



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

DEPARTAMENTO:

Sistemas biológicos

LICENCIATURA:

Química Farmacéutica Biológica

LABORATORIO:

Dermofarmacia y cosmetología

INFORME DE CONCLUSIÓN PARA LA LIBERACIÓN DEL SERVICIO SOCIAL:

**“DISEÑO Y DESARROLLO DE UNA NANOEMULSIÓN O/W CON ACEITE
ESENCIAL.”**

ASESORA:

Dra. María Luisa de Lourdes Pérez González
No. Económico 22258

ALUMNA:

Diana García Gutiérrez

MATRÍCULA:

2202034402

TRIMESTRE: 25-I

Fecha de inicio: 12 de agosto de 2024

Fecha de termino: 12 de febrero de 2025

1. Introducción

Las nanoemulsiones (NE) demostraron ser un vehículo eficaz, además de que se ha comprobado que reducen la inestabilidad, esto debido a que las nanoemulsiones (NE) vacías (sin principio activo) mantienen su estabilidad a temperatura ambiente por más de un año. Por lo que sugiere tener aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética, como por ejemplo en la administración de medicamentos ya que mejoran la solubilidad y la biodisponibilidad de medicamentos, en el diseño de alimentos ya que las nanoemulsiones permiten que la formulación de productos sea más estable y ésta al mismo tiempo mejore sus propiedades, como bloques de construcción a causa de su capacidad para formar estructuras estables y altamente funcionales por su ya característico tamaño de partícula nanométrico, en productos dermatológicos debido a que proporcionan una mejor penetración y liberación de los principios activos, etc. Por lo tanto, es fundamental que la comunidad científica continúe investigando sobre las nanoemulsiones para optimizar su aplicación y maximizar su impacto en diversos sectores industriales.

Actualmente, el proyecto está en fase de laboratorio, y cuenta con un enfoque a corto plazo, el cual es ofrecer una alternativa para que se logre aumentar la vida útil de los alimentos. A mediano y largo plazo, se planea realizar un escalamiento a nivel semi-industrial a gran escala, esto con el fin de asegurar la calidad y estabilidad del producto cumpliendo con las normas nacionales.

Los aceites esenciales son metabolitos secundarios que producen las plantas, tienen una bioactividad contra bacterias (Putnik *et al.*, 2019), por lo que el uso de ellos como conservadores tienen una acción contra bacterias del tipo Gram positivo debido a que actúan a nivel pared celular, sin embargo, también tienen otra acción contra las Gram negativas debido al efecto sinérgico que depende de la cantidad y/o los componentes de las superficies a conservar y cuya descomposición inicia después de ser cosechados, almacenados, vendidos y consumidos.

Este proyecto de investigación se centra específicamente en el diseño y desarrollo de una nanoemulsión O/W con aceite esencial mediante la metodología patentada PSRUAM, el cual busca tener un impacto social y económico del proyecto en general incluyendo la integración de servicios sociales de estudiantes de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), de manera que se proporcione una formación académica y práctica profesional, y al mismo tiempo fomentar la colaboración interdisciplinaria. Además de que se busca fortalecer la academia para contribuir al desarrollo económico con comunidades locales como lo es la Ciudad de México. Dicha integración permitirá obtener un impacto positivo, de tal modo que se pueda vincular a la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) con la sociedad como un agente de cambio y desarrollo en México.

El cumplimiento de las normativas y de las regulaciones nacionales garantiza la calidad y la seguridad del proceso de diseño y desarrollo, ya que se establecen estándares nacionales y se sientan las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en diversos sectores industriales.

2. Planteamiento del problema. Pregunta de investigación

¿Cómo pueden las nanoemulsiones con aceite esencial, desarrolladas mediante la metodología patentada PSRUAM, mejorar la estabilidad y la vida útil de los alimentos y cuál sería el impacto social y económico que podría tener este desarrollo en la industria alimentaria y en las comunidades locales, cumpliendo con las normativas nacionales?

3. Justificación

El desarrollo de las nanoemulsiones con aceite esencial mediante la metodología patentada PSRUAM presenta una solución innovadora y eficiente para mejorar la estabilidad y la vida útil de los alimentos. Las nanoemulsiones ofrecen ventajas significativas debido a su capacidad para estabilizar los aceites esenciales y reducir su inestabilidad, manteniendo sus propiedades por períodos prolongados, incluso a temperatura ambiente. Esto tiene implicaciones directas para la industria alimentaria, donde la prolongación de la vida útil de los productos es crucial para reducir pérdidas post-cosecha y mejorar la calidad del producto final.

Además de los beneficios técnicos, este proyecto tiene un fuerte componente social y económico. Al integrar a estudiantes de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) en servicios sociales y prácticas profesionales, se fomenta la formación académica y la colaboración interdisciplinaria, preparando a futuros profesionales con habilidades prácticas y conocimientos avanzados en biotecnología y ciencias alimentarias. Este enfoque también fortalece a la academia y promueve el desarrollo económico en comunidades locales, especialmente en áreas como la Alcaldía Milpa Alta, Ciudad de México, donde el proyecto puede generar empleo y desarrollo sostenible.

Cumplir con las normativas y regulaciones nacionales garantiza que el proceso de diseño y desarrollo de las nanoemulsiones no solo sea seguro y de alta calidad, sino que también pueda establecer estándares en la industria alimentaria. Esto no solo beneficia a los productores y consumidores al asegurar productos alimentarios más duraderos y seguros, sino que también sienta las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en diversos sectores industriales.

4. Objetivo general

Obtener nanoemulsiones O/W para el transporte de aceites esenciales utilizando la metodología *Premezclado-Sonicación-Reposo* UAM (PSRUAM) y determinar la estabilidad según normas nacionales mexicanas.

5. Objetivos particulares

- Estudiar y realizar una preformulación de aceite esencial y los excipientes.
- Diseñar y desarrollar nanoemulsiones O/W con aceite esencial.
- Realizar las pruebas de estabilidad de las nanoemulsiones O/W con aceite esencial.
- Caracterizar las nanoemulsiones O/W con aceite esencial más estables.

6. Antecedentes

6.1. Nanoemulsiones

Las NE son dispersiones de aceite en agua (O/W) o de agua en aceite (W/O) de dos líquidos inmiscibles estabilizados con un tensioactivo adecuado, produciendo partículas usualmente entre 20 nm-500 nm (Duarte, 2024). Los ingredientes del sistema de NE incluyen aceite, surfactante/cosurfactante, cosolvente hidrosoluble y agua (Bonilla & Bonilla, 2021). Gonçalves *et al.* (2021) señalan que las NE son uno de los sistemas coloidales más utilizados para la encapsulación de compuestos bioactivos lipofílicos, debido a su alta estabilidad física, buena dispersabilidad, fácil producción, baja opacidad y alta área superficial, por lo que también se le atribuyen a las nanoemulsiones actividades antibacterianas, antifúngicas, antiparasitarias y antimicrobianas en *E. coli*, *S. aureus*, *Candida* spp., *Dermatophytes* spp., *Plasmodium bergheii*, entre otros (Ashaolu, 2021).

6.2. Métodos para obtener una nanoemulsión

Monroy y Pereira (2020) indican que las nanoemulsiones, al ser emulsiones, son sistemas inestables que necesitan un aporte de energía para formarse. Esta energía puede provenir de fuentes externas, como los métodos de dispersión o de alta energía, o de fuentes internas, a través de métodos de condensación o de baja energía.

6.2.1. Métodos de condensación o de baja energía

Los métodos de emulsificación de baja energía aprovechan la energía química interna del sistema y suelen ser más eficientes en términos energéticos, ya que requieren únicamente una agitación simple. Además, suelen generar gotas de menor tamaño en comparación con los métodos de alta energía (Monroy y Pereira, 2020).

Los métodos de condensación o de baja energía son: temperatura de inversión de fase (PIT), la composición de inversión de fase (PIC), la emulsificación espontánea y los métodos de emulsificación de fase D (DPE) (Cobarrubias, 2020).

6.2.2. Métodos de dispersión o de alta energía

En la homogeneización a alta presión, la presión de operación es de hasta 150 MPa para producir nanoemulsiones con gotas de menor tamaño. Este método tiene la ventaja de una fácil escalabilidad en la producción industrial (Monroy y Pereira, 2020).

Los métodos de dispersión o de alta energía son: homogenización a altas presiones, ultrasonido y agitación a altas velocidades (Cobarrubias, 2020).

6.2.2.1 Ultrasonido

En esta técnica, la emulsión premezclada se expone a agitación a una frecuencia ultrasónica de 20 kHz, lo que reduce las gotas a un tamaño de nanogotas. La emulsión resultante se pasa entonces a través de una región de alto cizallamiento para formar gotas con una distribución de tamaño uniforme. En esta técnica se emplea una camisa de agua para regular la temperatura. Los sonotrodos, también conocidos como sondas de sonicación, consisten en cristales de cuarzo piezoeléctricos como proveedores de energía durante la emulsificación ultrasónica. Al aplicar un voltaje eléctrico alterno, estos sonotrodos se contraen y expanden. Se producen vibraciones mecánicas cuando la punta del sonicador entra en contacto con el líquido, lo que produce cavitación, que lleva al colapso de las cavidades de vapor formadas dentro del líquido (Gurpret, 2018).

6.3. Estudio de estabilidad de una nanoemulsión

Las muestras de la NE se llenan en viales de vidrio por separado y se almacenan a una temperatura de 30°C y 65% de humedad relativa, condiciones ambientales, es decir, en condiciones aceleradas durante 3 meses (Farooq *et.al.*, 2020).

6.4. Técnicas de caracterización de una nanoemulsión

Las técnicas más importantes que se utilizan para la caracterización de los nanoemulsiones son las siguientes:

pH: medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. El pH se mide en una escala de 0 a 14. En esta escala, un valor pH de 7 es neutro, lo que significa que la sustancia o solución no es ácida ni alcalina. Un valor pH de menos de 7 significa que es más ácida, y un valor pH de más de 7 significa que es más alcalina (Diccionario de Cáncer del NCI, s. f.)

Índice de refracción: mide cuánto se desvía, o refracta, un rayo de luz al pasar de un medio transparente a otro. Revela la velocidad a la que la luz atraviesa el medio, ya que el cambio de velocidad modifica la dirección de la onda luminosa. La refracción ocurre con cualquier onda, incluyendo el sonido y el agua (Campbell, 2024).

Densidad: es la masa de una unidad de volumen, por ejemplo, la masa de un cm³ de una sustancia (Raviolo, 2022).

Viscosimetría: esta técnica determina el peso molecular de los polímeros (Deb *et.al.*, 2019). La viscosidad de una NE es una propiedad física muy importante ya que afecta la vertibilidad y la absorción del fármaco (Qushawy *et.al.*, 2022).

Dispersión de luz: es una técnica que se basa en la intensidad de la luz dispersada desde una muestra o solución para detectar el tamaño de una partícula; la luz se dispersa y el instrumento mide esta dispersión para obtener una cuantificación del tamaño de las partículas en la muestra. Como se utiliza una fuente de luz monocromática para iluminar la muestra, la luz se difracta en todas las direcciones. Los rayos de luz difractados pueden interferir de dos maneras diferentes, de manera constructiva o destructiva, que se

representan como regiones claras y oscuras, respectivamente. El instrumento repite este proceso varias veces y se mide la intensidad de la luz. Esta técnica se basa en el movimiento browniano, que es el movimiento aleatorio de partículas en una solución o fluido. Una vez generados los datos, el instrumento utiliza varias ecuaciones matemáticas para generar información sobre la muestra, como el tamaño y la distribución del tamaño de las partículas en la muestra. Cabe señalar que la dispersión de luz es una técnica esencial para caracterizar materiales blandos, tales como; nanopartículas, micro y nanoemulsiones, macromoléculas naturales y sintéticas ya sea en solución o en estado sólido (Singer *et.al.*, 2019).

7. Materiales y métodos

7.1. Reactivos. R-(+)-Limoneno de Sigma-Aldrich[®], agua desionizada de UAM-X, ácido oleico puro y Tween 80[®] de Droguería Cosmopolita.

7.2 Equipos. *Partica LA-960V2* de HORIBA, cámara de humedad de Memert[®] a condiciones de 30 °C y 60% de humedad relativa, sonicador CGOLDENWALL de 19-16 KHz. y una sonda de 10 mm de diámetro, potenciómetro HI2211 pH/ORP Meter de la marca *Hanna instruments*, refractómetro Atago[®], picnómetro de vidrio Pyrex[®], viscosímetro *Brookfield AMETEK*[®], balanza analítica Explorer OHAUS[®].

7.3. Metodología

La metodología del siguiente proyecto de investigación se dividió en cuatro etapas, las cuales se describen a continuación:

Etapas 1: Estudiar y realizar una preformulación de aceite esencial y los excipientes.

Etapas 2: Diseñar y desarrollar nanoemulsiones O/W con aceite esencial.

Etapas 3: Realizar las pruebas de estabilidad de las nanoemulsiones O/W con aceite esencial.

Etapas 4: Caracterizar las nanoemulsiones O/W con aceite esencial más estables.

7.3.1. Etapa 1: Estudiar y realizar una preformulación de aceite esencial y los excipientes.

En la etapa 1 se realizaron NE O/W vacías, empleando la metodología PSRUAM utilizando diferentes porcentajes de amplitud con el sonicador CGOLDENWALL de 19-16 KHz. y una sonda de 10 mm de diámetro.

7.3.2. Etapa 2: Diseño y desarrollo de nanoemulsiones O/W con aceite esencial.

En la etapa 2 se realizaron NE O/W completas con R-(+)-Limoneno de Sigma-Aldrich[®] empleando la metodología PSRUAM con el sonicador CGOLDENWALL de 19-16 KHz. y una sonda de 10 mm de diámetro.

7.3.3. Etapa 3: Realizar las pruebas de estabilidad de las nanoemulsiones O/W

con aceite esencial.

En la etapa 3 se realizaron pruebas de estabilidad de las NE O/W completas con R-(+)-Limoneno de Sigma-Aldrich® a temperatura ambiente y a condiciones de 30°C y 60% de humedad relativa en la cámara de humedad de Memmert®.

7.3.4. Etapa 4: Caracterizar las nanoemulsiones O/W con aceite esencial más estables.

En la etapa 4 las NE O/W completas con R-(+)-Limoneno de Sigma-Aldrich® se caracterizaron midiendo el pH, índice de refracción, densidad, viscosidad y tamaño de partícula.

7.3.4.1 pH.

Se calibró y se utilizó el potenciómetro HI2211 pH/ORP Meter de la marca *Hanna instruments* a temperatura ambiente.

7.3.4.2 Índice de refracción.

Se utilizó el refractómetro Atago® a temperatura ambiente.

Para determinar el índice de refracción se utilizó la siguiente tabla de conversiones ya que los resultados se obtuvieron en (%) Brix.

%	n ²⁰	%	n ²⁰	%	n ²⁰	%	n ²⁰	%	n ²⁰
0	1.33299	20	1.36384	40	1.39986	60	1.44193	80	1.49071
1	1.33442	21	1.36551	41	1.40181	61	1.44420	81	1.49333
2	1.33586	22	1.36720	42	1.40378	62	1.44650	82	1.49597
3	1.33732	23	1.36889	43	1.40576	63	1.44881	83	1.49862
4	1.33879	24	1.37060	44	1.40776	64	1.45113	84	1.50129
5	1.34026	25	1.37233	45	1.40978	65	1.45348	85	1.50398
6	1.34175	26	1.37406	46	1.41181	66	1.45584	86	1.5067
7	1.34325	27	1.37582	47	1.41385	67	1.45822	87	1.5094
8	1.34477	28	1.37758	48	1.41592	68	1.46061	88	1.5122
9	1.34629	29	1.37936	49	1.41799	69	1.46303	89	1.5149
10	1.34782	30	1.38115	50	1.42009	70	1.46546	90	1.5177
11	1.34937	31	1.38296	51	1.42220	71	1.46790	91	1.5205
12	1.35093	32	1.38478	52	1.42432	72	1.47037	92	1.5234
13	1.35250	33	1.38661	53	1.42647	73	1.47285	93	1.5262
14	1.35408	34	1.38846	54	1.42863	74	1.47535	94	1.5291
15	1.35568	35	1.39032	55	1.43080	75	1.47787	95	1.5320
16	1.35729	36	1.39220	56	1.43299	76	1.48040		
17	1.35891	37	1.39409	57	1.43520	77	1.48295		
18	1.36054	38	1.39600	58	1.43743	78	1.48552		
19	1.36218	39	1.39792	59	1.43967	79	1.48811		

Figura 1. Relación entre el valor Brix (%) y el índice de refracción (nD). Tomado de: "ATAGO".

7.3.4.3 Densidad.

Se utilizó el picnómetro de vidrio Pyrex® con ayuda de la balanza analítica Explorer OHAUS® a temperatura ambiente. Se usó agua como solución de referencia.

Para determinar la densidad se tomó en cuenta la siguiente fórmula:

$$\rho \text{ Nanoemulsión} = \frac{m_{\text{picnómetro+nanoemulsión}} - m_{\text{picnómetro}}}{m_{\text{picnómetro+agua}} - m_{\text{picnómetro}}} (\rho \text{ agua})$$

7.3.4.4 Viscosidad.

Se utilizó el viscosímetro marca *Brookfield AMETEK*® a 100 rpm con una spindle #61.

7.3.4.5 Tamaño de partícula.

Se utilizó el analizador de distribución del tamaño de partículas por dispersión láser LA-950 marca *HORIBA*®.

8. Resultados

8.1. Etapa 1: Estudiar y realizar una preformulación de aceite esencial y los excipientes.

8.1.1. Análisis de la apariencia visual (APTLs)

En esta etapa del proyecto de investigación se estudiaron y diseñaron preformulaciones sin aceite esencial (NE O/W vacías) utilizando la metodología PSRUAM con diferentes porcentajes de amplitud con el sonicador CGOLDENWALL de 19-16 KHz. y una sonda de 10 mm de diámetro.

La evaluación se realizó mediante un método visual cualitativo, donde se observó la turbidez de cada una de las preformulaciones. Se utilizó la figura 2 como referencia para el APTLs.

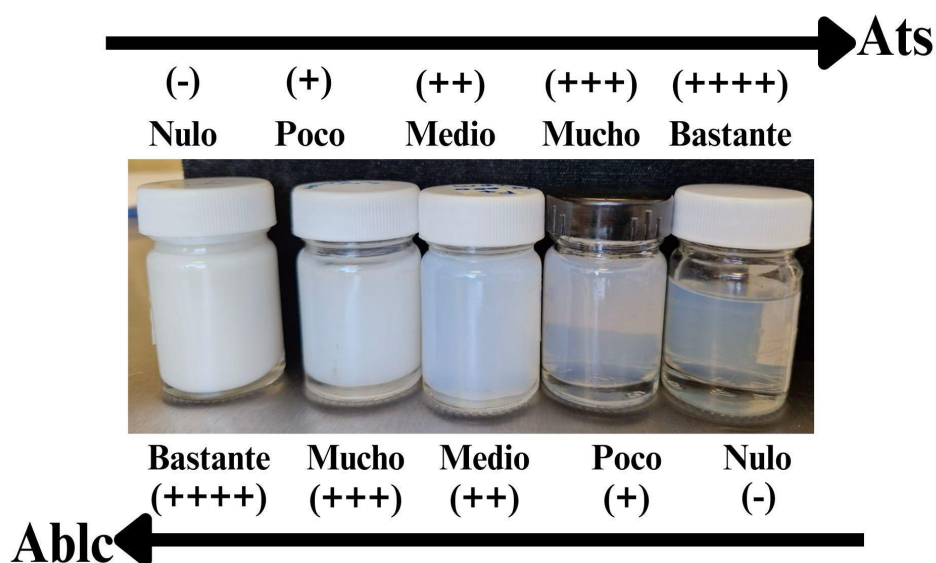
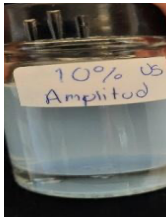

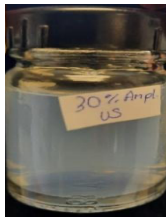
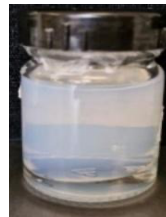



Figura 2. Escala de APTLs para nanoemulsiones.

Con base al APTLs la mejor preformulación fue la NE O/W vacía 5, ya que se realizó con un porcentaje de amplitud mayor que las NE O/W vacías 1, 2 3 y 4 (tabla 1), por lo que, el tamaño de partícula disminuye debido a la intensidad de la energía, favoreciendo de tal forma la apariencia física de la NE O/W (Mushtaq, 2023).

Tabla 1. Parámetros y APTLs de las NEv.

NE o/w	NEv 1	NEv 2	NEv 3	NEv 4	NEv 5
Fecha de elaboración	10-10-24	10-10-24	14-10-24	11-10-24	17-10-24
Método	PSRUAM	PSRUAM	PSRUAM	PSRUAM	PSRUAM
Nivel	1	2	3	4	5
Volumen (mL)	250	250	250	250	250
Temperatura promedio (°C)	17	18	20	18	19
APTLs	+++ 	+++ 	+++ 	++++ 	++++ 

8.2. Etapa 2: Diseño y desarrollo de nanoemulsiones O/W con aceite esencial.

En esta etapa del proyecto de investigación la NEv 5 (tabla 1) se tomó como el mejor vehículo para poder realizar las NEc con diferentes porcentajes de R-(+)-Limoneno de Sigma-Aldrich®.

Con base al APTLs la mejor NEc fue la NEc 3 (tabla 2) debido a que presentó el mayor nivel de Ats.

















Tabla 2. Parámetros y APTLs de las NEc.

NE o/w	NEc 1	NEc 2	NEc 3	NEc 4
Fecha de elaboración	21-10-24	22-10-24	23-10-24	24-10-24
Método	PSRUAM	PSRUAM	PSRUAM	PSRUAM
Nivel	5	5	5	5
Volumen (mL)	250	250	250	250
Temperatura promedio (°C)	22.16	17.33	16.33	19.58
APTLs	+++	+++	++++	-

8.3. Etapa 3: Realizar las pruebas de estabilidad de las nanoemulsiones O/W con aceite esencial.

Tabla 3. Comparación de NEc desde el tiempo 0 (t0) hasta el tiempo 123 (t123) a temperatura ambiente (T.A) y a condiciones de 30°C y 60% de humedad relativa en la

cámara de humedad de *Memert*[®].

NE o/w /Condición	T.A t0	T.A t123	30°C t123	30°C t123
NEv 1				
NEv 2				
NEv 3				
NEv 4				

La estabilidad de las nanoemulsiones fue monitoreada diariamente, desde el día 1 hasta el día 123. Durante este tiempo, en las NEc 1, NEc 2, NEc 3, NEc 4 no se evidenció separación de fases tanto en T.A como en las muestras de 30 °C, sin embargo, con el paso de las semanas se notaron cambios ligeramente en la viscosidad y visualmente se percibían ligeramente más opacas que en el día 1, en ambas condiciones de almacenamiento. Sin embargo, la NEc 3 fue la que se observó con mejores APTLs. Con base a lo descrito anteriormente se deduce que la NEc 3 es más estable.

8.4. Etapa 4: Caracterizar las nanoemulsiones O/W con aceite esencial más estables.

8.4.1. pH

Se tomó como límite superior e inferior el pH del nopal que va de 4.6-4.7 (Galicia, s.f). La figura 3 compara los pHs que se obtuvieron de las NEc1-NEc4, dando como resultados 4.62, 4.96, 5.01 y 5.74, respectivamente. Las NEc fueron formuladas con un % de aceite esencial (R-(+)-Limoneno de Sigma-Aldrich[®]) que se añadió en cantidades específicas de forma creciente por lo que se asume que el nano vehículo tiene interacción con el R-(+)-Limoneno de Sigma-Aldrich[®] debido a que el pH aumenta mientras más aceite esencial se añade. La estabilidad de las nanoemulsiones se puede mejorar controlando el pH (Mushtaq, 2023).

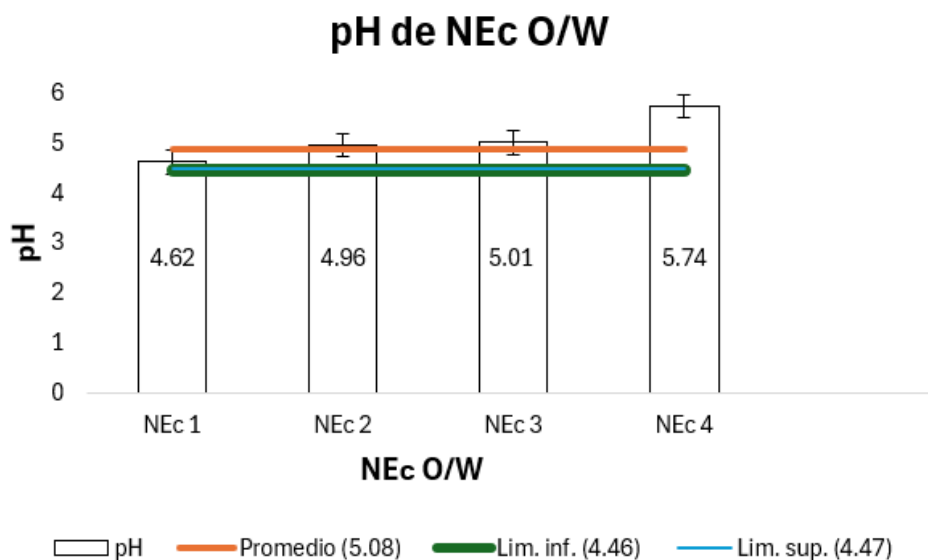


Figura 3. Gráfica de pH de NEc O/W.

8.4.2. Densidad

Se tomó como límite superior e inferior el rango típico de densidad de las NE O/W, el cual va de 0.9 g/mL a 1.05 g/mL, por lo tanto, se puede deducir que todas las NEc se encuentran dentro de los límites permitidos con base a los componentes utilizados en las NEc O/W, por lo que, no hay diferencia de densidad entre la fase dispersa y la fase continua ya que no se observaron fenómenos relacionados con inestabilidad tales como: cremación o sedimentación (separación gravitacional), floculación, coalescencia y maduración de Oswald (Pavoni, 2020) (Figura 4).

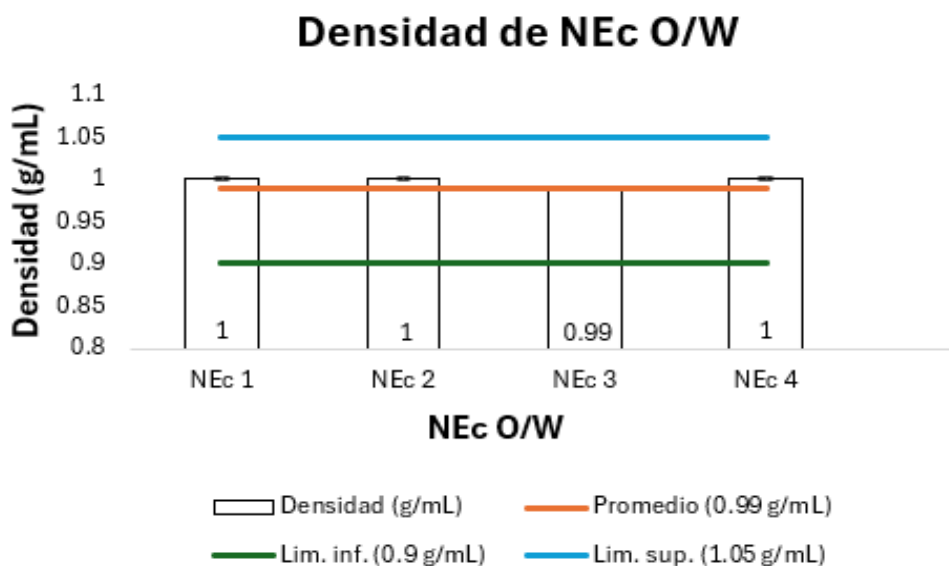


Figura 4. Gráfica de densidad de NEc O/W.

8.4.3. Índice de refracción

Los límites generales del índice de refracción de las NE O/W van de 1.33-1.47. El índice de refracción determina cómo se propaga la luz a través del medio y está relacionado con la transparencia de la nanoemulsión (Gurpret, 2018). En la figura 5 se observa que los índices de refracción de las NEc O/W son iguales, con un valor de 1.34325 nD. Dado que este valor es cercano a el del agua, se considera que la nanoemulsión posee naturaleza

transparente.

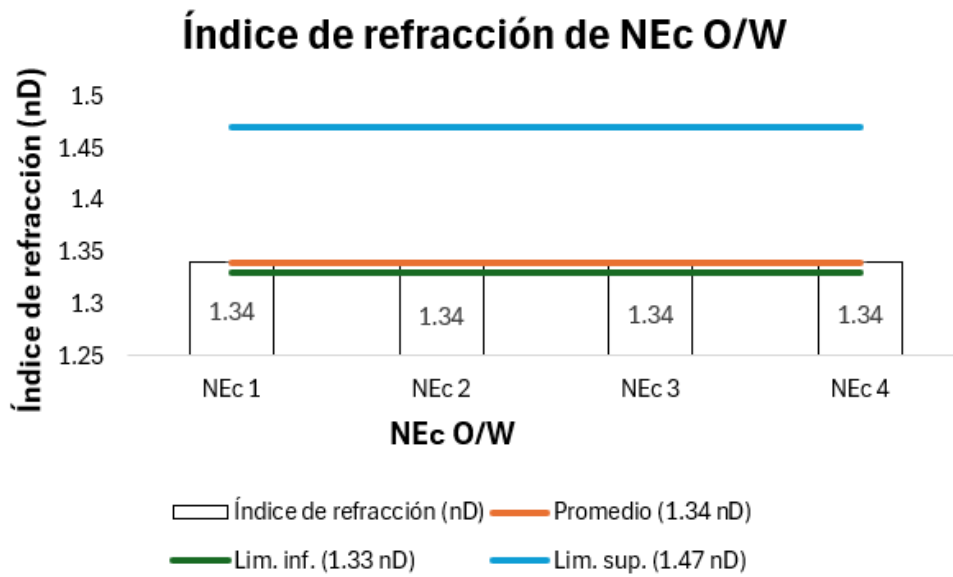


Figura 5. Gráfica de índice de refracción de NEc O/W.

8.4.4. Viscosidad

Se tomó como límite superior e inferior el rango típico de viscosidad de las NE O/W, el cual va de 1 cP-1000 cP, por lo que, las viscosidades de las fases que componen a la nanoemulsión se encuentran dentro del límite permitido, por lo tanto, no se observó que la fase continua afectará a la movilidad de las gotas dispersas ya que no se presentó coalescencia, floculación, cremado o sedimentación ((Pavoni, 2020); además con esto se confirma que el sistema es O/W debido a que presenta una baja viscosidad (Gurpret, 2018).

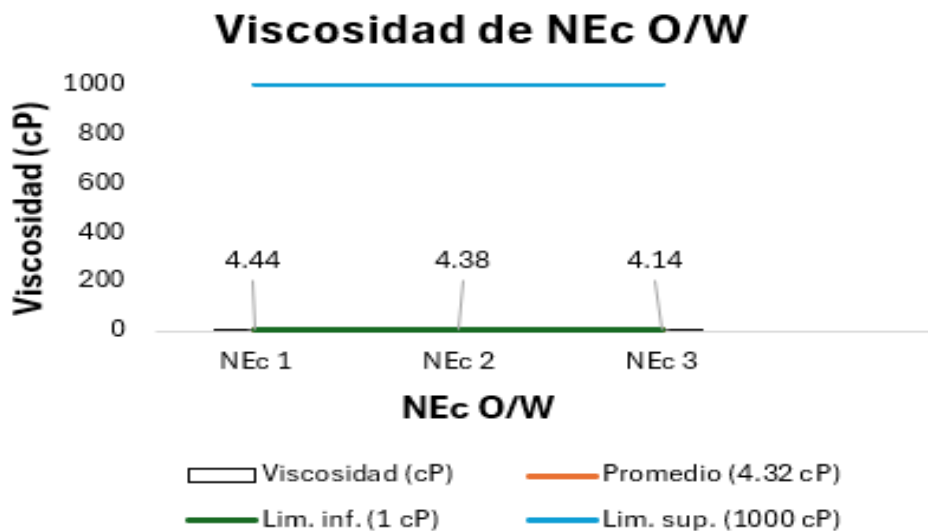
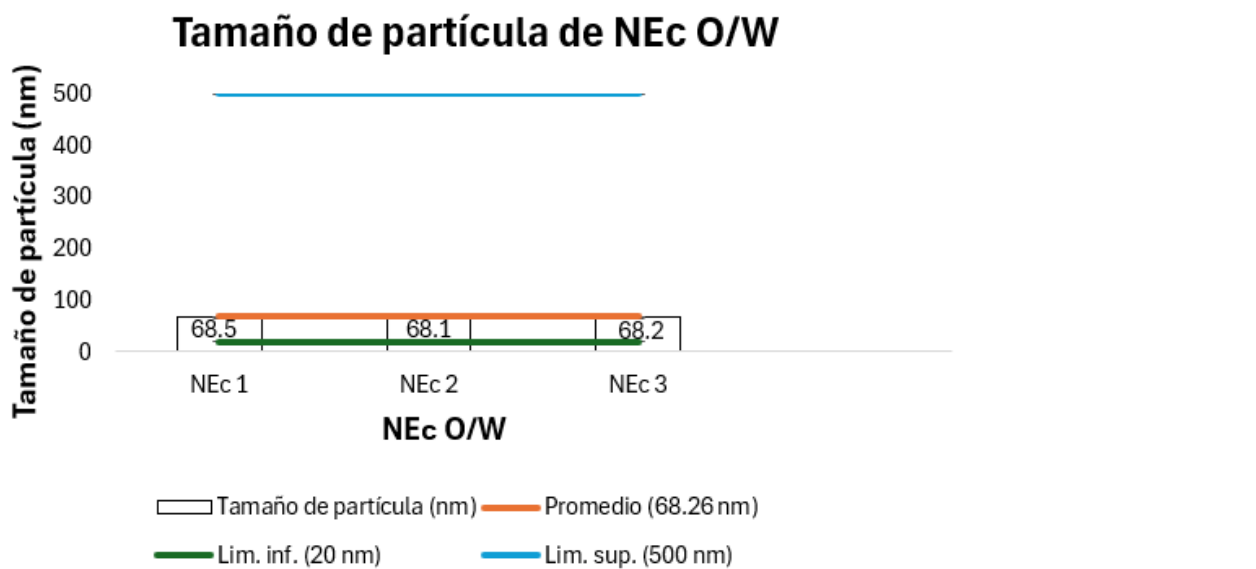


Figura 6. Gráfica de viscosidad de NEc O/W.

8.4.5. Tamaño de partícula

El rango del tamaño de partícula que se establece para una nanoemulsión generalmente en la literatura va de 20 nm-500 nm. En el presente proyecto de investigación se obtuvo un promedio de 68.26 nm (figura 7). Las NEc1, NEc2 y NEc3 tuvieron un tamaño de partícula de 68.5 nm, 68.1 nm y 68.2 nm respectivamente, por lo que, se encuentran

dentro del rango permitido haciendo que el sistema sea estable debido al tamaño de partícula que presentan (Duarte, 2024), así mismo, se puede decir que el Tween 80® de Droguería Cosmopolita, redujo la tensión interfacial e inhibió la agregación de gotitas (Mushtaq, 2023).



9. Conclusiones

Durante el desarrollo de este proyecto de investigación, se lograron cumplir los objetivos que se describen a continuación, contribuyendo de manera significativa al desarrollo de competencias técnicas y analíticas en el campo de la formulación y caracterización de nanoemulsiones O/W.

En primer lugar, la preformulación del aceite esencial y los excipientes permitió establecer las condiciones óptimas para su uso, asegurando la compatibilidad y eficacia de los componentes seleccionados. Esta etapa no solo facilitó el diseño de las nanoemulsiones O/W, sino que también destacó la importancia de una adecuada selección de excipientes en productos innovadores para su aplicación y estabilidad.

Posteriormente, en el segundo objetivo se diseñaron y desarrollaron nanoemulsiones de tipo O/W, donde se optimizaron variables críticas como el tipo y la concentración de tensioactivos, logrando obtener nanoemulsiones O/W con características físicas adecuadas, con alta estabilidad y apariencia homogénea.

En el tercer objetivo, las pruebas de estabilidad realizadas permitieron evaluar la resistencia a la inestabilidad de las nanoemulsiones O/W frente a diferentes condiciones de almacenamiento, proporcionando información clave para la selección de las formulaciones más estables. Los resultados obtenidos validaron la efectividad del proceso de formulación y señalaron posibles mejoras para futuros proyectos de investigación.

Por consiguiente, las nanoemulsiones O/W más estables (NEc 3) fueron caracterizadas utilizando técnicas como medición del tamaño de partícula, de pH, índice de refracción, densidad y viscosidad. Este análisis permitió una visión integral de las propiedades físico-químicas de las nanoemulsiones O/W, fortaleciendo el conocimiento adquirido.

Finalmente, los objetivos del proyecto fueron alcanzados de manera satisfactoria, permitiendo no solo el desarrollo de formulaciones innovadoras, sino también la adquisición de habilidades en análisis crítico, optimización de procesos y caracterización de productos. Estos aprendizajes sientan las bases para futuros desarrollos en el ámbito de las nanoemulsiones O/W promoviendo la aplicación de metodologías científicas y tecnológicas para la creación de productos con alto valor agregado.

Bibliografía

Ashaolu TJ. Nanoemulsions for health, food, and cosmetics: a review. *Environ Chem Lett.* 2021;19(4):3381-3395. doi: 10.1007/s10311-021-01216-9. Epub 2021 Mar 15. PMID: 33746662; PMCID: PMC7956871.

Bonilla, P., & Bonilla, M. (2021). La Nanoemulsion de liberación controlada de ibuprofeno con lecitina de soya. *Química Central*, 7(2), 44-49.

Campbell, J. (2024). Refractive index. *Salem Press Encyclopedia of Science*.

Cobarrubias Carapia, S. (2020). Formulación y caracterización de nanoemulsiones utilizando fitoquímicos con actividad insecticida.

Deb, P. K., Kokaz, S. F., Abed, S. N., Paradkar, A., & Tekade, R. K. (2019). Pharmaceutical and Biomedical Applications of Polymers. En *Elsevier eBooks* (pp. 203- 267). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817909-3.00006-6>

Diccionario de cáncer del NCI. (s. f.). Cancer.gov. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/ph>

Duarte Galharado de Albuquerque¹, R. D. (2024). Las Nanoemulsiones de aceites esenciales: una alternativa verde para el control de plagas agrícolas y transmisoras de enfermedades tropicales. *Cuadernos Médico Sociales*, 64(4), 79–82. <https://doi.org/10.56116/cms.v64.n4.2024.2149>.

Farooq U, Rasul A, Sher M, Qadir MI, Nazir I, Mehmood Y, Riaz H, Shah PA, Jamil QA, Khan BA. Development, characterization and evaluation of anti-fungal activity of miconazole based nanogel prepared from biodegradable polymer. *Pak J Pharm Sci.* 2020 Jan;33(1(Special)):449-457. PMID: 32173643.

Galicia-Villanueva, S., Escamilla-García, P. E., Alvarado-Raya, H., Aquino-González, L. V., Serna-Álvarez, H., & Hernández-Cruz, L. M. (s. f.). *Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago*. <https://www.redalyc.org/journal/2631/263152411007/html/>

Gonçalves, R. F. S., Martins, J. T., Abrunhosa, L., Vicente, A. A., & Pinheiro, A. C. (2021). Nanoemulsions for enhancement of curcumin bioavailability and their safety evaluation: Effect of emulsifier type. *Nanomaterials*, 11(3), 815. <https://doi.org/10.3390/nano11030815>.

Gurpret, N. K., & Singh, N. S. K. (2018). Review of Nanoemulsion Formulation and Characterization Techniques. *Indian Journal Of Pharmaceutical Sciences*, 80(5). <https://doi.org/10.4172/pharmaceutical-sciences.1000422>

Monroy, R., & Pereira, J. (2020). Avances recientes en el diseño de nanoemulsiones: conceptos y tendencias sobre nanocosméticos. *Revista Ingeniería UC*, 27(3), 249-272. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v27i3.146>

Mushtaq, A., Mohd Wani, S., Malik, A. R., Gull, A., Ramniwas, S., Ahmad Nayik, G., Ercisli, S., Alina Marc, R., Ullah, R., & Bari, A. (2023). Recent insights into Nanoemulsions: Their preparation, properties and applications. *Food chemistry: X*, 18, 100684. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100684>

Pavoni, L., Perinelli, D. R., Bonacucina, G., Cespi, M., & Palmieri, G. F. (2020). An Overview of Micro- and Nanoemulsions as Vehicles for Essential Oils: Formulation, Preparation and Stability. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 10(1), 135. <https://doi.org/10.3390/nano10010135>

Putnik P, Gabrić D, Roohinejad S, Barba F, Granato D, Mallikarjunan K, Lorenzo J, Bursać- Kovacević D. An overview of organosulfur compounds from *Allium* spp.: From processing and preservation to evaluation of their bioavailability, antimicrobial, and anti-inflammatory properties. *Food Chem.* 2019; 276:680-691. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.10.068.

Qushawy, M., Mortagi, Y., Alshaman, R., Mokhtar, H. I., Hisham, F. A., Alattar, A., Liang, D., Enan, E. T., Eltrawy, A. H., Alamrani, Z. H., Alshmrani, S. A., & Zaitone, S. A. (2022). Formulation and Characterization of O/W Nanoemulsions of Hemp Seed Oil for Protection from Steatohepatitis: Analysis of Hepatic Free Fatty Acids and Oxidation Markers. *Pharmaceuticals*, 15(7), 864. <https://doi.org/10.3390/ph15070864>

Raviolo, A., Carabelli, P., & Ekkert, T. (2022). Aprendizaje del concepto de densidad: la comprensión de las relaciones entre las variables. *Latin-American Journal of Physics Education*, 16(2), 1–9.

Singer, A., Barakat, Z., Mohapatra, S., & Mohapatra, S. S. (2019). Nanoscale Drug-Delivery Systems. En *Elsevier eBooks* (pp. 395-419). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814033-8.00013>