

Aceite esencial de *Citrus sinensis*: caracterización química y aplicación preliminar en panificación

Gloria Menchaca-Espinoza¹

José Jesús Manríquez-Torres^{1, §}

Mayra Lilly Martínez-Cruz¹

Arturo Estolano-Cobian²

Genaro Rodríguez-Urbe¹

Horacio Eusebio Almanza-Reyes¹

1 Facultad de Medicina y Psicología. Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad 14418, Parque Industrial Internacional, Tijuana, México. CP. 22300.

2 Facultad de Ciencias Químicas e Ingenierías. Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad 14418, Parque Industrial Internacional, Tijuana, México. CP. 22300.

Autor para correspondencia: jose.de.jesus.manriquez.torres@uabc.edu.mx

Resumen

Los subproductos generados durante el procesamiento de cítricos constituyen una fuente potencial de compuestos bioactivos con aplicación alimentaria. El objetivo del estudio fue caracterizar químicamente el aceite esencial obtenido a partir de subproductos de *Citrus sinensis* provenientes de establecimientos comerciales de jugo fresco y evaluar de manera preliminar su incorporación en un producto de panificación. El aceite esencial se extrajo mediante destilación por arrastre de vapor, se obtiene un rendimiento gravimétrico de 0.31% (p/p, base fresca) respecto al peso fresco de la cáscara. El análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) evidenció un perfil dominado por limoneno (55.47%), seguido de β -mirceno (8.28%) y (R)-3,7-dimetil-6-octenal (2.93%), consistente con la composición típica de naranja dulce. Las harinas derivadas de la cáscara y el bagazo se incorporaron a la formulación de una galleta experimental, mientras que el aceite esencial fue adicionado posteriormente al horneado mediante una jalea elaborada con jugo de naranja y pectina. El producto fue evaluado mediante prueba sensorial hedónica ($n=28$), mostrando una aceptabilidad global intermedia a favorable (media= 3.32 en escala de cinco puntos). Los resultados sugieren la viabilidad tecnológica preliminar del aprovechamiento integral de subproductos de *C. sinensis* como fuente de aceite esencial rico en limoneno y fibra dietética, contribuyendo a estrategias de valorización sostenible de residuos agroalimentarios.

Palabras clave:

Citrus sinensis, galleta fortificada, limoneno, valorización de subproductos cítricos.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

La industria alimentaria genera grandes volúmenes de subproductos durante el procesamiento de frutas, particularmente cáscaras y bagazo, los cuales contienen compuestos bioactivos de interés con potencial aplicación en alimentos. En cítricos, estos residuos pueden representar entre 20 y 60% del material procesado, constituyendo una fuente relevante de aceites esenciales, fibra dietética y otros metabolitos funcionales (Castro *et al.*, 2020; Suri *et al.*, 2021; Selvaprasad *et al.*, 2025).

El aprovechamiento de estos subproductos se alinea con estrategias de economía circular y sostenibilidad, orientadas a la reducción de residuos y valorización de materiales agroalimentarios (Aguirre-Forero *et al.*, 2022; Andrade *et al.*, 2023; Xia *et al.*, 2024; Cinardi *et al.*, 2025). La recuperación de compuestos funcionales a partir de residuos cítricos ha cobrado interés en el desarrollo de ingredientes alimentarios y nutraceuticos (Ben-Hsouna *et al.*, 2023).

Los aceites esenciales cítricos son mezclas complejas de metabolitos secundarios, dominadas por monoterpenos como limoneno, linalol y citral, con propiedades aromáticas y funcionales (Yang *et al.*, 2017; Guo *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2023). En particular, el limoneno es el componente mayoritario del aceite esencial de *C. sinensis* y puede variar según el origen y método de extracción (Bouabdallah *et al.*, 2022). Dado su estatus GRAS, estos compuestos representan una alternativa a aditivos sintéticos (Sun, 2007; Guo *et al.*, 2018).

Además, la cáscara y el bagazo contienen fibra dietética con potencial aplicación en productos de panificación, donde se ha evaluado su impacto en propiedades tecnológicas y sensoriales (Romero-Lopez *et al.*, 2011; Olajumoke y Sade, 2018; Guerra *et al.*, 2020). Sin embargo, el perfil químico del aceite esencial puede variar significativamente en función de factores como la variedad vegetal, el origen geográfico, el grado de madurez del fruto, las condiciones de almacenamiento de la materia prima y la técnica de extracción empleada, lo que hace necesaria su caracterización mediante GC-MS (Guo *et al.*, 2018; Bhandari *et al.*, 2024).

La destilación por arrastre de vapor continúa siendo una de las metodologías más utilizadas para la obtención de aceites esenciales cítricos debido a su simplicidad operativa, reproducibilidad y amplia aplicación en estudios de caracterización química (Brah *et al.*, 2024). Aunque existen tecnologías emergentes orientadas a incrementar la eficiencia de extracción, la presente investigación se enfocó en la caracterización química del aceite obtenido mediante una técnica convencional ampliamente documentada (Mahato *et al.*, 2019; Costa *et al.*, 2022; Brah *et al.*, 2024).

El objetivo de este estudio fue caracterizar químicamente el aceite esencial de *C. sinensis* obtenido a partir de cáscara procedente de subproductos de la industria del jugo de naranja y evaluar preliminarmente su aplicación en un producto de panificación.

Materiales y métodos

Diseño experimental

El estudio correspondió a una investigación experimental de carácter descriptivo y exploratorio desarrollada en dos etapas. En la primera etapa se realizó la extracción y caracterización química del aceite esencial obtenido a partir de subproductos de *Citrus sinensis* mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). En la segunda etapa se evaluó preliminarmente su aplicación en un producto de panificación elaborado con harinas derivadas de cáscara y bagazo de naranja.

Recolección y preparación de la materia prima

Las muestras de *C. sinensis* (variedades Valencia y Veracruz) se obtuvieron entre marzo y mayo de 2024 a partir de expendios de jugo en Tijuana, Baja California, México. Las cáscaras y el bagazo, previa eliminación de las semillas, fueron recolectados inmediatamente después del exprimido

mecánico, transportados en recipientes herméticos y almacenados a 4 °C hasta su procesamiento. Previo a la extracción, las cáscaras se separaron del bagazo y se fragmentaron (~1 cm²) para favorecer la eficiencia del proceso.

Extracción del aceite esencial

El aceite esencial de *C. sinensis* se obtuvo mediante destilación por arrastre de vapor. Para cada corrida se emplearon aproximadamente 250 g de cáscara fresca previamente fragmentada. El material vegetal se colocó en un sistema de destilación equipado con condensador tipo Liebig, adicionando agua destilada en volumen suficiente para mantener ebullición constante. La destilación se realizó durante 45 min posteriores al inicio de la ebullición.

El destilado fue recolectado como mezcla aceite-agua y el aceite esencial se separó mediante embudo de decantación. Posteriormente, se deshidrató con sulfato de sodio anhidro grado analítico y se almacenó en frascos de vidrio ámbar a 4 °C hasta su análisis. Se realizaron tres extracciones independientes (n= 3) bajo las mismas condiciones experimentales.

El rendimiento gravimétrico se calculó como porcentaje peso/peso (% p/p) respecto a la masa fresca inicial de cáscara empleada en cada extracción, de acuerdo con la ecuación:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{masa de aceite obtenido (g)}}{\text{masa fresca de cáscara (g)}} \times 100$$

El rendimiento promedio obtenido fue de 0.31 ±0.02% (p/p) (n= 3). Cada extracción se realizó utilizando aproximadamente 250 g de cáscara fresca.

Análisis por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS)

La caracterización química se realizó en un cromatógrafo Thermo Scientific Trace 1310 acoplado a un espectrómetro de masas ISQ LT, operando en modo de ionización por impacto electrónico (70 eV) y adquisición en barrido completo. Se utilizó una columna capilar TG-SQC (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm) con helio como gas acarreador (1.2 ml min⁻¹). La inyección se efectuó en modo split (16.7:1), con temperaturas del inyector, línea de transferencia y fuente a 300 °C.

El programa de temperatura del horno fue: 50 °C (2 min), incremento de 7 °C min⁻¹ hasta 85 °C (5 min), seguido de incrementos de 10 °C min⁻¹ hasta 250 °C con tiempos de mantenimiento intermedios. Las muestras se diluyeron en hexano (1:100, v/v) y se analizaron por triplicado, incluyendo corridas en blanco.

La identificación de compuestos se realizó mediante comparación con la biblioteca NIST (R match ≥ 800) y verificación mediante índices de retención de Kovats empleando n-alcanos (C₈-C₂₀), de acuerdo con la literatura (Babushok *et al.*, 2011; Bizzo *et al.*, 2023). Las abundancias relativas se calcularon a partir del área de los picos del cromatograma de ion total (TIC), sin uso de estándar interno.

Obtención de harinas de cáscara y bagazo

Posterior a la extracción del aceite esencial, las cáscaras y el bagazo se sometieron a deshidratación en un deshidratador de alimentos Excalibur® a 40-47 °C durante 6-8 h. El material deshidratado se molió en un molino de cuchillas hasta obtener un polvo fino y posteriormente se tamizó manualmente mediante una malla metálica de 500 µm para homogenizar el tamaño de partícula.

La fracción obtenida se almacenó en recipientes herméticos, protegida de la luz y la humedad, a 25 ±2 °C hasta su utilización. De manera adicional, se prepararon harinas de avena y arroz mediante molienda siguiendo el mismo procedimiento, las cuales se emplearon como parte de la mezcla base del producto.

Formulación del producto de panificación

La formulación base del producto se elaboró utilizando una mezcla total de 325 g de harinas, distribuidas de la siguiente manera: 100 g de harina de avena, 80 g de harina de trigo integral, 50 g de harina de arroz, 45 g de harina de cáscara de *C. sinensis* y 50 g de harina de bagazo de *C. sinensis*. Las harinas de cáscara y bagazo representaron 13.8% y 15.4%, respectivamente, del total de la mezcla.

La masa se preparó mediante mezcla homogénea de los ingredientes secos, seguida de la incorporación de los componentes líquidos según el procedimiento estándar de panificación (Jose *et al.*, 2022). Las galletas se moldearon manualmente y se hornearon en horno convencional a 180 °C durante 15 min, hasta alcanzar textura firme y coloración uniforme.

El aceite esencial no fue incorporado directamente a la masa ni sometido a tratamiento térmico. Para su aplicación, se preparó una jalea a partir de jugo fresco de naranja exprimido en laboratorio, al cual se adicionó pectina como agente gelificante.

Una vez formada la jalea y a temperatura ambiente, se incorporó el aceite esencial en proporción de 0.5313 g en 16 g de jalea, homogenizando cuidadosamente para su distribución uniforme. Esta preparación se aplicó posteriormente sobre las galletas ya horneadas, evitando así la exposición del aceite esencial a temperaturas elevadas.

Esta estrategia se seleccionó con el propósito de minimizar la pérdida de compuestos volátiles y preservar las características aromáticas del aceite esencial durante su aplicación en el producto. Las galletas fueron dejadas en reposo a temperatura ambiente hasta su evaluación sensorial.

Evaluación sensorial

La aceptabilidad del producto se evaluó mediante una prueba sensorial hedónica con escala tipo Likert de cinco puntos (1= muy baja aceptación; 5= muy alta aceptación), considerando los atributos sabor, consistencia, forma/presentación y aceptación global. Participaron 28 estudiantes universitarios seleccionados por muestreo no probabilístico por conveniencia, quienes firmaron consentimiento informado previo a su participación.

Cada participante evaluó una única formulación del producto, correspondiente a una galleta completa con un peso de 15 g elaborada bajo las condiciones descritas en este estudio. Las muestras se codificaron con números aleatorios de tres dígitos y se evaluaron bajo condiciones controladas de iluminación, temperatura ambiente y presentación de las muestras.

La consistencia interna del instrumento se evaluó mediante el coeficiente α de Cronbach (0.839). Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva (media, desviación estándar, mediana y moda) utilizando SPSS Statistics v.24 (IBM Corp., EUA).

Resultados y discusión

Rendimiento de extracción

La destilación por arrastre de vapor realizada sobre aproximadamente 250 g de cáscara fresca por corrida permitió obtener un rendimiento promedio de $0.31 \pm 0.02\%$ (p/p), calculado a partir de tres extracciones independientes. Este valor se encuentra dentro del intervalo reportado para aceites esenciales obtenidos a partir de subproductos cítricos sometidos previamente a exprimido (Agarwal *et al.*, 2022), aunque es inferior al descrito para material fresco intacto.

El material vegetal utilizado correspondió a cáscaras provenientes de expendios de jugo, por lo que la manipulación mecánica previa pudo haber ocasionado la ruptura parcial de las vesículas oleíferas del flavedo y en consecuencia, una disminución en la recuperación del aceite esencial (Fisher y Phillips, 2008; Costa *et al.*, 2022).

Las glándulas secretoras localizadas en el flavedo constituyen el principal sitio de acumulación del aceite esencial en frutos cítricos (Crişan, 2026). No obstante, el rendimiento obtenido confirma que los subproductos agroalimentarios constituyen una fuente viable de aceite esencial, en concordancia con lo reportado para procesos de valorización de residuos cítricos (Mahato *et al.*, 2019).

Composición química del aceite esencial

Los principales componentes identificados mediante GC-MS se presentan en el Cuadro 1. La caracterización mediante GC-MS identificó al limoneno como el componente mayoritario del aceite esencial, seguido por β -mirceno, citronelal y pineno. Este perfil químico concuerda con lo reportado para aceites esenciales de *Citrus sinensis*, donde el D-limoneno constituye habitualmente el compuesto predominante y representa una fracción importante de la composición total del aceite esencial (Crişan, 2026).

Cuadro 1. Composición química del aceite esencial de *C. sinensis* determinada por GC-MS.

Tiempo de retención (min)	Compuesto	Abundancia relativa (%)
9.32	Limoneno	55.47
8.12	#-mirceno	8.28
12.05	Citronelal (R)-3, 7-dimetil-6-octenal	2.93
6.8	#-pineno	1.6
15.39	Decanal	1.15
8.44	Octanal	0.7
10.82	1-octanol	0.7
17	(E)-3, 7-dimetil-2, 6-octadienal	0.63
7.69	4-metileno-1- (1-metiletil) ciclohexano	0.49
16.34	(Z)-3, 7-dimetil-2, 6-octadienal	0.33
15.13	#-terpineol	0.31
16.66	Geraniol	0.15
17.15	4-(1-metiletenil)ciclohexeno-1-carboxaldehído	0.13
4.31	Butanoato de etilo	0.07

Las diferencias observadas en la abundancia relativa de los compuestos pueden atribuirse a factores como el origen de la materia prima, el estado de madurez del fruto, las condiciones de procesamiento y las características del material vegetal utilizado para la extracción (Ferrer *et al.*, 2022).

Los compuestos fueron identificados mediante comparación de los espectros de masas con la biblioteca NIST. La abundancia relativa se calculó a partir del área de los picos del cromatograma de ion total (TIC) sin factores de corrección.

El perfil cromatográfico mostró predominio de limoneno (55.47%), seguido de β -mirceno (8.28%) y (R)-3,7-dimetil-6-octenal (2.93%), en concordancia con lo reportado para *C. sinensis* (Mahato *et al.*, 2019; Ferrer *et al.*, 2023). El contenido de limoneno se encuentra dentro del rango típico (50-90%), dependiendo de factores como variedad, origen geográfico y método de extracción.

Se identificaron además monoterpenos como α -pineno y β -mirceno, así como compuestos oxigenados, incluyendo α -terpineol, geraniol y aldehídos (decanal y octanal), los cuales contribuyen al perfil aromático del aceite esencial (Dosoky y Setzer, 2018; González-Mas *et al.*, 2019). El predominio de monoterpenos hidrocarbonados confirma que el aceite conserva el perfil típico de naranja dulce, aun cuando el material provino de subproductos post-procesamiento. El análisis se realizó en columna no quiral, por lo que no se evaluó la distribución enantiomérica de los compuestos (Elshafie y Camele, 2022).

Aplicación preliminar en producto de panificación

La incorporación del aceite esencial y de las harinas derivadas de cáscara y bagazo permitió evaluar la viabilidad tecnológica del producto desarrollado. Los resultados de la evaluación sensorial mostraron una aceptación favorable por parte de los consumidores participantes, lo que sugiere que la incorporación de ingredientes derivados de subproductos cítricos puede realizarse sin afectar negativamente la aceptación general del producto.

Estos resultados coinciden con estudios previos que reportan una adecuada aceptación de productos alimentarios enriquecidos con compuestos derivados de cítricos y aceites esenciales utilizados como ingredientes funcionales (Zhang *et al.*, 2022).

Evaluación sensorial

Los resultados de la evaluación sensorial se presentan en el Cuadro 2. La aceptación global fue de 3.32 ± 0.84 (CV= 25.3%), con mediana de 3.5 y moda de 4, indicando una tendencia favorable.

Cuadro 2. Resultados descriptivos de la evaluación sensorial del producto (n= 28).

Atributo	Media $\pm$ DE	CV (%)	Mediana	Moda
Sabor	3.36 ± 0.88	26.2	4	4
Consistencia	3.64 ± 0.81	22.3	4	4
Forma/presentación	3.93 ± 0.72	18.3	4	4
Aceptación global	3.32 ± 0.84	25.3	3.5	4
Frecuencia de consumo	2.93 ± 0.91	31.1	3	3

Escala hedónica de cinco puntos (1= menor aceptación; 5= mayor aceptación).

Resultados similares han sido reportados en productos de panificación enriquecidos con subproductos cítricos, donde la concentración del ingrediente funcional influye en la aceptación del consumidor (Sayed-Ahmad *et al.*, 2023). El uso de media y desviación estándar en escalas tipo Likert es aceptado cuando se complementa con medidas robustas como mediana y moda (Huh y Gim, 2025).

La formulación evaluada correspondió a una formulación experimental preliminar desarrollada para explorar la incorporación de subproductos de *Citrus sinensis* en una matriz alimentaria. En consecuencia, el presente estudio no tuvo como objetivo la optimización de la formulación ni la aplicación de metodologías específicas de optimización sensorial, por lo que los resultados obtenidos deben interpretarse como evidencia inicial de aceptabilidad del producto desarrollado.

Los resultados obtenidos sugieren que la incorporación de ingredientes derivados de subproductos cítricos puede realizarse sin afectar negativamente la aceptación general del producto, lo cual coincide con estudios previos en productos de panificación enriquecidos con residuos cítricos, donde se reportaron niveles adecuados de aceptación sensorial por parte de los consumidores (Sayed-Ahmad *et al.*, 2023).

Conclusiones

El aceite esencial obtenido a partir de subproductos de *C. sinensis* presentó un rendimiento de $0.31 \pm 0.02\%$ (p/p) mediante destilación por arrastre de vapor, lo que confirma que las cáscaras provenientes de expendios de jugo constituyen una fuente viable para la recuperación de compuestos volátiles.

El análisis por GC-MS evidenció un perfil químico con predominancia del limoneno (55.47%), acompañado de β -mirceno y otros monoterpenos característicos, en concordancia con lo reportado para *C. sinensis*, aun cuando el material vegetal correspondió a subproductos post-procesamiento.

La incorporación del aceite esencial en una matriz de panificación, mediante aplicación posterior al horneado, permitió conservar sus características aromáticas. La evaluación sensorial mostró una aceptabilidad intermedia a favorable, sin evidencia de rechazo asociado a la inclusión del aceite esencial y la fibra derivada de cáscara y bagazo.

En conjunto, los resultados respaldan el aprovechamiento integral de subproductos de *C. sinensis* como estrategia de valorización agroalimentaria, evidenciando su potencial de aplicación tecnológica en el desarrollo de alimentos.

Agradecimientos

La autora Gloria Menchaca-Espinoza agradece a SECIHTI por la beca otorgada CVU: 2058760.

Bibliografía

- 1 Agarwal, P.; Sebghatollahi, Z.; Kamal, M.; Dhyani, A.; Shrivastava, A.; Singh, K. K.; Sinha, M.; Mahato, N.; Mishra, A. K. and Baek, K. H. 2022. *Citrus* essential oils in aromatherapy: therapeutic effects and mechanisms. Suiza. *Antioxidants*. 11(12):2374. <https://doi.org/10.3390/antiox11122374>.
- 2 Aguirre-Forero, S. E.; Piraneque-Gambasica, N. V. and Cabarcas-Saumeth, D. E. 2022. Compost de cáscara de naranja: una alternativa de aprovechamiento y ciclaje de materia orgánica en la región del Caribe de Colombia. Colombia. *Entramado*. 18(1):e8063. <https://doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.8063>.
- 3 Andrade, M. A.; Barbosa, C. H.; Shah, M. A.; Ahmad, N.; Vilarinho, F.; Khwaldia, K.; Sanches-Silva, A. and Ramos, F. 2023. *Citrus* by-products: valuable source of bioactive compounds for food applications. Suiza. *Antioxidants*. 12(1):38. <https://doi.org/10.3390/antiox12010038>.
- 4 Babushok, V. I.; Linstrom, P. J. and Zenkevich, I. G. 2011. Retention indices for frequently reported compounds of plant essential oils. Estados Unidos. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*. 40(4):043101. <https://doi.org/10.1063/1.3653552>.
- 5 Ben-Hsouna, A.; Sadaka, C.; Mekini#, I. G.; Garzoli, S.; Švarc-Gaji#, J.; Rodrigues, F.; Morais, S.; Moreira, M. M.; Ferreira, E.; Spigno, G.; Brezo-Borjan, T.; Ben Akacha, B.; Ben Saad, R.; Delerue-Matos, C. and Mnif, W. 2023. The chemical variability, nutraceutical value, and food-industry and cosmetic applications of citrus plants: a critical review. Suiza. *Antioxidants*. 12(2):481. <https://doi.org/10.3390/antiox12020481>.
- 6 Bhandari, D. P.; Chaudhary, P.; Upadhyaya, S. R.; Ranjitkar, R.; Satyal, R.; Adhikari, A.; Satyal, P. and Parajuli, N. 2024. Chemical variability, antioxidant and larvicidal efficacy of essential oils from *Citrus sinensis* (L.) Osbeck peel, leaf, and flower. Suiza. *Horticulturae*. 10(6):566. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10060566>.
- 7 Bizzo, H. R.; Brilhante, N. S.; Nolvachai, Y. and Marriott, P. J. 2023. Use and abuse of retention indices in gas chromatography. Países Bajos. *Journal of Chromatography A*. 1708:464376. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2023.464376>.
- 8 Bouabdallah, S.; Cianfaglione, K.; Azzouz, M.; Batiha, G. E. S.; Alkhuriji, A. F.; Al-Megrin, W. A. I.; Ben-Attia, M. and Eldahshan, O. A. 2022. Sustainable extraction, chemical profile, cytotoxic and antileishmanial activities in-vitro of some *Citrus* species leaves essential oils. Suiza. *Pharmaceuticals*. 15(9):1163. <https://doi.org/10.3390/ph15091163>.
- 9 Brah, A. S.; Obuah, C. I. and Adokoh, C. K. 2024. Innovations and modifications of current extraction methods and techniques of citrus essential oils: a review. Suiza. *Discover Applied Sciences*. 6:460. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06100-z>.

- 10 Castro, L. A.; Lizi, J. M.; Chagas, E. G.; Carvalho, R. A. and Vanin, F. M. 2020. From orange juice by-product in the food industry to a functional ingredient: application in the circular economy. Suiza. *Foods*. 9(5):593. <https://doi.org/10.3390/foods9050593>.
- 11 Cinardi, G.; D'Urso, P. R.; Cascone, G. and Arcidiacono, C. 2025. *Citrus* waste valorisation processes from an environmental sustainability perspective: a scoping literature review of life cycle assessment studies. Suiza. *AgriEngineering*. 7(10):335. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7100335>.
- 12 Costa, J. S.; Maranduba, H. L.; Castro, S. S.; Almeida Neto, J. A. and Rodrigues, L. B. 2022. Environmental performance of orange citrus waste as raw material for pectin and essential oil production. Reino Unido. *Food and Bioproducts Processing*. 135:165-177. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.07.008>.
- 13 Crişan, I. 2026. From flavedo to flavors and fragrance: botanical foundations of citrus peel essential oils in bio-based value chains. Argentina. *Phyton*. 95(3):5. <https://doi.org/10.32604/phyton.2026.078943>.
- 14 Dosoky, N. S. and Setzer, W. N. 2018. Biological activities and safety of citrus essential oils. Suiza. *International Journal of Molecular Sciences*. 19(7):1966. <https://doi.org/10.3390/ijms19071966>.
- 15 Elshafie, H. S. and Camele, I. 2022. Chemical composition and biological properties of essential oils of citrus species. Alemania. *Chemistry and Biodiversity*. 19(3):e202100910. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202100910>.
- 16 Ferrer, V.; García-Risco, M. R.; Fornari, T.; Reglero, G. and Ruiz-Rodríguez, A. 2023. Chemical composition and aromatic profile of sweet orange (*Citrus sinensis*) essential oil: predominance of monoterpene hydrocarbons. Suiza. *Plants*. 12(5):990. <https://doi.org/10.3390/plants12050990>.
- 17 Ferrer, V.; Paymal, N.; Quinton, C.; Tomi, F. and Luro, F. 2022. Investigations of the chemical composition and aromatic properties of peel essential oils throughout the complete phase of fruit development for two cultivars of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osb.). Suiza. *Plants*. 11(20):2747. <https://doi.org/10.3390/plants11202747>.
- 18 Fisher, K. and Phillips, C. 2008. Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? Reino Unido. *Trends in Food Science and Technology*. 19(3):156-164. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.11.006>.
- 19 González-Mas, M. C.; Rambla, J. L.; López-Gresa, M. P.; Blázquez, M. A. and Granell, A. 2019. Volatile compounds in citrus essential oils: a comprehensive review. Suiza. *Frontiers in Plant Science*. 10:12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00012>.
- 20 Guerra, B. E. C.; Baños, D. M. I.; Luna-Jiménez, A.; González-Cortés, N. y Jiménez-Vera, R. 2020. Caracterización de harina de naranja (*Citrus × sinensis*) para uso alimentario. Reino Unido. *European Scientific Journal*. 16(6):12-28. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n6p12>.
- 21 Guo, Q.; Liu, K.; Deng, W.; Zhong, B.; Yang, W. and Chun, J. 2018. Chemical composition and antimicrobial activity of gannan navel orange peel essential oils. Reino Unido. *Food Science and Nutrition*. 6(6):1431-1437. <https://doi.org/10.1002/fsn3.688>.
- 22 Huh, I. and Gim, J. 2025. Exploration of Likert scale in terms of continuous variable with parametric statistical methods. Reino Unido. *BMC Medical Research Methodology*. 25(1):218. <https://doi.org/10.1186/s12874-025-02668-1>.
- 23 Jose, M.; Himashree, P.; Sengar, A. S. and Sunil, C. K. 2022. Valorization of food industry by-product (pineapple pomace): a study to evaluate its effect on physicochemical and textural properties of developed cookies. Países Bajos. *Measurement: Food*. 6:100031. <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2022.100031>.

- 24 Mahato, N.; Sharma, K.; Koteswararao, R.; Sinha, M.; Baral, E. and Cho, M. H. 2019. *Citrus* essential oils: extraction, authentication and application in food preservation. Reino Unido. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 59(4):611-625. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1384716>.
- 25 Olajumoke, R. and Sade, O. 2018. Orange peel flour: a potential source of antioxidant and dietary fiber in pearl-millet biscuit. Estados Unidos. *Journal of Food Biochemistry*. 42(4):e12523. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12523>.
- 26 Romero-Lopez, M. R.; Osorio-Diaz, P.; Bello-Perez, L. A.; Tovar, J. y Bernardino-Nicanor, A. 2011. Fiber concentrates from orange (*Citrus sinensis* L.) bagasse: characterization and application as bakery product ingredient. Suiza. *International Journal of Molecular Sciences*. 12:2174-2186. <https://doi.org/10.3390/ijms12042174>.
- 27 Sayed-Ahmad, B.; Talou, T.; Straumite, E.; Sabovics, M. and Kruma, Z. 2023. Utilization of citrus peel in bakery products: effect on physicochemical and sensory properties. Reino Unido. *International Journal of Food Science and Technology*. 58(5):2706-2716. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16342>.
- 28 Selvaprasad, D. E. J.; Hegde, K. R.; Somasundaram, K. D. and Manickam, L. 2025. Recent advancements in citrus by-product utilization for sustainable food production. Estados Unidos. *Food Biomacromolecules*. 2(3):377-389. <https://doi.org/10.1002/fob2.70022>.
- 29 Sousa, D. P.; Damasceno, R. O. S.; Amorati, R.; Elshabrawy, H. A.; Castro, R. D.; Bezerra, D. P.; Nunes, V. R. V.; Gomes, R. C. and Lima, T. C. 2023. Essential oils: chemistry and pharmacological activities. Suiza. *Biomolecules*. 13(7):1144. <https://doi.org/10.3390/biom13071144>.
- 30 Sun, J. 2007. D-limonene: safety and clinical applications. Estados Unidos. *Alternative Medicine Review*. 12(3):259-264.
- 31 Suri, S.; Singh, A. and Nema, P. K. 2021. Recent advances in valorization of citrus fruits processing waste: a way forward towards environmental sustainability. *Food Science and Biotechnology*. 30(13):1601-1626. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00984-y>.
- 32 Xia, H.; Liu, D.; Jin, Y.; Wang, M.; Qiao, Z.; Wu, Q.; Liu, Y. and Li, E. 2024. Antimicrobial activity of eight plant essential oils having antioxidant property against spoilage microbes. Reino Unido. *Journal of Applied Microbiology*. 135(10):lxae196. <https://doi.org/10.1093/jambio/lxae196>.
- 33 Yang, C.; Chen, H.; Chen, H.; Zhong, B.; Luo, X. and Chun, J. 2017. Antioxidant and anticancer activities of essential oil from gannan navel orange peel. Suiza. *Molecules*. 22(8):1391. <https://doi.org/10.3390/molecules22081391>.
- 34 Zhang, L.; Li, Y.; Xu, Y. and Song, H. 2022. Key aroma compounds and sensory characteristics of citrus-related volatile compounds in foods. Estados Unidos. *ACS Food Science and Technology*. 2(2):257-266. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00304>.



Aceite esencial de *Citrus sinensis*: caracterización química y aplicación preliminar en panificación

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9230
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)

Article/Issue Information
Date received: 01 June 2026
Date accepted: 01 August 2026
Publication date: 01 September 2026
Volume: 17
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e4225
DOI: 10.29312/remexca.v17i6.4225

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Citrus sinensis

galleta fortificada

limoneno

valorización de subproductos cítricos

Counts

Figures: 0

Tables: 2

Equations: 1

References: 34