

Evaluación de bioactividad de extractos, *Rosmarinus officinalis* y *Tymus vulgaris*, mediante tecnologías alternas

Evaluation of bioactivity of extracts, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*, using alternatives technologies

Juanita Flores-Valdez¹ , Aidé Sáenz-Galindo^{1*} , Claudia López-Badillo¹ , Felipe Ávalos-Belmontes¹ , Sandra Esparza-González² , Adali Castañeda-Facio¹ 

¹Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas. BLVD. Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdés, S/N, Republica oriente, CP. 25280. Saltillo, Coahuila, México.

²Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Odontología. Dra. Cuquita Cepeda de Dávila, Adolfo López Mateos, CP. 25125. Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: aidesaenz@uadec.edu.mx

Artículo científico

Recibido: 13 de noviembre 2024

Aceptado: 01 de julio 2026

RESUMEN. Los extractos de las plantas de romero y tomillo han sido ampliamente estudiados gracias a sus excelentes propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, herbicidas y antimicrobianas. Tradicionalmente, estos se obtienen mediante métodos convencionales como maceración, destilación por arrastre de vapor, Soxhlet, entre otros. Sin embargo, con la finalidad de minimizar el impacto ambiental y mejorar los rendimientos de extracción, se han desarrollado metodologías utilizando tecnologías como el ultrasonido, microondas, extracción con fluidos supercríticos e híbridas. Por lo que, en este trabajo se obtuvieron extractos etanólicos de romero y tomillo mediante ultrasonido e híbrido (ultrasonido-microondas) para evaluar las propiedades antioxidantes y antimicrobianas de cada uno. Los resultados mediante FTIR y HPLC-ESI-MS permitieron elucidar que los compuestos presentes en los extractos pertenecen a las familias de los flavonoides, catequinas y terpenos, identificando como compuestos principales ácido rosmarínico, cafeico y rosmanol. Su análisis termogravimétrico demostró que los extractos tienen estabilidad térmica de hasta 380 °C. En los ensayos de actividad antioxidante presentaron una excelente propiedad inhibitoria obteniendo valores por encima del 84% para DPPH y 94% ABTS•+, mientras que para FRAP fueron valores inferiores al 0.47 mg mL trolox⁻¹. Finalmente, los bioensayos frente a *S. aureus* y *E. coli* demostraron que todos los extractos poseen excelente actividad antibacteriana obteniendo halos de inhibición superiores, con respecto al control antibiótico. Por lo que, los extractos obtenidos mediante tecnologías de ultrasonido e híbridas tienen un gran potencial para aplicaciones farmacéuticas, cosméticas, industria alimentaria, materiales de embalaje y medicina.

Palabras clave: Extracción, romero, tomillo, tecnología híbrida, ultrasonido.

ABSTRACT. Extracts from rosemary and thyme plants have been extensively studied due to their excellent anti-inflammatory, antioxidant, herbicidal, and antimicrobial properties. Traditionally, these extracts are obtained using conventional methods such as maceration, steam distillation, Soxhlet extraction, among others. However, in order to minimize environmental impact and improve extraction yields, methodologies have been developed using technologies such as ultrasound, microwaves, supercritical fluid extraction, and hybrid extraction. Therefore, in this study, ethanolic extracts of rosemary and thyme were obtained using ultrasound and hybrid (ultrasound-microwave) methods to evaluate the antioxidant and antimicrobial properties of each. The results obtained by FTIR and HPLC-ESI-MS revealed that the compounds present in the extracts belong to the flavonoid, catechin, and terpene families, with rosmarinic acid, caffeic acid, and rosmanol identified as the main compounds. Thermogravimetric analysis showed that the extracts have thermal stability up to 380 °C. In antioxidant activity tests, they showed excellent inhibitory properties, obtaining values above 84% for DPPH and 94% for ABTS•+, while for FRAP, values were below 0.47 mg mL trolox⁻¹. Finally, bioassays against *S. aureus* and *E. coli* showed that all extracts have excellent antibacterial activity, obtaining higher inhibition halos than the antibiotic control. Therefore, extracts obtained using ultrasound and hybrid technologies have great potential for pharmaceutical, cosmetic, food industry, packaging materials, and medical applications.

Keywords: Extraction, rosemary, thyme, hybrid technology, ultrasound.

Como citar: Flores-Valdez J, Sáenz-Galindo A, López-Badillo C, Ávalos-Belmontes F, Esparza-González S, Castañeda-Facio A (2026) Evaluación de bioactividad de extractos, *Rosmarinus officinalis* y *Tymus vulgaris*, mediante tecnologías alternas. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 13(2): e4433. DOI: 10.19136/era.a13n2.4433.

INTRODUCCIÓN

Una de las familias de plantas más diversas y utilizadas alrededor del mundo son las Lamiáceas (Nieto 2017). Estas han sido empleadas en la medicina tradicional y moderna, además de la industria alimentaria y farmacéutica, gracias a la gran variedad de fitoquímicos que contienen sus extractos (Calinescu *et al.* 2017, Milevskaya *et al.* 2017). Se estima que entre el 70 y 80 % de la población mundial las usa por sus efectos terapéuticos, por lo que, este tipo de plantas medicinales y culinarias, tienen un importante valor sociocultural, espiritual y medicinal (Sharafzadeh y Zare 2011). Algunas de las plantas más conocidas dentro de las Lamiáceas son el romero, tomillo, lavanda, orégano, menta y salvia (Nieto 2017).

El romero (*Rosmarinus officinalis*) es una de las principales plantas de la familia Lamiaceae, actualmente es una de las plantas más prometedoras debido a sus propiedades antioxidantes (Li *et al.* 2023), antibacterianas, antiinflamatorias, anticancerígenas (Becer *et al.* 2023), antivirales (Yanar *et al.* 2022), antifúngicas (Karadağ *et al.* 2022), entre otras. Ya que, su extracto se puede llegar a utilizar en la industria alimentaria (Pappachan *et al.* 2023), farmacéutica (Nakisa y Ghasemzadeh 2022) y/o medicinal (Ijaz *et al.* 2023).

Por otro lado, el *Thymus vulgaris*, llamado comúnmente tomillo, es una planta con flores de la misma familia botánica y al igual que el romero, se ha reportado que el extracto de tomillo tiene grandes propiedades antioxidantes, antiinflamatorias (Pandiya *et al.* 2022), antimicrobianas (Mokhtari *et al.* 2023) y anticancerígenas (Kamalia y Tunjung 2023). Por esto, es considerado excelente para su aplicación como antiséptico (Ardjoum *et al.* 2023), conservante (Yousefi 2022), antihelmíntico y tónico (Prasanth *et al.* 2014).

Se ha reportado que la constitución de los compuestos bioactivos presentes en los extractos de plantas, independientemente de la especie, se encuentran directamente relacionados con diferentes factores como el método de extracción, el disolvente extractor, temperatura, presión, tiempo, parte de la planta, madurez de la planta, entre otros (Andrade *et al.* 2018). Sin embargo, la elección del disolvente, temperatura y tiempo de extracción pueden llegar a mostrar un comportamiento similar en todos los procesos de extracción (De-Castro y Castillo 2016). Debido a esto, la clave, para obtener un proceso eficiente y con altos rendimientos, se centra en la técnica de extracción. Las técnicas de extracción más utilizadas son la maceración, extracción Soxhlet, extracción sólido-líquido, hidrodestilación y destilación por arrastre de vapor (Rasul 2018). Los principales inconvenientes de utilizar estas técnicas son el usar un gran volumen de disolvente, emplear disolventes orgánicos peligrosos, largos tiempos de extracción, baja selectividad y bajos rendimientos de extracciones (Khoddami *et al.* 2013).

Siguiendo el objetivo de la química verde, la extracción “verde” puede denominarse como aquella que se encuentra basada en el descubrimiento y diseño de procesos de extracción que reduzcan el consumo energético, utilicen disolventes alternativos y productos naturales renovables, además de que garanticen un extracto/producto seguro y de alta calidad (Chemat *et al.* 2012). Por lo que, para mitigar las limitaciones de las técnicas convencionales se han desarrollado tecnologías alternativas, también denominadas no convencionales (Sarkarat *et al.* 2023). Estas permiten obtener compuestos bioactivos con tiempos de extracción cortos, un menor consumo de energía, además, se pueden

utilizar disolventes no contaminantes ni dañinos para la salud (Osorio 2020). Entre las principales tecnologías no convencionales se tiene el ultrasonido (US), microondas (MW), plasma frío y extracción con fluidos supercríticos (Picot *et al.* 2021).

Actualmente la aplicación híbrida US-MW debe mejorar el procesamiento de extracción (Muñoz *et al.* 2021). Ya que, esta garantiza un calentamiento dieléctrico acelerado de la matriz, así como la transferencia acústica aumentada generan una micro emulsión homogénea con el disolvente (Quaisie *et al.* 2021), mejorando la transferencia de energía, cantidad de movimiento, presentando así mejores rendimientos de extracción, además de reducir los tiempos de procesamiento. Siendo así, un proceso más sostenible y con mayor aplicabilidad para la obtención de extractos naturales (García *et al.* 2023). Por lo que, en este trabajo se presenta la obtención extractos de romero y tomillo, a partir de ultrasonido (US) y una metodología híbrida con ultrasonido-microondas (US-MW), para evaluar y comparar sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las plantas de romero y tomillo se recolectaron de plantas de 80 y 35 cm, respectivamente, que se desarrollan en la región de Arteaga, Coahuila, México. Tanto tallos como hojas frescas se dejaron secar a 30 °C en una estufa por dos a tres días, posteriormente se trituraron. Se utilizó etanol absoluto anhidrido marca Jalmek como disolvente extractor.

Obtención de los extractos etanólicos de romero y tomillo

Las extracciones se realizaron mediante US y US-MW. Las condiciones de extracción de US fueron de 100 g de planta molida, 1 L de etanol, 70 °C, 20% de potencia a 30 min. Para el US-MW se tomaron 100 g de planta molida, 1 L de etanol, 70 °C, 20% de potencia, 800 W por 30 min. Posteriormente se filtraron y rotaevaporaron; finalmente se vaciaron en cajas petri para secar a temperatura ambiente. Las extracciones se realizaron por sextuplicado.

Se determinó el porcentaje de rendimiento como la relación entre la masa del extracto obtenido y la masa inicial del material vegetal seco inicial, multiplicado por 100:

$$\text{Rendimiento \%} = \left(\frac{\text{masa de extracto obtenido}}{\text{masa inicial del material vegetal}} \right) \times 100$$

Técnicas de caracterización

Los extractos obtenidos fueron caracterizados mediante espectroscopia infrarroja con un espectrofotómetro IR Spectrum, GX-Perkin-Elmer que emplea la técnica de reflexión total atenuada (ATR), utilizando un accesorio con punta de diamante, FTIR-(ATR).

Para el análisis termogravimétrico (TGA), se utilizó un analizador térmico TA instruments Q500, con una velocidad de calentamiento de 10 °C min⁻¹ y un rango de temperatura de 30-800 °C.

La cromatografía líquida de alta resolución se utilizó un equipo Varian Prostar, con detector de matriz de diodos (280 nm). Para ello, se filtraron 1.8 mL de muestra en membranas de 0.45 µm. La separación de los compuestos se realizó en una columna Grace Denali c-18 a 30 °C. La fase móvil

A fue metanol (lavado), B acetonitrilo, y C ácido acético al 3%, caudal 1 mL min⁻¹, y volumen de inyección 10 µL. El análisis de masas se realizó utilizando una trampa de iones Varian 500-MS, ionización por electrospray (ESI), tensión capilar 90 V, modo negativo ([M-H]⁻ m/z), y rango de adquisición de masas 100-2000 m/z, HPLC-MS). Pruebas antioxidantes DPPH, ABTS y FRAP. Para estas pruebas, se realizó una solución de 1 mg del extracto en 1 mL de etanol. Como controles y para realizar la curva de calibración se utilizó un stock de trolox (1 mg mL⁻¹). Para llevar a cabo el ensayo de DPPH, ABTS•+ y FRAP se siguió la metodología descrita por Rumpf *et al.* (2023), cada ensayo se realizó por triplicado.

Los bioensayos de actividad antimicrobiana frente *S. aureus* y *E. coli*, para lo cual se realizaron diluciones de los cultivos de la bacteria patógena hasta 1x10⁻³. A continuación, se realizó el método de difusión en disco descrito por Klančnik *et al* (2010), cada extracto se evaluó por triplicado para obtener un total de seis réplicas, éstas se dejaron incubando durante 48 h y transcurrido este tiempo se observó para verificar la presencia o ausencia de inhibición, determinada por un halo de inhibición alrededor del disco, en comparación con un control de antibiótico.

RESULTADOS

Los porcentajes de rendimiento obtenidos para el extracto de romero en US e híbrido alcanzaron 12 y 15%, mientras que, para los extractos de tomillo en US e híbrido se registraron 6 y 8%, respectivamente. Presentando así, un aumento entre 2 y 3% al utilizar la técnica híbrida.

Posteriormente los extractos se analizaron mediante espectroscopia infrarroja para conocer los grupos funcionales presentes en los extractos. Los espectros infrarrojos de los cuatro extractos se presentan en la Figura 1, donde se observan bandas similares con números de onda en 3300 cm⁻¹ debido al estiramiento de los grupos hidroxilo (-OH), en 2900 y 2800 cm⁻¹ la vibración de los metilos y metilenos (-CH₃ y -CH₂), 1681 cm⁻¹ la vibración del grupo carbonilo (C = O), 1450 cm⁻¹ la tensión de C = C, 1260 cm⁻¹ la vibración de C-C y O-H y en 1030 cm⁻¹ la flexión del enlace C-O.

Mediante el análisis termogravimétrico (TGA) se determinó la estabilidad térmica de los extractos obtenidos. En la Figura 2 se presentan los termogramas y sus curvas derivadas (DTGA) correspondientes. Para los extractos de romero se observó degradación inicial alrededor de los 249 °C, alcanzando su punto máximo de pérdida de peso a 387 °C con disminución del 75%. En el caso de los extractos de tomillo presentaron degradación inicial a los 182 °C con una pérdida máxima de peso en 384 °C con un 70 %.

Los compuestos identificados mediante HPLC-ESI-MS para los extractos mediante las diferentes tecnologías de extracción para el romero fueron ácido rosmarínico, carnosol, ácido caféico, medioresinol, quercetina, etc., mientras que para los de tomillo se determinaron ácido rosmarínico, medioresinol, ácido caféico, dihidroquercetina, entre los más detectables. En la Tabla 1 y 2 se encuentran descritos cada compuesto y familia encontrados para cada extracto de romero y tomillo, respectivamente.

En la Tabla 3 se encuentran descritos los resultados obtenidos para las técnicas de antioxidantes DPPH, ABTS•+ y FRAP. En el ensayo de DPPH se determinaron valores de 85 % (ERUS, ETUS Y

ETUS-MW) y 84% (ERUS-MW), en ABTS•+ fueron del 94% (ETUS), 95% (ERUS) y 98% (ERUS-MW y ETUS-MW) y en el ensayo de FRAP los valores se registraron en 0.27 mg/mL Trolox (ERUS), 0.29 mg/mL Trolox (ERUS-MW y ETUS) y 0.46 mg/mL Trolox (ETUS-MW).

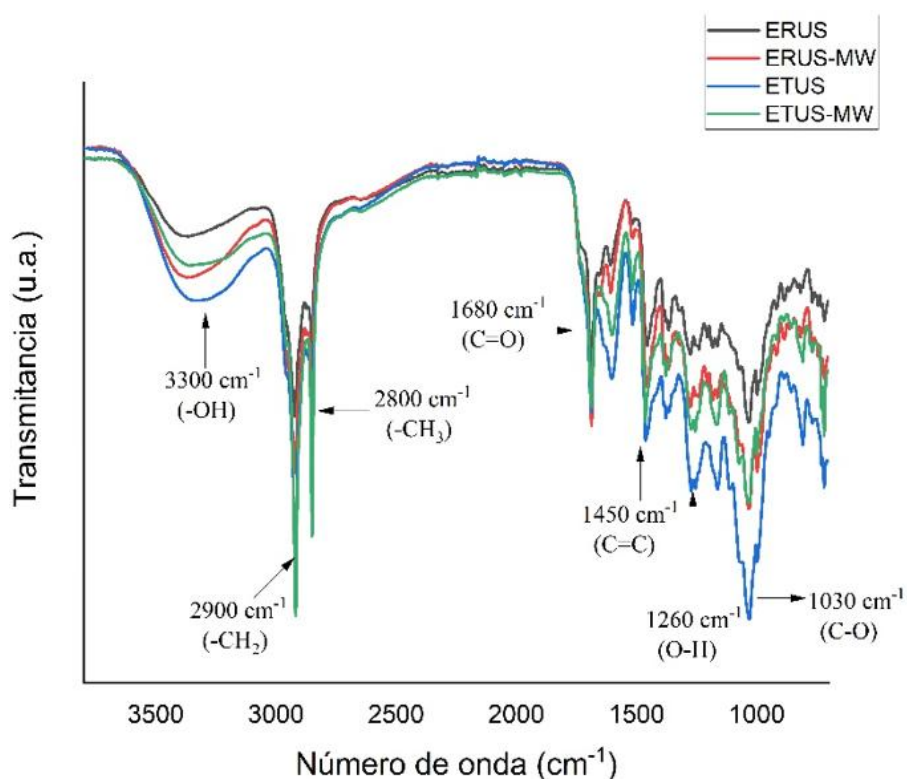


Figura 1. Espectros infrarrojos de los extractos de romero en US (ERUS) e híbrido (ERUS-MW), así como de tomillo en US (ETUS) e híbrido (ETUS-MW).

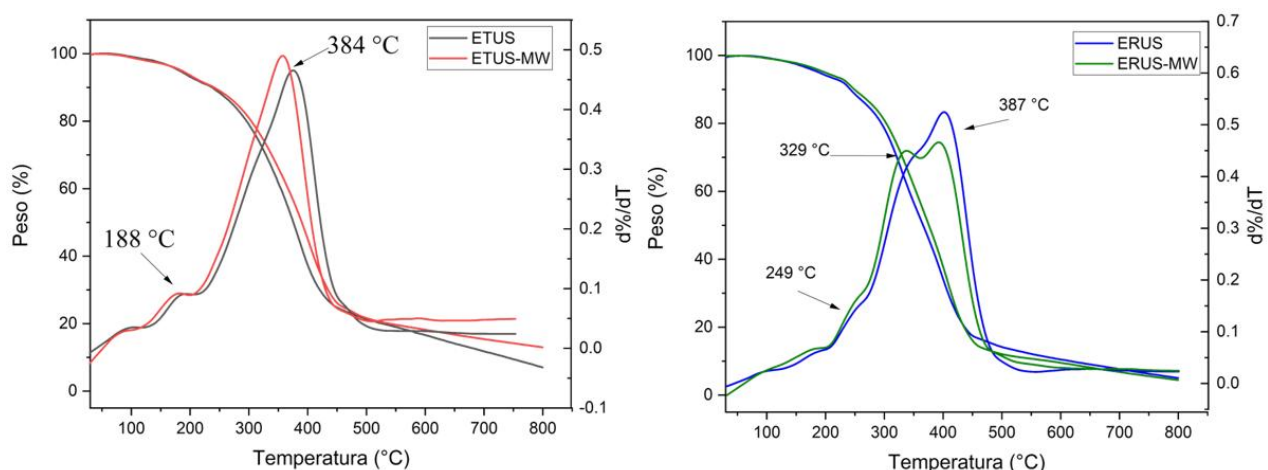


Figura 2. Termogramas y curvas derivadas de los extractos de romero en US (ERUS) e híbrido (ERUS-MW), así como de tomillo en US (ETUS) e híbrido (ETUS-MW).

Tabla 1. Compuestos identificados de los extractos de romero en US (ERUS) e híbrido (ERUS-MW) mediante HPLC-ESI-MS.

Extracto	m/z	Tiempo de retención (min)	Compuesto	Familia
ERUS	329.2	2.162	Carnosol	Terpenos fenólicos
	299.0	6.911	4-Acido hidroxibenzoico 4-O-glucosido	Ácidos hidroxibenzoicos
	341.0	11.483	Ácido caféico 4-O-glucosido	Ácidos hidroxicinámicos
	388.9	37.258	Resveratrol 3-O-glucosido	Estilbenos
	386.9	41.456	Medioresinol	Lignanos
	304.9	45.46	(+)-Galocatequina	Catequinas
	299.0	49.618	Hispidulina	Methoxiflavonas
	358.9	54.009	Ácido rosmarínico	Ácidos hidroxicinámicos
ETUS-MW	340.9	10.026	Ácido caféico 4-O-glucosido	Ácidos hidroxicinámicos
	336.8	42.944	3-p-ácido cumaroilquico	Ácidos hidroxicinámicos
	339.3	44.008	Esculina	Hydroxicoumarinas
	476.6	47.876	Quercetina 3-O-glucurónido	Flavonoles
	358.9	51.416	Ácido rosmarínico	Ácidos hidroxicinámicos
	269.0	53.737	Apigening	Flavonas

Tabla 2. Compuestos identificados de los extractos de tomillo en US (ETUS) e híbrido (ETUS-MW) mediante HPLC-ESI-MS.

Extracto	m/z	Tiempo de retención (min)	Compuesto	Familia
ETUS	297.0	7.102	p-ácido cumaroil tartárico	Ácidos hidroxicinámicos
	340.9	11.938	Ácido caféico 4-O-glucosido	Ácidos hidroxicinámicos
	386.9	41.223	Medioresinol	Lignanos
	304.9	43.718	(+)-Galocatequina	Catequinas
	302.9	50.488	Dihidroquercetina	Dihidroflavonoles
	358.8	53.389	Ácido rosmarínico	Ácidos hidroxicinámicos
ETUS-MW	283.0	8.116	Geraldina	Methoxyflavones
	340.9	10.59	Ácido caféico 4-O-glucosido	Ácidos hidroxicinámicos
	386.9	39.623	Medioresinol	Lignanos
	304.9	42.718	(+)-Galocatequina	Catequinas
	446.8	48.172	Luteolina 6-C-glucosido	Flavonas
	302.9	49.971	Dihidroquercetina	Dihidroflavonoles
	358.9	52.844	Ácido rosmarínico	Ácidos hidroxicinámicos

Tabla 3. Actividad antioxidante de los extractos de romero en US (ERUS) e híbrido (ERUS-MW) y de tomillo en US (ETUS) e híbrido (ETUS-MW).

Planta	Extracto	DPPH (%)	ABTS (%)	FRAP (mg/mL trolox)
Romero	ERUS	85	95	0.27
	ERUS-MW	84	98	0.29
Tomillo	ETUS	85	94	0.29
	ETUS-MW	85	98	0.46

La Figura 3 presenta los resultados cualitativos para el bioensayo frente *S. aureus*, observando que los cuatro extractos generaron halos de inhibición frente a esta cepa, para el romero, los extractos US e híbrido mostraron diámetros de 32 mm y 33 mm, respectivamente; para el tomillo, ambos extractos (US e híbrido) alcanzaron 46 mm. En la Figura 4 se presentan los halos de inhibición frente a *E. coli*. En ambos extractos de romero se observó un halo de 28 mm. En el caso del tomillo, los extractos US e híbrido generaron halos de 33 mm y 34 mm, respectivamente. Todos los extractos mostraron una inhibición superior al del control antibiótico frente a ambas cepas. Adicionalmente, los extractos de tomillo exhibieron una mayor capacidad inhibitoria en comparación con los de romero.

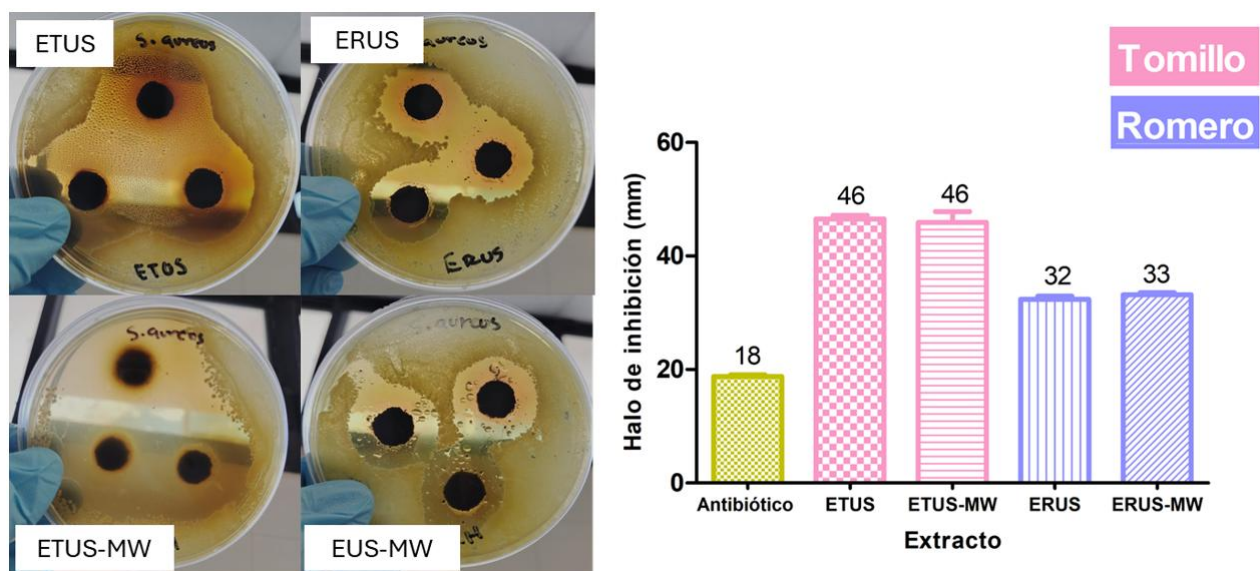


Figura 3. Halos de inhibición de los extractos de romero en US (ERUS) e híbrido (ERUS-MW) y de tomillo en US (ETUS) e híbrido (ETUS-MW) frente a la cepa *S. aureus*.

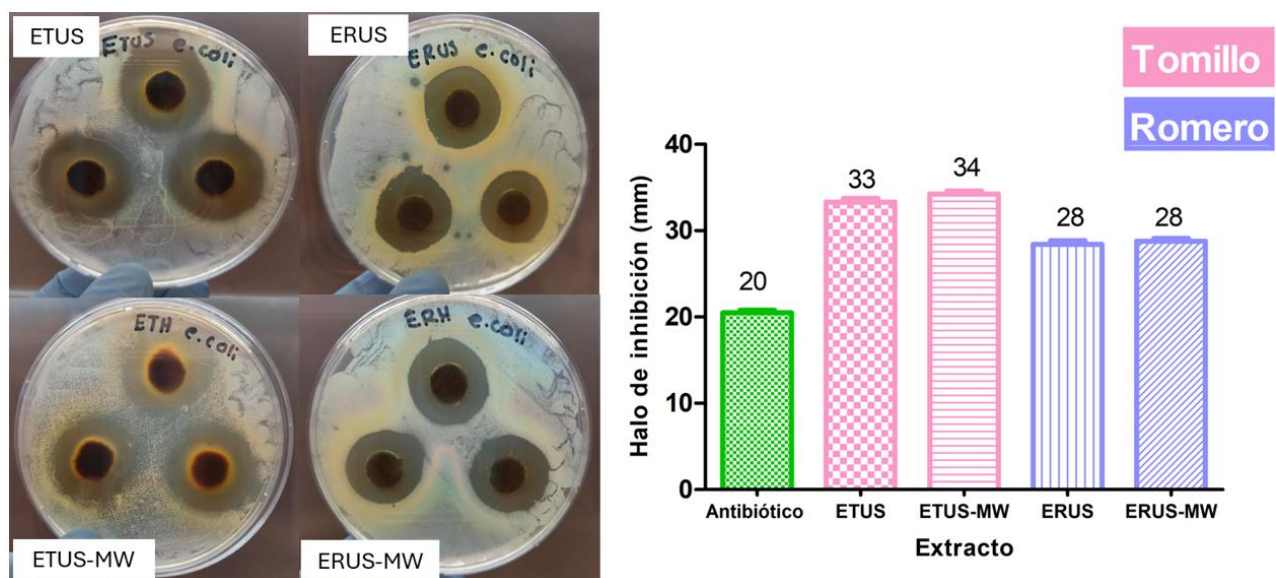


Figura 4. Halos de inhibición de los extractos de romero en US (ERUS) e híbrido (ERUS-MW) y de tomillo en US (ETUS) e híbrido (ETUS-MW) frente a la cepa *E. coli*.

DISCUSIÓN

La técnica de extracción constituye una de las etapas más importantes en la recuperación de compuestos bioactivos a partir del tejido vegetal. Los métodos convencionales como la percolación, maceración y Soxhlet son relativamente sencillos de aplicar, sin embargo, suelen implicar elevados consumos de energía y disolventes. En este sentido, se han desarrollado diversas tecnologías no convencionales capaces de proporcionar extractos de alta calidad, adecuados para el tratamiento de enfermedades, formulaciones en medicamentos y alimenticios e incluso para cosméticos, además, mejoran la selectividad y el rendimiento de extracción. Entre estas técnicas no convencionales se encuentran fluidos supercríticos, líquidos a alta presión, extracción asistida por enzimas, ultrasonido, microondas e incluso el uso en conjunto de estas, denominados como híbridos. El uso de disolventes amigables con el medio ambiente y con el ser humano hace que estos procesos sean métodos de extracción ecológicos (Chemat *et al.* 2012, Bewal *et al.* 2018, Chemat *et al.* 2019, Belwal *et al.* 2020).

El mejor rendimiento en ambas plantas se obtuvo con el método híbrido (US-MW), esto es debido a que el US mediante el fenómeno de cavitación provoca cizallamiento en el medio. Por lo que, la implosión de burbujas de cavitación en la superficie de la muestra da lugar a un microchorro que genera efectos de exfoliación en la superficie, la erosión y ruptura de las partículas (Chemat *et al.* 2017), aunado a esto, el MW provoca el calentamiento interno del material, provocando una alta presión en la pared celular lo cual da lugar a una ruptura mecánica. Entonces, la penetración del disolvente en los tejidos internos es mayor (Khadhraoui *et al.* 2021). Por lo que, al utilizar ambas tecnologías en conjunto se pueden conseguir mayores rendimientos de extracción y selectividad (García-Vaquero *et al.* 2020, Gharibzahedi *et al.* 2019). Mientras que Bellumori *et al.* (2016), reportan un mejor rendimiento de extracción tres veces mayor en comparación con la extracción convencional sólido-líquido. Lograron extraer un alto contenido de ácido rosmarínico (6.8% del extracto en seco) en un extracto etanol/acetona de romero utilizando US con alta intensidad. Además, un estudio realizado por Rodríguez *et al.* (2012) reporta que el ácido rosmarínico se encuentra en mayor concentración en los extractos acuosos, mientras que el ácido carnósico predominaba en los etanólicos. Además, informan que el disolvente y la matriz de la planta tienen influencia en la eficacia de las extracciones asistidas con US, siendo que el etanol es más conveniente para el material vegetal seco en comparación con el fresco.

En el análisis de espectroscopia infrarroja se observaron en cada uno de los extractos bandas similares, atribuidas a la presencia de ácido rosmarínico y carnósico para los extractos de ambas plantas. Además, estos picos son característicos de fenoles, considerados como uno de los principales responsables de la actividad antimicrobiana y antioxidante de los extractos (Cripps *et al.* 1990, Al-Sereti *et al.* 1999, Imad *et al.* 2015, Agatonovic *et al.* 2021).

El análisis termogravimétrico demostró que los extractos, tanto de romero como tomillo, tienen estabilidad térmica de aproximadamente 380 °C. Por lo que, su manipulación en el rotavapor, en la parte experimental, no afecta estructuralmente a los extractos. Esto es similar a lo reportado por Piñeros *et al.* (2017), quienes obtuvieron un extracto etanólico de romero mediante un método convencional, el cual presentó una degradación por encima de los 200 °C. Radünz *et al.* (2020),

reportaron que la estabilidad térmica de los extractos de tomillo se encuentra por encima de los 190 °C, por lo que concuerda con el resultado obtenido en este trabajo.

Con respecto a los resultados del análisis de HPLC-ESI-MS, así como lo observado en los espectros infrarrojos, los extractos tienen compuestos bioactivos importantes, los cuales han sido reportados como los responsables de otorgar las propiedades antioxidantes y antimicrobianas (Nasrollahzadeh *et al.* 2016). Los principales compuestos antioxidantes identificados en las plantas de romero y tomillo pertenecen a diferentes familias diterpenos fenólicos, flavonoides y otros compuestos fenólicos, como el ácido rosmarínico y rosmanol. Aunque es bien sabido que el ácido carnósico es el compuesto con mayor capacidad antioxidante, se ha demostrado que este diterpeno fenólico presenta inestabilidad en presencia de oxígeno, dando lugar a compuestos como carnosol (Herrero *et al.* 2010, Borrás *et al.* 2011, Nazdar *et al.* 2024). También Jovanovic *et al.* (2017), compararon tres métodos de extracción (maceración, extracción asistida por calor y asistida por US) utilizando tomillo como material vegetal, observando que el mayor contenido total de polifenoles y flavonoides se encontraba en los extractos que habían tenido asistencia de US, seguido del asistido con calentamiento y por último la maceración. Mientras que, Dukic *et al.* (2017), reportaron la extracción de tomillo utilizando US con etanol absoluto como disolvente extractor. Obtuvieron que el extracto tenía un alto contenido de felones, flavonoides, tanino y antocianinas. Además, gracias a estos compuestos presentó una capacidad antioxidante alta en el ensayo de DPPH.

Por otro lado, el conocer la capacidad antioxidante del extracto ayuda a saber si este es capaz de retener o prevenir la oxidación de diferentes moléculas biológicas como proteínas o lípidos. Diferentes investigaciones han reportado excelente actividad antioxidante de extractos de romero y tomillo. Compuestos como los ácidos rosmarínico, cafeíco, coumaríco, carnósico, así como el carnosol y la quercetina 3-O-glucurónido, se reconocen como los principales responsables de esta capacidad antioxidante (Vieitez *et al.* 2017). Por lo que, es de esperarse que los extractos obtenidos en este trabajo mediante US y US-MW presenten excelentes propiedades antioxidantes, ya que, dichos compuestos bioactivos fueron identificados mediante análisis de HPLC-ESI-MS.

La literatura considera que un buen antioxidante alcanza porcentajes de inhibición en DPPH y ABTS del 80% y valores de FRAP de 0.5 mg mL de Trolox⁻¹ (como reportan Chizzola *et al.* 2008, Nieto *et al.* 2011, Gallego *et al.* 2013, Guerra *et al.* 2015, Calinescu *et al.* 2017, Ahmed Alrasheed *et al.* 2023). Por ejemplo, Yeddes *et al.* (2022) evaluaron la capacidad antioxidante de un extracto etanólico de romero obtenido con la técnica de US, el cual presentó aproximadamente 91% de inhibición para el ensayo de DPPH. Esto demuestra que métodos de extracción más eficientes pueden acercarse o superar los estándares de actividad antioxidante especificados en la literatura. Por lo que, al comparar los valores obtenidos en los tres ensayos para capacidad antioxidante con los reportados en la literatura, se evidencia que el uso de técnicas como el US y US-MW mejoró la capacidad antioxidante de los extractos.

Por último, se evaluó su capacidad inhibitoria frente la cepa de *S. aureus* y *E. coli*, estas son bacterias que pueden ocasionar infecciones menores, graves o mortales en seres humanos. Algunas de las afecciones más comunes para *S. aureus* son infecciones en la piel y tejidos blandos, intoxicación alimentaria y enfermedades potencialmente mortales como bacteriemia y endocarditis infecciosa

(Liu *et al.* 2024, Tong *et al.* 2015, Pal *et al.* 2019). Mientras que para *E. coli* gastroenteritis y colitis hemorrágica (Muller y Tainter 2023). Además, se encuentran dentro de las cinco causas principales de infección adquiridas en hospitales. Por ello, es importante conocer si los extractos poseen actividad inhibitoria frente a estas cepas. Para ambos bioensayos, con *S. aureus* y *E. coli*, todos los extractos exhibieron una excelente capacidad antibacteriana con un comportamiento similar, observando una mejora en el halo de inhibición en comparación con el control antibiótico (18 y 20 mm, respectivamente).

La acción antimicrobiana de los compuestos fenólicos está relacionada con la inactivación de ciertas enzimas celulares. Esto, depende de los cambios en la permeabilidad de la membrana y, en consecuencia, de la velocidad de penetración celular (Russo *et al.* 2013). Un factor importante en el mecanismo de acción antimicrobiana de compuestos fenólicos es el aumento de la permeabilidad de la membrana, ya que puede alterarla y provocar una pérdida de integridad celular y, finalmente, la lisis celular (Moumni *et al.* 2020)). También, se ha demostrado que la actividad antimicrobiana de los compuestos bioactivos por separado es buena, sin embargo, aumenta cuando se tiene mezcla de estos, sugiriendo efectos sinérgicos de los componentes cuando se tiene un “extracto crudo” (Mourey y Canillac 2002, Gill *et al.* 2002).

Diferentes autores han reportado que los extractos etanólicos de ambas plantas presentan excelente capacidad inhibitoria frente a la cepa de *S. aureus*, *E. coli*, entre otras (Parkatzidis *et al.* 2020, Mokhtari *et al.* 2023). Por ejemplo, Saricaoglu y Turhan (2018) realizaron bioensayos frente *S. aureus*, *E. coli*, *B. subtilis* y *L. monocytogenes*, utilizando extractos de romero y tomillo. Ambos extractos presentaron una excelente capacidad inhibitoria frente a estas cepas, obteniendo una mayor inhibición frente a *S. aureus* con 35 mm con el extracto de tomillo, en el 2020 fue reportado por Sabzikar *et al.* (2020) evaluaron la actividad antimicrobiana de extractos etanólicos de tomillo y romero obtenidos mediante maceración. Los extractos de tomillo evidenciaron una actividad antibacteriana significativa contra *S. aureus*, con un halo de inhibición de 23.3 mm, en contraste, los extractos de romero mostraron una actividad antibacteriana menor de 8.7 mm. En el 2021 Kader *et al.* (2021) reportaron el estudio de la actividad antimicrobiana, de los extractos etanólicos de romero y tomillo obtenidos mediante métodos convencionales, encontrando actividad antibacteriana frente ambas cepas con halos de inhibición para los extractos de romero de 15.3 mm y 19.9 mm y de tomillo de 19.7 mm y 17.1 mm, para *S. aureus* y *E. coli* respectivamente. Al comparar la actividad antibacteriana de extractos de romero y tomillo obtenidos mediante técnicas convencionales reportado en la literatura, con los halos de inhibición obtenidos, se observa que el uso de técnicas no convencionales, como la extracción asistida por ultrasonido (US) y la combinación de ultrasonido y microondas (US-MW), mejora significativamente la inhibición antibacteriana frente a *S. aureus* y *E. coli*. Esta mejora en la actividad antimicrobiana puede atribuirse a la mayor eficiencia de extracción de compuestos bioactivos mediante las técnicas no convencionales, que permiten una liberación más efectiva de los compuestos responsables de la actividad antibacteriana. Por lo que, se comprueba que los extractos de romero y tomillo mediante técnicas no convencionales como el US e híbrido (US-MW), tienen un gran potencial gracias a que se obtienen excelentes propiedades antioxidantes y antimicrobianas.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron extractos de romero y tomillo mediante ultrasonido (US) y una metodología híbrida ultrasonido–microondas (US-MW), permitiendo evaluar y comparar sus propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Ambos métodos demostraron ser eficientes para la extracción de compuestos bioactivos empleando etanol absoluto como disolvente. La caracterización por FTIR-ATR y HPLC-ESI-MS confirmó la presencia de compuestos fenólicos relevantes de alto interés, presentando actividad antibacteriana, antioxidante y una estabilidad térmica destacable. La técnica híbrida (US-MW) mostró mayor rendimiento de extracción, sin diferencias significativas en la composición química ni en la estabilidad térmica respecto al ultrasonido convencional. Sin embargo, se registró una ligera mejora en la actividad antioxidante con US-MW, mientras que la actividad antimicrobiana fue similar en ambos métodos. Entre las especies evaluadas, los extractos de tomillo, *Thymus vulgaris* presentaron mayor capacidad inhibitoria. En conjunto, los resultados evidencian que los extractos obtenidos mediante tecnologías no convencionales constituyen fuentes potenciales de compuestos bioactivos con aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica, cosmética y de materiales.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Coahuila, a la Facultad de Ciencias Químicas, a la Facultad de Odontología y al CONAHCYT por la beca otorgada.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores no presentan conflicto de interés.

LITERATURA CITADA

- Agatanovic S, Balyklova K, Gegechkori V, Morton D (2021) HPTLC and ATR/FTIR Characterization of antioxidants in different rosemary extracts. *Molecules* 26: e26196064. <https://doi.org/10.3390/molecules26196064>
- Ahmed Alrasheid A, Mohamed W, Mohammed S, Haidar H (2023) Antimicrobial and antioxidant activities and phytochemical analysis of *Rosmarinus officinalis* L. pod and *Thymus vulgaris* L. leaf ethanolic extracts on *Escherichia coli* urinary isolates. *International Journal of Microbiology* 1-7. <https://doi.org/10.1155/2023/4171547>
- Al-Sereiti M, Abu-Amer K, Sen P (1999) Pharmacology of rosemary (*Rosmarinus officinalis* Linn.) and its therapeutic potentials. *Indian Journal of Experimental Biology* 37(2): 124-30.
- Andrade M, Ribeiro-Santos R, Costa Bonito M, Saraiva M, Sanches-Silva A (2018) Characterization of rosemary and thyme extracts for incorporation into a whey protein based film. *LWT* 92: 497-508. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.041>

- Ardjoum N, Chibani N, Shankar S, Salmieri S, Djidjelli H, Lacroix M (2023) Incorporation of *Thymus vulgaris* essential oil and ethanolic extract of propolis improved the antibacterial, barrier and mechanical properties of corn starch-based films. *International Journal of Biological* 224(1): 578-583. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.146>
- Becer E, Altundağ E, Güran M, Seda Vatansever H, Ustürk S, Hanoğlu D, Can Baser K H, (2023) Composition and antibacterial, anti-inflammatory, antioxidant, and anticancer activities of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil. *South African Journal of Botany* 160: 437-445. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.07.028>
- Bellumori M, Innocenti M, Binello A, Boffa L, Mulinacci N, Cravotto G (2016) Selective recovery of rosmarinic and carnosic acids from rosemary leaves under ultrasound- and microwave-assisted extraction procedures. *Comptes Rendus Chimie* 19(6): 699-706. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2015.12.013>
- Bewal T, Ezzat S, Rastrelli L, Bhatt I, Daglia, Baldi, A, Devkota H, Orhan I, Patra J, Das G, Anandharamakrishnan C, Gomez L, Nabavi S, Nabavi SM, Atanasov A (2018) A critical analysis of extraction techniques used for botanicals: Trends, priorities, industrial uses and optimization strategies. *Trends in Analytical Chemistry* 100: 82-102. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.018>
- Bewal T, Chemat F, Venskutonis P, Cravotto G, Kumar D, Dutt I, Prasad H, Luo Z (2020) Recent advances in scaling-up of non-conventional extraction techniques: Learning from successes and failures. *Trends in Analytical Chemistry* 127: e115895. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115895>
- Borrás I, Arráez D, Herrero M, Ibáñez E, Segura A, Fernández A (2011) Comparison of different extraction procedures for the comprehensive characterization of bioactive phenolic compounds in *Rosmarinus officinalis* by reversed-phase high-performance liquid chromatography with diode array detection coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1218(42): 7682-7690. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.07.021>
- Calinescu I, Asotiei I, Gavrilă A, Trifan A, Ighigeanu D, Martin D, Matei C, Buleandra M (2017) Integrating microwave-assisted extraction of essential oils and polyphenols from rosemary and thyme leaves. *Chemical Engineering Communications* 204(8): 965-973. <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1328678>
- Chemat F, Vian M, Cravotto G (2012) Green extraction of natural products: concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences* 13(7): 8615-8627. <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>
- Chemat F, Rombaut N, Sicaire A, Meullemiestre A, Fabiano A, Abert M (2017) Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry* 34: 540-560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Chemat F, Abert M, Fabiano A, Strube J, Uhlenbrock L, Gunjevic V, Cravotto G (2019) Green extraction of natural products. Origins, current status, and future challenges. *Trends in Analytical Chemistry* 118: 248-263. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.05.037>
- Chizzola R, Michitsch H, Franz C (2008) Antioxidative properties of *Thymus vulgaris* leaves: comparison of different extracts and essential oil chemotypes. *Journal of Agricultural and Food* 56(16): 6897-6904. <https://doi.org/10.1021/jf800617g>
- Cripps C, Borgeson C, Blomquist G, de Renobales M (1990) The Δ^{12} -desaturase from the house cricket, *Acheta domesticus* (orthoptera: gryllidae): characterization and form of the substrate. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 278(1): 46-51. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(90\)90229-R](https://doi.org/10.1016/0003-9861(90)90229-R)
- De Castro M, Castillo L (2016) Microwave-assisted extraction of food components. In: Luque de Castro M D, Castillo-Peinado L, *Food Processing Technologies*. Elsevier. USA. pp. 57-110. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100294-0.00003-1>
- Dukic D, Mašković P, Vesković S, Kurćubić V, Milijašević M, Babić J (2017) Conventional and unconventional extraction methods applied to the plant, *Thymus serpyllum* L. *Conference Series: Earth and Environmental Science* 85: e012064. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/85/1/012064>

- El-Kader W, Sakr A, Taha K, Abozid M (2021) Evaluation the antimicrobial activity of thyme and rosemary extracts against some food related bacteria. *Menoufia Journal of Agricultural Biotechnology* 6: 29-40.
- Gallego M, Gordon M, Segovia F, Skowrya M, Almajano M (2013) Antioxidant properties of three aromatic herbs (rosemary, thyme and lavender) in oil-in-water emulsions. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 90. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2303-3>
- García J, Ascacio J, Nery S, Sáenz A, Flores A, Rodríguez R (2023) Microwave-ultrasound hybrid technology assisted extraction of pigments with antioxidant potential from red corn. *Applied Food Research* 3(2): e100350. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100350>
- García M, Ummat V, Tiwari B, Rajauria G (2020) Exploring ultrasound, microwave and ultrasound-microwave assisted extraction technologies to increase the extraction of bioactive compounds and antioxidants from brown macroalgae. *Marine Drugs* 18(3): 172. <https://doi.org/10.3390/md18030172>
- Gill A, Delaquis P, Russo P, Holley R (2002) Evaluation of antilisterial action of cilantro oil on vacuum packed ham. *International Journal of Food Microbiology* 13(1): 83-92. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00712-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00712-7)
- Guerra L, Alvarez R, Salazar R, Torres A, Rivas V, Waksman N, Gonzalez G M, Perez-Lopez LA (2015) Antimicrobial and antioxidant activities and chemical characterization of essential oils of *Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*, and *Origanum majorana* from northeastern México. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences* 28(1): 363-369.
- Gharibzahedi S, Smith B, Guo Y (2019) Ultrasound-microwave assisted extraction of pectin from fig (*Ficus carica* L.) skin: optimization, characterization and bioactivity. *Carbohydrate Polymers* 222: e114992 <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.114992>
- Herrero M, Plaza M, Cifuentes A, Ibáñez E (2010) Green processes for the extraction of bioactives from rosemary: chemical and functional characterization via ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry and *in-vitro* assays. *Journal of Chromatography A* 16: 2512-2520. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2009.11.032>
- Ijaz S, Iqbal J, Abbasi B, Ullah Z, Yaseen T, Kanwal S, Mahmood T, Sydykbayeva S, Ydyrys A, Almarhoon ZM, Sharifi-Rad J, Hano Ch, Calina D, Cho WC (2023) Rosmarinic acid and its derivatives: current insights on anticancer potential and other biomedical applications. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 162: e114687. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.114687>
- Imad H, Israa A, Hawraa J (2015) Gas chromatography mass spectrum and fourier-transform infrared spectroscopy analysis of methanolic extract of *Rosmarinus officinalis* leaves. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy* 7(6): 90-106. <https://doi.org/10.5897/JPP2015.0348>
- Jovanović, A, Dordevic V, Zdunic G, Pljevljakusic D, Savikin K, Godevac D, Bugarski B (2017) Optimization of the extraction process of polyphenols from *Thymus serpyllum* L. herb using maceration, heat-and ultrasound-assisted techniques. *Separation and Purification Technology* 179(31): 369-380. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.01.055>
- Kamalia A, Tunjung, W (2023) Efficacy of different solvents in the extraction of bioactive compounds and anticancer activities of thyme (*Thymus vulgaris* L.) leaves and twigs. *Indonesian Journal of Pharmacy* 34(3): 419-430. <https://doi.org/10.22146/ijp.5959>
- Karadağ A, Üstündağ Okur N, Demirci B, Demirci F (2022) *Rosmarinus officinalis* L. essential oil encapsulated in new microemulsion formulations for enhanced antimicrobial activity. *Journal of Surfactants and Detergents* 25(1): 95-103. <https://doi.org/10.1002/jsde.12549>
- Khoddami A, Wilkes M, Roberts T (2013) Techniques for analysis of plant phenolic compounds. *Molecules* 18(2): 2328-2375. <https://doi.org/10.3390/molecules18022328>

- Klančnik A, Piskernik S, Jeršek B, Možina S (2010) Evaluation of diffusion and dilution methods to determine the antibacterial activity of plant extracts. *Journal of Microbiological Methods* 81: 121-126. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mimet.2010.02.004>
- Li F, Papa V, Borgia F, Vaccaro M, Allegra A, Cicero N, Gangemi S, (2023) *Rosmarinus officinalis* and skin: Antioxidant activity and possible therapeutical role in cutaneous diseases. *Antioxidants* 12(3): 680. <https://doi.org/10.3390/antiox12030680>
- Liu A, Garrett S, Hong W, Zhang J (2024) *Staphylococcus aureus* infections and human intestinal Mmicrobiota. *Pathogens* 13(4): 276. <https://doi.org/10.3390/pathogens13040276>
- Milevskaya V, Temerdashev Z, Butyl'skaya T, Kiseleva N (2017) Determination of phenolic compounds in medicinal plants from the Lamiaceae family. *Journal of Analytical Chemistry* 72: 342-348. <https://doi.org/10.1134/S1061934817030091>
- Moumni S, Elaissi A, Trabelsi A, Merghni A, Chraief I, Jelassi B, Chemcli R, Ferchichi S (2020) Correlation between chemical composition and antibacterial activity of some Lamiaceae species essential oils from Tunisia. *BMC Complementary Medicine and Therapies* 20: e103. <https://doi.org/10.1186/s12906-020-02888-6>
- Mourey A, Canillac N (2002) Anti-*Listeria monocytogenes* activity of essential oils components of conifers. *Food Control* 13: 289-292. [https://doi.org/10.1016/S0956-7135\(02\)00026-9](https://doi.org/10.1016/S0956-7135(02)00026-9)
- Mokhtari R, Kazemi Fard M, Rezaei M, Moftakharzadeh S, Mohseni A (2023) Antioxidant, antimicrobial activities, and characterization of phenolic compounds of thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and thyme-sage mixture extracts. *Journal of Food Quality* (8) 1-9. <https://doi.org/10.1155/2023/2602454>
- Mueller M, Tainter CR. *Escherichia coli* Infection. <https://doi.org/> In: StatPearls. Fecha de consulta: 2 de mayo 2026.
- Muñoz N, Morales E, Villamiel M, Condezo L (2021) Hybrid high-intensity ultrasound and microwave treatment: a review on its effect on quality and bioactivity of foods. *Ultrasonics Sonochemistry* 80: e105835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105835>
- Nakisa N, Ghasemzadeh M (2022) Therapeutic potential of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) on sports injuries: a review of patents. *Research Journal of Pharmacognosy* 9(3): 71-83. <https://doi.org/10.22127/rjp.2022.329094.1844>
- Nasrollahzadeh M, Sajadi S, Rostami-Vartooni A, Hussin S (2016) Green synthesis of CuO nanoparticles using aqueous extract of *Thymus vulgaris* L. leaves and their catalytic performance for N-arylation of indoles and amines. *Journal of Colloid and Interface Science* 466(15): 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.12.018>
- Nazdar N, Imani A, Abtahi S, Farzaneh M, Sarvi K (2024) Antioxidative properties, phenolic compounds, and *in vitro* protective efficacy of multi-herbal hydro-alcoholic extracts of ginger, turmeric, and thyme against the toxicity of aflatoxin B₁ on mouse macrophage RAW264.7 cell line. *Food Science & Nutrition* 12: 8013-8029. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4257>
- Nieto G, Huvaere K, Skibsted L (2011) Antioxidant activity of rosemary and thyme by-products and synergism with added antioxidant in a liposome system. *European Food Research and Technology* 233: 11-18. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1486-9>
- Nieto G (2017) Biological activities of three essential oils of the Lamiaceae family. *Medicines* 4(3): e63. <https://doi.org/10.3390/medicines4030063>
- Osorio J (2020) Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds. *Journal of Food Science and Technology* 57: 4299-4315. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04433-2>

- Pal S, Sayana A, Joshi A, Juyal D (2019) *Staphylococcus aureus*: a predominant cause of surgical site infections in a rural healthcare setup of Uttarakhand. Journal of Family Medicine and Primary Care 8(11): 3600-3606. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_521_19
- Pandiya I, Sri S, Arumugham M, Kumar P, Prabakar J, Rajeshkumar S (2022) Antioxidant, anti-inflammatory activity of *Thymus vulgaris*-mediated selenium nanoparticles: an *in vitro* study. Journal of Conservative Dentistry 25(3): 241-245. https://doi.org/10.4103/JCD.JCD_369_21
- Parkatzidis K, Chatzinikolaïdou M, Koufakis E, Kaliva, M, Farsari M, Vamvakaki M (2020) Multi-photon polymerization of bio inspired, thymol-functionalized hybrid materials with biocompatible and antimicrobial activity. Polymer Chemistry 11(7): 4078-4083. <https://doi.org/10.1039/d0py00281j>
- Pappachan F, Suku A, Mohanan S (2023) *Rosmarinus officinalis*. In: Amalraj, A, Kuttappan S, Varma ACK, Matharu A. Herbs, spices and their roles in nutraceuticals and functional foods. Academic Press. USA. pp. 149-170. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90794-1.00017-X>
- Picot C, Mahomoodally M, Ak G, Zengin G (2021) Conventional versus green extraction techniques - a comparative perspective. Current Opinion in Food Science 40: 144-156. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.009>
- Piñeros D, Medina C, López A, Goyanes S (2017) Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. Food Hydrocolloids 63: 488-495. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.034>
- Prasanth R, Ravi V, Varsha P, Saytam S (2014) Review on *Thymus vulgaris* traditional uses and pharmacological properties. Medicinal & Aromatic Plants 3: e164. <https://doi.org/10.4172/2167-0412.1000164>
- Quaisie J, Ma H, Golly M, Tuly J, Amaglo N, Jiaqi Z (2021) Effect of ultrasound-microwave irradiation hybrid technique on extraction, physicochemical, antioxidative, and structural properties of stearic acid-rich allanblackia parviflora seed oil. Chemical Papers 75: 4527-4541. <https://doi.org/10.1007/s11696-021-01666-z>
- Rasul G (2018) Conventional extraction methods use in medicinal plants, their advantages and disadvantages. International Journal of Basic Sciences and Applied Computing 2(6): 10-14.
- Radünz M, dos Santos H, Camargo T, Nunes C, de Barros F, Dal Magro J, Filho P, Gandra E, Radünz A, da Rosa E (2020) Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. International Journal of Food Microbiology 330: e108696. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108696>
- Rodríguez S, Visentin A, Maestri D, Cocero M (2012) Assisted extraction of rosemary antioxidants with green solvents. Journal of Food Engineering 109(1): 98-103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.029>
- Rumpf J, Burger R, Schulze M (2023) Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. International Journal of Biological Macromolecules 233: e123470. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123470>
- Russo M, Suraci F, Postorino S, Serra D, Roccotelli A, Agosteo G (2013) Essential oil chemical composition and antifungal effects on *Sclerotium cepivorum* of thymus capitatus wild populations from Calabria, southern Italy. Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy 23(2): 239-248. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000017>
- Sabzikar A, Hosseinihashemi S, Shirmohammadli Y, Jalaligoldeh A (2020) Chemical composition and antimicrobial activity of extracts from thyme and rosemary against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*. BioResources 15(4): 9656-9671.
- Saricaoglu F, Turhan S (2018) Antimicrobial and antioxidant capacity of thyme, rosemary and clove essential oils and their mixtures. Journal of Innovative Science and Engineering 15(4): 9656-9671. <https://doi.org/10.15376/biores.15.4.9656-9671>

- Sarkarat R, Mohamadnia S, Tavakoli O (2023) Recent advances in non-conventional techniques for extraction of phycobiliproteins and carotenoids from microalgae. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 40: 321-342. <https://doi.org/10.1007/s43153-022-00256-0>
- Sharafzadeh S, Zare M (2011) Effect of drought stress on qualitative and quantitative characteristics of some medicinal plants from Lamiaceae family: a review. *Advances in Environmental Biology* 5(8): 2058-2062.
- Tong S, Davis J, Eichenberger E, Holland T, Fowler V (2015) *Staphylococcus aureus* infections: epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clinical Microbiology Reviews* 28(3): 603-661. <https://doi.org/10.1128/cmr.00134-14>
- Vieitez I, Maceiras L, Jachmanián I, Albóres S (2017) Antioxidant and antibacterial activity of different extracts from herbs obtained by maceration or supercritical technology. *The Journal of Supercritical Fluids* 133. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.025>
- Yanar S, Şahin E, Asutay B, Özbek A, Şahin F (2022) Geleneksel kullanıma sahip bitkisel bir yağ karışımının yara iyileşmesine etkileri ve antiviral aktivitesi. *Sakarya Medical Journal* 12(4): 616-623. <https://doi.org/10.31832/smj.1097068>
- Yeddes W, Majdi H, Gadhoumi H, Affes T, Mohamed S, Wannes W, Saidani M (2022) Optimizing ethanol extraction of rosemary leaves and their biological evaluations. *Journal of Exploratory Research in Pharmacology* 7(2): 85-94. <https://doi.org/10.14218/JERP.2022.00002>
- Yousefi S (2022) Thyme: A natural preservative for seafood. *Infectious Diseases and Herbal Medicine* 3(1). <https://doi.org/10.4081/idhm.2022.191>