

EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO SILVESTRE MEXICANO *LIPPIA* SP. MEDIANTE UN SISTEMA HÍBRIDO DE COCCIÓN SOLAR-ELÉCTRICA

SAÚL ALONSO HERRERA AGUAYO,¹ EDGAR OSWALDO ZAMORA GONZÁLEZ,²
JORGE ERNESTO MÁRQUEZ MÁRQUEZ,³ BEATRIZ CASTILLO TÉLLEZ,⁴ ZAZIL
YADEL ESCALANTE GARCÍA⁵ Y MARTHA FABIOLA MARTÍN DEL CAMPO SOLÍS⁶

RESUMEN

El orégano silvestre mexicano *Lippia* spp. son plantas arbustivas no maderables con flor, que son abundantes en zonas semiáridas mexicanas. En la región norte de Jalisco ocupa hasta 45,000 hectáreas y tiene rendimientos cercanos a 3 ton/ha. Además, tiene una gran importancia ecológica, económica y social en la zona. Uno de los principales productos obtenidos a partir de las hojas de orégano es el aceite esencial, utilizado como aditivo saborizante en alimentos y bebidas, además de reportar propiedades antioxidantes y antimicrobianas. A nivel mundial, este aceite tiene un valor de mercado de \$16,140.00 millones de USD; sin embargo, en la región de estudio, el orégano no es explotado con

-
- 1 Maestría en Estudios Transdisciplinarios en Ciencia y Tecnología, Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara.
 - 2 Departamento de Bienestar y Desarrollo Sustentable; Laboratorio de Investigación en Biotecnología, Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara.
 - 3 Laboratorio de Sistemas Eléctricos, Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara.
 - 4 Departamento de Estudios del Agua y de la Energía, Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara.
 - 5 Departamento de Ingeniería Química, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara.
 - 6 Autor de correspondencia. Maestría en Estudios Transdisciplinarios en Ciencia y Tecnología; Laboratorio de Investigación en Biotecnología, Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. mfmartindelcampo@cunorte.udg.mx

esta finalidad a pesar de su relativa abundancia. El orégano presente en la zona se caracteriza por su alto contenido de aceite en comparación con otras variedades, presentando rendimientos de hasta 3.0 % p/p.

Este estudio se centró en la extracción de aceite esencial de orégano mediante destilación por arrastre de vapor a 95 °C utilizando un sistema híbrido de cocción solar-eléctrico. El objetivo era hacer más sostenible este proceso, que convencionalmente demanda mucha energía, es costoso y tiene un impacto negativo en el medio ambiente. Se obtuvo un rendimiento de 3.015 %, similar tanto en el equipo operado con 100 % energía eléctrica como en la función termosolar. Se analizaron los perfiles del aceite obtenido mediante una cromatografía en capa fina, y se encontraron diferencias dependiendo del método de destilación utilizado. También se evaluó la actividad antioxidante del aceite obtenido en cocción solar, y se encontraron hasta 128.19 y 17.02 mg de antioxidante por mL de aceite por métodos espectrofotométricos y un índice de peróxido bajo 0.3 meq. O₂/Kg, que indica excelente calidad respecto a la oxidación. Se concluye que este sistema híbrido de cocción solar-eléctrica es una opción prometedora para la extracción de aceites esenciales.

Palabras clave: orégano, aceite esencial, cocción solar, destilación por arrastre de vapor, energía termosolar.

INTRODUCCIÓN

La planta *Lippia* sp. es un tipo de arbusto no maderable con flor de hoja caducifolia, cuya distribución es amplia en las zonas semiáridas mexicanas, como la Región Norte del Estado de Jalisco. En México, se estima que ocupa aproximadamente 45,000 hectáreas, y los campesinos, recolectores y acopiadores explotan alrededor de 44.4 % de estas áreas (Galván Calamaco *et al.*, 2023).

En nuestro país, las aplicaciones del orégano están limitadas a su uso como condimento dentro de la gastronomía y con fines medicinales debido a sus propiedades bioactivas. Sin embargo, en Estados Unidos de América la ventana de oportunidades para su aprovechamiento es mayor, ya que el orégano es sometido a un proceso de industrialización para la obtención del aceite esencial, cuyas aplicaciones van desde la elaboración de licores y cosméticos hasta su posible uso en la industria farmacéutica (Aguirre Jiménez, 1990; Garnica Flores, 1994). El 85 % del volumen de producción nacional de orégano se destina a la exportación hacia el mercado estadounidense (Orona Castillo *et al.*, 2017). Con un valor de mercado global en 2023 de 16.14 mil millones de dólares estadounidenses, se prevé que el aceite esencial de orégano tenga una tasa de

crecimiento anual compuesta (CAGR) de 4.80 % para el periodo de 2024-2032 (EMR CLAIGHT Enterprise, 2023).

Los componentes fundamentales del aceite de orégano son los compuestos fenólicos timol y carvacrol, los cuales se emplean ampliamente en diversos sectores de la industria debido a sus propiedades antifúngicas, antimicrobianas, antioxidantes, saborizantes y fijadoras (Orona Castillo *et al.*, 2017). El método más empleado para extraer aceites esenciales es la destilación por arrastre de vapor. En este proceso se separan los componentes volátiles de una mezcla líquida mediante la transferencia de masa. Primero, se distribuyen los componentes en una fase gaseosa y una fase líquida en una mezcla de vapor de agua con las esencias o aceites; posteriormente, la mezcla se condensa. Al ser el aceite y el agua inmiscibles, el aceite esencial se recolecta en una trampa diseñada para facilitar esta separación. A pesar de que la destilación es el método más común de separación en la industria, su gasto energético es alto debido a los requerimientos de calor para evaporar y enfriamiento para condensar que pueden representar más de 50 % de los costos operativos totales de una planta durante la producción (McCabe, Smith y Harriot, 2007).

El objetivo de este estudio fue extraer el aceite esencial de orégano mediante un sistema híbrido de destilación por arrastre de vapor en un arreglo que combina la energía solar con resistencias eléctricas, garantizando la continuidad del proceso para mantener el rendimiento de aceite, incluso en días con baja irradiación solar. Este enfoque no solo reduciría los costos operativos de calentamiento y enfriamiento, sino que también minimiza el uso de combustibles de alta huella de carbono.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención y secado de la muestra

La muestra de orégano empleada en este estudio fue donada por un recolector residente en la localidad de Casa Llanta, en el municipio de Colotlán, Jalisco. Esta localidad se encuentra a una altitud de 1,717 m.s.n.m., en las coordenadas 22.0589° N , -103.3628° O. El clima de esta zona se caracteriza por ser semicálido y semihúmedo, con una temperatura media anual de 18.3 °C y una precipitación media anual de 717 mm (Instituto de Información Estadística y Geográfica [IIEG], 2022).

Ilustración 1. Orégano mexicano (*Lippia* spp.)



Fotografía. Tomada de Pedro Nájera Quezada. Algunos derechos reservados (CC BY-NC), 2023.

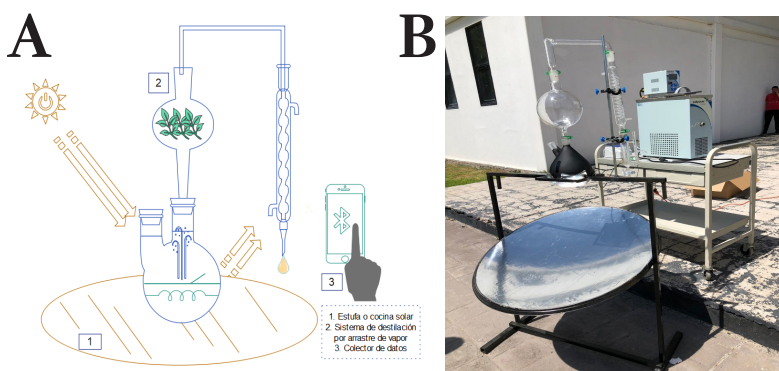
La muestra de orégano es de origen local del municipio de Colotlán, Jalisco, y se recolectó en septiembre de 2023. Para su preparación, se deshojó, descartando tallos y flores; luego se secó en un secador solar tipo mixto. La cámara de secado se construyó con acrílico transparente y tiene una superficie de secado de 0.5 m². Las paredes laterales, inferior y trasera están perforadas para permitir la circulación y extracción del aire caliente y húmedo (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2021).

Destilación de aceites esenciales por arrastre de vapor

La destilación por arrastre de vapor es una técnica que permite separar sustancias insolubles en agua y ligeramente volátiles de entre otras sustancias no volátiles a partir de una muestra de partes vegetales aromáticas, generalmente secas. Este método requiere generar la evaporación de agua que se transfiere a la muestra de orégano para generar la ruptura del tejido vegetal liberando el aceite esencial. Tanto el agua como los aceites esenciales volátiles se acompañan en el vapor, y al pasar por el enfriador, el refrigerante los condensa y los separa debido a sus diferencias de densidad (Angurell, Casatmijana y Caubet, 2010; Bardales Huamán y Farfán Chaupis, 2018; Mora Moscoso, 2014).

Para este estudio se llevó a cabo la destilación de aceite esencial de orégano (*Lippia* sp.) mediante un sistema de cocción híbrido solar-eléctrico. Este sistema incluye un equipo de destilación de aceites esenciales por arrastre de vapor fabricado con vidrio de borosilicato comercial (VEVOR), el cual está integrado por una torre de extracción en donde se inyecta el vapor y por una torre de condensación en donde los gases pasan a su estado líquido, una estufa solar parabólica y un colector de datos (ilustración 2A y 2B).

Ilustración 2. Equipo para destilación de aceites esenciales solar-eléctrico con instrumental Pasteur



A. Diagrama ilustrativo de los componentes; B. Dispositivo instalado.

Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó un baño termostático Delixi Electric para hacer circular a través de mangueras de látex agua a 5 °C dentro de un condensador serpentín del sistema de destilación para facilitar la condensación del vapor de agua y aceite a un estado de agregación líquido. Este fue operado por energía eléctrica.

Estufa solar parabólica 1.20 metros de diámetro

Se utilizó una estufa solar parabólica con recubrimiento de vinil reflejante con mecanismo de giro de 1.20 metros de diámetro, construida con tubular 3.81 cm (1.5 in) calibre 18 para concentrar la radiación solar y reflejarla sobre el matraz de doble boca esmerilado, lo cual proporcionó la energía necesaria para elevar la temperatura de 1.5 litros de agua destilada albergada en este reservorio hasta llevarla al punto de ebullición a 95 °C a un nivel de elevación de 1,690 m.s.n.m. La estufa solar fue desarrollada en el Laboratorio de Ingenierías del Centro Universitario del Norte.

Controlador y registrador de temperatura y energía

Durante el proceso de destilación se utilizó un controlador de datos de temperatura y energía denominado Datalogger construido en sistema ESP32, el cual modula la potencia de las resistencias eléctricas que se activan cuando el nivel de radiación solar no es suficiente para mantener la temperatura óptima de 95 °C que permite ebullición del agua albergada en el matraz de doble boca esmerilado.

Cromatografía en capa fina (TLC)

Posterior al proceso de destilación del aceite esencial de orégano, este fue separado del agua en la trampa y se realizó una prueba de TLC para visualizar la separación de los componentes de la mezcla del aceite esencial. Se aplicaron dos muestras distintas de aceite esencial en la placa (fase estacionaria), la primera obtenida mediante destilación cien por ciento eléctrica y la segunda obtenida mediante destilación termosolar sin auxilio eléctrico. En la fase móvil, se realizó la separación de componentes con una relación volumétrica de cloroformo, ácido acético glacial y tolueno 70:15:1. Finalmente, se sometió a la placa de Silica gel con indicador uv (Sigma) de alta intensidad dentro de un transiluminador para lograr visualizar la separación de componentes del aceite esencial (Cuevas González, 2022).

Determinación de actividad antioxidante

Se realizó una prueba triplicada para determinar la actividad antioxidante del aceite esencial de orégano. Se utilizaron muestras de 100 µL obtenidas mediante destilación completamente solar y eléctrica. Estas muestras se diluyeron en una relación de volumen hasta 1:8000 en agua y posteriormente se mezclaron con compuestos específicos radicales libres estabilizados, el Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico (ABTS) y el 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) que reaccionan en presencia de antioxidantes disminuyendo su potencial dañino. Los antioxidantes, como los contenidos en el aceite de orégano, son moléculas que pueden neutralizar radicales libres, que son especies químicas reactivas que pueden dañar las células y contribuir al desarrollo de enfermedades, por lo que con el uso de ABTS y DPPH intentamos imitar y visualizar cómo se puede inactivar un compuesto dañino en la naturaleza. Tras un periodo de reposo en oscuridad de media hora, se midió la capacidad de absorción de luz de las mezclas utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (Arango Badoya *et al.*, 2012).

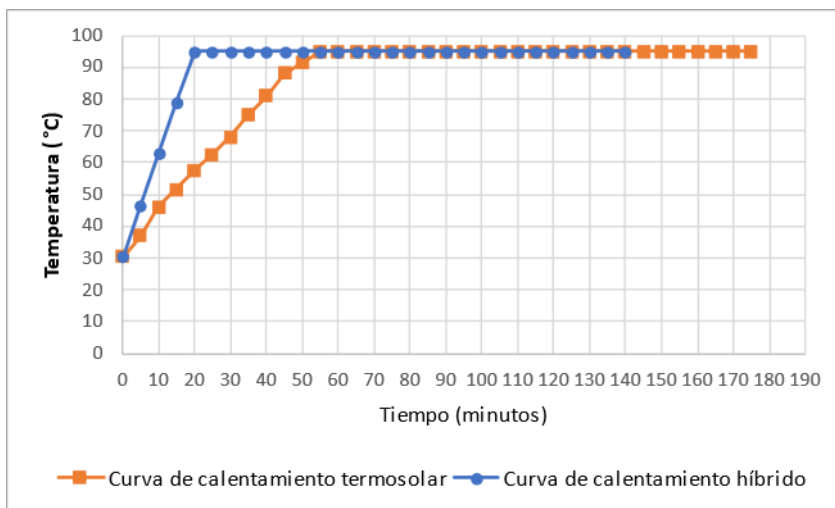
Determinación del grado de oxidación lipídica

Determinar los grados de oxidación de un aceite esencial es un paso fundamental para garantizar sus estándares de calidad. La oxidación lipídica afecta directamente la pureza y seguridad del aceite. Este proceso implica la degradación bioquímica de sus moléculas, lo que puede generar compuestos tóxicos, alterar el aroma y sabor del aceite, disminuir su consistencia y acortar su vida útil (Badui Dergal, 2016). Para determinar el grado de oxidación lipídica se utilizó una titulación con tiosulfato sódico $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ISO 3960, 2017), la cual permite conocer la tendencia de un determinado aceite al enranciamiento y a la desnaturalización lipídica. Para analizar el aceite de orégano, primero, se midieron 1.206 gramos en un recipiente de vidrio; luego, se mezcló con cloroformo para disolver y se agitó bien. Después, se agregaron ácido acético glacial y se volvió a agitar. A continuación, se añadió una solución de yoduro potásico, se agitó por un minuto y se dejó reposar en la oscuridad por cinco minutos. Finalmente, se agregaron 180 ml de agua destilada y unas gotas de almidón, lo que provocó un cambio de color a amarillento rojizo, y se procedió la titulación con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ hasta decoloración. Este mismo proceso se repitió en otro recipiente, pero sin añadir el aceite de orégano como ensayo en blanco (Fuentes López y Fuentes López, 2023).

RESULTADOS

Con apoyo del Datalogger se registraron los valores de temperatura del agua cada 5 minutos durante la destilación del aceite esencial de orégano. En la figura 1 puede observarse el registro de temperatura para el sistema sin destilación de orégano donde puede señalarse que en un calentamiento termosolar (sin auxilio eléctrico) la temperatura de proceso es alcanzada a los 50 minutos, comenzando el experimento a las 12:30 pm. Mientras tanto, el calentamiento con auxilio de las resistencias eléctricas lleva a la temperatura de proceso en tan solo 20 minutos. Resalta que en calentamiento termosolar se mantiene la temperatura de proceso ideal hasta término de este sin necesidad de encender las resistencias.

Figura 1. Perfil de temperaturas durante proceso en operación termosolar en estufa y con calentamiento con estufa y eléctricos combinados



Nota: Curvas de calentamiento termosolar e híbrido para 1.5 L de H₂O con estabilización térmica para ebullición a 95° C a 1,690 m.s.n.m. durante 2 horas después de alcanzar el punto de ebullición donde la línea con marcador en círculo relleno representa la curva con calentamiento híbrido (solo resistencias) y la línea con marcador en cuadrado relleno representa el calentamiento termo solar sin auxilio eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Después de la destilación del aceite, se realizaron dos pruebas para evaluar la calidad del aceite esencial de orégano. En la primera, se midió la actividad antioxidante mediante los radicales estándar DPPH y ABTS. La actividad antioxidante es dependiente de la concentración del extracto. En la segunda prueba, se determinó el índice de peróxidos para evaluar su propensión a la desnaturalización lipídica (tabla 1). Además, se calculó el rendimiento del aceite respecto al peso de la materia vegetal seca.

Tabla 1. Características fisicoquímicas y actividad antioxidante en el aceite de orégano obtenido por destilación termosolar (sin auxilio eléctrico)

Aceite esencial de orégano	Rendimiento % masa	DPPH 517 nm	ABTS 734 nm	Índice de peróxidos
	3.015	17.02 mg equivalentes de ácido gálico por mL de aceite	128.19 mg equivalentes de ácido gálico por mL de aceite	0.13 mEq O ₂ /Kg muestra de aceite
Valor límite máximo aceptado para el índice de peróxidos				20 mEq O ₂ /Kg

Fuente: elaboración propia.

Un valor bajo en el índice de peróxidos indica un aceite en buen estado, mientras que un valor alto sugiere que el aceite está rancio y ha comenzado a deteriorarse. La Norma Mexicana NMX-F-154-SCFI-2010 establece un límite de 20 meq O₂/kg para aceites vegetales refinados, por lo que el aceite obtenido cumple en este aspecto con una excelente calidad, lo que indica que el calor y exposición a irradiación solar no fueron adversos durante el proceso.

Además de lo anterior, se realizó una prueba de cromatografía en capa fina (TLC) con el fin de visualizar los componentes del aceite de manera cualitativa. En lo consiguiente, se observó que mediante la destilación termosolar se obtuvieron más componentes arrastrados con el vapor, evidenciados por tres manchas (figura 2, carril 2), en el caso del sistema de calentamiento eléctrico, con un único producto aparente (figura 2, carril 1).

Figura 2. Placa de TLC con indicador



1. Eléctrico
2. Cocina solar

Nota: TLC de dos muestras de aceite esencial de orégano, la primera obtenida mediante destilación eléctrica (1), y la segunda, mediante cocina solar (2). Puede observarse un mayor arrastre y separación de los componentes del aceite esencial con el método número 2.

Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que estas diferencias, además de indicar posibles variaciones en los perfiles, también podrían indicar la oxidación parcial de los componentes y derivar en la obtención de las especies en estado reducido. Atendiendo a que las condiciones del medio en el que cada una de las muestras de aceite fue obtenida eran distintas, se podría explicar tal diferencia de perfiles, puesto que los aceites esenciales son compuestos que sufren degradación química al ser expuestos a la luz solar, al viento, al calor y a otros factores físicos y ambientales, modificando su estructura bioquímica y generando oligómeros de naturaleza indeterminada (Rodríguez Álvarez, Alcaráz Meléndez y Real Cosío 2017).

DISCUSIÓN

El orégano silvestre de la Zona Norte de Jalisco ha destacado al revelar un rendimiento de 3.015 % en la extracción de aceite esencial mediante el método de arrastre de vapor. Esta cifra supera notablemente lo registrado para otras variedades de orégano sometidas al mismo proceso de destilación. Un estudio realizado por Flores Hernández *et al.* (2011) muestra que la variedad silvestre de *Lippia graveolens* Kunth, hallada en la región de la Comarca Lagunera, presenta un rendimiento de 2.01 %. Por otra parte, otros autores reportaron un rendimiento de 2.55 % para las poblaciones de orégano silvestre (Reyes y Ortega, 2002).

Por otra parte, se debe destacar que si bien los reportes para comparar la actividad antioxidante encontrada en este estudio son escasos, se puede decir que este es equiparable respecto a otros reportes de extractos terapéuticos, como el propóleo que reporta para DPPH y ABTS valores de 75.65 ± 3.76 y $29.61 \pm 0,01$ mg equivalentes por gramo respectivamente (Silva-Beltrán *et al.*, 2022). Otros estudios refieren una actividad de hasta 122 mg equivalentes/L para DPPH en la especie *Origanum vulgare* obtenido de marcas comerciales, además, al igual que en este estudio se refiere a una capacidad antioxidante menor en DPPH, lo cual es atípico ya que este radical es utilizado preferentemente para evaluar actividad antioxidante de tipo liposoluble como el caso de los aceites, pero dicho comportamiento se ha asociado a otras especies con abundancia de timol (Mutlu-Ingok *et al.*, 2021).

Es crucial resaltar que las variedades de oregano mexicanas exhiben una eficiencia superior en rendimiento de aceite respecto a las especies extranjeras, como se evidencia en el caso de las variedades griega y turca, ambas con un rendimiento de apenas 1.5 % por materia vegetal seca. Además, se ha observado que la variedad del norte de Jalisco presenta un rendimiento comparable al de

las variedades de orégano silvestre del estado de Guanajuato, posiblemente debido a las similitudes en las características del entorno físico donde se desarrollan ambas variedades (Hernández Domínguez *et al.*, 2016).

CONCLUSIONES

La destilación de aceite esencial de orégano en la Región Norte del Estado de Jalisco es completamente viable a través de un sistema de destilación por arrastre de vapor mediante cocción 100 % termosolar con estufa parabólica. Esta implementación no solo vuelve el proceso más sostenible, sino que también generaría una reducción significativa de los gastos operativos asociados al alto consumo de energía característico de las destilaciones convencionales. En este sentido, la viabilidad del proyecto se ve aún más favorecida al incorporar un sistema de destilación híbrido solar-eléctrico.

Es relevante destacar que la variedad de *Lippia* sp. presente en esta región demuestra un rendimiento de 3.015 % a partir de la materia prima vegetal inicial, lo que supera significativamente los rendimientos informados en otras variedades de la misma especie y representa una ventana de oportunidad para los productores y recolectores para la generación de un producto con valor agregado de gran calidad altamente valorado en el mercado internacional. Además, se ha observado una alta actividad antioxidante en términos de la eliminación de radicales. La prueba del índice de peróxidos señala una baja propensión del aceite al enranciamiento y al cambio de sabor, con un valor de 0.13, que está por debajo de los índices de los aceites comerciales más comunes. Finalmente, los resultados de la TLC indican que la destilación mediante cocción solar es más eficiente en la separación de los componentes químicos del aceite esencial en comparación con la destilación por resistencia eléctrica.

REFERENCIAS

- Aguirre Jiménez, A. A. (1990). Importancia de la producción de orégano en la Zona Norte de Jalisco. *Carta Económica Regional*, 3(13), 27-30. <https://doi.org/10.32870/cer.v0i13.7233>
- Angurell, I., Casatmijana, N. y Caubet, A. (2010). Destilación por arrastre de vapor. En *Manual de Prácticas. Química Orgánica I (1311) (Técnicas de laboratorio)*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Arango Bedoya, O., Pantoja D., D., Santacruz Ch., L. y Hurtado B., A. (2012). Actividad antioxidante del aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides* Н.В.К.) del Alto

- Patía. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 79-86. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/260>
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4ª ed.). Editado por E. Quintanar Duarte. Pearson Educación.
- Bardales Huamán, M. y Farfán Chaupis, M. R. (2018). *Determinación de los componentes mayoritarios del aceite esencial del cedrón (Aloysia Triphylla) mediante destilación por arrastre de vapor* (Tesis de ingeniería Química). Universidad Nacional del Callao. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/3537>
- Cuevas González, M. F. (2022). *Valorización de los residuos agroindustriales del orégano mexicano y limón mexicano mediante la generación de productos enriquecidos con flavonoides (pinocembrina y hesperidina) de potencial interés biológico* (Tesis de maestría en Agrobiotecnología). Instituto Tecnológico de Tlajomulco. <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/4643>
- EMR CLAIGHT Enterprise (2023). *Perspectiva del Mercado Latinoamericano de Aceite de Orégano* [Informe]. <https://www.informesdeexpertos.com/informes/mercado-latinoamericano-de-aceite-de-oregano>
- Flores Hernández, A., Hernández Herrera, J. A., López Medrano, J. I., Valenzuela Núñez, L. M., Martínez Salvador, M. y Madinaveitia Ríos, H. (2011). Producción y extracción de aceite de orégano (*Lippia graveolens* Kunth) bajo cultivo en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3), 113-120. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i3.629>
- Fuentes López, A. y Fuentes López, C. (2023, 16 de junio). *Determinación del índice de peróxidos en grasas comestibles* [artículo docente]. Universitat Politècnica de Valencia. <http://hdl.handle.net/10251/194295>
- Galván Calamaco, Z., Ramos Clamont Montfort, G., Marszalek, J. E. y Vargas González, G. (2023). Revisión sobre el orégano mexicano *Lippia graveolens* HBK. (Sinonimia *Lippia berlandieri* Schauer) y su aceite esencial. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1): 861-71. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.109>
- Garnica Flores, J. G. (1994). Ensayo de predicción del rendimiento de orégano (*Lippia berlandieri* Shower) en la Zona Norte de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 19(76): 15-26. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1031>
- Hernández Domínguez, L. C., Abraham Juárez, M. R., Martínez Jaime, O. A., Pérez Becerra, L. y Mares Marea, E. (2016). Aceite esencial de orégano como potencial nutraceutico. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 453-458. <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/4/78.pdf>
- Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG) (2022, agosto). *Colotlán. Diagnóstico del Municipio*. Gobierno del Estado de Jalisco. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2022/10/Colotlan.pdf>

- International Organization for Standardization (2017). *iso 3960:2017 Animal and vegetable fats and oils — Determination of peroxide value — Iodometric (visual) endpoint determination 1* (5th ed.). <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/07/12/71268.html?browse=ics>
- McCabe, W. L., Smith, J. C. y Harriot, P. (2007). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (7ª ed). McGraw Hill.
- Mora Moscoso, G. A. (2014). *Diseño de una planta para la extracción del aceite esencial de palo santo (bursera graveolens) mediante destilación por arrastre de vapor* (Tesis de ingeniería en Química). Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7146>
- Mutlu-Ingok, A., Catalkaya, G., Capanoglu, E. y Karbancioglu-Guler, F. (2021). Antioxidant and antimicrobial activities of fennel, ginger, oregano and thyme essential oils. *Food Frontiers*, 2(4), 508-518. <http://dx.doi.org/10.1002/fft2.77>
- Orona Castillo, I., Salvador Almazán, A. J., Espinoza Arellano, J. de J. y Vázquez, C. (2017). Recolección y comercialización del orégano (*Lippia* spp.) en el semi-desierto mexicano, un caso de estudio: Reserva Ecológica Municipal Sierra y Cañón de Jimulco, Mexico. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 21(41), 684-95. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.266423>
- Ortiz-Rodríguez, N., Aguila-Leon, J., García-Valladares, O., Castillo-Téllez, B. y Martínez-Sarabia, F. (2021, 22-26 de noviembre). *Tecnologías de secado solar: una revisión con enfoque a para aplicaciones agroindustriales a media y gran escala* [ponencia]. II Congreso Nacional de Secado y Cocción Solar de Alimentos. Virtual. Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma de Ciudad de México y de Campeche, Universidad de Guadalajara, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C.
- Reyes, C. J. y Ortega, R. S. (2002). *Aprovechamiento, Manejo y Cultivo de Orégano en la Región Lagunera. Folleto para Productores N 6*. SAGARPA-INIFAP-CIRNOC-CELALA.
- Rodríguez Álvarez, M., Alcaráz Meléndez, L. y Real Cosío, S. M. (2017). *Procedimientos para la extracción de aceites esenciales en plantas aromáticas*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., Instituto Politécnico Nacional. <http://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1001/540>
- Silva-Beltrán, N. P., Portela Márquez, M.-L. A., Ruiz Cruz, S., Morán-Palacio, E. F. y Chaidez-Quiróz, C. (2022). Composición fenólica, actividad antihemolítica, antiinflamatoria y antibacteriana de propóleos del sur de Sonora. *Biotecnia*, 24(3), 77-86. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1746>