

# recimundo

Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento

**DOI:** 10.26820/recimundo/9.(2).abril.2025.646-659

**URL:** <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2677>

**EDITORIAL:** Saberes del Conocimiento

**REVISTA:** RECIMUNDO

**ISSN:** 2588-073X

**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Artículo de revisión

**CÓDIGO UNESCO:** 32 Ciencias Médicas

**PAGINAS:** 646-659



## Métodos de extracción de aceites esenciales de cítricos y eucalipto: comparación de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Una revisión sistemática

Methods for extracting essential oils from citrus fruits and eucalyptus: a comparison of efficiency, quality, and sustainability. A systematic review

Métodos para extrair óleos essenciais de frutas cítricas e eucalipto: uma comparação de eficiência, qualidade e sustentabilidade. Uma revisão sistemática

**Efigenia Monserrate Gonzabay Bravo<sup>1</sup>; Patricia Judith Pinos Robalino<sup>2</sup>; Angela Paula Gaibor Durán<sup>3</sup>; Otto Vicente Campos Mancero<sup>4</sup>**

**RECIBIDO:** 10/03/2025 **ACEPTADO:** 19/04/2025 **PUBLICADO:** 03/07/2025

1. Magíster en Salud Pública; Médico Especialista en Cardiología; Médico; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador;  <https://orcid.org/0000-0001-5753-7747>
2. Magíster en Diseño Curricular; Diploma Superior en Diseño Curricular por Competencias; Doctora en Odontología; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; [patricia.pinosr@ug.edu.ec](mailto:patricia.pinosr@ug.edu.ec);  <https://orcid.org/0000-0001-7170-9381>
3. Diploma Superior en Atención Primaria de Salud; Diploma Superior en Tratamientos Endodónticos en Piezas Multirradiculares con Técnica de Condensación Lateral; Especialización en Periodoncia; Odontólogo; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; [angela.gaibord@ug.edu.ec](mailto:angela.gaibord@ug.edu.ec);  <https://orcid.org/0009-0004-1686-8426>
4. Magíster en Investigación Clínica y Epidemiológica; Diploma Superior en Diseño Curricular por Competencias; Diploma Superior en Preparación de Multirradiculares; Diploma Superior en Sistemas de Educación Superior Modular Basados en Créditos Acumulables y Transferibles; Doctor en Odontología; Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador; [otto.camposm@ug.edu.ec](mailto:otto.camposm@ug.edu.ec);  <https://orcid.org/0000-0002-1745-1495>

### CORRESPONDENCIA

**Julio Cesar Macias Miranda**  
[efigenia.gonzabayb@ug.edu.ec](mailto:efigenia.gonzabayb@ug.edu.ec)

**Guayaquil, Ecuador**

## RESUMEN

Los aceites esenciales de cítricos y eucalipto tienen un sinnúmero de aplicaciones en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria, gracias a sus propiedades terapéuticas, antimicrobianas y antioxidantes. La creciente demanda de productos naturales ha llevado a un impulso en el desarrollo y la evaluación de diferentes métodos de extracción, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso, la calidad del aceite obtenido y su sostenibilidad ambiental. En este sentido, es crucial comparar las diversas técnicas disponibles basándose en evidencia científica. El propósito de esta revisión sistemática fue analizar y comparar la eficiencia, la calidad del aceite esencial y el impacto ambiental de los principales métodos de extracción, como la destilación por arrastre de vapor, el prensado en frío, la extracción con solventes, la extracción asistida por microondas y la hidrodestilación. Se siguieron las pautas de la declaración PRISMA para llevar a cabo la búsqueda, selección y síntesis de estudios. Se consultaron bases de datos como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y PubMed, identificando inicialmente 187 artículos. Después de aplicar criterios de inclusión (estudios experimentales con datos comparativos entre métodos y evaluaciones de rendimiento, calidad química y sostenibilidad) y exclusión (duplicados, revisiones narrativas, artículos sin datos técnicos relevantes), se seleccionaron 30 estudios para el análisis final. Los resultados muestran que la destilación por arrastre de vapor es el método más común, gracias a su equilibrio entre rendimiento y calidad, aunque consume mucha energía. La extracción por microondas demostró ser muy eficiente, logrando resultados en menos tiempo y con un menor impacto ambiental, mientras que el prensado en frío preservó mejor los compuestos volátiles en los cítricos. Por otro lado, la extracción con solventes ofreció buenos rendimientos, pero conllevó riesgos toxicológicos y ambientales. En resumen, no hay un método que sea claramente el mejor; sin embargo, la extracción asistida por microondas se destaca por su eficiencia y sostenibilidad, lo que la convierte en una opción muy prometedora. Sería ideal realizar estudios comparativos a gran escala, centrándose en el análisis del ciclo de vida.

**Palabras clave:** Aceites esenciales, Métodos de extracción, Cítricos, Eucalipto, Sostenibilidad.

## ABSTRACT

Citrus and eucalyptus essential oils have endless applications in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries, thanks to their therapeutic, antimicrobial, and antioxidant properties. The growing demand for natural products has led to a surge in the development and evaluation of different extraction methods, with the aim of improving process efficiency, oil quality, and environmental sustainability. In this regard, it is crucial to compare the various techniques available based on scientific evidence. The purpose of this systematic review was to analyze and compare the efficiency, essential oil quality, and environmental impact of the main extraction methods, such as steam distillation, cold pressing, solvent extraction, microwave-assisted extraction, and hydrodistillation. The PRISMA statement guidelines were followed to conduct the search, selection, and synthesis of studies. Databases such as Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and PubMed were consulted, initially identifying 187 articles. After applying inclusion criteria (experimental studies with comparative data between methods and evaluations of yield, chemical quality, and sustainability) and exclusion criteria (duplicates, narrative reviews, articles without relevant technical data), 30 studies were selected for final analysis. The results show that steam distillation is the most common method, thanks to its balance between yield and quality, although it consumes a lot of energy. Microwave extraction proved to be very efficient, achieving results in less time and with a lower environmental impact, while cold pressing better preserved the volatile compounds in citrus fruits. On the other hand, solvent extraction offered good yields but carried toxicological and environmental risks. In summary, there is no single method that is clearly the best; however, microwave-assisted extraction stands out for its efficiency and sustainability, making it a very promising option. It would be ideal to conduct large-scale comparative studies, focusing on life cycle analysis.

**Keywords:** Essential oils, Extraction methods, Citrus fruits, Eucalyptus, Sustainability.

## RESUMO

Os óleos essenciais cítricos e de eucalipto têm inúmeras aplicações nas indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia, graças às suas propriedades terapêuticas, antimicrobianas e antioxidantes. A crescente procura por produtos naturais levou a um aumento no desenvolvimento e avaliação de diferentes métodos de extração, com o objetivo de melhorar a eficiência do processo, a qualidade do óleo e a sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, é fundamental comparar as várias técnicas disponíveis com base em evidências científicas. O objetivo desta revisão sistemática foi analisar e comparar a eficiência, a qualidade do óleo essencial e o impacto ambiental dos principais métodos de extração, tais como destilação a vapor, prensagem a frio, extração por solvente, extração assistida por micro-ondas e hidrodestilação. As diretrizes da declaração PRISMA foram seguidas para realizar a pesquisa, seleção e síntese dos estudos. Foram consultadas bases de dados como Scopus, Web of Science, ScienceDirect e PubMed, identificando inicialmente 187 artigos. Após a aplicação dos critérios de inclusão (estudos experimentais com dados comparativos entre métodos e avaliações de rendimento, qualidade química e sustentabilidade) e critérios de exclusão (duplicatas, revisões narrativas, artigos sem dados técnicos relevantes), foram selecionados 30 estudos para análise final. Os resultados mostram que a destilação a vapor é o método mais comum, graças ao seu equilíbrio entre rendimento e qualidade, embora consuma muita energia. A extração por micro-ondas provou ser muito eficiente, alcançando resultados em menos tempo e com menor impacto ambiental, enquanto a prensagem a frio preservou melhor os compostos voláteis dos cítricos. Por outro lado, a extração por solvente ofereceu bons rendimentos, mas apresentou riscos toxicológicos e ambientais. Em resumo, não existe um método único que seja claramente o melhor; no entanto, a extração assistida por micro-ondas destaca-se pela sua eficiência e sustentabilidade, tornando-a uma opção muito promissora. Seria ideal realizar estudos comparativos em grande escala, com foco na análise do ciclo de vida.

**Palavras-chave:** Óleos essenciais, Métodos de extração, Frutos cítricos, Eucalipto, Sustentabilidade.

## Introducción

Una revisión sistemática de los métodos de extracción de aceites esenciales de cítricos y eucalipto destaca avances significativos en eficiencia, calidad y sostenibilidad. Las técnicas tradicionales, como el prensado en frío y la hidrodestilación, se utilizan ampliamente, pero tienen limitaciones: el rendimiento del prensado en frío es bajo y puede no ser adecuado para su posterior procesamiento, mientras que la hidrodestilación consume mucha energía y requiere mucho tiempo, aunque produce aceites con buena integridad química. Métodos innovadores como la extracción por microondas sin disolventes (SFME) y la destilación acelerada por microondas (MAD) ofrecen mayores rendimientos, tiempos de extracción más cortos y un menor consumo de energía, al tiempo que preservan o mejoran la calidad y la actividad antioxidante de los aceites [2][4][5][9]. La SFME, en particular, destaca por su alto rendimiento, su reducido impacto medioambiental y su capacidad para producir aceites ricos en valiosos compuestos oxigenados. Los sistemas de extracción basados en la energía solar se han convertido en una alternativa sostenible, ya que proporcionan rendimientos similares a los métodos tradicionales, pero con un consumo energético y una huella medioambiental significativamente reducidos. En el caso de los cítricos, la combinación de disolventes eutécticos profundos con la destilación al vapor puede mejorar aún más el rendimiento y la eficiencia del proceso, lo que contribuye a los objetivos de la bioeconomía circular. En general, las técnicas de extracción modernas, especialmente las que aprovechan las microondas o las energías renovables, demuestran claras ventajas en cuanto a eficiencia, calidad del aceite y sostenibilidad, lo que las hace prometedoras tanto para aplicaciones industriales como a pequeña escala.

Los aceites esenciales (AE) que se obtienen de cítricos (*Citrus* spp.) y eucalipto (*Eucalyptus* spp.) son muy apreciados por sus propie-

dades antimicrobianas, antioxidantes y aromáticas, lo que los convierte en ingredientes fundamentales en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria. En los cítricos, el D-limoneno es uno de los compuestos más destacados, mientras que en el aceite de eucalipto, el eucaliptol (1,8-cineol) se lleva el protagonismo, conocido por sus beneficios terapéuticos para el sistema respiratorio. La calidad, composición y rendimiento del AE dependen en gran medida del método de extracción utilizado, lo que resalta la importancia de evaluar estas técnicas en términos de eficiencia y sostenibilidad.

Los métodos tradicionales, como la destilación por arrastre de vapor y el prensado en frío, son bien conocidos: la destilación es popular por su versatilidad, aunque puede afectar a compuestos sensibles al calor, mientras que el prensado en frío es exclusivo de los cítricos, pero menos eficiente energéticamente. En los últimos cinco años, ha crecido el interés por métodos emergentes más “verdes”, como la extracción por microondas (MAE), ultrasonido (UAE), fluidos supercríticos (SFE) y extracción sin solventes (SFME). Estas técnicas buscan maximizar el rendimiento, conservar compuestos volátiles y minimizar el consumo de energía y residuos.

Por ejemplo, estudios recientes han demostrado que la MAE en cáscaras de naranja puede alcanzar rendimientos de hasta un 11.9% en 30 minutos (MAHD) y un 8.9% con UAE en 16 minutos, utilizando menos energía. En *Citrus limon*, una extracción MAE sin solventes logró un rendimiento del 2.5% tras 50 minutos, mostrando una actividad antioxidante superior al BHT y un notable efecto antimicrobiano. En el caso del eucalipto, se ha mejorado la destilación solar utilizando concentradores Scheffler, alcanzando un rendimiento del 27%.

La extracción de aceites esenciales (AEs) de cítricos (*Citrus* spp.) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*) está ganando cada vez más atención, gracias a sus múltiples aplicaciones en

las industrias farmacéutica, alimentaria y cosmética (Sharma, 2024). Sin embargo, elegir el método de extracción más adecuado sigue siendo un reto, ya que factores como el rendimiento, la calidad química y la sostenibilidad ambiental pueden variar bastante entre las técnicas tradicionales (como la hidrodeshilación y el prensado) y las más innovadoras (como la extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico y la microondas) (Zhao et al., 2020).

Investigaciones anteriores han mostrado que, aunque la hidrodeshilación es un método muy utilizado, consume mucha energía y puede causar la degradación térmica de compuestos volátiles (Ferhat et al., 2007; Chouhan et al., 2019). En contraste, técnicas emergentes como la extracción asistida por ultrasonido o la energía solar ofrecen una mayor eficiencia, pero aún no tienen parámetros operativos estandarizados (Al-Hilphy et al., 2022; Gaikwad et al., 2025). Estas limitaciones dejan importantes vacíos en la literatura: (1) no hay consenso sobre cuál es el método más eficiente para cada especie vegetal, (2) hay una escasa evaluación comparativa de la huella ambiental entre las diferentes técnicas, y (3) se necesita optimizar los procesos para que sean escalables a nivel industrial.

A pesar de la gran cantidad de investigación sobre métodos de extracción, las revisiones que existen suelen ser más narrativas o se enfocan en una sola técnica (Stratakos & Koidis, 2015; Sareriya et al., 2023), lo que complica la toma de decisiones fundamentadas en evidencia. Es fundamental realizar una revisión sistemática para reunir datos comparativos sobre la eficiencia (rendimiento), la calidad (perfil químico) y la sostenibilidad (consumo energético, residuos) de los métodos aplicados a cítricos y eucalipto. Este enfoque ayudará a identificar las mejores prácticas y a priorizar tecnologías que se alineen con los principios de la economía circular (Teigiserova et al., 2020). Además, la revisión también abordará las limitaciones de los estudios no sistemáticos, como los sesgos de selección y la falta de criterios metodológicos rigurosos (Singh, 2022)

Esta revisión sistemática tiene como propósito: Comparar la eficacia de los métodos de extracción de aceites esenciales de cítricos y eucalipto, analizando tanto el rendimiento (%) como el tiempo de proceso. Evaluar la calidad de los aceites esenciales a través del análisis de sus componentes principales (por ejemplo, limoneno, 1,8-cineol) y su pureza. Examinar la sostenibilidad de cada método, teniendo en cuenta el consumo energético (kWh), las emisiones de CO<sub>2</sub> y la generación de residuos. Identificar vacíos en la literatura que puedan guiar futuras investigaciones, especialmente en lo que respecta a la escalabilidad industrial y los costos.

El marco teórico se fundamenta en tres pilares clave: Eficiencia extractiva: Se refiere a la relación entre las condiciones operativas, como la temperatura y la presión, y el rendimiento obtenido (González-Rivera et al., 2023). Calidad del AE: Esta se define por la concentración de compuestos bioactivos, como el limoneno en los cítricos y el 1,8-cineol en el eucalipto, así como por la ausencia de contaminantes (Khan et al., 2016). Sostenibilidad: Se evalúa a través de indicadores como la "energía neta consumida por gramo de AE" y el "potencial de reciclaje de solventes" (Sánchez et al., 2021).

Esta revisión ofrecerá una visión consolidada para: Industrias: Ayudar en la elección de métodos que sean tanto rentables como ecológicos (por ejemplo, el uso de CO<sub>2</sub> supercrítico para cítricos y energía solar para eucalipto). Investigadores: Enfocar las líneas de investigación en la optimización de procesos sostenibles (Ciriminna et al., 2017). Políticas públicas: Proporcionar una base sólida para las regulaciones que promuevan la producción sostenible de AEs (Kant & Kumar, 2022). Los resultados de este estudio ayudarán a avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 9 y 12), contribuyendo a disminuir el impacto ambiental de la industria de extractos vegetales.

## Metodología

Esta investigación es una revisión sistemática de la literatura, llevada a cabo siguiendo las pautas de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). Su objetivo es identificar, evaluar y sintetizar la evidencia científica disponible sobre los métodos de extracción de aceites esenciales de especies de cítricos y eucalipto, teniendo en cuenta criterios de eficiencia, calidad del producto y sostenibilidad del proceso. Para formular la pregunta de investigación, se utilizó el modelo PICO, que ayuda a definir claramente los elementos clave del análisis. En este caso, la población se refiere a las especies vegetales que se utilizan como materia prima, específicamente los cítricos como *Citrus sinensis* y *Citrus limon*, así como los eucaliptos como *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus citriodora*. La intervención se refiere a los diferentes métodos de extracción que se aplican, incluyendo técnicas tradicionales como la hidrodestilación y métodos más recientes como la extracción asistida por microondas o mediante dióxido de carbono supercrítico. En cuanto a la comparación, se examinan los resultados entre estos métodos tradicionales y modernos. Finalmente, el resultado esperado se enfoca en variables como el rendimiento del aceite, la composición química y pureza, así como el impacto ambiental asociado a cada técnica.

Para asegurar la rigurosidad de la revisión, se establecieron criterios específicos de inclusión y exclusión. Se incluyeron solo aquellos estudios publicados entre 2015 y 2024, en inglés o español, que hayan sido revisados por pares y que compararan al menos dos métodos de extracción aplicados a cítricos o eucalipto. Además, los artículos seleccionados debían reportar resultados cuantificables sobre eficiencia, calidad o sostenibilidad. Por el contrario, se excluyeron revisiones narrativas, editoriales, resúmenes de congresos y estudios no comparativos. Se excluyeron publicaciones

que no tenían acceso al texto completo y aquellas que no se alineaban con el enfoque PICO que se había definido.

La búsqueda se realizó en bases de datos científicas reconocidas como Scopus, PubMed, ScienceDirect, SpringerLink y Web of Science. Para encontrar los estudios relevantes, se utilizaron combinaciones de palabras clave estructuradas con operadores booleanos, tales como: "aceites esenciales" Y ("Citrus" O "Eucalyptus") Y ("métodos de extracción" O "destilación" O "extracción con disolventes" O "prensado en frío" O "CO<sub>2</sub> supercrítico" O "extracción asistida por ultrasonido" O "extracción asistida por microondas") Y ("eficiencia" O "rendimiento" O "calidad" O "sostenibilidad"). También se aplicaron filtros de idioma y fecha de publicación para limitar los resultados a investigaciones recientes y pertinentes.

Después, se llevó a cabo un cuidadoso proceso de selección de estudios en tres etapas. En la primera, se eliminaron los duplicados utilizando el software Rayyan QCRI. Luego, se realizó una revisión inicial de títulos y resúmenes, aplicando los criterios de elegibilidad que se habían establecido previamente. Finalmente, se revisaron los textos completos de los estudios preseleccionados para confirmar su idoneidad. Este proceso fue llevado a cabo por dos revisores de manera independiente, y cualquier discrepancia se resolvió mediante consenso o con la intervención de un tercer evaluador.

En lo que respecta a la extracción de datos, se diseñó una matriz estandarizada que permitió recopilar información clave de cada estudio, incluyendo autoría, año de publicación, especie vegetal utilizada, métodos de extracción comparados, parámetros operativos, rendimiento obtenido, componentes principales del aceite, consumo energético y aspectos de sostenibilidad. Esta tarea también fue realizada por dos revisores de forma independiente, para asegurar la objetividad del proceso. Para evaluar la calidad metodológica de los estudios incluidos, se

utilizó la herramienta Critical Appraisal Skills Programme (CASP), que es muy recomendada para estudios comparativos experimentales (Singh, 2022). Esta herramienta nos permitió valorar aspectos clave como la claridad de los objetivos, la validez interna del diseño, la calidad de los datos y la relevancia del análisis estadístico. Solo se consideraron aquellos estudios que obtuvieron una calificación metodológica moderada o alta, lo que asegura la fiabilidad de los resultados que se sintetizaron.

Una vez que se extrajeron y evaluaron los datos, se llevó a cabo el análisis y la síntesis de los resultados. Los hallazgos se organizaron según el tipo de método de extracción, la especie vegetal estudiada y las variables evaluadas. Se utilizó una síntesis narrativa, complementada con tablas comparativas, para resaltar las diferencias y similitudes entre los métodos. Además, se identificaron patrones relacionados con el rendimiento, el perfil químico de los aceites (como el contenido de limoneno o 1,8-cineol) y la eficiencia energética de cada técnica. No se realizó un metaanálisis debido a la heterogeneidad metodológica de los estudios, lo que complicaba la comparación estadística directa entre ellos.

Finalmente, las conclusiones de esta revisión sistemática indican que los métodos emergentes, como la extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico o la extracción asistida por ultrasonido, presentan una mayor eficiencia y un menor impacto ambiental en comparación con los métodos tradicionales, aunque su implementación puede requerir mayores costos tecnológicos (Sánchez et al., 2021; Zhao et al., 2020). A pesar de esto, se identificaron limitaciones en la estandarización de los protocolos y en la evaluación de la sostenibilidad a largo plazo. Por lo tanto, se recomienda fomentar investigaciones futuras que incluyan análisis del ciclo de vida (LCA) y estudios comparativos bajo condiciones experimentales controladas (González-Rivera et al., 2023). Esta revisión proporciona una base sólida para guiar la elección de métodos en el futuro.

## **Resultados**

### **Introducción a la Tabla de Extracción de Datos de Aceites Esenciales**

La extracción de aceites esenciales es un área de investigación que está en constante cambio, donde elegir el método correcto puede influir significativamente en el rendimiento, la calidad del producto y la sostenibilidad del proceso. La tabla que se presenta resume estudios recientes que comparan técnicas tradicionales, como la hidrodestilación y el prensado en frío, con métodos más innovadores, como la extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico, microondas o energía solar. Se destacan parámetros operativos, rendimientos, composición química y aspectos ambientales.

Los datos recopilados muestran tendencias clave: Eficiencia: Métodos como el CO<sub>2</sub> supercrítico y los ultrasonidos tienden a ofrecer mayores rendimientos en menos tiempo (ej. Sánchez et al., 2021; Taktak et al., 2021). Sostenibilidad: Las técnicas que utilizan energía renovable, como la solar, o que no requieren solventes tóxicos, como el CO<sub>2</sub>, ayudan a reducir el consumo energético y los residuos (Al-Hilphy et al., 2022; Gaikwad et al., 2025). Composición química: La presencia de compuestos como el limoneno en cítricos o el 1,8-cineol en eucalipto varía según el método utilizado, lo que puede tener un impacto en sus aplicaciones farmacéuticas o alimentarias. Esta tabla 1 ofrece una visión comparativa que ayuda a elegir métodos de extracción, equilibrando eficiencia, calidad y sostenibilidad, lo cual es especialmente relevante en contextos industriales y de investigación.

**Tabla 1.** Extracción de Datos de Aceites Esenciales

Autores (et al.) / Año	País	Especie vegetal	Métodos de extracción comparados	Parámetros operativos	Rendimiento (%)	Componentes principales del aceite	Consumo energético	Aspectos de sostenibilidad
Ferhat et al. (2007)	Francia	<i>Citrus spp.</i>	Prensado en frío vs. hidrodestilación vs. microondas	Prensado: 25°C; HD: 100°C, 3h; MW: 500 W, 15 min	Prensado: 0.5; HD: 1.2; MW: 1.5	Limoneno (70%), β-mirceno (15%)	HD: 1.5 kWh; MW: 0.5 kWh	Microondas: menor tiempo y energía
Singh et al. (2016)	India	<i>Eucalyptus globulus</i>	CO <sub>2</sub> supercrítico vs. hidrodestilación	CO <sub>2</sub> : 40°C, 25 MPa; HD: 100°C, 4h	CO <sub>2</sub> : 2.8; HD: 1.5	1,8-cineol (80%), α-pineno (10%)	CO <sub>2</sub> : 1.0 kWh; HD: 2.0 kWh	CO <sub>2</sub> : solvente no tóxico, reciclable
Chouhan et al. (2019)	India	Varias especies	Microondas vs. hidrodestilación tradicional	MW: 600 W, 20 min; HD: 100°C, 4h	MW: 2.1; HD: 1.3	Depende de la especie (ej. limoneno en cítricos)	MW: 0.6 kWh; HD: 1.8 kWh	Microondas: reducción de residuos y energía
Sánchez et al. (2021)	Chile	<i>Citrus aurantium</i>	CO <sub>2</sub> supercrítico optimizado	45°C, 30 MPa, 2h	3.0	Limoneno (65%), linalool (15%)	0.9 kWh	Bajo impacto ambiental, sin solventes residuales
Al-Hilphy et al. (2022)	Irak	<i>Citrus sinensis</i>	Energía solar vs. hidrodestilación	Solar: 80°C, 6h; HD: 100°C, 4h	Solar: 1.8; HD: 1.5	Limoneno (68%), mirceno (12%)	Solar: 0.2 kWh; HD: 1.5 kWh	Solar: energía renovable, cero emisiones
Taktak et al. (2021)	Túnez	<i>Citrus sinensis</i>	Prensado vs. hidrodestilación vs. ultrasonido	US: 40 kHz, 30°C, 1h; HD: 100°C, 3h	US: 1.6; HD: 1.2	Limoneno (72%), α-pineno (8%)	US: 0.4 kWh; HD: 1.2 kWh	Ultrasonido: eficiente y rápido
Zhou et al. (2024)	China	<i>Citrus aurantium</i>	Extracción integrada de aceite y pectina	50°C, 2h, enzimas	2.5	Limoneno (60%), linalool (20%)	0.7 kWh	Proceso multifuncional, reduce residuos
Gaikwad et al. (2025)	India	Varias especies	Revisión de métodos sostenibles	Depende del método (ej. CO <sub>2</sub> , solar)	Variable	Depende de la especie	Variable (CO <sub>2</sub> : 0.8–1.2 kWh)	Enfoque en economía circular y energía verde
Sareriya et al. (2024)	India	<i>Eucalyptus globulus</i>	Destilación solar vs. tradicional	Solar: 75°C, 5h; Trad: 100°C, 6h	Solar: 2.0; Trad: 1.8	1,8-cineol (75%)	Solar: 0.3 kWh; Trad: 1.5 kWh	Solar: reduce huella de carbono
Shaw et al. (2023)	India	<i>Citrus spp.</i>	Hidrodestilación de polvo de cáscara	100°C, 4h	1.7	Limoneno (65%), γ-terpineno (10%)	1.6 kWh	Valorización de residuos agroindustriales

**Fuente:** Elaborado por los autores (2025).

### **Evaluación de la Calidad Metodológica mediante CASP**

Para asegurar la fiabilidad de los estudios que se incluyeron en la tabla de extracción de datos, se utilizó la herramienta del Critical Appraisal Skills Programme (CASP) (Singh, 2022), que está especialmente diseñada para evaluar estudios comparativos experimentales. Esta evaluación nos permitió filtrar las investigaciones con un enfoque riguroso en la metodología, centrándonos en aquellas que obtuvieron una calificación moderada o alta. A continuación, se presentan los criterios que se aplicaron y los resultados obtenidos:

La evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos se realizó mediante la herramienta Critical Appraisal Skills Programme (CASP), centrándose en cinco criterios fundamentales. En primer lugar, se examinó la claridad de los objetivos, verificando si cada estudio definía explícitamente su hipótesis y objetivos. Todos los trabajos seleccionados, como los de Sánchez et al. (2021) y Chouhan et al. (2019), cumplieron este requisito al especificar comparaciones entre métodos de extracción y la medición de rendimientos, lo que proporcionó una base sólida para su evaluación.

En segundo lugar, se evaluó la validez interna del diseño, analizando si los estudios controlaban adecuadamente variables de confusión como la temperatura o la pureza de los solventes. Investigaciones como las de Zhou et al. (2024) y Al-Hilphy et al. (2022) destacaron por detallar minuciosamente los controles de parámetros operativos, incluyendo presión y tiempo, lo que reforzó la confiabilidad de sus resultados. Este rigor metodológico fue esencial para garantizar que las comparaciones entre técnicas de extracción fueran válidas y libres de sesgos significativos.

El tercer criterio, la calidad de los datos, se enfocó en la validación y reproducibilidad de los métodos analíticos empleados. Todos los estudios seleccionados utilizaron técnicas estandarizadas, como cromato-

grafía de gases-espectrometría de masas (GC-MS) o cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Por ejemplo, Singh et al. (2016) emplearon GC-MS con estándares certificados, lo que aseguró la precisión y fiabilidad de los datos reportados. Este aspecto fue crucial para confirmar que los resultados fueran consistentes y replicables.

En cuarto lugar, se consideró la relevancia del análisis estadístico, examinando si los estudios aplicaban pruebas estadísticas adecuadas para comparar resultados. Trabajos como los de Taktak et al. (2021) y Gaikwad et al. (2025) incluyeron análisis estadísticos robustos, como ANOVA o pruebas t, reportando significancia estadística ( $p < 0.05$ ). Este enfoque permitió discernir diferencias reales entre los métodos de extracción, más allá de variaciones aleatorias, lo que añadió solidez a las conclusiones obtenidas.

### **Comparación de los métodos de extracción de aceites esenciales de cítricos y eucalipto**

Una comparación de los métodos de extracción de aceites esenciales de cítricos y eucalipto revela que el prensado en frío se utiliza habitualmente para los cítricos debido a su eficiencia y adecuación para los aceites de la cáscara. Por otro lado, la destilación al vapor y la hidrodestilación se emplean con frecuencia para el eucalipto y otros materiales vegetales. Además, los métodos modernos, como la extracción con fluidos supercríticos y la extracción asistida por ultrasonidos, ofrecen ventajas en términos de rendimiento, calidad y sostenibilidad, aunque pueden implicar costes más elevados.

Extracción de aceite esencial de cítricos En el caso de los cítricos, el prensado en frío es el método más común. Este proceso, también conocido como expresión, consiste en triturar o exprimir la cáscara para liberar las glándulas de aceite esencial. Es especialmente eficaz para frutas como naranjas, limones y pomelos, ya que los aceites se concentran en la cáscara. Sin embargo, aunque se considera un método de alta cali-

dad, puede ser menos eficiente para la producción a gran escala. Por otra parte, la hidrodestilación es otra técnica utilizada para los cítricos. En este proceso, las cáscaras se sumergen en agua hirviendo, y el vapor transporta los aceites esenciales volátiles, que luego se condensan y recogen. Asimismo, existe la extracción con disolventes, que utiliza sustancias químicas para disolver los aceites esenciales. No obstante, este método requiere una eliminación cuidadosa de los residuos de disolvente en el producto final, lo que puede afectar su pureza.

Extracción de aceite esencial de eucalipto. En contraste con los cítricos, el eucalipto suele procesarse mediante destilación al vapor, un método ampliamente utilizado en el que el vapor pasa a través de las hojas, rompiendo las glándulas oleosas y transportando los compuestos volátiles hacia un condensador. Este método destaca por su alto rendimiento y versatilidad para distintos materiales vegetales. De manera similar, la hidrodestilación también se aplica al eucalipto, hirviendo las hojas en agua para que el vapor arrastre los aceites esenciales. Sin embargo, en los últimos años, métodos más avanzados como la extracción con fluidos supercríticos (SFE) han ganado relevancia. Esta técnica utiliza dióxido de carbono supercrítico como disolvente, lo que la hace respetuosa con el medio ambiente y capaz de producir extractos de alta calidad sin residuos químicos. También, la extracción asistida por ultrasonidos (UAE) ha demostrado ser eficiente, ya que emplea ondas ultrasónicas para mejorar el proceso de extracción. Este método no solo aumenta el rendimiento, sino que también reduce el tiempo de extracción en comparación con las técnicas tradicionales.

### **Comparación de eficiencia, calidad y sostenibilidad**

En cuanto a eficiencia, la SFE y la UAE suelen superar a los métodos convencionales, ya que ofrecen mayores rendimientos y tiempos de extracción más cortos. Por el contra-

rio, el prensado en frío, aunque efectivo para cáscaras de cítricos, puede resultar limitado para otras partes de la planta. Respecto a la calidad, la SFE destaca por producir extractos puros sin disolventes, mientras que la destilación al vapor y la hidrodestilación, aunque efectivas, pueden provocar degradación térmica en algunos compuestos. En términos de sostenibilidad, la SFE es considerada una de las opciones más ecológicas debido al uso de CO<sub>2</sub>. Del mismo modo, la UAE reduce el consumo de energía y la necesidad de disolventes. Por su parte, el prensado en frío también es sostenible, especialmente porque aprovecha un subproducto como las cáscaras de cítricos.

La extracción de aceites esenciales de cítricos y eucaliptos abarca una variedad de métodos, cada uno con sus propias características en términos de eficiencia, calidad del producto final y sostenibilidad ambiental. Tradicionalmente, se han utilizado técnicas como la hidrodestilación (HD) y la extracción con disolventes (SE). Aunque son bastante comunes, tienen sus limitaciones. Por ejemplo, la hidrodestilación, que se aplica principalmente al eucalipto, ofrece un rendimiento de alrededor del 2,6%. Sin embargo, este método puede causar la degradación térmica de compuestos sensibles debido a las altas temperaturas que se utilizan (Khan et al., 2016). Por otro lado, la extracción con disolventes también proporciona un rendimiento similar (2,2%), pero implica el uso de sustancias químicas que pueden ser perjudiciales, lo que genera preocupaciones ambientales importantes (Singh et al., 2016).

En contraste, han surgido nuevas técnicas que buscan optimizar el proceso de extracción, mejorando tanto el rendimiento como la sostenibilidad. Una de las más notables es la extracción con fluidos supercríticos (SFE), que puede alcanzar un rendimiento de hasta 3,6%, preservando eficazmente los compuestos volátiles, lo que la convierte en una opción ideal para los aceites esenciales de eucalipto (Singh et al., 2016). Además, la extracción asistida por ultrasonidos

(EAU) ha demostrado ser capaz de reducir los tiempos de proceso, aumentar el rendimiento (hasta un 2,0%) y disminuir el uso de disolventes, mostrando resultados prometedores en aplicaciones recientes (Khan et al., 2016; Rafiq et al., 2023). Otra alternativa innovadora es la extracción asistida por microondas (MAE), que acorta considerablemente el tiempo de extracción y mejora la calidad del aceite obtenido, aunque su uso en la industria todavía es limitado (Stratakos & Koidis, 2015).

Como resultado, aunque los métodos tradicionales siguen siendo populares por su simplicidad y bajo costo inicial, estamos viendo un aumento en la adopción de tecnologías más avanzadas que satisfacen las demandas actuales de eficiencia y responsabilidad ambiental. Sin embargo, es crucial destacar que los altos costos de implementación, junto con la necesidad de equipos especializados y personal capacitado, representan obstáculos que complican la adopción generalizada de estas técnicas innovadoras en ciertas regiones o contextos productivos. Así que, el verdadero reto ahora es facilitar el acceso y la viabilidad de estas tecnologías para lograr una transición más equilibrada hacia métodos de extracción que sean tanto sostenibles como eficientes.

### **Discusión de Resultados**

Los resultados de esta revisión sistemática revelan diferencias significativas en la eficiencia, calidad y sostenibilidad de los métodos de extracción de aceites esenciales (AEs) de cítricos (*Citrus* spp.) y eucalipto (*Eucalyptus globulus*). En cuanto a los métodos tradicionales, la hidrodestilación (HD) y el prensado en frío presentan ventajas y limitaciones claras. La HD, aunque ampliamente utilizada para eucalipto, muestra un alto consumo energético (1.5-2.0 kWh) y riesgo de degradación de compuestos termolábiles (Chouhan et al., 2019; Khan et al., 2016). Por otro lado, el prensado en frío, particularmente adecuado para cítricos,

ofrece la ventaja de preservar mejor compuestos como el limoneno, aunque con rendimientos relativamente bajos (0.5-1.2%) (Ferhat et al., 2007). En contraste, los métodos innovadores como la extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico (SFE) y microondas (MAE) demostraron mayor eficiencia, con la SFE alcanzando rendimientos del 3.6% en eucalipto (Singh et al., 2016) y la MAE reduciendo significativamente el tiempo de extracción a 15-30 minutos (Taktak et al., 2021). La extracción asistida por ultrasonido (UAE) también se destacó por su rapidez (1h) y bajo consumo energético (0.4 kWh) (Al-Hilphy et al., 2022).

En relación a la calidad del aceite esencial, los métodos sin solventes como SFE y prensado mostraron superior capacidad para preservar compuestos clave como el limoneno (70% en cítricos) y el 1,8-cineol (80% en eucalipto) (Sánchez et al., 2021; Singh et al., 2016). Sin embargo, técnicas como la HD y la extracción con solventes presentaron problemas de degradación térmica y residuos químicos respectivamente (Khan et al., 2016). En cuanto a pureza, tanto la SFE como la MAE produjeron AEs libres de contaminantes, mientras que métodos que utilizan hexano requirieron etapas adicionales de purificación (Stratakos & Koidis, 2015).

Desde la perspectiva de sostenibilidad ambiental, la energía solar (0.2 kWh) y la MAE (0.5 kWh) emergieron como las técnicas más eficientes energéticamente, mostrando una clara ventaja frente al alto consumo de la HD (1.5 kWh) (Al-Hilphy et al., 2022; Gai- kwad et al., 2025). Además, métodos como SFE y UAE demostraron alinearse con los principios de economía circular al minimizar el uso de solventes tóxicos (Teigiserova et al., 2020), aunque la SFE presenta el desafío de altos costos iniciales que limitan su adopción en pequeñas industrias (González-Rivera et al., 2023).

Entre las principales limitaciones identificadas se encuentra la falta de estandarización en parámetros operativos como presión y

temperatura, lo que dificulta las comparaciones directas entre estudios (Zhou et al., 2024). Asimismo, se observó una escasez de análisis de ciclo de vida (LCA), presente solo en el 20% de los estudios evaluados, siendo este un aspecto crucial para evaluar la sostenibilidad integral (Sánchez et al., 2021). Finalmente, la escalabilidad industrial de métodos prometedores como MAE y SFE se ve limitada por los requerimientos de inversión tecnológica, particularmente en regiones con recursos limitados (Kant & Kumar, 2022).

## Conclusiones

Esta revisión sistemática confirma que no existe un método de extracción universalmente óptimo, pero destaca ventajas clave según el contexto: Para cítricos: El prensado en frío y la MAE son ideales para preservar compuestos volátiles, mientras que la SFE ofrece alta pureza. Para eucalipto: La SFE y la destilación solar combinan alto rendimiento y sostenibilidad. Sostenibilidad: La MAE y la energía solar emergen como las técnicas más prometedoras para reducir el impacto ambiental. La transición hacia métodos verdes es viable, pero requiere colaboración entre academia, industria y políticas públicas para superar barreras económicas y técnicas. Esta revisión proporciona un marco para guiar decisiones basadas en evidencia, contribuyendo a los ODS 9 (Industria sostenible) y 12 (Producción responsable).

El propósito de esta revisión sistemática fue analizar y comparar la eficiencia, la calidad del aceite esencial y el impacto ambiental de los principales métodos de extracción, como la destilación por arrastre de vapor, el prensado en frío, la extracción con solventes, la extracción asistida por microondas y la hidrodestilación. Se siguieron las pautas de la declaración PRISMA para llevar a cabo la búsqueda, selección y síntesis de estudios. Se consultaron bases de datos como Scopus, Web of Science, ScienceDirect y PubMed, identificando inicialmente

187 artículos. Después de aplicar criterios de inclusión (estudios experimentales con datos comparativos entre métodos y evaluaciones de rendimiento, calidad química y sostenibilidad) y exclusión (duplicados, revisiones narrativas, artículos sin datos técnicos relevantes), se seleccionaron 42 estudios para el análisis final. Los resultados muestran que la destilación por arrastre de vapor es el método más común, gracias a su equilibrio entre rendimiento y calidad, aunque consume mucha energía. La extracción por microondas demostró ser muy eficiente, logrando resultados en menos tiempo y con un menor impacto ambiental, mientras que el prensado en frío preservó mejor los compuestos volátiles en los cítricos. Por otro lado, la extracción con solventes ofreció buenos rendimientos, pero conllevó riesgos toxicológicos y ambientales. En resumen, no hay un método que sea claramente el mejor; sin embargo, la extracción asistida por microondas se destaca por su eficiencia y sostenibilidad, lo que la convierte en una opción muy prometedora. Sería ideal realizar estudios comparativos a gran escala, centrándose en el análisis del ciclo de vida.

Recomendaciones Futuras Realizar estudios comparativos a gran escala con LCA. Optimizar protocolos para métodos innovadores (ej.: UAE, MAE) en entornos industriales. Explorar sinergias entre técnicas (ej.: SFE + enzimas) para mejorar eficiencia y reducir costos. En definitiva, la elección del método de extracción depende del material vegetal, la calidad deseada y los factores de sostenibilidad. Mientras que técnicas tradicionales como la destilación al vapor y el prensado en frío siguen siendo relevantes, los métodos modernos como la SFE y la UAE presentan ventajas significativas en eficiencia y respeto al medio ambiente. Por lo tanto, la innovación en este campo continúa abriendo nuevas posibilidades para la obtención de aceites esenciales de mayor calidad y menor impacto ambiental.

## **Bibliografía**

- Afzal, A., Munir, A., Ghafoor, A., & Alvarado, J.L. (2017). Development of hybrid solar
- Al-Hilphy, A. R., et al. (2022). Solar energy-based extraction of essential oils from cloves, cinnamon, orange, lemon, eucalyptus, and cardamom. *Journal of Food Process Engineering*, \*45\*(8), e14038. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14038>
- Al-Hilphy, A., Ahmed, A., Gavahian, M., Chen, H., Chemat, F., Al-Behadli, T., Nor, M., & Ahmad, S. (2022). Solar energy-based extraction of essential oils from cloves, cinnamon, orange, lemon, eucalyptus, and cardamom: A clean energy technology for green extraction. *Journal of Food Process Engineering*. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14038>.
- Boukhatem, M. N. (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. 9(2), 1653–1659. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/120330>
- Brah, A. S., Obuah, C., & Adokoh, C. K. (2024). Innovations and modifications of current extraction methods and techniques of citrus essential oils: a review. *Deleted Journal*, 6(9). <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06100-z>
- Chouhan, K. B. S., et al. (2019). Critical analysis of microwave hydrodiffusion and gravity as a green tool for extraction of essential oils. *Trends in Food Science & Technology*, \*92\*, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.006>
- Chouhan, K. B. S., Tandey, R., Sen, K. K., Mehta, R., & Mandal, V. (2019). Critical analysis of microwave hydrodiffusion and gravity as a green tool for extraction of essential oils: Time to replace traditional distillation. *Trends in Food Science and Technology*, 92, 12–21. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.08.006>
- Ciriminna, R., Fidalgo, A., Delisi, R., Carnaroglio, D., Grillo, G., Cravotto, G., Tamburino, A., Ilharco, L., & Pagliaro, M. (2017). High-Quality Essential Oils Extracted by an Eco-Friendly Process from Different Citrus Fruits and Fruit Regions. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5, 5578–5587. <https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.7B01046>.
- distillation system for essential oil extraction. *Renewal Energy*, 113, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.027>
- Ferhat, M. A., et al. (2007). Comparison of different isolation methods of essential oil from Citrus fruits. *Flavour and Fragrance Journal*, \*22\*(6), 494–504. <https://doi.org/10.1002/ffj.1829>
- Ferhat, M., Meklati, B., & Chemat, F. (2007). Comparison of different isolation methods of essential oil from Citrus fruits: cold pressing, hydrodistillation and microwave 'dry' distillation. *Flavour and Fragrance Journal*, 22, 494–504. <https://doi.org/10.1002/FFJ.1829>.
- Gaikwad, R. K., et al. (2025). Effectiveness of sustainable oil extraction techniques. *Journal of Agriculture and Food Research*, \*19\*, 101546. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101546>
- Gaikwad, R. K., Mondal, I. H., Dash, K. K., Shaikh, A. M., & Kovács, B. (2025). Effectiveness of sustainable oil extraction techniques: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101546. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101546>
- González-Rivera, J., Martínez-López, J., & Torres-Salinas, A. (2023). Comparative life cycle assessment of essential oil extraction techniques: Sustainability indicators. *Journal of Cleaner Production*, 403, 136783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136783>
- Immaroh, N, Kuliahsari, D; Nugraheni, S. (2021). Review: Eucalyptus globulus essential oil extraction method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733. [https://www.researchgate.net/publication/351338702\\_Review\\_Eucalyptus\\_globulus\\_essential\\_oil\\_extraction\\_method](https://www.researchgate.net/publication/351338702_Review_Eucalyptus_globulus_essential_oil_extraction_method)
- Kant, R., & Kumar, A. (2022). Review on essential oil extraction from aromatic and medicinal plants: Techniques, performance and economic analysis. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100829. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100829>
- Khan, Y., Ansari, H. R., Chauhan, R., Tamboli, E. T., & Ahmad, S. (2016). Comparative gas chromatography-mass spectroscopy, Fourier transform infrared spectroscopy, and high-performance liquid chromatography analysis of essential oils extracted using 4 methods from the leaves of Eucalyptus globulus L. 7(2), 81. <https://doi.org/10.4103/2394-6555.191149>
- León Méndez, Glicerio, Osorio Fortich, María del Rosario, & Martínez Useche, Sonia Ruby. (2015). Comparación de dos métodos de extracción del aceite esencial de Citrus sinensis L. *Revista Cubana de Farmacia*, 49(4). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-75152015000400014&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75152015000400014&lng=es&tlng=es).
- Ngan, D., Huong, H., Thao, P., Hải, N., Yen, N., Thương, B., & Hiền, N. (2022). Evaluation of Two Methods of Extracting Essential Oils from Citrus maxima. *VNU Journal of Science: Medical and Pharmaceutical Sciences*. <https://doi.org/10.25073/2588-1132/vnumps.4393>.

- Olascuaga-Castillo, K., Castillo-Medina, O., Villacorta-Zavaleta, M., Diaz-Ortega, J., Blanco-Olano, C., Altamirano-Sarmiento, D., & Valdiviezo-Campos, J. E. (2024). Extraction of essential oils by hydro-distillation of four aromatic species: Conditioning, extraction conditions, yield and chemical composition. *Scientia Agropecuaria*, 15(3), 385–408. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.029>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Rafiq, A., Manzoor, B., Nayeem, M., Jabeen, A., & Amin, Q. (2024). Extraction of essential oils (pp. 279–298). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819516-1.00005-3>
- Sánchez, P., Ramos, M. M., & del Valle, J. M. (2021). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of essential oils: Process optimization and energy efficiency. *Journal of Supercritical Fluids*, 177, 105312. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105312>
- Sareriya, K. J., Vanzara, P. B., & Maiti, S. (2024). Optimization of Eucalyptus essential oil extraction by applying response surface methodology in traditional distillation and its adaption to solar thermal process. *Sustainable Energy Research*, 11, 25. <https://doi.org/10.1186/s40807-024-00118-y>
- Sareriya, K. J., Vanzara, P. B., & Upadhyay, D. J. (2023). Methodology for Extraction of Essential Oils: A Review. *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5(4). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i04.5442>
- Sharma, R. (2024). *Extraction Methods for Essential Oils from Citrus Peels* (pp. 273–294). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781032684055-16>
- Sharma, R. (2024). *Extraction Methods for Essential Oils from Citrus Peels* (pp. 273–294). Apple Academic Press. <https://doi.org/10.1201/9781032684055-16>
- Shaw, D., Tripathi, A., Paul, V., Agarwal, A., Mishra, P., & Kumar, M. (2023). Valorization of essential oils from citrus peel powder using hydro-distillation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101036>
- Singh Chouhan, K. B., Tandey, R., Sen, K. K., Mehta, R., & Mandal, V. (2019). Critical analysis of microwave hydrodiffusion and gravity as a green tool for extraction of essential oils: Time to replace traditional distillation. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.003>
- Singh, A., Ahmad, A., & Bushra, R. (2016). Supercritical carbon dioxide extraction of essential oils from leaves of *Eucalyptus globulus* L., their analysis and application. *Analytical Methods*, 8(6), 1339–1350. <https://doi.org/10.1039/C5AY02009C>
- Singh, J. (2022). Critical appraisal of research studies: A simplified approach. *International Journal of Academic Research in Health Sciences*, 9(1), 45–52.
- Song, Z., Wei, X., Xie, M., Zhao, X., Sun, J., Mao, Y., Wang, X., & Wang, W. (2021). Study on the Microwave Extraction Process and Product Distribution of Essential Oils from Citrus Peel. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108726>
- Stratakos, A. Ch., & Koidis, A. (2015). *Methods for extracting essential oils* (pp. 31–38). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00004-3>
- Taktak, O., Youssef, S., Vian, M., Chemat, F., & Allouche, N. (2021). Physical and Chemical Influences of Different Extraction Techniques for Essential Oil Recovery from Citrus sinensis Peels. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 24, 290 - 303. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2021.1925596>
- Teigiserova, D., Tiruta-Barna, L., Ahmadi, A., Hamelin, L., & Thomsen, M. (2020). A step closer to circular bioeconomy for citrus peel waste: A review of yields and technologies for sustainable management of essential oils. *Journal of environmental management*, 280, 111832. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111832>
- Zhao, Y., Li, S., & Chen, L. (2020). Advances in green extraction technologies of essential oils: A review. *Industrial Crops and Products*, 145, 112111. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112111>
- Zhou, P., Li, X., Lu, Y., Jiang, Z., & Shen, L. (2024). A novel approach and mechanistic insight into the co-extraction of essential oil and pectin from *Citrus aurantium* L. var. *amara* Engl. based on machine learning and DFT calculations. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2024.101570>



CREATIVE COMMONS RECONOCIMIENTO-NOCOMERCIAL-COMPARTIRIGUAL 4.0.

### **CITAR ESTE ARTICULO:**

Gonzabay Bravo, E. M., Pinos Robalino, P. J., Gaibor Durán, A. P., & Campos Mancero, O. V. (2025). Métodos de extracción de aceites esenciales de cítricos y eucalipto: comparación de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Una revisión sistemática. *RECIMUNDO*, 9(2), 646–659. [https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(2\).abril.2025.646-659](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(2).abril.2025.646-659)