http://revistabiociencias.uan.edu.mx

ISSN 2007-3380

https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Tittle Paper/Título del artículo:

Variación estacional en la composición química y la actividad antioxidante de los aceites esenciales de cuatro especies de *Salvia* en Baja California, México: *Salvia apiana*, *Salvia clevelandii*, *Salvia munzii* y *Salvia pachyphylla*

Seasonal variation in the chemical composition and antioxidant activity of essential oils from four Salvia species in Baja California, Mexico: *Salvia apiana, Salvia clevelandii, Salvia munzii,* and *Salvia pachyphylla*

Authors/Autores: Vega-Granados, K., Montaño-Soto, M., Haro-Vázquez, M.D.P., Chávez-Velasco, D., Díaz-Rubio, L., Delgadillo Rodríguez J., García-Flores E., Córdova-Guerrero, I.

ID: e1764

DOI: https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

Received/Fecha de recepción: September 07th 2024

Accepted /Fecha de aceptación: August 11th 2025

Available online/Fecha de publicación: August 13th 2025

Please cite this article as/Como citar este artículo: Vega-Granados, K., Montaño-Soto, M., Haro-Vázquez, M.D.P., Chávez-Velasco, D., Díaz-Rubio, L., Delgadillo Rodríguez J., García-Flores E., Córdova-Guerrero, I. (2025). Seasonal variation in the chemical composition and antioxidant activity of essential oils from four Salvia species in Baja California, Mexico: *Salvia apiana, Salvia clevelandii, Salvia munzii,* and *Salvia pachyphylla*. *Revista Bio Ciencias,* 12, e1764. https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

This is a PDF file of an unedited manuscript that has been accepted for publication. As a service to our customers we are providing this early version of the manuscript. The manuscript will undergo copyediting, typesetting, and review of the resulting proof before it is published in its final form. Please note that during the production process errors may be discovered which could affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Este archivo PDF es un manuscrito no editado que ha sido aceptado para publicación. Esto es parte de un servicio de Revista Bio Ciencias para proveer a los autores de una versión rápida del manuscrito. Sin embargo, el manuscrito ingresará a proceso de edición y corrección de estilo antes de publicar la versión final. Por favor note que la versión actual puede contener errores de forma.

ARTÍCULO EN PRENSA

http://revistabiociencias.uan.edu.mx

https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

ISSN 2007-3380

Artículo original

Variación estacional en la composición química y la actividad antioxidante de los aceites esenciales de cuatro especies de *Salvia* en Baja California, México: *Salvia apiana*, *Salvia clevelandii*, *Salvia munzii* y *Salvia pachyphylla*.

Seasonal variation in the chemical composition and antioxidant activity of essential oils from four Salvia species in Baja California, Mexico: *Salvia apiana, Salvia clevelandii, Salvia munzii,* and *Salvia pachyphylla.*

Aceites esenciales de Salvias en Baja California/

Essential Oils of Sage in Baja California

Vega-Granados, K.[1], Montaño-Soto, M.[1], Haro-Vázquez, M D P.[1], Chávez-Velasco, D.[2], Díaz-Rubio, L.[1], Delgadillo Rodríguez J[3], Garcia-Flores E[1], Córdova-Guerrero, I.[1*]*

[1]*Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418, 22390, Baja California, México.*

[2]*Centro de Graduados e Investigación en Ciencias Químicas del Instituto Tecnológico de Tijuana, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Insustrial s/n, 22000, Baja California, México.*

[3]*Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México.*

Corresponding Author:

Iván Córdova-Guerrero. Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería. Universidad Autónoma de Baja California. Calzada Universidad 14418, 22390, Tijuana, Baja California, México. Teléfono (664)1207741. E-mail: icordova@uabc.edu.mx.

ARTÍCULO EN PRENSA

RESUMEN

El presente trabajo investiga la variación estacional en la composición química y la actividad antioxidante de los aceites esenciales extraídos de las hojas de cuatro especies de *Salvia* nativas de Baja California, México: *Salvia apiana*, *Salvia clevelandii*, *Salvia munzii* y *Salvia pachyphylla*. El alcanfor y el 1,8-cineol fueron los metabolitos secundarios presentes en las concentraciones más altas en las cuatro especies a lo largo de las estaciones. En términos generales, el porcentaje de monoterpenoides fue superior al de sesquiterpenoides en la composición del aceite. La actividad antioxidante se evaluó mediante diversos métodos: el radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH•), el catión radical 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS•+) y el ensayo de decoloración β-caroteno/ácido linoleico. Esta evaluación reveló que la actividad antioxidante dependía del tipo de metabolitos presentes en el aceite y de sus concentraciones, las cuales variaban a lo largo

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

de las estaciones. Estos resultados sugieren que el aceite esencial derivado de estas especies de *Salvia* podría representar una fuente de nuevos productos con posibles aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.

PALABRAS CLAVE:

Aceite esencial, Variación estacional, Actividad antioxidante, Lamiaceae, *Salvia.*

ABSTRACT

The present work investigates the seasonal variation in the chemical composition and antioxidant activity of essential oils extracted from the leaves of four Salvia species native to Baja California, Mexico: Salvia apiana, Salvia clevelandii, Salvia munzii, and Salvia pachyphylla. Camphor and 1,8-cineole were the secondary metabolites present in the highest concentrations across all four species throughout the seasons. Generally, the percentage of monoterpenoids was greater than that of sesquiterpenoids in the oil composition. The antioxidant activity was assessed using various methods: the 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical (DPPH•), 2,2-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS•+), and a β-carotene/linoleic acid bleaching assay. This evaluation of antioxidant activity revealed that it depended on the type of metabolites present in the oil and their concentrations, which varied throughout the seasons. These results suggest that the essential oil derived from these Salvias could represent a source of new products with potential applications in food preservation, pharmaceuticals, and cosmetics industries.

KEYWORDS:

Essential oil, Seasonal variation, Antioxidant activity, Lamiaceae, *Salvia.*

ARTÍCULO EN PRENSA

Introducción

Salvia es el género más diverso de la familia Lamiaceae, con cerca de 1,000 especies distribuidas a nivel mundial, y presenta una notable diversidad en formas de crecimiento, compuestos secundarios, morfología floral y biología de polinización (Walker *et al*., 2004; Wester & Claßen-Bockhoff, 2007). En México, el género está representado por 292 especies, mientras que en California y la península de California (ecosistema mediterráneo) se han registrado 19 especies (Villaseñor, 2004). El ecosistema local, particularmente la región californiana donde se recolectó el material vegetal se encuentra amenazado por el crecimiento de la población humana y el cambio climático, factores que podrían reducir drásticamente o incluso eliminar diversas especies nativas (Riordan & Rundel, 2014).

Este género ha sido ampliamente utilizado en la medicina tradicional y ha sido objeto de múltiples investigaciones fitoquímicas orientadas a identificar compuestos bioactivos presentes tanto en extractos como en aceites esenciales (Wu *et al*., 2012; Fu *et al*., 2013). Diversos estudios han demostrado que este género constituye una fuente valiosa de antioxidantes con aplicaciones en las industrias alimentaria y cosmética (Tepe *et al*., 2007).

En el género *Salvia*, los terpenos desempeñan un papel fundamental en los mecanismos de defensa frente a especies químicas nocivas, como las especies reactivas de oxígeno (ROS), actuando también como fitoalexinas inducidas por estrés

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

lumínico. Esta conclusión se ve reforzada por observaciones que indican una alta concentración de estos metabolitos en especies de *Salvia* que crecen en zonas desérticas, donde la radiación solar es intensa. En contraste, otras especies del género provenientes de humedales o bosques de niebla presentan concentraciones más bajas de terpenos (Luis, 1991). Además, las variaciones estacionales pueden influir en la composición química de la planta, ya que ciertos compuestos pueden acumularse en momentos específicos como respuesta a cambios ambientales. Por lo tanto, el material recolectado en diferentes épocas del año puede contener compuestos nuevos con actividades biológicas distintas, lo cual resalta la importancia de considerar la estacionalidad en la recolección (Kamatou *et al*., 2008[a]).

Este estudio describe el rendimiento, el perfil químico y la variación estacional del aceite esencial de cuatro especies de *Salvia* nativas de Baja California, utilizadas por comunidades indígenas por sus propiedades medicinales: *S. apiana* (salvia blanca), *S. clevelandii* (salvia azul), *S. pachyphylla* (salvia del Mojave) y *S. munzii* (salvia de Munz), así como su actividad antioxidante. El objetivo de este trabajo fue evaluar la época del año más adecuada para obtener un alto contenido de aceites esenciales asociado con una elevada actividad antioxidante, contribuyendo así a su aprovechamiento potencial en las industrias alimentaria, cosmética, farmacéutica y de perfumería.

Material y Métodos

Material vegetal

Las hojas de *Salvia clevelandii*, *Salvia munzii*, *Salvia apiana* y *Salvia pachyphylla* fueron recolectadas al inicio de cada estación en tres sitios ubicados en la región norte de Baja California, México, específicamente en el municipio de Ensenada. La Tabla 1 presenta las coordenadas GPS y la altitud a las que fueron recolectadas las distintas especies. La identificación de las cuatro especies vegetales fue confirmada por el Herbario de la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California (campus Ensenada), donde también se depositaron los ejemplares de referencia (vouchers).

Tabla 1. Ubicaciones geográficas y especímenes voucher de especies de Salvia

Especies	Voucher	Sitio de colecta	
		Coordenadas GPS	Altitud (m)
S. apiana	BCMEX8716	N 31° 59' 31" W 116° 38' 12"	320
S. clevelandii	BCMEX8715	N 31° 58' 05" W 116° 37' 31"	345
S. munzii	BCMEX8717	N 31° 51' 55" W 116 °38' 34"	100
S. pachyphylla	BCMEX8718	N 32° 01' 41" W 115° 56' 11"	1630

ARTÍCULO EN PRENSA

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

Aislamiento de compuestos volátiles

Las muestras de hojas secadas al aire (500 g) de las cuatro especies fueron trituradas y posteriormente sometidas a un proceso de hidrodestilación durante 3 horas, utilizando un sistema tipo Clevenger modificado, conforme a las recomendaciones de la Farmacopea Europea (2014). Este proceso permitió la obtención de aceites esenciales de color amarillento y aroma agradable. Los aceites obtenidos fueron desecados sobre sulfato de sodio anhidro y almacenados en atmósfera de N_2 a 4 °C, en oscuridad, hasta su análisis y evaluación. El procedimiento fue repetido para cada muestra correspondiente a las distintas estaciones del año.

Cromatografía de gases-Espectrometría de masa

El sistema analítico de GC/MS utilizado fue un cromatógrafo de gases Agilent 7890A acoplado a un detector de masas 5975C de Agilent Technologies (Little Falls, CA, EE. UU.), equipado con una columna capilar HP-5MS (30 m × 0.25 mm × 0.25 µm) de Agilent Technologies, Inc. Se empleó un autosampler Agilent Technologies 7693 para la inyección de una solución muestra de 0.5 µL. La energía de ionización fue de 70 eV, con un rango de masas de 40 a 400 m/z. La temperatura inicial de la columna se estableció en 70 ºC, aumentando gradualmente a 100 ºC a una velocidad de 2 ºC/min, y posteriormente hasta 250 ºC a una velocidad de 10 ºC/min. La temperatura del inyector se mantuvo en 250 ºC. El gas portador fue helio, con un flujo de 1.0 mL/min y una relación de dilución de gas de 1:2000.

La mayoría de los constituyentes se identificaron mediante cromatografía de gases comparando sus índices de retención de Kovats (RI). Los índices de Kovats se determinaron utilizando una serie homóloga de n-alcanos (C8–C20) bajo las mismas condiciones operativas. La identificación de los compuestos se apoyó en la comparación con la biblioteca de espectros de masas (NIST98). Los compuestos volátiles se clasificaron en monoterpenos hidrocarbonados y oxigenados, sesquiterpenos oxigenados y sesquiterpenos hidrocarbonados.

Preparación de muestras para ensayos biológicos.

Los aceites esenciales fueron pesados y disueltos en metanol para su evaluación. Para el ensayo de decoloración con β-caroteno, el aceite esencial se disolvió en etanol. Estas soluciones estándar se prepararon a temperatura ambiente (25 °C), bajo condiciones de baja iluminación y flujo de aire limitado, con el fin de evitar la degradación por oxidación del aceite.

Actividad secuestradora de radicales libres en DPPH.

La actividad secuetradora de radicales se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Burda & Oleszek (2001), con ligeras modificaciones. Para cada aceite esencial analizado, se preparó una solución madre (4 mg/mL), la cual fue diluida en serie en dos ocasiones hasta alcanzar una concentración mínima de 0.003 mg/mL, utilizando metanol como solvente. De cada dilución se tomó una alícuota de 1 mL, la cual se mezcló con 1 mL de una solución metanólica de 1,1-difenil-2-picrilhidrazilo

ARTÍCULO EN PRENSA

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

(DPPH) a una concentración de 0.03 mg/mL. Simultáneamente, se preparó un control que contenía 1 mL de metanol y 1 mL de la solución de DPPH. Las mezclas fueron incubadas a temperatura ambiente en oscuridad durante 30 minutos. Posteriormente, la absorbancia fue medida a 517 nm (A517), empleando metanol como blanco.

La actividad de eliminación de radicales fue calculada como el porcentaje de decoloración del DPPH, utilizando la siguiente fórmula:

$$DPPH\ (\%) = [1 - (B / A)] \times 100$$

Donde *A* y *B* representan los valores de absorbancia (a 517 nm) del control y de la muestra, respectivamente. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. Para cada aceite, el porcentaje de decoloración del DPPH se graficó en función de la concentración de cada dilución. La concentración necesaria para reducir la absorbancia del DPPH en un 50 % se determinó mediante interpolación a partir de un análisis de regresión lineal, obteniéndose así el valor de EC_{50}. La quercetina se utilizó como compuesto de referencia.

Ensayo antioxidante de β-Caroteno/ácido linoleico

Las propiedades antioxidantes de los aceites esenciales frente a la peroxidación lipídica fueron evaluadas mediante un sistema modelo de decoloración de β-caroteno y ácido linoleico, siguiendo el procedimiento descrito por Burda & Oleszek (2001). Para ello, se añadieron 1 mL de una solución de β-caroteno (0.5 mg/mL en cloroformo) a un matraz Erlenmeyer que contenía 0.025 mL de ácido linoleico y 0.2 mL de Tween 20. Tras evaporar el cloroformo, se agregaron 100 mL de agua destilada saturada con oxígeno (previamente burbujeada durante 1 hora).

De la emulsión resultante, se tomaron 2.5 mL y se mezclaron con 0.35 mL de la solución correspondiente del aceite en metanol (2 mg/mL). La mezcla se agitó y se mantuvo a 50 °C durante 2 horas. La absorbancia de las muestras se midió con un espectrofotómetro a 470 nm, inmediatamente después de la preparación (t_0 min) y al término del experimento (t_{120} min).

La actividad antioxidante (AA) se expresó como el porcentaje de inhibición de la decoloración del β-caroteno en comparación con el control, utilizando la siguiente fórmula:

$$AA\ (\%) = \{1 - [\ (AS_0 - AS_{120}) / (AC_0 - AC_{120})\ ]\ \} \times 100$$

Donde:

- AS_0 es la absorbancia de la muestra a los 0 minutos,
- AS_{120} es la absorbancia de la muestra a los 120 minutos,
- AC_0 es la absorbancia del control a los 0 minutos,
- AC_{120} es la absorbancia del control a los 120 minutos.

Se utilizó α-tocoferol como compuesto de referencia.

Ensayo de la decoloración del radical catiónico ABTS.

ARTÍCULO EN PRENSA

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

El ensayo de actividad secuestradora del catión radical ABTS (ABTS•$^{+}$) se realizó siguiendo la metodología desarrollada por Re *et al*. (1999) y Kuskoski *et al*. (2004), con ligeras modificaciones. Dieciocho horas antes del experimento, el catión radical ABTS•$^{+}$ fue generado mediante la reacción de una solución madre de ABTS con persulfato de potasio a una concentración de 2.45 mM; la mezcla resultante se almacenó en oscuridad a temperatura ambiente. Posteriormente, se diluyeron 150 µL de esta solución de ABTS•$^{+}$ con etanol hasta alcanzar una absorbancia de 0.7 ± 0.02, la cual se registró como absorbancia inicial.

Para la evaluación, se mezclaron 980 µL de esta solución con 20 µL del aceite diluido. La mezcla se agitó vigorosamente y se midió la absorbancia final a una longitud de onda de 754 nm. Los resultados se expresaron como porcentaje de inhibición, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de inhibición} = [\ (A_1 - A_2) / A_1\ ] \times 100$$

Donde A_1 es la absorbancia inicial de la solución de ABTS y A_2 es la absorbancia final de dicha solución en presencia de la muestra. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado. La quercetina se utilizó como compuesto de referencia.

.

Análisis estadístico

Los datos correspondientes al rendimiento y a las pruebas de actividad antioxidante representan promedios de tres análisis. Los resultados se expresaron como medias ± desviación estándar. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software estadístico Minitab versión 16.2.4.4. Las diferencias significativas entre medias se evaluaron mediante la prueba *t* de Student, considerando significativos los valores de $p < 0.05$.

Resultados y Discusión

Variaciones estacionales en el rendimiento de aceite esencial de Salvia

Los resultados del rendimiento de aceites esenciales (peso/peso, en base a peso seco) indican que este varió según la especie de *Salvia* y la estación del año, como se muestra en la Figura 1. Todas las especies presentaron mayores rendimientos durante el otoño; sin embargo, la producción de aceite esencial no mostró diferencias significativas entre las fechas de recolección de verano y otoño en *S. apiana* y *S. clevelandii*. Comparada con las demás especies, *S. apiana* presentó los rendimientos más altos a lo largo de las cuatro estaciones, con valores que oscilaron entre el 4 % y el 6 %. Esta especie de *Salvia* posee las hojas de mayor tamaño, mientras que *S. pachyphylla* y *S. munzii* se caracterizan por los rendimientos más bajos (0.3–3 %); estas dos últimas especies, a diferencia de las otras, presentan hojas más pequeñas, lo que probablemente influye en el rendimiento.

ARTÍCULO EN PRENSA

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

Para todas las especies, la temporada seca (de mayo a octubre) representa el periodo óptimo para la producción de aceites esenciales. Las condiciones climáticas más extremas (veranos cálidos y secos) afectan generalmente la fisiología de las plantas, que recurren a los aceites esenciales con fines no defensivos, tales como la regulación térmica y la reducción de la pérdida de agua, entre otros (Davis *et al*., 1996; Sharifi-Rad *et al*., 2017).

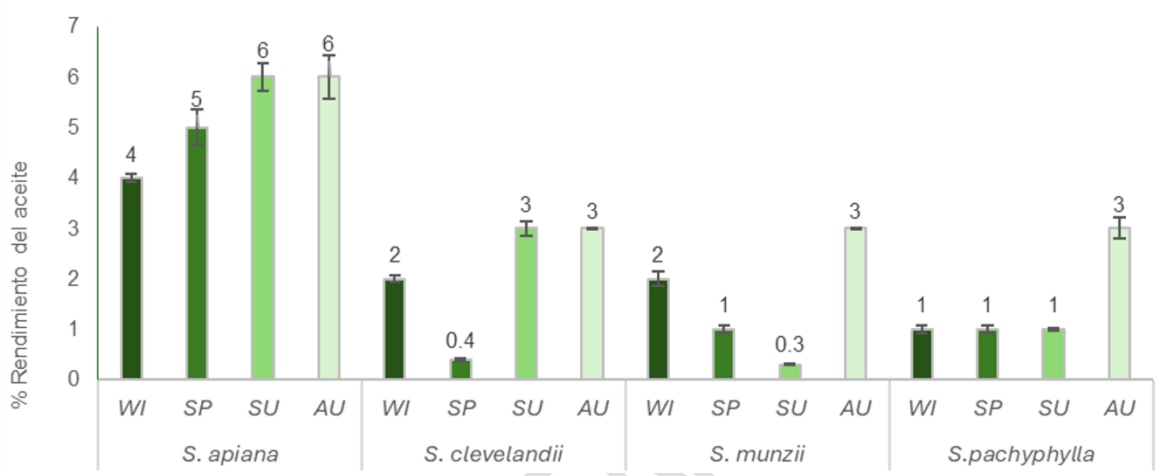

Figura 1. Rendimiento en aceite esencial (w/w %) de las especies de Salvia, colectadas durante las cuatro estaciones. **WI, SP, SU y AU** corresponden respectivamente a invierno, primavera, verano y otoño. Los valores son las medias de las tres réplicas y las barras son las medias ± SD (n=3)

Efecto de la variación estacional en la composición del aceite esencial de Salvia

Se identificó un total de 29 compuestos, los cuales representaron entre el 89 % y el 99 % de la composición total de los aceites esenciales. Los resultados se presentan en la Tabla 2, mientras que los porcentajes correspondientes a las principales clases químicas de los compuestos en los aceites esenciales recolectados durante las cuatro estaciones se muestran en la Tabla 3. En términos generales, se observaron altos porcentajes de monoterpenos hidrocarbonados y oxigenados en las cuatro especies de *Salvia*.

Los compuestos mayoritarios identificados en estas especies a lo largo de las diferentes estaciones incluyeron alcanfor (5–43 %), 1,8-cineol (3–38 %), cariofileno (1–19 %) y limoneno (4–20 %). Sin embargo, el alcanfor y el 1,8-cineol son particularmente relevantes, ya que fueron los únicos compuestos detectados de manera constante en todas las especies y durante las cuatro estaciones del año, como se muestra en la Tabla 2.

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

S. apiana mostró ligeras fluctuaciones en la composición de sus aceites esenciales a lo largo del año, siendo el alcanfor y el 1,8-cineol los componentes predominantes, representando conjuntamente alrededor del 70 % del aceite total durante estos periodos. Los constituyentes observados en *S. apiana* concuerdan con estudios previos que reportan altos niveles de 1,8-cineol (Borek *et al*., 2006), aunque en este estudio se observó una mayor concentración de alcanfor, lo cual podría atribuirse a que las plantas fueron recolectadas en ambientes distintos, influenciados por un clima continental.

Las otras tres especies presentaron una mayor diversidad de compuestos principales a lo largo de las estaciones, siendo *S. clevelandii* la que mostró la mayor variación. El aceite esencial de *S. clevelandii* incluyó seis compuestos mayoritarios cuya concentración varió significativamente según la estación: feniletil fenilacetato (23.9 %), alcanfor (19.2 %), linalool (13.2 %) y δ-cadineno (10.9 %). Estos componentes representaron más del 70 % del aceite total en invierno, alrededor del 60 % en verano y aproximadamente el 35 % en otoño. Esta especie presentó cambios drásticos en otoño, cuando apareció el alcohol feniletil (43.1 %). Estos resultados difieren de los datos reportados por Tucker *et al*. (1996), quienes identificaron al alcanfor y al 1,8-cineol como los compuestos dominantes en *S. clevelandii* cultivada en Delaware. En nuestro estudio, si bien estos compuestos estuvieron presentes durante todo el año, se identificaron otros en mayores concentraciones, como el feniletil fenilacetato, el alcohol feniletil y el linalool, en concordancia con lo observado por Srinivas (1986).

Los componentes mayoritarios en *S. munzii* presentaron variaciones en la composición de α-pineno (8–13 %), limoneno (12–19 %), 1,8-cineol (10–23 %), alcanfor (19–35 %) y cariofileno (4–17 %) (Tabla 2). No se observó un patrón discernible en las fluctuaciones de estos compuestos; sin embargo, se registraron variaciones significativas en el caso del cariofileno, cuya concentración disminuyó del verano (17.3 %) al otoño (4.8 %). Compuestos mayoritarios similares han sido reportados en *S. munzii* provenientes de una población recolectada en San Diego, California (Neisess *et al*., 1987).

Existe únicamente un estudio fitoquímico sobre extractos de *S. pachyphylla* (Guerrero *et al*., 2006); sin embargo, este es el primer reporte sobre los aceites esenciales de dicha especie. Cabe destacar que, en esta planta, los compuestos más abundantes vuelven a ser el 1,8-cineol, aunque, de manera sorprendente, el 3-careno lo supera en concentración (22.5–25.8 %), a diferencia del resto de las especies de *Salvia*, que no contienen este metabolito, con excepción de *S. apiana*, aunque solo en niveles bajos (1–1.7 %).

La composición cualitativa de la variación estacional en los aceites esenciales de *S. apiana* y *S. munzii* es comparable a la observada en *S. officinalis*, como se describe en Abu-Darwish *et al*. (2013), donde los componentes principales del aceite incluían 1,8-cineol (39–50 %) y alcanfor (8–25 %), los cuales fluctuaban entre estaciones. Este estudio pone de manifiesto que el rendimiento y la composición de los aceites esenciales varían en función de la estación, el clima, la edad, la región geográfica y la constitución genética de la planta (Kamatou *et al*., 2008[b]).

ARTÍCULO EN PRENSA

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764
ISSN 2007-3380

Tabla 2. Porcentajes de compuestos mayoritarios (≥ 0.7 %) de los aceites esenciales de las especies de Salvia

Compuesto	KIC	KIL	*S. apiana*				*S. clevelandii*				*S. munzii*				*S. pachyphylla*			
			WI	SP	SU	AU	WI	SP	SU	AU	WI	SP	SU	AU	WI	SP	SU	AU
α-Pineno	944	932	5.4	5.5	5.6	6.1	3.1	2.8	2.3		8.2	8.7	13.4	9.3	6.8	5.2	6.4	5.6
Canfeno	959	946	6.2	6.2	5.3	6.1	2.8				3.9	3.6	5.6	4.6				
β-Pineno	990	974	3.6	2.8	3.6	3.3					5.2	4.7	3.8	4.4				
β-Mirceno	1002	988	1.3		1.6	1.5					0.9	0.9		1		4	3.3	3.4
o-Cimeno	1033	1020	0.9												4.1	3.8	3.6	
Limoneno	1037	1024	5.9	5.2	4.6	8.3					16.7	16.1	19.8	12.9	8.7	7.4	8.1	8.6
1,8-cineol	1040	1026	37.5	27.9	28.7	26.5	3	4.7	9.8	18.4	20.8	23.8	10.8	23.4	11.9	15.1	18.8	20.6
Trans-**β**-ocimeno	1044	1044										0.9						
Alcanfor	1143	1141	37.3	43.4	41.7	42.1	26.9	19.2	17.5	21.7	29.6	27.2	19.9	35.6	6.5	8.2	5.6	9.4
3-Careno	1020	1004	1	1.7	1.4	1.1									25.8	25.1	24.6	22.5
Cariofileno	1437	1416		1.6	1.1						9.8	11.9	17.3	4.8	15.2	10.1	18.5	11.9
γ-Cadineno	1545	1513		2.8			2.3	2.6					2.2				2.8	
Tau-cadinol	1670	1652		1.4			4.5	7.3	5.7									
δ-Cadinano	1545	1520			1.7	1.8	7.2	10.9	10.1		1.2							
α-Cadinol	1683	1671				1.3	4.8	8.8	7.6									
α-Terpineol	1200	1186								1.3								
α-Bisabolol	1710	1701											2.6			6.7	3.9	6.7
4-Terpineol	1185	1179	0.8															
Linalool	1111	1098					27.4	13.2	18.9	12.2								
Carotol	1723	1592						2.7	2.9									
Alcohol feniletílico	1122	1115								43.1								
Acetato de geranilo	1397	1384							2.6									
Feniletil fenilacetato	1954	1916					14.9	23.9	19.2									
Borneol	1173	1165									1.9	0.9		1.9				
Acetato de bornilo	1296	1288											2.2	1.1	4.5			
Epóxido de cariofileno	1608	1582								0.7					2.6			
β-Bisaboleno	1528	1508																4.3
β-Eudesmol	1680	1626													3.1	4.3		
Éster hexílico del ácido 2-metil-butanoico	1249	1236																2.4

WI, SP, SU y AU representan invierno, primavera, verano y otoño, respectivamente. KIC hace referencia al Índice de Kovats calculado utilizando la columna capilar HP-5 MS. KIL denota el Índice de Kovats reportado en la literatura (Santos-Gómez & Fernández-Ferreira, 2001; Cvetkovikj *et al*., 2015; Ghalandarnejad *et al*., 2014).

ARTÍCULO EN PRENSA

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764
ISSN 2007-3380

Tabla 3. Fracciones químicas y compuestos totales identificados de los aceites esenciales de las hojas de cuatro especies de Salvia recolectadas durante los cuatro periodos estacionales (%)

Especies de Salvia	Estación del año	Tipo de compuesto				Otros	Total de compuestos identificados
		MH	MO	SH	SO		
S. apiana	WI	69.93	29.97	0	0	0	99.9
	SP	49.25	19.7	19.7	9.85	0	98.5
	SU	57.18	19.06	19.06	0	0	95.3
	AU	58.86	19.62	9.81	9.81	0	98.1
S. clevelandii	WI	19.38	29.07	19.38	19.38	9.69	96.9
	SP	9.61	28.83	19.22	28.83	9.61	96.1
	SU	9.66	38.64	28.98	9.66	9.66	96.6
	AU	0	64.28	0	16.56	16.56	97.4
S. munzii	WI	49.1	29.46	19.64	0	0	98.2
	SP	59.22	29.61	9.87	0	0	98.7
	SU	39.04	29.28	19.52	9.76	0	97.6
	AU	49.5	39.6	9.9	0	0	99
S. pachypylla	WI	35.68	26.76	8.92	17.84	0	89.2
	SP	44.95	17.98	8.99	17.98	0	89.9
	SU	47.8	19.12	19.12	9.56	0	95.6
	AU	38.16	19.08	19.08	9.54	9.54	95.4

WI, SP, SU y AU representan invierno, primavera, verano y otoño, respectivamente. MH corresponde a monoterpenos hidrocarbonados, MO denota monoterpenos oxigenados, SH hace referencia a sesquiterpenos hidrocarbonados, y SO indica sesquiterpenos oxigenados.

ARTÍCULO EN PRENSA

Variaciones estacionales de la actividad antioxidante

Se recomienda utilizar métodos basados en distintos principios mecanísticos para evaluar las actividades antioxidantes de extractos y aceites esenciales (Müller *et al*., 2011). En el presente estudio, se emplearon los ensayos de decoloración del β-caroteno, reducción del radical libre DPPH y secuestro del catión radical ABTS (Tabla 4).

En el ensayo de decoloración oxidativa del β-caroteno, *S. apiana* y *S. clevelandii* mostraron baja actividad en todas las estaciones, con porcentajes que oscilaron entre

http://revistabiociencias.uan.edu.mx
ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

1 % y 13 %. *S. clevelandii* presentó una actividad del 26 % en primavera, estación en la cual se observó al feniletil fenilacetato como metabolito predominante (23.9 %), lo cual podría estar relacionado con el aumento de bioactividad registrado. *S. munzii* mostró una actividad del 27 % en primavera, pero en verano alcanzó su máximo con un 93 %, superando al control positivo α-tocoferol (60 %). Durante esta estación se detectó la presencia minoritaria de γ-cadineno (2.2 %), α-bisabolol (2.6 %) y acetato de borneol (2.2 %).

La mayor actividad fue registrada para *S. pachyphylla* en otoño, con un 98 %, acompañada de la presencia minoritaria de hexil éster de ácido 2-metilbutanoico (2.4 %) y β-bisaboleno (4.3 %).

Tabla 4. Actividad antioxidante de las cuatro especies de Salvia durante las cuatro estaciones.

		Actividad antioxidante		
Especies de Salvia	**Estación del año**	**Ensayo DPPH[a]***	**Ensayo ABTS[a]****	**Ensayo β–caroteno[a]****
S. apiana	WI	14.7 ± 1.26	92 ± 0.98	1 ± 0.61
	SP	9 ± 0.78	17 ± 0.77	13 ± 0.88
	SU	66.3 ± 0.67	10 ± 0.33	1 ± 0.42
	AU	4.8 ± 0.74	28 ± 0.53	1 ± 0.58
S. clevelandii	WI	9.5 ± 0.98	66 ± 1.04	4 ± 0.43
	SP	9.5 ± 1.97	51 ± 0.76	26 ± 1.14
	SU	23.1 ± 2.03	82 ± 0.89	3 ± 0.89
	AU	6.8 ± 0.46	76 ± 0.27	1 ± 0.25
S. munzii	WI	1.2 ± 0.70	8 ± 1.01	1 ± 0.04
	SP	10.3 ± 0.34	36 ± 0.41	27 ± 0.98
	SU	11.8 ± 0.54	24 ± 0.67	93 ± 1.21
	AU	17.3 ± 0.92	15 ± 0.15	3 ± 0.12
S. pachypylla	WI	7.8 ± 0.45	28 ± 2.45	11 ± 0.13
	SP	3.8 ± 0.62	8 ± 0.65	61 ± 1.78
	SU	3.4 ± 0.91	53 ± 0.34	1 ± 0.22
	AU	9.28 ± 0.90	40 ± 0.76	98 ± 0.93
Quercetina		0.003 ± $2x10^{-4}$	99 ± $4.1x10^{-4}$	ND
α-tocoferol		ND	ND	60 ± 7.1

WI, SP, SU y AU corresponden respectivamente a invierno, primavera, verano y otoño. *en EC_{50} (mg/mL), ** en % de actividad antioxidante, [a] Media ± SD (n=3), ND: no determinado.

El ensayo de secuestro del radical libre DPPH no arrojó resultados satisfactorios; los mejores valores se obtuvieron con *S. munzii* en invierno, con una EC_{50} de 1.2 mg/mL,

ARTÍCULO EN PRENSA

ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

seguido de *S. pachyphylla* con concentraciones de 3.4 y 3.8 mg/mL en verano y primavera, respectivamente. Ninguno de los aceites superó a la quercetina, utilizada como control positivo (0.003 mg/mL).

En el ensayo de decoloración del catión radical ABTS, *S. apiana* en invierno presentó la mayor actividad con un 92 %, seguido por *S. clevelandii* en verano y otoño, con 82 % y 76 %, respectivamente. La ausencia de compuestos fenólicos en los aceites, los cuales normalmente son esenciales para una potente actividad antioxidante en los ensayos DPPH y ABTS, puede explicar la baja actividad general observada en estos métodos.

Asimismo, los resultados no mostraron correlación entre un compuesto individual o predominante y la actividad antioxidante, lo que sugiere que dicha actividad se debe a un efecto sinérgico de la mezcla de compuestos presentes en los aceites**.**

Conclusiones

Este estudio demostró variaciones estacionales significativas tanto en el rendimiento como en la composición química de los aceites esenciales foliares de cuatro especies nativas de *Salvia* en Baja California, una región ecológicamente amenazada. Los resultados destacan que los factores ambientales y la dinámica estacional influyen de manera considerable en el perfil de metabolitos secundarios, particularmente en los monoterpenoides como el alcanfor y el 1,8-cineol. Estos cambios en la composición, a su vez, afectan la capacidad antioxidante de los aceites, la cual varió entre especies y estaciones.

De manera destacada, algunos aceites esenciales mostraron un potencial antioxidante prometedor, lo que indica su viabilidad como ingredientes naturales en aplicaciones dentro de las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Se requieren investigaciones adicionales para validar su eficacia y seguridad en formulaciones aplicadas, así como para explorar más ampliamente sus propiedades bioactivas.

Contribuciones de los autores

Vega-Granados, K., Montaño-Soto, M. realizaron las extracciones de los aceites Vega-Granados, K., Montaño-Soto,M. performed the essential oil extractions; Vega-Granados, K., Díaz-Rubio, L. performed the antioxidant activity assays; Chávez-Velasco, D., Garcia-Flores, E. analyzed the essential oils by GC-MS; Vega-Granados, K., Córdova-Guerrero, I., Haro-Vázquez, Maria del Pilar. made the formal analysis of the results generated; Díaz-Rubio, L., Montaño-Soto, T. wrote the paper; Córdova-Guerrero, I., Delgadillo Rodríguez J. managed the funding acquisition; Díaz-Rubio, L., made the review and editing of the paper; Córdova-Guerrero, I. made the conceptualization of the study and conducted the supervision of the project.

Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

ARTÍCULO EN PRENSA

ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

ARTICULO EN PRENSA

References:

Abu-Darwish, M. S., Cabral, C., Ferreira, I. V., Gonçalves, M. J., Cavaleiro, C., Cruz, M. T., Al-bdour, T. H., & Salgueiro, L. (2013). Essential oil of common Sage (Salvia officinalis L.) from Jordan: assessment of safety in mammalian cells and its antifungal and anti-inflammatory potential. *Biomed Research International*, 2013, 538940. https://doi.org/10.1155/2013/538940

Borek, T. T., Hochrein, J. M., & Irwin, A. N. (2006). Composition of the essential oil of white sage, Salvia apiana. *Flavour and Fragrance Journal*, 21(4), 571-572. https://doi.org/10.1002/ffj.1758

Burda, S., & Oleszek, W. (2001). Antioxidant and antiradical activities of flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2774-2779. https://doi.org/10.1021/jf001413m

Cvetkovikj, I., Stefkov, G., Karapandzova, M., & Kulevanova, S. (2015). Essential oil composition of Salvia fruticosa Mill. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*, 61(1), 19-26.

Davis, G. W., Richardson, D. M., Keeley, J. E., & Hobbs, R. J. (1996). Mediterranean-type ecosystems: The influence of biodiversity on their functioning. In H. A. Mooney, J. H. Cushman, E. Medina, O. E. Sala, & E. D. Schulze (Eds.), *Functional Roles of Biodiversity: A Global Perspective*, (Vol. 7, pp. 151-183). John Wiley & Sons Ltd.

European Pharmacopoeia Online 8.0. (2016, January 15). http://www.fptl.ru/biblioteka/farmakopei/evropeyskaya_farmakopeya_8_vol-1.pdf

Fu, Z., Wang, H., Hu, X., Sun, Z., & Han, C. (2013). The pharmacological properties of Salvia essential oils. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 3(4), 122-127. https://doi.org/10.7324/JAPS.2013.3423

Ghalandarnejad, M., Reza-Akhgar, M., & Rajaei, P. (2014). Chemical composition of the essential oil from the aerial parts of Ixiolirion tataricum (Pall). Herb. *International Journal of Advanced Biological Research*, 2(2), 105-109.

Guerrero, I. C., Andrés, L. S., León, L. G., Machín, R. P., Padrón, J. M., Luis, J. G., & Delgadillo, J. (2006). Abietane diterpenoids from Salvia pachyphylla and S. clevelandii with cytotoxic activity against human cancer cell lines. *Journal of Natural Products*, 69(12), 1803-1805. https://doi.org/10.1021/np060279i

Kamatou, G. P. P., Makunga, N. P., Ramogola, W. P. N., & Viljoen, A. M. (2008 [a]). South African Salvia species: A review of biological activities and phytochemistry. *Journal of Ethnopharmacology*, 119(4), 664-672. https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.06.030

Kamatou, G. P. P., Van Zyl, R. L., Van Vuuren, S. F., Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G., & Viljoen, A. M. (2008 [b]). Seasonal variation in essential oil composition, oil toxicity and the biological activity of solvent extracts of three South African Salvia species. *South African Journal of Botany*, 74(2), 230-237. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.08.002

Kuskoski, E. M., Asuero, A. G., García-Parrilla, M. C., Troncoso, A. M., & Fett, R. (2004). Actividad antioxidante de pigmentos antociánicos. *Food Science and Technology*, 24(4), 691-693. https://doi.org/10.1590/S0101-20612004000400036

Luis, J. G. (1991). Chemistry, biogenesis and chemotaxonomy of the diterpenoids of Salvia. In J. B. Harborne & F. A. Tomas-Barberan (Eds.), Ecological Chemistry and Biochemistry of Plant Terpenoids, (Vol. 31, pp. 63-82). Claredon Press.

Müller, L., Fröhlich, K., & Böhm, V. (2011). Comparative antioxidant activities of carotenoids measured by ferric reducing antioxidant power (FRAP), ABTS bleaching assay (αTEAC), DPPH assay and peroxyl radical scavenging assay. *Food Chemistry*, 129(1), 139-148. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.045

Neisess, K. R., Scora, R. W., & Kumamoto, J. (1987). Volatile leaf oils of California Salvias. *Journal of Natural Products*, 50(3), 515-517. https://doi.org/10.1021/np50051a035

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3

Riordan, E. C., & Rundel, P. W. (2014). Land use compounds habitat losses under projected climate change in a threatened California ecosystem. *PLoS ONE*, 9(1), e86487. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086487

Santos-Gomez, P. C., & Fernandes-Ferreira, M. (2001). Organ- and season-dependent variation in the essential oil composition of Salvia officinalis L. cultivated at two different sites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(6), 2908-2916. https://doi.org/10.1021/jf001102b

ISSN 2007-3380
https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1764

Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G. C., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., ... Iriti, M. (2017). Biological activities of essential oils: From plant chemoecology to traditional healing systems. *Molecules*, 22(1), 70. https://doi.org/10.3390/molecules22010070

Srinivas, S. R. (1986). Atlas of Essential Oils (Ed. Bronx, New York). Published by author.

Tepe, B., Eminagaoglu, O., Akpulat, H. A., & Aydin, E. (2007). Antioxidant potentials and rosmarinic acid levels of the methanolic extracts of Salvia verticillata (L.) subsp. verticillata and S. verticillata (L.) subsp. amasiaca (Freyn & Bornm.) Bornm. *Food Chemistry*, 100(3), 985-989. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.062

Tucker, A. O., Maciarello, M. J., & Clebsch, B. B. (1996). Volatile leaf oil of Salvia clevelandii (Gray) Greene "Winifred Gilman". J*ournal of Essential Oil Research*, 8(6), 669-670. https://doi.org/10.1080/10412905.1996.9701038

Villaseñor, J. L. (2004). Los géneros de plantas vasculares de la flora de México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 75, 105-135.

Walker, J. B., Systma, K. J., Treutlein, J., & Wink, M. (2004). Salvia (Lamiaceae) is not monophyletic: Implications for the systematics, radiation and ecological specializations of Salvia and tribe Menthe

Wester, P., & Claßen-Bockhoff, R. (2007). Floral diversity and pollen transfer mechanisms in bird-pollinated Salvia species. *Annals of Botany*, 100(3), 401-421. https://doi.org/10.1093/aob/mcm036

Wu, Y. B., Ni, Z. Y., Shi, Q. W., Dong, M., Kiyota, H., Gu, Y. C., & Cong, B. (2012). Constituents from Salvia species and their biological activities. *Chemical Reviews*, 112(11), 5967-6026. https://doi.org/10.1021/cr200058f

ARTÍCULO EN PRENSA