico. Los resultados muestran que los AEs sí son eficaces para preservar fruta, como se vuelve a mencionar. Sin embargo, no se ha encontrado estudios en los cuales comparen un AE caracterizado de preferencia con GC MS, se haya preparado NE con diferentes concentraciones de AE y aplicado mediante una matriz como quitosano, por ejemplo, y aplicarlo a diferentes frutas de un mismo tipo para ver qué AE es más efectivo a la misma concentración y para la misma fruta. Con respecto al color, se puede observar que la aplicación de AE no emulsionado, al igual que emulsiones gruesas o microemulsiones genera una reducción de la variación de los parámetros a, b, L, C y h, pero su efecto en la mayoría de los casos es menor que las NEs las cuales logran mantener menos variables dichos parámetros. Se comprobó el efecto del tamaño de gota pequeño y el potenciamiento del efecto conservador actuando también elementos como el quitosano, el aceite de coco u otras matrices poliméricas para que este efecto sea más pronunciado [5, 18, 32, 33, 34, 35]. Además, se realizó pruebas sensoriales para verificar la aceptación del cliente y se obtuvieron diversos tipos de resultados. [5] evidenciaron que a 2 % de AE de orégano se mantiene en mejores condiciones de textura, color, jugosidad, sabor y olor la papaya cortada mientras que a 1 % es extremadamente diferente y deficiente en estos aspectos. Se identificaron que recubrimientos de pectina con 1 % y 5 % de NE o microemulsión de AE de cáscara de naranja permiten preservar mejor el olor y color de naranja cortada [35]. Para el caso de la chirimoya, el olor, sabor, textura y color se mantiene mejor empleando recubrimientos de quitosano con NE de AE de *Illicium verum* a una relación 1:1 de quitosano y dicho AE [36]. Se demostró también que empleando NE de AE de clavo de olor aplicado al 1 % en recubrimientos de alginato de sodio en manzanas recién cortadas en color, sabor y olor destacando por encima de los recubrimientos con 0,5 % de NE de AE que tuvieron un olor menos agradable [37]. Sin embargo, cabe mencionar que los trabajos de investigación que presentan análisis sensoriales resultan ser menores al 50 % del total.

#### IV. CONCLUSIONES

Las nanoemulsiones de aceites esenciales (NEs de AEs) demuestran ser más efectivas que las emulsiones gruesas o microemulsiones para la conservación postcosecha de diversas frutas. Su aplicación logra mantener con menores variaciones los parámetros de calidad como la pérdida de peso, la firmeza, la acidez titulable y el color. Adicionalmente, se comprobó que este efecto conservador se potencia significativamente cuando las NEs se integran como barreras activas dentro de matrices poliméricas, como el quitosano, el alginato de sodio o el almidón. Por otro lado, el tamaño de partícula de una NE depende directamente del tipo de aceite esencial, la concentración, el tipo de surfactante usado y si se emplea un método de alta o baja energía. Aunque el método de preparación predilecto en la literatura es la homogeneización a altos RPM seguida de ultrasonificación, se evidencia una clara ausencia de un procedimiento estandarizado para la obtención de NEs. Factores como el orden de adición de los componentes y las condiciones operativas varían significativamente entre estudios, lo que dificulta la comparabilidad de resultados.

Una deficiencia importante en los estudios actuales es que no se suele caracterizar el aceite esencial (mediante técnicas como Cromatografía de Gases o Espectrometría de Infrarrojo) ni antes de formularlo como NE ni después. Dado que la composición de los AEs es extremadamente variable debido a factores de la planta (altura, estrés, temperatura), esta omisión impide identificar qué compuestos específicos son los responsables directos de los efectos de conservación y la actividad antimicrobiana. Se ha determinado que un tamaño de gota menor no significa necesariamente una mayor estabilidad a largo plazo en las NEs, ya que esto está subordinado a la naturaleza del aceite esencial empleado. Por ello, se concluye la necesidad de realizar pruebas complementarias de estabilidad, tales como ciclos de centrifugado y cambios de temperatura o pH. Además, existe un vacío crítico respecto a la seguridad humana, pues en la mayoría de los estudios no se realizan evaluaciones de toxicidad más allá de las pruebas antimicrobianas.

#### AGRADECIMIENTO

Esta investigación fue financiada por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, RR N° 005446-2025-R con código de Proyecto C25070521, tipo de proyecto Programa de Proyectos de INVESTIGACIÓN para Grupos de Investigación (PCONFIGI).

#### REFERENCIAS

[1] P. Bolouri *et al.*, "Applications of essential oils and plant extracts in different industries," *Molecules*, vol. 27, no. 24, Art. no. 8999, 2022, doi: 10.3390/molecules27248999.

[2] M. N. Aljaafari *et al.*, "An overview of the potential therapeutic applications of essential oils," *Molecules*, vol. 26, no. 3, Art. no. 628, 2021, doi: 10.3390/molecules26030628.

[3] P. Kumari *et al.*, "Delineating the biofilm inhibition mechanisms of phenolic and aldehydic terpenes against *Cryptococcus neoformans*," *ACS*

*Omega*, vol. 4, no. 18, pp. 17634–17648, 2019, doi: 10.1021/acsomega.9b01482.

[4] J. G. Oliveira Filho, G. C. Silva, F. Oldoni, *et al.*, "Edible coating based on carnauba wax nanoemulsion and *Cymbopogon martinii* essential oil on papaya postharvest preservation," *Coatings*, vol. 12, no. 4, p. 512, 2022.

[5] N. Tabassum, R. A. Aftab, O. Yousuf, S. Ahmad, and S. Zaidi, "Application of nanoemulsion based edible coating on fresh-cut papaya," *J. Food Eng.*, vol. 355, Art. no. 111579, 2023.

[6] S. M. Jafari and D. J. McClements, *Nanoemulsions: Formulation, Applications, and Characterization*. Academic Press, 2018.

[7] J. Ahmad and L. M. L. Nollet, Eds., *Nanoemulsions in Food Technology: Development, Characterization, and Applications*, 1st ed. CRC Press, 2021, doi: 10.1201/9781003121121.

[8] F. Ahmad, S. Zaidi, and M. Arshad, "Postharvest quality assessment of apple during storage at ambient temperature," *Heliyon*, vol. 7, no. 8, Art. no. e07714, 2021.

[9] N. Kumar *et al.*, "Recent trends in edible packaging for food applications—Perspective for the future," *Food Eng. Rev.*, vol. 15, no. 4, pp. 718–747, 2023.

[10] M. Miranda *et al.*, "Fundamentals of edible coatings and combination with biocontrol agents: A strategy to improve postharvest fruit preservation," *Foods*, vol. 13, no. 4, Art. no. 625, 2024.

[11] N. Ali, E. Dina, and A. A. Tas, "Bioactive edible coatings for fresh-cut apples: A study on chitosan-based coatings infused with essential oils," *Foods*, vol. 14, no. 13, Art. no. 2362, 2025, doi: 10.3390/foods14132362.

[12] W. N. S. H. Wan Ibrahim, Rudiyanto, and R. Mohd Shah, "Effect of edible beeswax coating on tomato (*Solanum lycopersicum*) postharvest quality," *E3S Web Conf.*, vol. 444, Art. no. 04010, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202344404010.

[13] V. Changediya, *Nanoemulsions: A Recent Drug Delivery Tool*. IntechOpen, 2024, doi: 10.5772/intechopen.1005266.

[14] C. Otoni, S. Oliveira, E. Alves, and N. Ferreira, "Edible films from methylcellulose and nanoemulsions of clove bud (*Syzygium aromaticum*) and oregano (*Origanum vulgare*) essential oils as shelf life extenders for sliced bread," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 62, no. 22, pp. 5214–5219, 2013.

[15] K. Luo *et al.*, "Synergistic bactericidal effect of ultrasound combined with oregano essential oil nanoemulsion on *Listeria monocytogenes* and its application in blueberry preservation," *Food Control*, vol. 165, Art. no. 110619, 2024, doi: 10.1016/j.foodcont.2024.110619.

[16] P. Pongsumpun, S. Iwamoto, and U. Siripatrawan, "Response surface methodology for optimization of cinnamon essential oil nanoemulsion with improved stability and antifungal activity," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 60, Art. no. 104604, 2020.

[17] A. Liakopoulou, S. Letsiou, K. Avgoustakis, and S. Hatziantoniou, "Comparative study between nanoemulsions and conventional emulsions as carriers of vegetable oils: Formulation approach, physicochemical properties, and in vitro and in vivo evaluations for skin care application," *Cosmetics*, vol. 12, no. 3, Art. no. 102, 2025, doi: 10.3390/cosmetics12030102.

[18] N. Ghazali and R. Zakaria, "Preparation of essential oil nanoemulsions and its incorporation in chitosan-based edible coating on guava," *Food Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 133–145, 2025.

[19] J. Baranauskaite, M. A. Ockun, B. Uner, C. Tas, and L. Ivanauskas, "Effect of the amount of polysorbate 80 and oregano essential oil on the emulsion stability and characterization properties of sodium alginate microcapsules," *Molecules*, vol. 26, no. 20, Art. no. 6304, 2021, doi: 10.3390/molecules26206304.

[20] S. Zhao *et al.*, "Characterization of nanoemulsions stabilized with different emulsifiers and their encapsulation efficiency for oregano essential oil: Tween 80, soybean protein isolate, tea saponin, and soy lecithin," *Foods*, vol. 12, no. 17, Art. no. 3183, 2023, doi: 10.3390/foods12173183.

[21] M. H. Shahavi, M. Hosseini, M. Jahanshahi, R. L. Meyer, and G. Najafpour Darzi, "Evaluation of critical parameters for preparation of stable clove oil nanoemulsion," *Arab. J. Chem.*, vol. 12, no. 8, pp. 3225–3230, 2019.

[22] V. Norn, *Emulsifiers in Food Technology*, 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2015.

- [23] Y. Xing *et al.*, "Effect of chitosan coating with cinnamon oil on the quality and physiological attributes of China jujube fruits," *BioMed Res. Int.*, vol. 2015, Art. no. 835151, 2015, doi: 10.1155/2015/835151.
- [24] Z. Rashid *et al.*, "Exploring the effect of cinnamon essential oil to enhance the stability and safety of fresh apples," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 44, no. 12, Art. no. e14926, 2020.
- [25] M. Sadat Razavi *et al.*, "Impact of bacterial cellulose nanocrystals-gelatin/cinnamon essential oil emulsion coatings on the quality attributes of 'Red Delicious' apples," *Coatings*, vol. 12, no. 6, Art. no. 741, 2022, doi: 10.3390/coatings12060741.
- [26] M. L. Zambrano-Zaragoza *et al.*, "Fresh-cut Red Delicious apples coating using tocopherol/mucilage nanoemulsion: Effect of coating on polyphenol oxidase and pectin methylesterase activities," *Food Research International*, vol. 62, pp. 974–983, 2014, doi: 10.1016/j.foodres.2014.05.011.
- [27] M. Sapper, L. Palou, M. B. Pérez-Gago, and A. Chiralt, "Antifungal starch-gellan edible coatings with thyme essential oil for the postharvest preservation of apple and persimmon," *Coatings*, vol. 9, no. 5, Art. no. 333, 2019, doi: 10.3390/coatings9050333.
- [28] O. Bashir *et al.*, "Development, characterization and use of rosemary essential oil loaded water-chestnut starch based nanoemulsion coatings for enhancing post-harvest quality of apples var. Golden delicious," *Current Research in Food Science*, vol. 7, Art. no. 100570, 2023, doi: 10.1016/j.crf.2023.100570.
- [29] Y. Chu *et al.*, "Improvement of storage quality of strawberries by pullulan coatings incorporated with cinnamon essential oil nanoemulsion," *LWT*, vol. 122, Art. no. 109054, 2020.
- [30] I. Kebriti, M. Solgi, and M. Velashkerdi, "Improving quality of strawberry by novel essential oil nanoemulsions of *Echinophora platyloba* combined with *Aloe vera* gel and gum arabic," *Sci. Rep.*, vol. 15, Art. no. 1732, 2025.
- [31] J. G. Oliveira Filho *et al.*, "Novel approach for improving papaya fruit storage with carnauba wax nanoemulsion in combination with *Syzygium aromaticum* and *Mentha spicata* essential oils," *Coatings*, vol. 13, no. 5, Art. no. 847, 2023, doi: 10.3390/coatings13050847.
- [32] M. Taghi and Z. Altintas, "Eryngo essential oil nanoemulsion stabilized by sonicated-insect protein isolate: An innovative edible coating for strawberry quality and shelf-life extension," *Food Chem.*, vol. 463, Art. no. 141150, 2025.
- [33] Touayar *et al.*, "Influence of droplet size on the antibacterial efficacy of citral and citronella oil nanoemulsions in polysaccharide coated fresh-cut apples," *Scientific Reports*, vol. 13, Art. no. 10460, 2023.
- [34] S. Das, A. Ghosh, and A. Mukherjee, "Nanoencapsulation-based edible coating of essential oils as a novel green strategy against fungal spoilage, mycotoxin contamination, and quality deterioration of stored fruits: An overview," *Front. Microbiol.*, vol. 12, Art. no. 678093, 2021.
- [35] M. Radi, S. Akhavan, H. Akhavan, and A. Sedigheh, "The use of orange peel essential oil microemulsion and nanoemulsion in pectin-based coating to extend the shelf life of fresh-cut orange," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 42, no. 9, Art. no. e13441, 2017.
- [36] M. Soni *et al.*, "Chitosan-based *Illicium verum* Hook. f. essential oil nanoemulsion as an edible coating for shelf-life enhancement of custard apple," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 320, Art. no. 145564, 2025, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2025.145564.M.
- [37] V. K. Pandey, S. Srivastava, R. Singh, A. Hussain, and K. Dash, "Effects of clove essential oil (*Caryophyllus aromaticus* L.) nanoemulsion incorporated edible coating on shelf-life of fresh cut apple pieces," *J. Agric. Food Res.*, vol. 14, Art. no. 100791, 2023.