

Efecto de parámetros operativos en aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación asistida por microondas: revisión sistemática

Effect of Operating Parameters on Essential Oils Obtained by Microwave-Assisted Hydrodistillation: A Systematic Review

Coronel Poma,
Javier Antony¹



Palpa Chaves,
Imanol Jesús¹



Montalvo Morales,
Kenny Ruben¹



Terán Hilares,
Félix¹



¹ Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAAT), Carretera La Florida-Cochayoc, Huancucro 2092, Zip code: 12651, Junín, Perú.

Recibido:
12-06-2026

Publicado:
31-07-2026

Autor correspondiente:
Javier Antony Coronel Poma
Correo:
74147651@unaat.edu.pe
Universidad Nacional
Autónoma Altoandina de
Tarma, Junín, Perú

Para citar este artículo:
Coronel, J., Palpa, I., Montalvo, K., y Terán, F. (2026). Efecto de parámetros operativos en aceites esenciales obtenidos por hidrodestilación asistida por microondas: revisión sistemática. Revista Científica Kanyu, 4(1), p. 73-89

<https://doi.org/10.61210/kanyu.v4i1.255>

RESUMEN

Los aceites esenciales son una mezcla de compuestos volátiles ampliamente utilizadas en la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética. La hidrodestilación asistida por microondas – MAHD, constituye una alternativa eficiente frente a los métodos convencionales al reducir el tiempo de extracción y el consumo energético. Sin embargo, la variabilidad de los parámetros operativos entre estudios dificulta establecer condiciones óptimas generalizables. El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar el efecto de los parámetros operativos de la MAHD sobre el rendimiento y la calidad de los aceites esenciales obtenidos de plantas aromáticas y medicinales. La revisión se desarrolló siguiendo las directrices PRISMA 2020 utilizando Scopus como base de datos principal y ScienceDirect como fuente complementaria para el periodo 2021 hasta junio de 2026. Se identificaron 1144 registros de los cuales se seleccionaron 30 artículos originales. Los resultados muestran que las potencias óptimas oscilaron entre 400 y 880W mientras que los tiempos de extracción variaron entre 21 y 90 minutos, logrando reducciones de hasta el 75% respecto a la hidrodestilación convencional predominaron monoterpenos y compuestos oxigenados, principalmente limoneno, eugenol, carvona y citral. La MAHD representa una tecnología eficiente y sostenible con alto potencial para aplicaciones industriales.

Palabras clave: Hidrodestilación; microondas; aceites esenciales; plantas aromáticas.

ABSTRACT

Essential oils are a mixture of volatile compounds widely used in the pharmaceutical, food, and cosmetics industries. Microwave-assisted hydrodistillation (MAHD) is an efficient alternative to conventional methods, as it reduces extraction time and energy consumption. However, the variability in operating parameters across studies makes it difficult to establish optimal, generalizable conditions. The objective of this systematic review was to analyze the effect of MAHD operating parameters on the yield and quality of essential oils obtained from aromatic and medicinal plants. The review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines, using Scopus as the primary database and ScienceDirect as a supplementary source for the period from 2021 through June 2026. A total of 1,144 records were identified, from which 30 original articles were selected. The results show that optimal power ranged from 400 to 880 W, while extraction times varied between 21 and 90 minutes, achieving reductions of up to 75% compared to conventional hydrodistillation; monoterpenes and oxygenated compounds predominated, primarily limonene, eugenol, carvone, and citral. MAHD represents an efficient and sustainable technology with high potential for industrial applications.

Keywords: Hydrodistillation; microwaves; essential oils; aromatic plants

INTRODUCCIÓN

En primer lugar, los aceites esenciales (AE) son combinaciones complejas de compuestos volátiles generados por diferentes especies vegetales y mayormente utilizados en las industrias alimentaria, farmacéutica, cosmética y agrícola debido a sus propiedades funcionales y biológicas. Estos compuestos contienen principalmente terpenoides y otros metabolitos secundarios relacionados con actividades antioxidantes, antimicrobianas e inhibidoras de enzimas, lo que ha incrementado su interés comercial y científico (Pavlić et al., 2021). De igual forma el crecimiento del mercado global de aceites esenciales (AE) refleja la demanda de productos naturales y la necesidad de crear procesos de extracción más eficientes para satisfacer las exigencias industriales. (Gajbhiye et al., 2025)

Por otra parte, la obtención de aceites esenciales se ha realizado de manera tradicional mediante los métodos de hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor. Sin embargo, según Genc, (2024) estos métodos presentan limitaciones relacionadas a los largos periodos de extracción, elevado consumo energético y posibles pérdidas de compuestos bioactivos debido a su exposición prolongada al calor. Además, la hidrodestilación convencional puede reducir la eficiencia del proceso y afectar la calidad final del aceite esencial cuando se trabaja con compuestos termosensibles. (Yang et al., 2022)

En ese sentido como una alternativa a estas limitaciones ha emergido la hidrodestilación asistida por microondas (MAHD) como una tecnología basada en principios de química verde que utiliza energía electromagnética para generar un calentamiento interno de manera rápida y uniforme en el material vegetal. Por lo cual este mecanismo favorece a la ruptura de estructuras celulares y a la liberación de compuestos volátiles permitiendo reducir el tiempo y el consumo energético de manera significativa con respecto a otros métodos convencionales (Pavlić et al., 2021). Estudios recientes han demostrado que los métodos asistidos por microondas pueden incrementar el rendimiento

de extracción y mantener la calidad química de los aceites esenciales, incluso bajo condiciones de operaciones más cortas y eficientes (Genc, 2024). De igual manera, se han reportado que la extracción asistida por microondas permite obtener aceites esenciales con composiciones químicas comparables o superiores a las obtenidas mediante hidrodestilación convencional, de esa manera contribuyendo a una mayor sostenibilidad del proceso extractivo (Dai et al., 2026).

No obstante, la eficiencia de la MAHD depende de diversos parámetros operativos que influyen directamente en el rendimiento y la calidad del aceite esencial. El tamaño de partícula puede modificar la liberación de compuestos volátiles según las características anatómicas de cada especie vegetal (Labri et al., 2022). Asimismo, la relación sólido-líquido condiciona la transferencia de masa y la eficiencia global del proceso de extracción (Yang et al., 2026). Por otro lado, la potencia del microondas determina la velocidad de calentamiento y la liberación de metabolitos volátiles (Sarah et al., 2026), mientras que el tiempo de extracción influye en la cantidad de aceite esencial recuperado y en la eficiencia energética del proceso (Mustafiah et al., 2026). Del mismo modo, el contenido de humedad del material vegetal afecta la absorción de energía microondas y el rendimiento final de extracción (Dai et al., 2026).

A pesar de los avances alcanzados, los estudios disponibles muestran diferencias entre las especies vegetales evaluadas, los parámetros operativos aplicados y los resultados obtenidos. Esta variabilidad dificulta la comparación de investigaciones y también limita la identificación de condiciones óptimas que puedan servir como referencia para futuras aplicaciones industriales. En este contexto, la evidencia demuestra que la hidrodestilación asistida por microondas constituye una alternativa prometedora para la obtención de aceites esenciales. Sin embargo, los estudios publicados presentan una similitud en cuanto a las especies evaluadas, los parámetros operativos y los indicadores utilizados para medir el rendimiento y calidad del aceite esencial. Esta variable dificulta la comparación de los resultados y limita la identificación de rangos operativos que puedan servir como referencia para futuras investigaciones y aplicaciones industriales. En consecuencia, a ello existe la necesidad de integrar y analizar de manera sistemática la evidencia científica disponible para la identificación de tendencias, vacíos de conocimiento y oportunidades de investigación relacionadas con la optimización de la hidrodestilación asistida por microondas.

Por ello el objetivo de la presente revisión sistemática fue analizar la evidencia científica que fue publicada entre 2021 y 2026 sobre el efecto de los parámetros operativos de la hidrodestilación asistida por microondas en el rendimiento y la calidad de los aceites esenciales obtenidos de plantas aromáticas y medicinales.

Materiales y Métodos

La presente revisión sistemática se pudo desarrollar de acuerdo con las directrices de la declaración PRISMA 2020 para garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso de identificación, selección y síntesis de la evidencia científica. La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos de Scopus y ScienceDirect durante el periodo comprendido entre 2021 y 2026.

Scopus fue utilizada como la principal base de datos debido a su amplia cobertura de revistas científicas internacionales indexadas, mientras que ScienceDirect se empleó como fuente complementaria para recuperar artículos relacionado con la temática del estudio. La estrategia de búsqueda se diseñó utilizando operadores booleanos (AND y OR), palabras clave y términos que se relacionen con la hidrodestilación asistida por microondas, los aceites esenciales y las plantas aromáticas y medicinales. La ecuación de búsqueda utilizada en Scopus fue la siguiente: TITLE-ABS-KEY(("microwave-assisted hydrodistillation" OR "microwave hydrodistillation" OR MAHD) AND ("essential oil*" OR "volatile oil*") AND ("aromatic plant*" OR "medicinal plant*" OR herb*)) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2027 AND DOCTYPE(ar)

La búsqueda se limitó a artículos originales publicados entre 2021 y 2026, escritos en inglés o español. Posterior a ello los registros recuperados fueron sometidos al proceso de selección mediante las etapas de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión conforme a las directrices del PRISMA 2020.

Tamaño de la muestra

Tabla 1
Total de artículos reportados en las bases de datos

	Scopus	ScienceDirect
Artículos consultados	822	322
Total	1144	

Criterios de Inclusión y Exclusión

Con el fin de sistematizar la selección de las fuentes y asegurar la reproducibilidad del estudio se establecen parámetros de elegibilidad rigurosos, Estos alineamientos nos permitieron filtrar la evidencia científica recolectada, centrando el análisis exclusivamente en investigadores alineados con los objetivos. En la tabla 2 se detallan las condiciones de inclusión y exclusión adoptadas:

Tabla 2
Criterios de inclusión y exclusión aplicados al corpus documental

Categoría	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Periodo de publicación	Artículos publicados entre 2021 a 2026	Publicaciones anteriores al 2021
Tipo de documento	Artículos científicos y originales	Tesis, artículos de revisión, libros, actas de congresos
Tema de estudio	Hidrodestilación asistida por microondas aplicada en plantas aromáticas	Estudios sobre otros temas de métodos de extracción de aceites esenciales
Material vegetal	Plantas aromáticas	estudios que no involucra plantas aromáticas o aceites esenciales
Variables de interés	Potencia, tiempo, relación sólido líquido, temperatura, tamaño de partícula, rendimiento, calidad del aceite esencial	Estudios que no evalúan parámetros operativos ni calidad y menos el rendimiento
Idioma	Inglés y español	otros idiomas
Disponibilidad	Acceso abierto	Resúmenes, artículos incompletos o sin acceso al texto
Base de datos	Scopus (Sciencedirect)	Documentos no recuperados de las bases de datos seleccionadas
Duplicidad	Registros únicos	Artículos duplicados

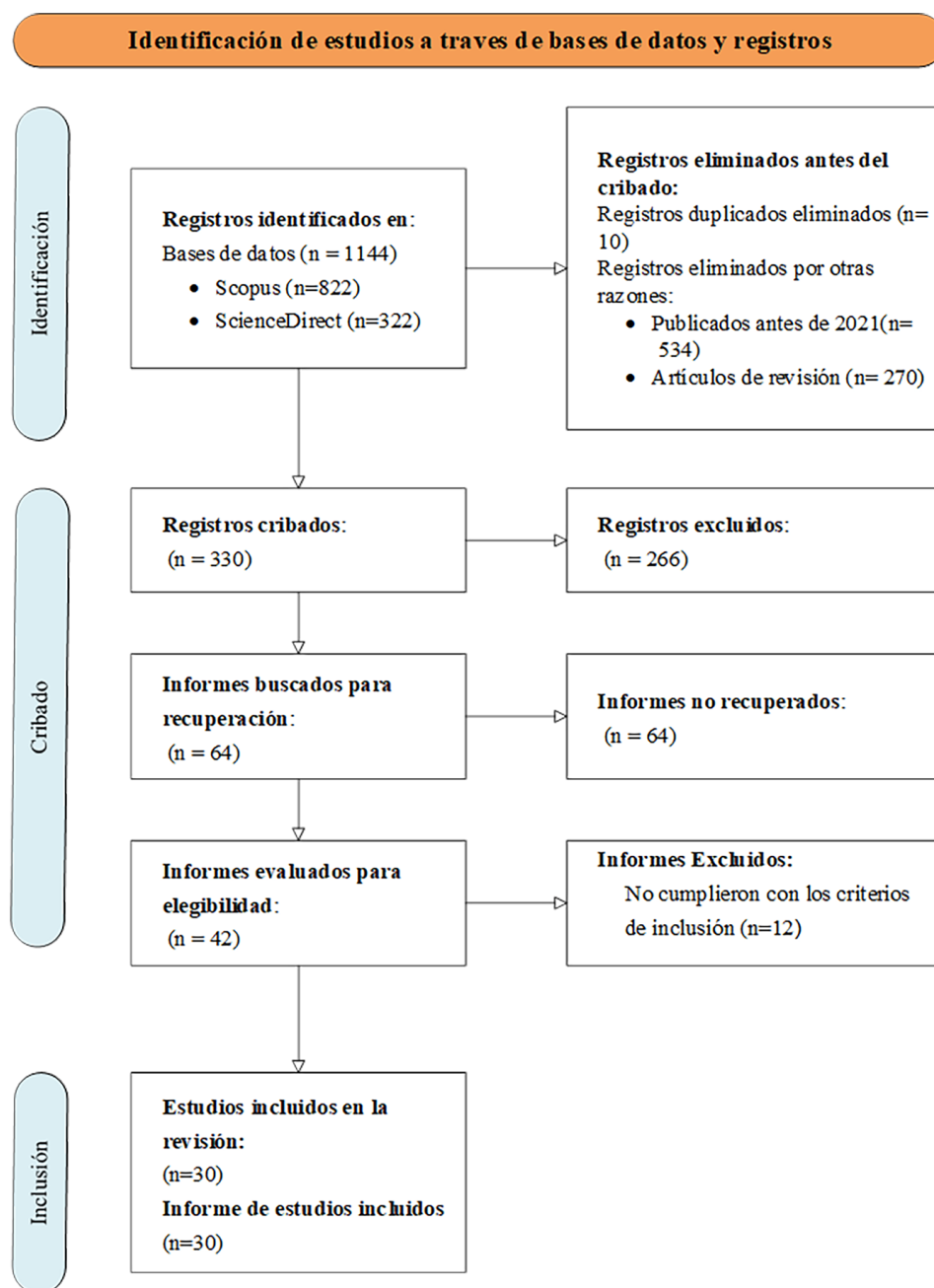
El desarrollo de la revisión bibliográfica inicial en las 3 bases de datos seleccionados se identificó un volumen de 1144 registros, distribuidos principalmente en Scopus (822), y ScienceDirect (322), Durante la primera etapa de identificación se eliminaron 10 artículos duplicados, 534 artículos de años anteriores a los 2021 y 270 artículos de revisión, quedando para el cribado un total de 330 registros (Figura1).

En la etapa del cribado, se realizó una revisión minuciosa de resumen y títulos de los 330 registros obtenidos, se excluyó 266 artículos por no cumplir con las características al tema abordado. A partir de esta exclusión se quedó con 64 registros para evaluación. Del total de los artículos no se recuperó 24 por temas de restricción al texto y acceso, debido a esto se realizó la revisión exhaustiva de 42 estudios.

Durante la fase de elegibilidad se excluyeron 12 estudios que no cumplían con los criterios de inclusión determinados. Finalmente, se seleccionaron 30 artículos científicos originales que abordaban el impacto de los parámetros operativos de la hidrodestilación asistida por microondas sobre el rendimiento y calidad de los aceites esenciales obtenidos de plantas aromáticas, los cuales aportaron la evidencia científica analizada en esta revisión sistemática.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA del proceso de exclusión e inclusión



Nota. Elaboración propia basada en la declaración PRISMA 2020 (Page et al., 2021), generada mediante el software R.

RESULTADOS

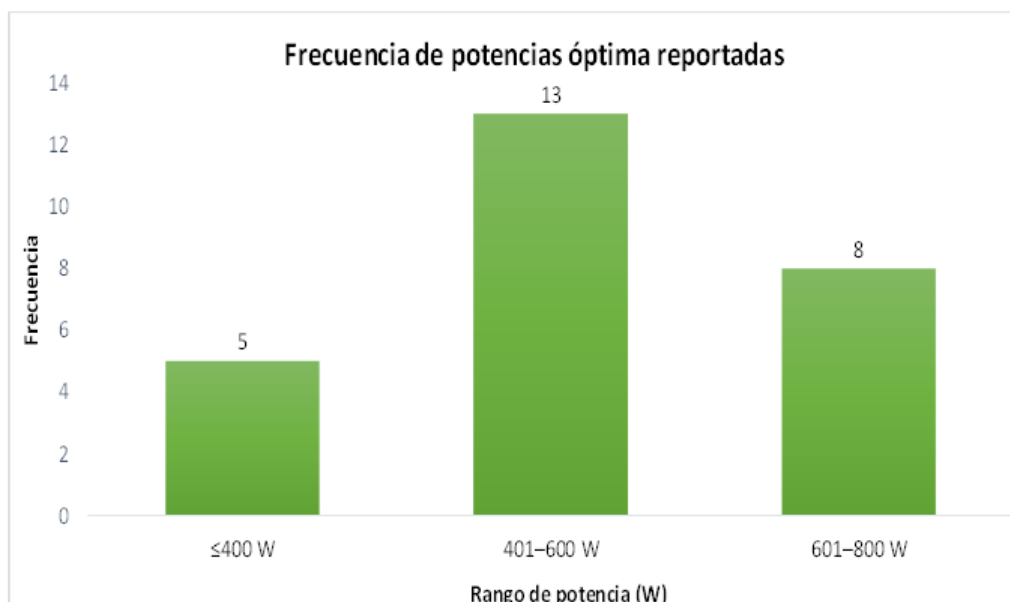
Influencia de la potencia de microondas sobre el rendimiento de extracción

La potencia del microondas fue uno de los parámetros más estudiados dentro de los artículos que se investigaron. Aunque los valores variaron entre 180 y 1500 W, mientras que las condiciones óptimas reportadas se concentraron entre 400 y 800 W, rango en el que se logró el mayor rendimiento de aceite esencial en plantas aromáticas como *Syzygium aromaticum*, *Pogostemon cablin*, *Pinus pumila*, *Curcuma amada* y *Foeniculum vulgare*.

Los estudios mostraron una tendencia de incremento en el rendimiento al aumentar la potencia del microondas hasta un valor óptimo. Sin embargo, las potencias demasiadas altas provocaron una disminución en el rendimiento debido a la degradación térmica de los compuestos volátiles y a la pérdida de metabolitos termolábiles. Por ejemplo, Beyecha Hundie et al., (2023) observaron una reducción del rendimiento cuando se incrementaron de manera simultánea la potencia y el tiempo de extracción, mientras que Haqqyana et al., (2021) reportaron un rendimiento máximo de 6.10% utilizando 600 W.

Figura 2

Distribución de las potencias óptimas reportadas en los estudios seleccionados



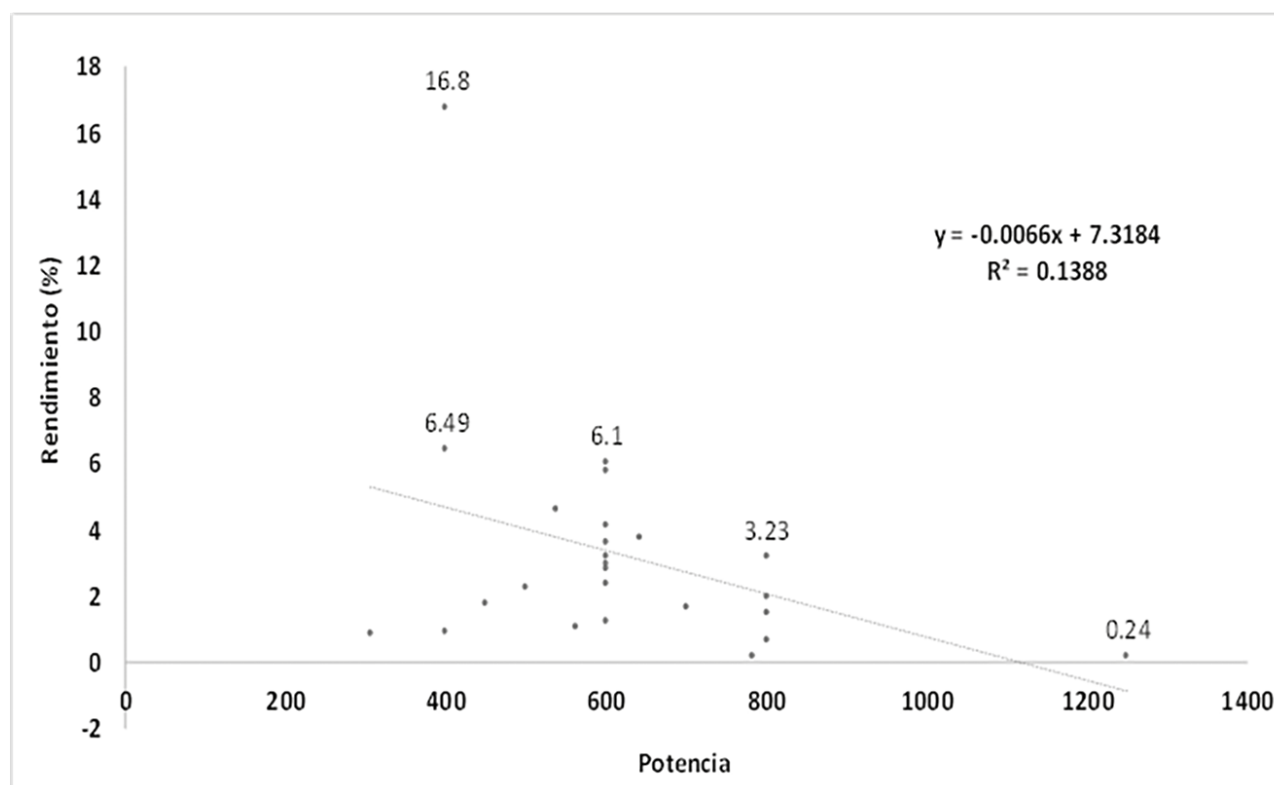
Nota. Elaboración propia

La Figura 2 evidencia que las potencias óptimas reportadas se concentraron principalmente entre 400 y 800 W observándose una mayor frecuencia en el intervalo de 401 a 600 W. Esta tendencia indica que las potencias favorecen la extracción eficiente del aceite esencial sin incrementar el riesgo de degradación térmica de los compuestos volátiles.

En la Figura 3 se presenta la relación entre potencia óptima y rendimiento máximo de extracción.

Figura 3

Relación entre potencia óptima y rendimiento máximo de extracción



Nota. Los datos corresponden a las condiciones óptimas reportadas en los artículos analizados. La línea de tendencia lineal mostró una baja capacidad explicativa ($R^2 = 0.1388$), evidenciando que el rendimiento depende de múltiples factores además de la potencia aplicada.

Como se aprecia en la figura 3 no se observó una relación lineal entre la potencia aplicada y el rendimiento máximo obtenido por lo cual este comportamiento evidencia que el rendimiento de extracción también depende de factores propios de cada especie vegetal y de las condiciones operativas utilizadas durante la extracción mediante MAHD.

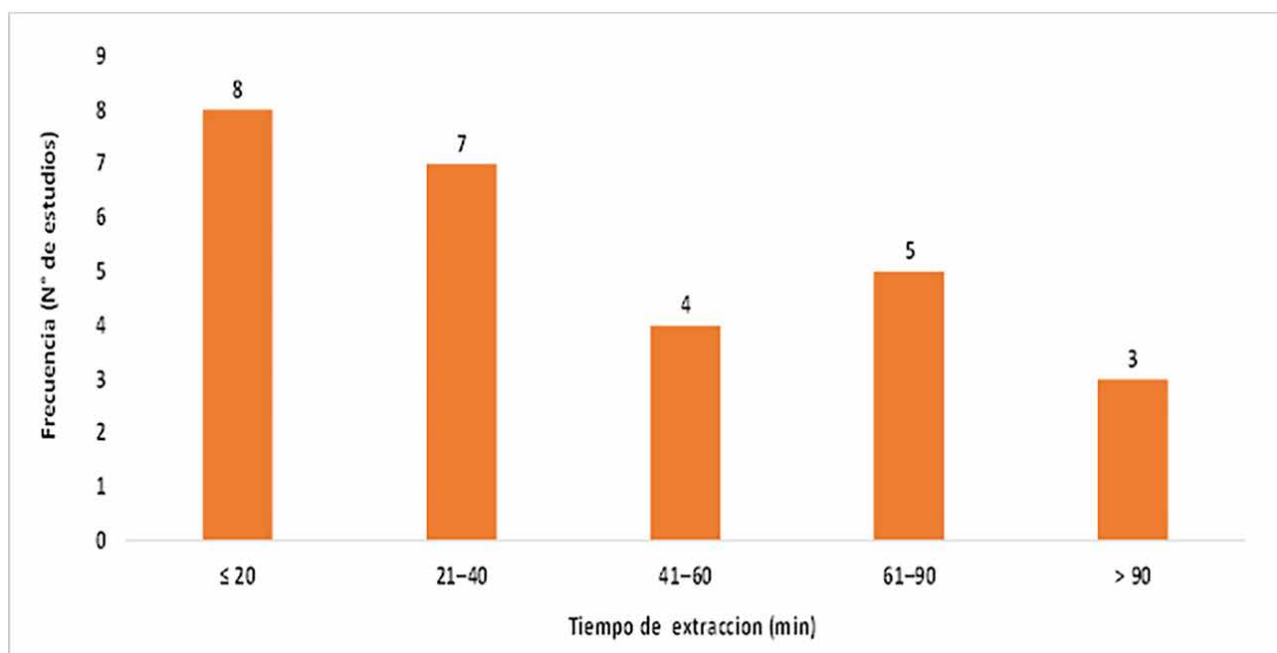
Influencia del tiempo de extracción

El tiempo de extracción presentó una variabilidad con valores comprendidos entre los 6 y 180 minutos. Sin embargo, las condiciones óptimas se presentaron principalmente entre los 30 y 90 minutos, intervalo en el que se registraron los mayores rendimientos en la mayoría de las especies evaluadas. Estos resultados sugieren que la aplicación de microondas favorece a una rápida liberación de compuestos volátiles, reduciendo el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio de extracción (Xu et al., 2021; Phong et al., 2022; Noyraksa et al., 2023; Mohanty et al., 2026; Kusuma et al., 2026).

La comparación entre la hidrodestilación asistida por microondas (MAHD) y la hidrodestilación convencional evidenció reducciones sustanciales en el tiempo de procesamiento. Según Boudraa et al., (2021) redujeron el tiempo de extracción de *Foeniculum vulgare* de 180 a 20 min manteniendo un rendimiento superior al obtenido mediante hidrodestilación convencional. De manera similar, Mi et al., (2026) disminuyeron el tiempo para la extracción de aceite esencial de *Pinus pumila* de 240 a 60 min, obteniendo simultáneamente un incremento en el rendimiento. Asimismo, Le et al., (2021) reportaron una reducción del tiempo de extracción en *Houttuynia cordata*, confirmando la eficiencia de la tecnología MAHD frente a los métodos tradicionales.

Figura 4

Distribución de los tiempos óptimos de extracción reportados en los estudios seleccionados



La figura 4 muestra que los tiempos óptimos de extracción se concentraron entre 21 y 90 minutos. Estos resultados confirman que la aplicación de microondas permite acelerar la liberación de compuesto volátiles y reducir el tiempo de extracción respecto a los métodos convencionales.

Influencia de la relación sólido/líquido

La relación sólida/líquido fue uno de los factores más relevantes para la eficiencia de la extracción de aceites esenciales. Los estudios reportaron valores óptimos entre 0.30 g/mL y 1:20 g/mL, dependiendo de la especie vegetal y del sistema de extracción empleado (Haqqyana et al., 2021; Noyraksa et al., 2023; Priyadarshini et al., 2026; Mustafiah et al., 2026).

Por otro lado, las relaciones bajas favorecieron a una mayor transferencia de masa y a una mejor penetración de la energía de microondas en la matriz vegetal, lo que incrementó el rendimiento de la extracción. Sin embargo, las relaciones excesivamente altas aumentaron el consumo energético y redujeron la eficiencia del proceso. (Noyraksa et al., 2023; Priyadarshini et al., 2026; Mustafiah et al., 2026)

Los mejores resultados se hallaron en estudios como los de Noyraksa et al., (2023), quienes determinaron una relación óptima cercana a 1:14.85 g/mL, y Haqqyana et al., (2021), donde obtuvieron un rendimiento superior al 6 % empleando una relación de 0.30 g/mL.

Tabla 3
 Distribución de las relaciones sólido/líquido y su rendimiento en los estudios seleccionados

Autor	Planta	Relación sólido: líquido	Rendimiento (%)
(Mohanty et al., 2026)	<i>Cinnamomum tamala</i>	1:1	1.55 %
(Kusuma et al., 2026)	<i>Pogostemon cablin</i>	1:1.7	3.02 %
(Priyadarshini et al., 2026)	<i>Curcuma amada</i>	1:2.5	0.70 %
(Haqqyana et al., 2021)	<i>Syzygium aromaticum</i>	1:3.3	6.10 %
(Mi et al., 2026)	<i>Pinus pumila</i>	1:6	1.12 %
(Boudraa et al., 2021)	<i>Foeniculum vulgare</i>	1:2.9	2.72 %
(Zhao et al., 2022)	<i>Thlaspi arvense</i>	1:10	n.d.
(Božović et al., 2026)	<i>Anethum graveolens</i>	1:10	3.23 %
(Masood et al., 2026)	<i>Jasminum spp.</i>	1:13.3	n.d.
(Noyraksa et al., 2023)	<i>Foeniculum vulgare</i>	1:14.85	n.d.
(Suttiarporn et al., 2024)	<i>Syzygium aromaticum</i>	1:20	16.80 %

Nota. Se están incluyendo únicamente los estudios que reportaron explícitamente la relación sólida/líquido.

La variabilidad observada en las relaciones sólido-líquido demuestra que este parámetro depende de las características de cada especie vegetal y de las condiciones experimentales empleadas. En consecuencia, a esto no es posible establece una relación universal para todos los procesos de hidrodestilación asistida por microondas, siendo necesaria su optimización para cada materia prima.

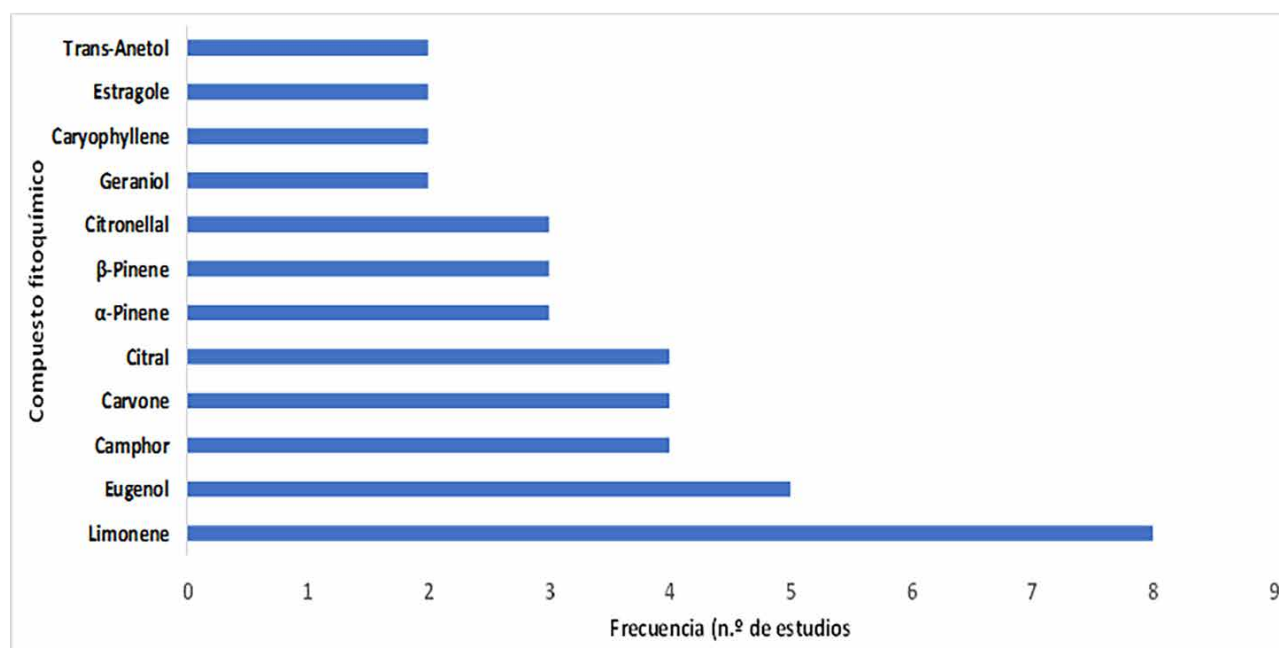
Calidad fitoquímica de los aceites esenciales obtenidos mediante MAHD

La calidad fitoquímica de los aceites esenciales fue evaluada mediante el método de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). En los artículos analizados se identificaron una amplia gama de metabolitos secundarios, donde predominan los monoterpenos y sesquiterpenos. Los compuestos más frecuentes fueron eugenol, limoneno, citral, citronelal, citronelol, carvona, carvacrol, α-pineno y trans-anetol, los cuales son reconocidos por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antifúngicas. (Elyemni et al., 2021; Haqqyana et al., 2021; Boudraa et al., 2021; Sprea et al., 2023; Božović et al., 2026)

La Figura 5 evidencia que el limoneno fue el compuesto fitoquímico que se reportó con mayor frecuencia entre los estudios analizados, seguido por el eugenol, mientras que el alcanfor, la carvona y el citral presentaron una frecuencia intermedia. Este comportamiento confirma el predominio de monoterpenos y compuestos oxigenados en los aceites esenciales obtenidos mediante MAHD.

Figura 5

Frecuencia de los principales compuestos fitoquímicos reportados en los estudios seleccionados.



Nota. La frecuencia corresponde al número de estudios en los que cada compuesto fue reportado como componente principal del aceite esencial.

La representación presentada en la Figura 6 permite visualizar el predominio de monoterpenos y compuestos oxigenados dentro de los aceites esenciales obtenidos mediante MAHD. La mayor presencia de estos metabolitos respalda los resultados reportados en los estudios analizados y evidencia el potencial de esta tecnología para conservar los compuestos bioactivos de interés industrial.

Figura 6

Nube de palabras de los compuestos fitoquímicos identificados en los aceites esenciales obtenidos mediante MAHD.

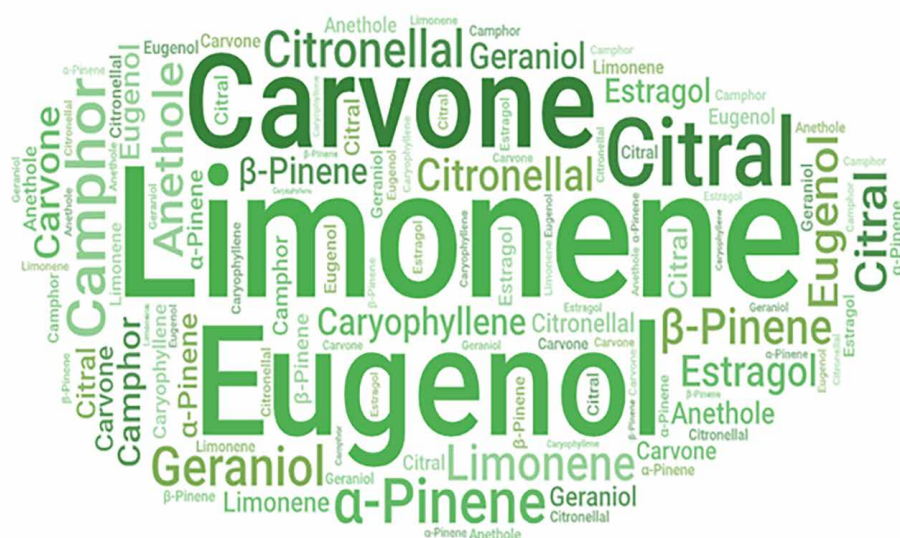


Tabla 4
Resultados de estudios sobre hidrodestilación asistida por microondas en plantas aromáticas.

Autor	Año	Planta	Potencia (W)	Tiempo (min)	Rendimiento (%)	Principales compuestos
Xu et al.	2021	Amomum villosum	600	30	5.83	Bornyl acetate, Camphor
Le et al.	2021	Houttuynia cordata	700	60	1.72	Methyl nonyl ketone, β -Myrcene
Elyemni et al.	2021	Rosmarinus officinalis	600	20	2.41	1,8-Cineole, Camphor, α -Pinene
Lamberti et al.	2021	Citrus limon	500	15	2.30	Limonene, β -Pinene
Haqqyana et al.	2021	Syzygium aromaticum	600	116.7	6.10	Eugenol, Caryophyllene oxide, Eugenyl acetate
Boudraa et al.	2021	Foeniculum vulgare	305.93	20	0.90	Trans-anetol, Camphor, Estragol
Zhao et al.	2022	Thlaspi arvense	624	34	0.77–2.69 mg/g	Compuestos antifúngicos
Shi et al.	2022	Forsythiae fructus	30% potencia	6	4.66	Compuestos volátiles de Forsythia
Phong et al.	2022	Cymbopogon citratus	450	90	1.82	Geraniol, Citral
Haqqyana et al.	2022	Cymbopogon nardus	600	180	3.68	Citronellal, Citronellol, Geraniol
Noyraksa et al	2023	Foeniculum vulgare	400	96.36	0.98	Anetol, Estragol, Fenchona
Beyecha Hundie et al.	2023	Rumex crispus	534.89	23.48	4.67	α -Santalol, β -Santalol
Sprea et al.	2023	Aloysia citrodora	600	15	1.29	Geranial, Neral, Limonene
Suttiarporn et al.	2024	Syzygium aromaticum	400	45	16.80	Eugenol y derivados
Variyana et al.	2024	Allium cepa var. aggregatum	600	75	2.87	Compuestos azufrados
Botero et al.	2024	Renealmia ligulata	765–799	42–43	0.22	α -Muurolol, epi-Eudesmol
Nouioura et al.	2024	Apium graveolens	600	20–30	4.17	Limonene, Sedanenolide
Ashmawy et al.	2024	Citrus aurantium	NR	35	NR	Limonene (99.23%)
(Yang et al., 2024)	2024	Litsea cubeba	400	152	6.49	D-Limonene, Citral, Citronellal
Crescente et al.	2025	Mentha spicata	1500–1000	40	0.24	Carvona, Limonene
Fan et al.	2025	Zanthoxylum armatum	640	15	3.82	Monoterpenos aromáticos
Nurjanah et al.	2025	Piper nigrum	440	90	NR	Piperina y compuestos aromáticos
Vojvodić et al.	2025	Carum carvi	800	NR	3.23	Carvona, Limoneno
Mohanty et al.	2026	Cinnamomum tamala	800	85	1.55	Eugenol, α -Phellandrene, o-Cymene
Mi et al.	2026	Pinus pumila	560	60	1.12	α -Pineno, β -Pineno
Kusuma et al.	2026	Pogostemon cablin	600	90	3.02	Patchouli alcohol, Guaiene, Caryophyllene
Masood et al.	2026	Jasminum spp.	400	1.7	NR	2-Phenylthiolane
Filip et al.	2026	Satureja montana	800	NR	2.03	Carvacrol, p-Cymene, γ -Terpinene
Božović et al.	2026	Anethum graveolens	600	NR	3.23	Carvona, Limoneno
Priyadarshini et al.	2026	Curcuma amada	800	50	0.70	Myrcene, β -Pinene

Nota. Comparación de estudios sobre parámetros, rendimiento y calidad de aceites esenciales obtenidos mediante hidrodestilación asistida por microondas en plantas silvestres.

DISCUSIÓN

Los artículos analizados coinciden en que la hidrodestilación asistida por microondas (MAHD) mejora la eficiencia de extracciones a diferencia de la hidrodestilación convencional. Boudraa et al., (2021) redujeron el tiempo de extracción de *Foeniculum vulgare* de 180 a 20 minutos, mientras que Mi et al., (2026) disminuyeron el proceso de *Pinus pumila* de 240 a 60 minutos obteniendo un mayor rendimiento. De forma similar Spinozzi et al., (2023) incrementaron el rendimiento de *Carlina acaulis* de 0.49% a 0.65% y Priyadarshini et al., (2026) obtuvieron el aceite esencial de *Curcuma amada* en solo 50 min. Estos resultados confirman que la MAHD favorece una extracción más rápida y eficiente de los compuestos volátiles.

Respecto a los parámetros operacionales, Noyraksa et al., (2023) identificaron una potencia óptima de 400 W para *Foeniculum Vulgare*, mientras que Boudraa et al., (2021), reportaron aproximadamente 305 W para la misma especie. Asimismo, Mohanty et al., (2026) obtuvieron resultados favorables usando 800 W en *Cinnamomum tamala* y Kusuma et al., (2026) con 600 W en *Pogostemon cablin*. Estas diferencias evidencian que la optimización de la potencia depende de las características propias de cada especie vegetal y de las condiciones de extracción, por lo que no es posible establecer un valor universal.

En cuanto a la calidad Fitoquímica, Antonio-Gutiérrez et al., (2023) reportaron una elevada concentración de carvacrol en *Plectranthus amboinicus*, mientras que Zhao et al., (2022) demostraron actividad antifúngica frente a *Penicillium expansum*. De igual manera, Nguyen et al., (2025) observaron actividad citotóxica y Sameh et al., (2026) evidenciaron inhibición enzimática. Sin embargo, Kırkinci et al., (2024) encontraron perfiles químicos similares entre MAHD y HD en *Lavandula angustifolia*, mientras que Boumahdi et al., (2021) reportaron que la MAHD redujo el tiempo de extracción de *Pimpinella anisum* de 330 a 90 min, aunque obtuvo un rendimiento inferior al método convencional. Estas diferencias indican que las ventajas de la MAHD no siempre se reflejan en un mayor rendimiento, sino también en mejoras de eficiencia operativa y ahorro energético, estas contradicciones sugieren que van a depender de la especie vegetal y de las condiciones operativas empleadas.

Por último, se hallaron vacíos de investigación, Gunjević et al., (2021), Micalizzi et al., (2024) y Nasruddin et al., (2025) se enfocaron principalmente en la caracterización de los compuestos bioactivos, sin evaluar de manera integral los parámetros de extracción. Por su parte, Rassem et al., (2025) desarrollaron modelos cinéticos, mientras que Çelebi Uzkuç et al., (2021) estudiaron la estabilidad de los aceites esenciales después de la extracción. Asimismo, Labri et al., (2022) evidenciaron que el efecto de algunos parámetros depende de la especie vegetal. Todos estos estudios muestran la necesidad de desarrollar investigaciones que integren optimización de parámetro, calidad fitoquímica y escalamiento industrial

CONCLUSIÓN

La presente revisión sistemática, realizada con 30 artículos originales publicados entre 2021 y 2026, aporta información detallada sobre el efecto de los parámetros operativos en la calidad y rendimiento de aceites esenciales obtenidos mediante hidrodestilación asistida por microondas (MAHD). Los resultados muestran que las potencias óptimas se encuentran entre 500 W y 800W, mientras que los tiempos de extracción oscilan entre 21 y 90 minutos, logrando reducciones de hasta 75% con respecto a la hidrodestilación convencional y sin comprometer la calidad fitoquímica de los aceites esenciales. Asimismo, se identificó el predominio de monoterpenos y compuestos oxigenados, principalmente limoneno, eugenol, carvona y citral, reconocidos por sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas lo que fortalece la base científica para futuras investigaciones en especies aromáticas y medicinales.

Desde el punto de vista industrial los parámetros operativos identificados en esta revisión constituyen rangos de referencia que pueden orientar el diseño y el escalamiento de procesos de

extracción, contribuyendo a reducir el consumo energético y los costos asociados a la experimentación y el desarrollo. La menor degradación térmica propia de (MAHD) permite conservar compuestos de alto valor comercial como limoneno en cítricos, eugenol en clavo, y carvacrol en orégano, lo que favorece la adopción en sectores como el alimentario farmacéutico y cosmético. En este contexto las MAHD representa una alternativa sostenible y eficiente frente a los métodos convencionales para la obtención de aceites esenciales de alta calidad y con menor consumo energético.

No obstante, la variabilidad observada entre las especies vegetales demuestra que las condiciones óptimas de extracción no pueden generalizarse por lo que resulta indispensable optimizar los parámetros operativos para cada materia prima. En consecuencia, se recomienda desarrollar las investigaciones que integren la optimización de los parámetros de extracción, la caracterización fitoquímica la evaluación de la actividad biológica y estudios de escalamiento industrial. Asimismo, es necesario impulsar las investigaciones en especies aromáticas latinoamericanas aun poco estudiadas e incorporar modelos cinéticos, principio de química verde y análisis de ciclo de vida, con el fin de consolidar la MAHD como una tecnología visible y sostenible a escala productiva

REFERENCIAS

- Antonio-Gutiérrez, O., Alvizar-Martínez, J. A., Solano, R., Vásquez-López, A., Hernández-Valladolid, S. L., Lustre-Sánchez, H., Flores-Moctezuma, H. E., de Jesús de Luna-Santillana, E., & Lagunez-Rivera, L. (2023). Microwave-Assisted Hydrodistillation of Essential Oil from *Plectranthus amboinicus*: Evaluation of Its Antifungal Effect and Chemical Composition. *Life*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/life13020528>
- Ashmawy, N. S., Nilofar, N., Zengin, G., & Eldahshan, O. A. (2024). Metabolic profiling and enzyme inhibitory activity of the essential oil of citrus aurantium fruit peel. *BMC Complementary Medicine and Therapies*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12906-024-04505-2>
- Beyecha, K., Aga, T., Mekonnen, Y., Abdissa, D., & Seid, M. (2023). Optimization of microwave-assisted hydro-distillation essential oil extracted from *Rumex Crispus* leaves using definitive screening design. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(5). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104665>
- Botero, J. L. C., Balvuela, Y. O., Cifuentes, J. A. G., Nieto, M. del P. S., & Vásquez, E. R. (2024). Optimization of a novel *Renealmia ligulata* (Zingiberaceae) essential oil extraction method through microwave-assisted hydrodistillation. *Universitas Scientiarum*, 29(2), 108–125. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC292.ooan>
- Boudraa, H., Kadri, N., Mouni, L., & Madani, K. (2021). Microwave-assisted hydrodistillation of essential oil from fennel seeds: Optimization using Plackett–Burman design and response surface methodology. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2021.100307>
- Boumahdi, Y., Moghrani, H., Nasrallah, N., Ouarek, S., & Maachi, R. (2021). Microwave-assisted hydrodistillation of the essential oil from Algerian *Pimpinella anisum* seeds. *Flavour and Fragrance Journal*, 36(1), 34–46. <https://doi.org/10.1002/ffj.3614>
- Božović, D., Gladikostić, N., Ikonić, B., Teslić, N., Sknepnek, A., Mirković, M., Vojvodić, S., Zeković, Z., Putnik, P., Kovačević, D. B., & Pavlić, B. (2026). Comparative study of hydrodistillation and microwave-assisted technique for dill seed (*Anethum graveolens*) essential oil extraction: Process kinetics, yield, composition, and sustainability. *Food and Bioproducts Processing*, 155, 134–147. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2025.12.009>
- Çelebi Uzkuç, N. M., Uzkuç, H., Berber, M. M., Tarhan Kuzu, K., Özmen Toğay, S., İşleten Hoşoğlu, M., Kırca Toklucu, A., Kurt, S. B., Sahiner, N., & Karagül Yüceer, Y. (2021). Stabilisation of lavender

essential oil extracted by microwave-assisted hydrodistillation: Characteristics of starch and soy protein-based microemulsions. *Industrial Crops and Products*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114034>

- Crescente, G., Cascone, G., Sorrentino, A., Volpe, M. G., Boscaino, F., & Moccia, S. (2025). Influence of extraction techniques on chemical composition, antioxidant and antifungal activities of *Mentha spicata* L. essential oil: A comparative study of microwave-assisted hydrodistillation and steam distillation. *Food Bioscience*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106939>
- Dai, Y., Tang, J., Zheng, L., Fu, X., Zou, Z., & Liu, Z. (2026). Optimization of the solvent free microwave assisted extraction of *Cinnamomum jensenianum* essential oil and evaluation of its antifungal activity against *Fusarium sporotrichioides* and *Fusarium avenaceum*. *LWT*, 243. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2026.119151>
- Elyemni, M., Louaste, B., El Ouadrhiri, F., Bouia, A., & Eloutassi, N. (2021). Application of response surface methodology to optimize the extraction of essential oil from *Rosmarinus officinalis* using microwave-assisted hydrodistillation. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 11(1), 129–136. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2021.110115>
- Fan, S., Qian, W., Xiao, Y., Hu, Y., Jiang, M., Chen, J., Zhang, D., & Gao, S. (2025). Comparative analysis of *Zanthoxylum armatum* essential oils from four cultivars: Chemical compositions, antioxidant activities, and antibacterial activities. *Food Chemistry: X*, 30, 103005. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103005>
- Filip, S., Đurović, S. D., Blagojević, S., DeliĆ, O., Skhvediani, A. E., Vasin, A. V., & Micić, D. M. (2026). Investigation of technological, chemical, biological aspects, and in-silico pharmacokinetic and docking predictions of winter savory (*Satureja montana* L.) essential oil. *Process Biochemistry*, 161, 188–203. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2025.12.009>
- Gajbhiye, N. A., Saha, T. N., Kadam, G. B., Raju, S., Ahammed Shabeer, T. P., Karne, S., Prasad, K. V., & Kumar, S. P. J. (2025). Chemoprofiling of essential oils from *Chrysanthemum morifolium* Ramat. flowers: Delineation of genotypic variations for industrial applications. *Industrial Crops and Products*, 230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121137>
- Genc, A. (2024). Extraction of *Origanum onites* L. using an industrial-type microwave-assisted distillation (MWAD) system: Increasing energy saving and essential oil yield compared to conventional steam distillation. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2024.100575>
- Gunjević, V., Grillo, G., Carnaroglio, D., Binello, A., Barge, A., & Cravotto, G. (2021). Selective recovery of terpenes, polyphenols and cannabinoids from *Cannabis sativa* L. inflorescences under microwaves. *Industrial Crops and Products*, 162. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113247>
- Haqqyana, H., Altway, A., & Mahfud, M. (2021). Microwave-Assisted Hydrodistillation of Clove (*Syzygium aromaticum*) Stem Oil: Optimization and Chemical Constituents Analysis. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(6), 1358–1370. <https://doi.org/10.22146/IJC.64521>
- Haqqyana, H., Altway, A., & Mahfud, M. (2022). Kinetic modeling for microwave-assisted green extraction: Effects of power on citronella oil from *Cymbopogon nardus* leaf. *International Journal of Applied Science and Engineering*, 19(4). [https://doi.org/10.6703/IJASE.202212_19\(4\).007](https://doi.org/10.6703/IJASE.202212_19(4).007)
- Kırkinci, S., Gercek, Y. C., Baştürk, F. N., Yıldırım, N., Gıdık, B., & Bayram, N. E. (2024). Evaluation of lavender essential oils and by-products using microwave hydrodistillation and conventional hydrodistillation. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-71115-w>

- Kusuma, H. S., Ikawati, K. L., Kurniasari, E., Amenaghawon, A. N., Ugobodu, F. U., & Muonanu, O. C. (2026). Microwave-assisted hydrodistillation of patchouli oil using canola/sunflower traps: SHAP-interpretable ML optimization. *Food and Humanity*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2026.100999>
- Labri, K., Moghrani, H., Ihadadene, R., Hamitouche, H., & Maachi, R. (2022). The application of the full factorial design and Response Surface Methodology in optimization conditions for essential oils extraction from *Lavandula stoechas*, *Carum carvi* and *Eucalyptus camaldulensis*: Effect of plants particle size on the extraction of essential oils. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2022.100830>
- Lamberti, L., Grillo, G., Gallina, L., Carnaroglio, D., Chemat, F., & Cravotto, G. (2021). Microwave-assisted hydrodistillation of hop (*Humulus lupulus* L.) terpenes: A pilot-scale study. *Foods*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/foods10112726>
- Le, X. D., Pham Thi, N. M., Cam, T. I., Do, H. N., Nguyen Thi, H. Van, Thang, T. D., Thao, L. P. P., Do, T. S., Nguyen, T. D., Pham, Q. L., Dao, T. P., Pham, T. N., & Tran, Q. T. (2021). Optimization of the Essential Oil Extraction Process from Dong Van Marjoram (*E. winitiana* var. *dongvanensis* Phuong.) by Using Microwave Assisted Hydrodistillation, and the Bioactivities of the Oil Against Some Cancer Cell Lines and Bacteria. *Natural Product Communications*, 16(10). <https://doi.org/10.1177/1934578X211054235>
- Masood, N. A., Rassem, H. H., Magam, S. M., Adam, A., Subaiea, G. M., Alanazi, T. Y., Al-Wesabi, E. O., & Alrashidi, A. A. (2026). Kinetic evaluation of the microwave-assisted hydrodistillation process for 2-phenylthiolane extraction from jasmine flowers. *Journal of King Saud University - Science*, 38(4). https://doi.org/10.25259/JKSUS_1595_2025
- Mi, S., Wang, W., Zhu, M., Mu, L., & Lu, Q. (2026). Utilization of *Pinus pumila* seed scales as forestry residues: Green microwave-assisted hydrodistillation for essential oil extraction and its antibacterial activity. *Journal of Chromatography A*, 1766. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2025.466574>
- Micalizzi, G., Cucinotta, L., Chiaia, V., Alibrando, F., Cannizzaro, F., Branca, G., Maida, P., Oliveri, P., Mondello, L., & Sciarrone, D. (2024). Profiling of seized *Cannabis sativa* L. flowering tops by means of microwave-assisted hydro distillation and gas chromatography analyses. *Journal of Chromatography A*, 1727. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.464994>
- Mohanty, D., Mohanta, O., Priyadarshini, A., Padhee, S., Nayak, S., Jena, S., Sahoo, A., Panda, P. C., Nayak, S., & Ray, A. (2026). Optimization of microwave-assisted hydrodistillation for essential oil extraction from *Cinnamomum tamala* leaves: A comparative study of response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN). *Food Chemistry*, 505. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2026.148025>
- Mustafiah, M., Kurniawansyah, F., & Mahfud, M. (2026). Enhanced extraction of *Myristica fragrans* houtt seed essential oil via microwave air-hydrodistillation: Parametric study, optimization, and antibacterial evaluation. *Results in Engineering*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109074>
- Nasruddin, N. F. M., Mohd Nor, S. N. N., Mohd Nawi, W. N. R., & Hamidi, N. H. (2025). Screening of phytochemicals extracted from *Leucaena leucocephala* by using microwave-assisted hydrodistillation (MAHD). *Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*, 33(2 Special Issue), 16–22. [https://doi.org/10.35118/apjmbb.2025.033.2\(Special\).02](https://doi.org/10.35118/apjmbb.2025.033.2(Special).02)

- Nguyen, Q. T., Nguyen, V. Le, Nguyen, D. H., & Dang, P. H. (2025). Chemical composition and cytotoxic activities of *Rhodomyrtus tomentosa* (Aiton) Hassk. essential oil extracted by microwave-assisted hydrodistillation. *Natural Product Research*. <https://doi.org/10.1080/14786419.2025.2568943>
- Nouioura, G., El fadili, M., Ghneim, H. K., Zbadi, L., Maache, S., Zouirech, O., Danouche, M., Aboul-Soud, M. A. M., Giesy, J. P., Lyoussi, B., & Derwich, E. (2024). Exploring the essence of celery seeds (*Apium graveolens* L.): Innovations in microwave-assisted hydrodistillation for essential oil extraction using in vitro, in vivo and in silico studies. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(5). <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105726>
- Noyraksa, S., Wichianwat, K., Punpuk, S., Aiemyeesun, S., Maitip, J., & Suttiarporn, P. (2023). Optimization of microwave-assisted hydrodistillation of essential oils from fennel seeds. *Materials Today: Proceedings*, 77, 1079–1085. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.392>
- Nurjanah, S., Widyaningrum, S., Nurhadi, B., Rosalinda, S., Rienoviar, Permadi, N., & Julaeaha, E. (2025). Phytochemistry and antimicrobial potential of off-grade white pepper (*Piper nigrum* L.) essential oils extracted using microwave-assisted hydro-distillation (MAHD). *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 10, 100450. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2025.100450>
- Pavlić, B., Teslić, N., Zengin, G., Đurović, S., Rakić, D., Cvetanović, A., Gunes, A. K., & Zeković, Z. (2021). Antioxidant and enzyme-inhibitory activity of peppermint extracts and essential oils obtained by conventional and emerging extraction techniques. *Food Chemistry*, 338. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127724>
- Phong, H. X., Thanh, N. N., Tien, D. T. K., & Long, B. H. D. (2022). Composition and bioactivity of essential oils from lolot pepper (*Piper lolot* C. DC.) extracted by microwave-assisted hydrodistillation. *Food Research*, 6(5), 116–123. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(5\).537](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(5).537)
- Priyadarshini, A., Mohanta, O., Mohanty, D., Dash, B., Sahoo, A., Rath, D., Panda, P. C., Nayak, S., Ray, A., & Jena, S. (2026). Application of central composite design and response surface methodology for optimizing microwave assisted hydrodistillation of essential oil from *Curcuma amada* rhizomes. *Industrial Crops and Products*, 240, 122678. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2026.122678>
- Rassem, H. H., Khamidun, M. H. Bin, Siyal, A. A., & Mohamed, R. M. S. R. (2025). Kinetic study on the extraction of ethanimidic acid from hibiscus flowers using microwave assisted hydrodistillation. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86286-3>
- Sameh, S., Elissawy, A. M., Al-Sayed, E., Labib, R. M., Chang, F. R., & Singab, A. N. B. (2026). Microwave-assisted vs. conventional hydrodistillation of *Corchorus olitorius*: a chemical and enzyme inhibition study. *Traditional Medicine Research*, 11(1). <https://doi.org/10.53388/TMR20250117001>
- Sarah, M., Alkausar, M., Salamah, S., Maulina, S., & Madinah, I. (2026). Process optimization of microwave-assisted hydrodistillation for Andaliman (*Zanthoxylum acanthopodium* DC.) extraction: Investigating solvent volume, power, and time effects on yield. *Kuwait Journal of Science*, 53(1), 100499. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.kjs.2025.100499>
- Shi, G., Lin, L., Liu, Y., Chen, G., Fu, S., Luo, Y., Yang, A., Zhou, Y., Wu, Y., & Li, H. (2022). Multi-objective optimization and extraction mechanism understanding of ionic liquid assisted in extracting essential oil from *Forsythiae fructus*. *Alexandria Engineering Journal*, 61(9), 6897–6906. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.12.035>

- Spinozzi, E., Ferrati, M., Giudice, D. Lo, Felicioni, E., Petrelli, R., Benelli, G., Maggi, F., & Cespi, M. (2023). Microwave-Assisted Hydrodistillation of the Insecticidal Essential Oil from *Carlina acaulis*: A Fractional Factorial Design Optimization Study. *Plants*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/plants12030622>
- Sprea, R. M., Fernandes, L. H. M., Pires, T. C. S. P., Calhelha, R. C., Rodrigues, P. J., & Amaral, J. S. (2023). Volatile Compounds and Biological Activity of the Essential Oil of *Aloysia citrodora* Paláu: Comparison of Hydrodistillation and Microwave-Assisted Hydrodistillation. *Molecules*, 28(11). <https://doi.org/10.3390/molecules28114528>
- Suttiarporn, P., Seangwattana, T., Srisurat, T., Kongitthinon, K., Chumnanvej, N., & Luangkamin, S. (2024). Enhanced extraction of clove essential oil by ultrasound and microwave assisted hydrodistillation and their comparison in antioxidant activity. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 8, 100411. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2024.100411>
- Variyana, Y., Fitria, M., Muchammad, R. S. C., & Mahfud, M. (2024). Enhancing Indian onion (*Allium Cepa* L. var. *aggregatum*) extraction by microwave hydrodiffusion and gravity (MHG) method: Parametric study and optimization using FCCD design. *Results in Engineering*, 24, 103294. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103294>
- Vojvodić, S., Gladikostić, N., Ikonić, B., Teslić, N., Sknepnek, A., Mirković, M., Miletić, D., Božović, D., Zeković, Z., Putnik, P., Bursać Kovačević, D., & Pavlić, B. (2025). Innovative Extraction of Caraway (*Carum carvi*) Essential Oil: Comparing Hydrodistillation and Microwave-Assisted Techniques for Chemical Profiling, Kinetic Modeling, Enhanced Yield, Antioxidant, and Antimicrobial Properties. *Chemistry and Biodiversity*, 22(8), e202500461. <https://doi.org/10.1002/CBDV.202500461;PAGE=STRING:ARTICLE/CHAPTER>
- Xu, F. X., Zhang, J. Y., Jin, J., Li, Z. G., She, Y. Bin, & Lee, M. R. (2021). Microwave-assisted natural deep eutectic solvents pretreatment followed by hydrodistillation coupled with gc-ms for analysis of essential oil from turmeric (*Curcuma longa* L.). *Journal of Oleo Science*, 70(10), 1481–1494. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20368>
- Yang, X., Yang, Y., Zhang, K., Zhao, R., Tian, H., Yang, L., & Zhao, X. (2024). Homogenization-circulating ultrasound in combination with aqueous enzymatic pretreatment for microwave-assisted extraction of kernel oil and essential oil from the fruit of *Litsea cubeba*. *Ultrasonics Sonochemistry*, 111. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107093>
- Yang, X., Zhao, R., Wei, M., Gu, H., Li, J., Yang, L., & Liu, T. (2022). An improved approach of salting-out solvent-free microwave mediated rotary distillation for essential oil preparation from fresh leaves of magnolia (*Oyama sieboldii*). *Food Chemistry: X*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100524>
- Yang, X., Zhao, Y., Tian, H., & Yang, L. (2026). Integrated one-pot microwave-assisted extraction of essential oils and polysaccharides from *Psidium guajava* leaves using polyethylene glycol as a green Co-Solvent. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 49, 102293. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.102293>
- Zhao, R., Ben, A., Wei, M., Ruan, M., Gu, H., & Yang, L. (2022). Essential oil obtained from *Thlaspi arvense* L. leaves and seeds using microwave-assisted hydrodistillation and extraction in situ by vegetable oil and its antifungal activity against *Penicillium expansum*. *LWT*, 165, 113718. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113718>