

Accepted Manuscript / Manuscrito Aceptado

Title Paper/Título del artículo:

Perfil de actividad antioxidante de plantas colectadas en el Noreste de México

Antioxidant activity profile of plants collected in Northeastern Mexico

Authors/Autores: González-Ortega, A., Alanís-Garza, B.A., Pérez-Meseguer, J., Salazar-Aranda. R.

ID: e2120

DOI: <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2120>

Received/Fecha de recepción: December 04th 2025

Accepted /Fecha de aceptación: August 12th 2026

Available online/Fecha de publicación: September 22th 2026

Please cite this article as/Como citar este artículo: González-Ortega, A., Alanís-Garza, B.A., Pérez-Meseguer, J., Salazar-Aranda. R. (2026). Antioxidant activity profile of plants collected in Northeastern Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 13, e2120. <https://doi.org/10.15741/revbio.13.e2120>

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 original/ Original article

Perfil de actividad antioxidante de plantas colectadas en el Noreste de México

Antioxidant activity profile of plants collected in Northeastern Mexico

Perfil antioxidante de plantas /

Antioxidant activity profile of plants

González Ortega, A., Alanís Garza, B.A. ([ORCID: 0000-0002-4760-2223](#)), Pérez Meseguer, J. ([ORCID: 0000-0003-2733-1558](#)), Salazar Aranda, R. ([ORCID: 0000-0001-7448-5256](#))*

Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Medicina. Departamento de Química Analítica. Madero y Aguirre Pequeño, s/n, Mitras Centro. Monterrey, N. L., México. C. P. 64460. Teléfono: +(52) 81 8329 4185.

*Corresponding Author:

Ricardo Salazar Aranda. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Medicina. Departamento de Química Analítica. Madero y Aguirre Pequeño, s/n, Mitras Centro. Monterrey, N. L., México. C. P. 64460. Teléfono: +(52) 81 8329 4185. E-mail: ricardo.salazarar@uanl.edu.mx

RESUMEN

Una gran cantidad de antioxidantes se encuentran en el reino vegetal en forma de compuestos polifenólicos. Cada compuesto puede actuar mediante varios mecanismos antioxidantes, por lo que la mezcla de compuestos en un extracto puede conferirle un perfil de actividad antioxidante característico. Se evaluó la actividad antioxidante de 15 extractos hidroalcohólicos de plantas colectadas en Nuevo León, mediante la cantidad de fenoles totales, flavonoides totales, la reducción de DPPH o ABTS, y la inhibición de xantina oxidasa y acetilcolinesterasa. Los resultados mostraron diferencias significativas entre especies ($p < 0,05$) e indicaron una correlación entre el contenido de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante, pero no con la inhibición enzimática. El análisis de correlación y el agrupamiento jerárquico confirmaron la distinción entre los mecanismos antioxidantes y enzimáticos y sugirieron la participación de metabolitos específicos. *Vachellia rigidula* exhibió el perfil bioactivo más completo y mostró resultados sobresalientes en varias de las pruebas investigadas, mientras que *Senegalia greggii*, *Quercus canbyi* y *Q. virginiana* mostraron alta actividad en múltiples pruebas. En conjunto, los resultados sugieren que cada especie posee un perfil antioxidante característico, lo que puede considerarse una propiedad especial y subraya su potencial como fuente de compuestos bioactivos.

PALABRAS CLAVE:

Vachellia rigidula, acetilcolinesterasa, perfil antioxidante, *Quercus spp*, xantina oxidasa.

ABSTRACT

Many antioxidants in the plant kingdom occur as polyphenolic compounds. Each compound can act through multiple antioxidant mechanisms; therefore, the mixture of compounds in an extract may confer a characteristic antioxidant activity profile. In this work, the antioxidant activity of 15 hydroalcoholic extracts from plants collected in Nuevo León was evaluated by quantifying total phenols and flavonoids, measuring DPPH and ABTS radical-scavenging activities, and assessing

inhibition of xanthine oxidase and acetylcholinesterase. The results showed significant differences among species ($p < 0.05$) and indicated a correlation between phenolic compound content and antioxidant activity, but not with enzyme inhibition. Correlation analysis and hierarchical clustering confirmed the distinction between antioxidant and enzymatic mechanisms and suggested the involvement of specific metabolites. *Vachellia rigidula* exhibited the most complete bioactive profile and showed outstanding results in several of the evaluated assays, whereas *Senegalia greggii*, *Quercus canbyi*, and *Q. virginiana* displayed high activity in multiple tests. Overall, the results suggest that each species possesses a characteristic antioxidant profile, which may be considered a distinctive property and highlights its potential as a source of bioactive compounds.

PALABRAS CLAVE:

Vachellia rigidula, acetilcolinesterasa, perfil antioxidante, *Quercus spp*, xantina oxidasa.

Introducción

Los radicales superóxidos ($O_2^{\bullet-}$), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radicales hidroxilo ($\bullet OH$) y oxígeno singlete (1O_2) se definen comúnmente como especies reactivas de oxígeno (ROS) y se generan como subproductos metabólicos por sistemas biológicos. En un organismo vivo existe un sistema antioxidante endógeno que regula la concentración de estos subproductos. Adicionalmente, los radicales de oxígeno y otros agentes oxidantes se encuentran en el ambiente, por lo que su consumo puede provocar un exceso en el organismo, lo que conduce a un estado de estrés oxidativo. La pérdida del equilibrio provoca la aparición de efectos nocivos en estructuras celulares importantes como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Pizzino *et al.*, 2017). La progresión de una gran cantidad de padecimientos tales como la artritis reumatoide, la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson, la esclerosis lateral amiotrófica, las enfermedades cardiovasculares, las alergias, las disfunciones del sistema inmunológico, la diabetes, el cáncer, entre otras muchas, están íntimamente relacionadas con el estrés oxidativo (Ahmadinejad *et al.*, 2017).

Para contrarrestar o prevenir los efectos oxidantes de los radicales libres, se recomienda consumir compuestos antioxidantes exógenos. Un antioxidante se define como aquella sustancia que presente en bajas concentraciones y expuesta a un sustrato potencialmente oxidable, disminuye significativamente o previene la oxidación de ese sustrato. Los antioxidantes pueden actuar a través de diferentes mecanismos: capturando radicales libres, disminuyendo el oxígeno singlete, quelando metales de transición o inhibiendo enzimas prooxidantes (Mucha *et al.*, 2021).

Desde hace varias décadas se reconoce que los antioxidantes de origen exógeno se encuentran abundantemente en el reino vegetal, en forma de compuestos fenólicos; desde entonces, muchos estudios se han enfocado en productos vegetales de consumo común (Ponnampalam *et al.*, 2022). Este tema, en la actualidad, ha cobrado mayor importancia entre especialistas en salud, quienes han recurrido a las plantas para obtener antioxidantes más potentes para la prevención de padecimientos relacionados con el estrés oxidativo.

Existe una gran cantidad de ensayos orientados a evaluar la actividad antioxidante de las plantas. Los más comunes son la cuantificación de fenoles totales y la de flavonoides totales, pues se ha descrito ampliamente que este tipo de moléculas, presentes en las plantas, es responsable de su actividad antioxidante. Sin embargo, los procedimientos para realizar la determinación varían considerablemente de un laboratorio a otro; incluso, cada autor utiliza un compuesto antioxidante diferente como referencia y, por tanto, reporta la cantidad del analito en su extracto vegetal equivalente a un compuesto diferente (por ejemplo: pirocatecol, ácido gálico, Trolox, quercetina, rutina, etc.), lo que dificulta la comparación entre laboratorios. Otros dos ensayos basados en reacciones químicas son el DPPH y ABTS, ambos se basan en la reducción de cada radical libre por la acción de los antioxidantes contenidos en los extractos vegetales. Otra desventaja común de estos cuatro tipos de ensayos, es la interferencia que puede causar el color del extracto. La inclusión de ensayos orientados a proporcionar información útil sobre la inhibición de enzimas que favorecen el estrés oxidativo, conocidas como enzimas prooxidantes, es conveniente y en ocasiones necesario,

pues se evalúa directamente un mecanismo de acción. Así por ejemplo la inhibición de Xantina oxidasa o acetilcolinesterasa reduce la producción de ROS y por tanto de estrés oxidativo. Por esta razón, cuando se pretende evaluar la actividad antioxidante de extractos de plantas, es altamente recomendable realizar varios tipos de ensayos *in vitro*.

Recientemente García-Reyes *et al.* (2023), reportaron la evaluación de la actividad antioxidante de especies del género *Clinopodium* colectadas en dos localidades de la región Mixteca Alta Oaxaqueña. Los extractos hidroalcohólicos de las plantas *C. macrostemum* y *C. mexicanum* produjeron una muy buena actividad antioxidante a través de los ensayos de reducción de ABTS y FRAP. Por otra parte, Castañeda-Cardona *et al.* (2024), investigaron plantas de zarzamora y frambuesa silvestres colectadas en los estados de Chiapas, México, Veracruz e Hidalgo en las que determinaron la cantidad de fenoles, flavonoides y antocianinas totales, así como la actividad antioxidante a través de los ensayos de reducción de ABTS y FRAP. En general, en sus resultados concluyen que las plantas de Hidalgo y Chiapas contienen mayor cantidad de fenoles y mejor actividad antioxidante.

En nuestro grupo de trabajo hemos evaluado la actividad antioxidante de plantas de la región noreste de México mediante estos ensayos. Hace tiempo publicamos la optimización y validación de los ensayos de reducción de DPPH y ABTS en microplaca (Granados-Guzmán *et al.*, 2017) y, más recientemente, la optimización y validación de un método en microplaca para la cuantificación de fenoles totales (Pérez-Guillen *et al.*, 2025). En el presente trabajo evaluamos la actividad antioxidante de 15 extractos de plantas que crecen en la región, utilizando diferentes ensayos como son la cuantificación de fenoles totales, la cuantificación de flavonoides totales, la reducción de DPPH, la reducción de ABTS, la inhibición de xantina oxidasa y la inhibición de acetilcolinesterasa para obtener los extractos con mayor contenido antioxidante considerando todos los ensayos. Obtener los datos de los diversos ensayos para cada una de las plantas contribuirá a generar un perfil antioxidante de cada planta, lo cual puede ser un parámetro relevante a considerar para futuras investigaciones experimentales o farmacológicas con dichas plantas.

Material y Métodos

Material vegetal

Se seleccionaron 15 plantas que crecen en la zona conurbada de Monterrey, N. L. (coordenadas; 25.6866°N, -100.3161°O), y que se conoce su actividad antioxidante o tienen relación quimio-taxonomica con otras especies reportadas (Tabla 1). Se colectaron 2 o 3 especímenes de cada especie, se utilizó la parte aérea de cada especie (hoja, flor y tallo) y se dejaron secar a la sombra a temperatura ambiente. El material vegetal se trituró hasta obtener un polvo fino. 100 g de polvo se dejaron macerar en 250 mL de metanol:agua (90:10) durante 24 h. Posteriormente, se filtró y se extrajo el residuo sólido con 100 mL de metanol:agua (90:10). Este proceso se repitió tres veces. Finalmente, todo el filtrado se evaporó a presión reducida; el extracto sólido se recuperó en viales ámbar y se almacenó en refrigeración bajo atmósfera de nitrógeno.

Cuantificación de compuestos fenólicos totales

Se empleó el procedimiento optimizado y validado por Pérez-Guillen *et al.* (2025). Se preparó una solución de cada extracto a una concentración de 1 mg/mL en agua, con 30 µL de DMSO. 4 µL se colocaron en pocillos de una microplaca de 96 pozos. Se adicionó ácido gálico a cada pocillo a concentraciones finales diferentes (0, 1, 2, 4, 6 y 8 ppm). Posteriormente, se añadieron a cada pocillo 33.5 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu y se dejó incubar la microplaca durante 3 minutos a temperatura ambiente. Después, se agregaron 86.5 µL de carbonato de sodio al 20 % (p/v) y se incubó durante 46.5 minutos a temperatura ambiente. La absorbancia se midió a 750 nm en un lector de microplaca. Todos los ensayos se realizaron por triplicado para determinar la dispersión o variabilidad de los datos. Se elaboró el gráfico en Excel y se interpretó la curva de adición estándar para cada extracto. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto seco (mg EAG/g extracto).

Cuantificación de flavonoides totales

El contenido total de flavonoides se determinó siguiendo el procedimiento descrito por Shraim *et al.* (2021). Se añadieron 5 mL de extracto (200 ppm) y se agregaron 300 μ L de nitrato de sodio al 5 %. Se agitó suavemente y se dejó reposar durante 5 minutos. Posteriormente, se añadieron 300 μ L de cloruro de aluminio al 5 %, seguidos de 2 mL de hidróxido de sodio (1 M) y 2.4 mL de agua destilada. La absorbancia se midió a 510 nm en un espectrofotómetro. Se preparó una curva de calibración de quercetina, utilizando cinco niveles de concentración final entre 1 y 10 ppm. Todos los ensayos se realizaron por triplicado para determinar la dispersión o variabilidad de los datos. La concentración de flavonoides totales en las muestras se calculó mediante interpolación, multiplicando el valor obtenido por el factor de dilución correspondiente. Los resultados se expresaron como miligramos equivalentes de quercetina por gramo de extracto seco (mg EQ/g extracto).

Ensayo de reducción de radicales libres de DPPH

El ensayo de reducción de radicales libres de DPPH se llevó a cabo de acuerdo con lo publicado por Granados-Guzmán *et al.* (2017). Se colocaron en diferentes pocillos de una microplaca, 100 μ L de extracto a diferentes concentraciones finales (250–0.25 μ g/mL en etanol). A cada pocillo se agregaron 100 μ L de DPPH (280 μ M en etanol). La microplaca se dejó en la oscuridad durante 15 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, se midió la absorbancia a 540 nm. En todos los experimentos se incluyeron un control sin extracto y un control positivo con quercetina. Todos los ensayos se realizaron por triplicado para determinar la dispersión o variabilidad de los datos. Se calculó el porcentaje de reducción de DPPH a cada concentración. Se elaboró una curva en el programa Excel con el método de regresión lineal simple. A partir de esta curva, se estableció la concentración efectiva que reduce el 50 % de DPPH (CE_{50}).

Ensayo de reducción de radicales libres ABTS

El ensayo de reducción de radicales libres con ABTS se realizó según lo descrito por Granados-Guzmán *et al.* (2017). Se dejó reaccionar ABTS (7 mM) con persulfato de potasio acuoso (2.45 mM) durante 12 a 16 horas en oscuridad, para generar el radical libre $ABTS^+$. Posteriormente, se diluyó con etanol hasta ajustar el valor de absorbancia a 0.7 a una longitud de onda de 750 nm. Un volumen de 60 μ L de extracto, a diferentes concentraciones finales (150–0.25 μ g/mL en etanol), se colocó en los pocillos de una microplaca. A cada pocillo se le agregaron 140 μ L del radical $ABTS^+$ (0.7 UA). La mezcla se incubó en oscuridad durante 6 minutos a temperatura ambiente y se midió la absorbancia a 750 nm. En todos los experimentos se incluyeron un control sin extracto y un control positivo con quercetina. Todos los ensayos se realizaron por triplicado para determinar la dispersión o variabilidad de los datos. Se calculó el porcentaje de reducción de DPPH para cada concentración. Se elaboró una curva en el programa Excel con el método de regresión lineal simple. A partir de esta curva, se determinó la concentración efectiva que reduce en un 50 % el DPPH (CE_{50}).

Ensayo de inhibición de xantina oxidasa

El ensayo de inhibición de la xantina oxidasa se realizó de acuerdo con el protocolo descrito por Noriega-Irbe *et al.* (2020). En un tubo de ensayo se colocaron 330 μ L de xantina (150 mM), 400 μ L de tampón de fosfato (120 mM, pH 7.8), 250 μ L del extracto a diferentes concentraciones (200 a 6.25 μ g/mL) y 20 μ L de xantina oxidasa (0.5 U/mL). La reacción se dejó incubarse durante 3 minutos a 24 °C y se midió la absorbancia a 295 nm. En cada ensayo se incluyeron un control sin enzima y otro sin inhibidor; además, se utilizó el alopurinol como control positivo de inhibición. Todos los ensayos se realizaron por triplicado para determinar la dispersión o variabilidad de los datos. Se calculó el porcentaje de inhibición enzimática para cada concentración. Se elaboró una curva en el Programa

Excel con el método de regresión lineal simple. A partir de esta curva, se determinó la concentración que inhibe el 50% de la actividad enzimática (CI_{50}).

Inhibición de acetilcolinesterasa

La actividad de acetilcolinesterasa se determinó mediante la metodología reportada por Barajas-Carrillo *et al.* (2021). En una placa de 96 pozos se colocaron: 75 μ L de amortiguador Trizma-HCl (50 mM, pH 8), 75 μ L de extracto a diferentes concentraciones (187.5 a 5.86 μ g/mL), 25 μ L de yoduro de acetiltiocolina (15 mM) en amortiguador y 75 μ L de ácido 5,5'-Ditiobis[2-nitrobenzoico] (5 mM) en amortiguador. La absorbancia se midió en un lector de placas (Multiskan FC, Thermo Scientific) a 405 nm a los tiempos 0 y 2 min. Se adicionaron a cada pozo 25 μ L de acetilcolinesterasa (0.2 U/mL) en amortiguador (adicionado con BSA a 0.1 mg/mL) y se midió la absorbancia cada minuto por 4 min. En cada ensayo se incluyó un control sin enzima y un control sin inhibidor, además se usó Galantamina como control positivo. El incremento de absorbancia debido a hidrólisis espontánea del sustrato se corrigió restando la absorbancia antes de añadir la enzima de la absorbancia obtenida después de añadir la enzima. Todos los ensayos se realizaron por triplicado para determinar la dispersión o variabilidad de los datos. Se calculó el porcentaje de inhibición enzimática para cada concentración. Se elaboró una curva en el Programa Excel con el método de regresión lineal simple. A partir de esta curva, se determinó la concentración que inhibe el 50% de actividad enzimática (CI_{50}).

Análisis Estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado y los resultados se expresaron como media $\pm$ desviación estándar (DE). Para evaluar las diferencias entre los extractos se aplicó un análisis de varianza de una vía (ANOVA). Los valores de significancia global se reportan como p -values, considerando $**p < 0.001$ como altamente significativo. Cuando se detectaron diferencias significativas, se realizó la prueba post-hoc de Tukey ($p < 0.05$) para la comparación múltiple de medias. Las diferencias entre los grupos se indicaron mediante letras distintas. Por otra parte, la relación entre las variables evaluadas (como son: fenoles totales, flavonoides, actividad antioxidante y actividad inhibitoria) se analizó mediante una correlación de Pearson, utilizando los valores promedio de cada especie. Adicionalmente, se realizó un análisis multivariado mediante un mapa de calor (heatmap), empleando datos normalizados mediante puntuación Z (Z-score) para permitir la comparación entre variables. Para obtener el clustering jerárquico se utilizaron el método de Ward y la distancia euclidiana, tanto para las especies como para las variables. Todos los análisis estadísticos y gráficos se realizaron con Python (versión 3.x).

Resultados y Discusión

Las plantas contienen una gran cantidad de metabolitos secundarios que no son esenciales para su supervivencia básica, pero que se producen y utilizan para su desarrollo, crecimiento e interacción con el medio. Estos mismos metabolitos han sido aprovechados por los humanos para remediar o aliviar sus enfermedades. En particular, los compuestos fenólicos tienen la función de mantener la integridad de la planta, previniendo la formación de radicales libres. La actividad apagadora/removedora de radicales libres es de gran utilidad para prevenir la oxidación de macromoléculas y, por tanto, para prevenir la aparición de una gran cantidad de padecimientos.

Muchos ensayos *in vitro* orientados a demostrar la actividad antioxidante se han desarrollado y aplicado para evaluar el potencial de plantas medicinales. Cada uno de ellos se enfoca en un mecanismo particular, ya sea cuantificando los fenoles o flavonoides presentes, la capacidad de reducir un radical libre como el DPPH o el ABTS, o de apagar una reacción de oxidación usando cobre o hierro. Sin embargo, para demostrar la actividad antioxidante de una planta, es necesario realizar la evaluación mediante diversos ensayos, ya que los compuestos polifenólicos abundan en las plantas y utilizar un solo ensayo podría conducir a una interpretación errónea.

En este trabajo quisimos evaluar 15 extractos de plantas de la región mediante seis ensayos, comparar entre sí las plantas con mayor contenido antioxidante y, además, utilizar estos resultados como primer paso para obtener un perfil antioxidante de cada planta.

Los resultados del perfil de actividad antioxidante de los 15 extractos incluidos en este trabajo se presentan en la Tabla 1. En todos los casos, se muestra la media y la desviación estándar de al menos tres repeticiones.

Con el propósito de fortalecer la comparación entre los extractos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para cada ensayo, seguido de la prueba post-hoc de Tukey ($p < 0.05$). En todos los casos se observaron diferencias significativas entre las especies evaluadas, lo que confirma la variabilidad en la composición química y en la actividad biológica de los extractos analizados.

		Contenido Total de Fenoles	Contenido Total de Flavonoides	Reducción del DPPH	Reducción del ABTS	Inhibición de Xantina oxidasa	Inhibición de Acetilcolinesterasa
	Nombres científicos de las plantas	mg GAE/g extract	mg QE/g extract	EC ₅₀ (µg/mL)	EC ₅₀ (µg/mL)	IC ₅₀ (µg/mL)	IC ₅₀ (µg/mL)
1	<i>Bidens pilosa</i>	188.6 ± 12.2 ^d	25.0 ± 1.2 ^{cd}	14.8 ± 1.7 ^{cd}	24.55 ± 0.64 ^{ef}	60.48 ± 9.02 ^{cd}	344.20 ± 38.25 ^e
2	<i>Buddleja cordata</i>	315.5 ± 41.1 ^{cd}	21.0 ± 0.2 ^{cd}	5.4 ± 0.9 ^{ab}	12.63 ± 0.04 ^{de}	> 200	78.54 ± 8.25 ^b
3	<i>Chrysactinia mexicana</i>	365.3 ± 23.9 ^{bc}	34.4 ± 0.7 ^{bc}	10.9 ± 4.1 ^{bc}	10.02 ± 0.08 ^{cd}	79.73 ± 11.5 ^{de}	277.36 ± 20.91 ^{de}
4	<i>Eucalyptus globulus</i>	161.6 ± 2.1 ^f	42.2 ± 3.2 ^a	34.2 ± 4.2 ^{ef}	5.21 ± 0.04 ^{bc}	72.41 ± 3.92 ^{de}	> 187.5
5	<i>Hunnemannia fumariifolia</i>	192.5 ± 22.7 ^d	17.7 ± 0.2 ^d	96.0 ± 6.4 ^f	72.51 ± 1.97 ^h	> 200	> 187.5
6	<i>Leucaena greggii</i>	246.2 ± 69.4 ^{de}	37.7 ± 1.7 ^{bc}	6.2 ± 0.8 ^{ab}	23.05 ± 0.11 ^{ef}	62.41 ± 8.0 ^{cd}	290.14 ± 27.96 ^{de}
7	<i>Lippia graveolens</i>	348.9 ± 37.7 ^{bc}	22.7 ± 0.1 ^{cd}	18.3 ± 7.6 ^{cd}	1.22 ± 0.01 ^a	179.31 ± 26.3 ^f	276.00 ± 19.14 ^{de}
8	<i>Malus domestica</i>	163.0 ± 3.5 ^f	44.8 ± 5.9 ^a	154.3 ± 11.8 ^g	50.51 ± 0.23 ^g	> 100	> 187.5
9	<i>Porophyllum scoparium</i>	235.0 ± 11.1 ^{de}	38.4 ± 2.0 ^{ab}	8.8 ± 2.0 ^{bc}	12.95 ± 0.16 ^{de}	> 200	244.60 ± 16.21 ^d
10	<i>Quercus canbyi</i>	438.9 ± 39.7 ^{ab}	14.9 ± 0.4 ^f	7.1 ± 1.1 ^{ab}	10.67 ± 0.06 ^{cd}	77.03 ± 7.49 ^{de}	148.58 ± 24.27 ^c
11	<i>Quercus virginiana</i>	371.2 ± 75.1 ^{bc}	16.5 ± 0.6 ^{ef}	20.8 ± 0.7 ^d	5.93 ± 0.02 ^{bc}	51.53 ± 3.02 ^c	> 187.5
12	<i>Ricinus communis</i>	90.4 ± 19.7 ^g	38.8 ± 0.3 ^{ab}	27.2 ± 4.3 ^{de}	35.78 ± 0.15 ^f	> 200	>400
13	<i>Senegalia greggii</i>	487.0 ± 75.3 ^a	16.5 ± 0.3 ^{ef}	5.2 ± 1.9 ^a	8.86 ± 0.04 ^{cd}	> 200	>400
14	<i>Tecoma stans</i>	172.7 ± 16.1 ^{ef}	31.2 ± 6.9 ^{cd}	94.3 ± 1.2 ^f	24.68 ± 0.06 ^{ef}	> 100	> 187.5
15	<i>Vachellia rigidula</i>	303.5 ± 62.3 ^{cd}	25.3 ± 0.3 ^{cd}	4.4 ± 0.3 ^a	1.27 ± 0.01 ^a	26.07 ± 3.25 ^b	83.60 ± 8.36 ^b
	Quercetin			4.3 ± 0.1 ^a			
	Trolox				3.0 ± 0.05 ^{ab}		
	Allopurinol					0.907 ± 0.042 ^a	
	Galantamine						1.73 ± 0.07 ^a

Tabla 1. La actividad antioxidante se evaluó mediante seis ensayos *in vitro* de extractos de plantas recolectadas en Nuevo León.

ANOVA ** $p < 0.001$. Letras distintas dentro de cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Abreviaturas: mg GAE = miligramos de equivalentes de ácido gálico; mg QE = miligramos de equivalentes de quercetina; CE₅₀ = Concentración efectiva media; CI₅₀ = Concentración inhibitoria media.

Las plantas con mayor actividad antioxidante, de acuerdo con nuestros resultados, fueron: *Vachellia rigidula* (sin. *Acacia rigidula*), *Senegalia greggii* (sin. *Acacia greggii*), *Quercus virginiana* y *Quercus canbyi*, ya que obtuvieron los más altos resultados en tres o cuatro de los ensayos realizados.

Senegalia greggii, *Quercus canbyi*, *Quercus virginiana*, mostraron los valores más altos de fenoles totales. El análisis post-hoc de Tukey permitió agrupar las especies en diferentes niveles de contenido fenólico, evidenciando una clara separación entre especies con alto (^{abc}), medio (^{c^{de}}) y bajo contenido (^{efg}). Interesantemente fueron las plantas con menor cantidad de flavonoides.

Vachellia rigidula, *Senegalia greggii* y *Buddleja cordata*, presentaron la mayor actividad reductora de DPPH (menores valores de CE₅₀), comparable al control positivo (quercetina). Mientras que *Lippia graveolens* y *Vachellia rigidula* presentaron la mayor actividad reductora de ABTS, superando incluso al control positivo (Trolox). En ambos ensayos, tanto *Malus domestica* y *Hunneimannia fumariifolia*, mostraron la menor actividad, estadísticamente diferente, entre ellas y al resto de las plantas.

Algunas plantas no mostraron actividad inhibitoria a las concentraciones evaluadas, por lo que se reporta la concentración máxima evaluada y precisamente por esa razón, no fueron consideradas en el análisis comparativo. *Vachellia rigidula*, *Quercus virginiana* y *Bidens pilosa* presentaron la mayor actividad inhibitoria sobre la xantina oxidasa. Mientras que sobre acetilcolinesterasa la mayor actividad fue mostrada por *Buddleja cordata*, *Vachellia rigidula* y *Quercus canbyi*.

Con el propósito de complementar la comparación de todos los resultados, se realizó primero un análisis de correlación de Pearson entre los promedios de cada planta en cada ensayo. En la Tabla 2 se muestra la matriz con los valores determinados para cada par de ensayos. De acuerdo a los resultados, se evidenció una relación negativa significativa entre el contenido de fenoles totales y la actividad antioxidante determinada por los ensayos DPPH y ABTS, lo que indica que a mayor concentración de compuestos fenólicos se requiere una menor cantidad de extracto para neutralizar los radicales libres. De igual manera, se determinó una correlación positiva entre los ensayos de DPPH y ABTS, con un valor de $r = 0.8$. En contraste, no se observaron correlaciones relevantes entre el contenido de fenoles o flavonoides y la inhibición de xantina oxidasa o acetilcolinesterasa, lo que sugiere que estas actividades dependen de metabolitos específicos más que de la cantidad total de compuestos fenólicos presentes.

Tabla 2. Matriz de correlación de Pearson (r).

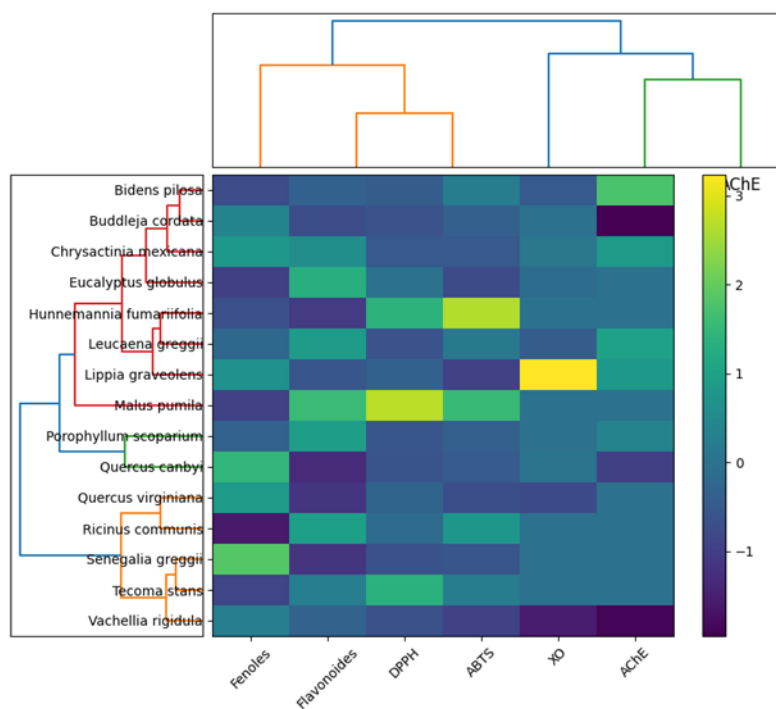
Variable	Fenoles	Flavonoides	DPPH (EC ₅₀)	ABTS (EC ₅₀)	XO (IC ₅₀)	AChE (IC ₅₀)
Fenoles	1.00	0.25	-0.7	-0.75	-0.25	-0.2
Flavonoides	0.25	1.00	-0.3	-0.35	-0.1	-0.15
DPPH (EC ₅₀)	-0.7	-0.3	1.00	0.8	0.3	0.2
ABTS (EC ₅₀)	-0.75	-0.35	0.8	1.00	0.25	0.22
XO (IC ₅₀)	-0.25	-0.1	0.3	0.25	1.00	0.35
AChE (IC ₅₀)	-0.2	-0.15	0.2	0.22	0.35	1.00

Valores negativos indican que un mayor contenido del compuesto se asocia con un menor CE₅₀/CI₅₀ (mayor actividad). Abreviaturas: CE₅₀ = Concentración efectiva media; CI₅₀ = Concentración inhibitoria media.

De manera complementaria, para integrar la información generada en los distintos ensayos, se realizó un análisis multivariado mediante un mapa de calor con clustering jerárquico (Figura 1). Este análisis permitió identificar patrones de agrupamiento entre las especies en función de sus perfiles químicos y biológicos. Se observó que las variables asociadas a la actividad antioxidante (DPPH y ABTS) se agrupan estrechamente y se relacionan con el contenido de fenoles totales, mientras que

las variables de inhibición enzimática (xantina oxidasa y acetilcolinesterasa) forman grupos independientes, lo que evidencia que responden a mecanismos diferentes.

Figura 1. Mapa de calor con clustering jerárquico del perfil químico y biológico de los extractos vegetales evaluados.



Valores promedio normalizados mediante puntuación Z (Z-score) para cada variable: contenido de fenoles totales, flavonoides, actividad antioxidante (DPPH y ABTS) e inhibición enzimática (xantina oxidasa y acetilcolinesterasa). La escala de color representa la intensidad relativa de cada variable.

La separación observada entre las actividades antioxidante y enzimática sugiere que, si bien los compuestos fenólicos contribuyen significativamente a la capacidad antioxidante de los extractos, no son necesariamente responsables de la inhibición enzimática. Este comportamiento respalda la idea de que la actividad biológica de los extractos vegetales depende de la presencia de compuestos con características estructurales específicas capaces de interactuar con los sitios activos de las enzimas. Este patrón es consistente con el observado en especies como *Senegalia greggii*, que, a pesar de tener el mayor contenido total de fenoles y una alta capacidad antioxidante, no mostró actividad inhibidora enzimática. En contraste, *Vachellia rigidula* presentó un perfil más equilibrado, con actividad tanto antioxidante como inhibidora, lo que sugiere la presencia de metabolitos con mayor diversidad funcional.

De manera interesante, los datos obtenidos indican que cada especie vegetal presenta su propio perfil antioxidante, que integra diferentes mecanismos de acción y podría constituir una característica intrínseca de la planta. Este comportamiento subraya la importancia de evaluar múltiples ensayos, ya que la actividad antioxidante no es un atributo único, sino el resultado de una combinación de propiedades químicas específicas. Por ello, el uso de herramientas multivariantes, como el análisis de conglomerados jerárquicos, permitió una mejor interpretación de los resultados al integrar las diferentes variables evaluadas en un único análisis, evitando así conclusiones basadas exclusivamente en un solo tipo de ensayo.

Vachellia rigidula fue la planta con la mayor actividad antioxidante entre las 15 evaluadas. Mostró la mayor actividad de reducción del DPPH, así como la mejor inhibición sobre xantina oxidasa, además, fue el segundo extracto con mejor reducción de ABTS, superado solo por *Lippia graveolens* y el segundo mejor en la actividad inhibitoria sobre acetilcolinesterasa, superado solo por el extracto de *Buddleja cordata*. Interesantemente, *Buddleja cordata* no mostró actividad sobre la xantina oxidasa, aunque sí presentó una importante reducción del DPPH. *V. rigidula* es un arbusto originario de las regiones desérticas del sureste de Estados Unidos y el noreste de México. Esta planta ha sido utilizada tradicionalmente con fines medicinales por sus propiedades sedantes, para tratar el dolor de garganta y estómago, para las infecciones, etc. (UA Campus Arboretum, n.d.). En 2020 fue declarado por la Unión Europea como un componente prohibido en alimentos y piensos. De acuerdo a la revisión de Koncz *et al.* (2021), la especie *V. rigidula* contiene compuestos alcaloides que pueden acelerar el metabolismo y pueden llegar a causar daños más severos si se combina con otros compuestos. Por otro lado, Ochoa-Negrete *et al.* (2024) reportaron el perfil de compuestos antioxidantes de *V. rigidula* obtenido por HPLC y consideraron que la capacidad reductora de radical libre tanto DPPH como ABTS se debía a los compuestos fenólicos: ácido gálico, ácido cumárico, ácido vainillínico, vainillina, ácido salicílico y ácido caféico. Hasta donde nos fue posible revisar, nosotros no encontramos evidencia de inhibición enzimática, por lo que consideramos que esta es la primera vez que se reporta su potencial uso como auxiliar en el tratamiento de gota o Alzheimer, relacionadas con los mecanismos de xantina oxidasa y acetilcolinesterasa.

Por otra parte, *Senegalia greggii* fue el extracto con mayor contenido de fenoles totales y mostró una importante actividad reductora de radicales libres, tanto frente a DPPH como a ABTS, aunque presentó un muy bajo contenido de flavonoides totales y no inhibió ninguna enzima. *S. greggii* es un arbusto nativo del sureste de Estados Unidos y el norte de México. Hasta donde buscamos, no encontramos usos medicinales, aunque Knight & Walter (2004) han reportado que contiene un par de compuestos venenosos (prunasina y dimetiltriptamina), asimismo, Forbes & Clement (2010) reportaron el contenido de varios flavonoides (catequina, fisetina, hordenina, fenetilamina, quercetina, tiramina).

Quercus virginiana contiene una alta cantidad de fenoles totales, aunque el contenido de flavonoides resultó bajo, además, mostró una fuerte inhibición de xantina oxidasa y una potente actividad reductora del ABTS. Conocido como encino siempreverde, *Q. virginiana* es un árbol de 15 metros de altura o más, con hojas verdes casi todo el año. Es nativo del sur de Estados Unidos y del norte de México. Recientemente, Valero-Galván *et al.* (2021) realizaron una comparación entre varias especies del género *Quercus sp.* y reportaron la alta capacidad antioxidante de *Q. virginiana* mediante ensayo de reducción de ABTS y de la evaluación del poder antioxidante reductor férrico (FRAP). Por otra parte, en su tesis de licenciatura, Lara Muñoz (2022), reportó 226.10 ± 2.66 mg EAG/g de fenoles totales, ligeramente por debajo del valor que determinamos. Hasta donde pudimos averiguar, no encontramos reportes sobre la inhibición de la xantina oxidasa, relacionada con la acumulación de ácido úrico en las articulaciones.

Quercus canbyi, a diferencia de *Q. virginiana*, mostró un mayor contenido de fenoles totales, una fuerte reducción del radical DPPH y fuerte inhibición tanto de acetilcolinesterasa como de xantina oxidasa. Hasta donde hemos buscado, no encontramos información científica sobre actividad antioxidante e inhibitoria de estrés oxidativo de esta planta, solo se encuentra reportada la actividad antifúngica (Alanís-Garza *et al.*, 2017). Al igual que *Q. virginiana*, *Q. canbyi* es un árbol de 4 a 15 metros de altura que crece naturalmente en Nuevo León, Tamaulipas y Texas (iNaturalist México).

Si bien varias de las especies evaluadas mostraron un potencial bioactivo significativo, es importante considerar que algunos géneros, en particular especies previamente clasificadas dentro del género *Acacia* (*Vachellia/Senegalia*), presentan informes previos de compuestos con potencial toxicidad (Koncz *et al.*, 2021; Knight & Walter 2004). Esto subraya la necesidad de evaluar no solo la actividad biológica, sino también la seguridad de los extractos, especialmente cuando se proponen sus posibles aplicaciones farmacológicas o nutraceuticas. En este contexto, la presencia de actividad antioxidante o inhibitoria no implica necesariamente un perfil seguro, lo que hace esenciales estudios de toxicidad adicionales.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran el uso de ensayos in vitro y de extractos crudos, lo que impide identificar los compuestos responsables de la actividad observada.

Además, algunos valores de inhibición enzimática no pudieron determinarse con precisión, lo que limitó el análisis estadístico. Por ello, recomendamos continuar con la caracterización química de los extractos, su validación en modelos biológicos más complejos y la evaluación de su seguridad. Asimismo, el uso de herramientas multivariantes y estudios metabolómicos podría contribuir a definir perfiles bioactivos específicos de cada especie.

Conclusiones

Se evaluaron quince plantas que crecen en Nuevo León. Se estableció un perfil de actividad antioxidante del extracto hidroalcohólico de las partes aéreas de cada planta. Los resultados mostraron diferencias significativas entre las especies, asociadas principalmente a su composición química. El género *Acacia* sensu lato (*Vachellia/Seneglia*) presentó la mayor actividad antioxidante, seguido por el género *Quercus*. Además, las plantas *Chrysactinia mexicana*, *Lippia graveolens*, *Leucaena greggii* y *Buddleja cordata* mostraron un perfil de actividad antioxidante moderado, siendo activas en casi todos los ensayos utilizados. En este contexto, cada planta exhibió un perfil antioxidante particular, que podría considerarse una característica distintiva de la especie.

Contribución de los autores

Conceptualización del trabajo, R. S. A.; desarrollo de la metodología, A. G. O.; manejo de software, A. G. O., B. A. A. G.; validación experimental, A. G. O., J. P. M.; análisis de resultados, R. S. A., B. A. A. G., J. P. M.; Manejo de datos, R. S. A.; escritura y preparación del manuscrito, R. S. A.; redacción, revisión y edición, R. S. A., B. A. A. G., J. P. M.; administrador de proyectos, R. S. A.; adquisición de fondos, R. S. A. Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

Financiamiento

Esta investigación fue financiada por el Proyecto ProActi-UANL 2024, número de convenio 9-BYQ.

Declaraciones éticas

Esta investigación forma parte del Proyecto de Investigación QA21-00002, aprobado por el Comité de Ética de la Subdirección de Investigación de la Facultad de Medicina, UANL.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecemos enormemente al T.L.C. Julio César Torres González, por todo el apoyo brindado.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

Ahmadinejad, F., Møller, S. G., Hashemzadeh-Chaleshtori, M., Bidkhor, G., & Jami, M. S. (2017). Molecular mechanisms behind free radical scavengers function against oxidative stress. *Antioxidants*, 6(3), Article 51. <https://doi.org/10.3390/antiox6030051>

Alanís-Garza, B. A., López-Arroyo, J., González-González, G., Garza-González, E., Waksman de Torres, N., & Salazar-Aranda, R. (2017). Anti-fungal and anti-mycobacterial activity of plants of Nuevo León, Mexico. *Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 30(1), 17–21. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28603107/>

Barajas-Carrillo, V. W., Estolano-Cobián, A., Díaz-Rubio, L., Ayllón-Gutiérrez, R. R., Salazar-Aranda, R., Díaz-Molina, R., García-González, V., Almanza-Reyes, H., Rivero, I. A., Marrero, J. G., & Córdova-Guerrero, I. (2021). Antioxidant and acetylcholinesterase inhibition activity of aliphatic and aromatic edaravone derivatives. *Medicinal Chemistry Research*, 30(3), 610–623. <https://doi.org/10.1007/s00044-020-02667-5>

Castañeda-Cardona, C. C., Guerra-Ramírez, D., Martínez-Solís, J., Barrientos-Priego, A. F., Peña-Ortega, M. G., & Morillo-Coronado, Y. (2024). Nutraceutical potential of fruits of wild species of blackberry and raspberry. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 47(1), 11–17. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.1.11>

Forbes, T. D. A., & Clement, B. A. (2010). Chemistry of Acacia's from South Texas. Texas A&M Agricultural Research and Extension Center. <https://catbull.com/alamut/Bibliothek/chem%20of%20texas%20acacias.pdf>

García-Reyes, E. M., Rojas-Olivos, A., Toral-Sánchez, E., & Cruz-García, G. (2023). Estudio etnobotánico y evaluación de la capacidad antioxidante de dos especies del género *Clinopodium* localizadas en el estado de Oaxaca, México. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 26, Article e577. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2023.577>

Granados-Guzmán, G., Garza-Tapia, M., Castro-Ríos, R., Waksman de Torres, N., & Salazar-Aranda, R. (2017). Optimization and validation of two high-throughput methods indicating anti-radical activity. *Current Analytical Chemistry*, 13(6), 499–507. <https://doi.org/10.2174/1573411013666170118111516>

iNaturalist México. (s.f.). *Quercus canbyi*. <https://mexico.inaturalist.org/taxa/275460-Quercus-canbyi>

Knight, A., & Walter, R. G. (2004). Guide to plant poisoning of animals in North America. Teton NewMedia. <https://www.ivis.org/library/guide-to-plant-poisoning-of-animals-north-america>

Koncz, D., Tóth, B., Kiss, T., Roza, O., & Csupor, D. (2021). *Acacia rigidula* versus other *Acacia* taxa: An alarming issue in the European novel food regulation and food supplement industry. *Acta Pharmaceutica Hungarica*, 91(2), 67–74. <https://doi.org/10.33892/aph.2021.91.67-74>

Lara Muñoz, M. (2022). Efecto de los extractos de las hojas de *Quercus virginiana* sobre hongos de importancia clínica [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez]. https://www.researchgate.net/publication/365173803_EFECTO_DE_LOS_EXTRACTOS_DE_LAS_HOJAS_DE_Quercus_virginiana SOBRE HONGOS DE IMPORTANCIA CLINICA

Mucha, P., Skoczyńska, A., Malecka, M., Hikisz, P., & Budzisz, E. (2021). Overview of the antioxidant and anti-inflammatory activities of selected plant compounds and their metal ions complexes. *Molecules*, 26(16), Article 4886. <https://doi.org/10.3390/molecules26164886>

Noriega-Irbe, E., Díaz-Rubio, L., Estolano-Cobián, A., Barajas-Carrillo, V. W., Padrón, J. M., Salazar-Aranda, R., Díaz-Molina, R., García-González, V., Chávez-Santoscoy, R. A., Chávez, D., & Córdova-Guerrero, I. (2020). In vitro and in silico screening of 2,4,5-trisubstituted imidazole derivatives as potential xanthine oxidase and acetylcholinesterase inhibitors, antioxidant, and antiproliferative agents. *Applied Sciences*, 10(8), Article 2889. <https://doi.org/10.3390/app10082889>

Ochoa-Negrete, A., Rangel, R., Ynalvez, M., & Ynalvez, R. (2024). Antioxidant activity and phytochemical screening in *Acacia rigidula* Benth. leaves. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 15, 15–38. <https://doi.org/10.4236/abb.2024.151002>

Pérez-Guillen, C., Alanís-Garza, B. A., Portillo-Castillo, O. J., & Salazar-Aranda, R. (2025). Optimización y validación de un método a microescala para la cuantificación de fenoles totales en extractos vegetales. *Revista Bio Ciencias*, 12, Article e1863. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1863>

Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., & Bitto, A. (2017). Oxidative stress: Harms and benefits for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, Article 8416763. <https://doi.org/10.1155/2017/8416763>

Ponnampalam, E. N., Kiani, A., Santhiravel, S., Holman, B. W. B., Lauridsen, C., & Dunshea, F. R. (2022). The importance of dietary antioxidants on oxidative stress, meat and milk production, and their preservative aspects in farm animals. *Animals*, 12(23), Article 3279. <https://doi.org/10.3390/ani12233279>

Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *LWT*, 150, Article 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>

Universidad de Arizona. (2025). Taxon 616. <https://apps.cals.arizona.edu/arboretum/taxon.aspx?id=616>

Valero-Galván, J., González-Fernández, R., & Jorrín-Novo, J. V. (2021). Interspecific variation between the American *Quercus virginiana* and Mediterranean *Quercus* species in terms of seed nutritional composition, phytochemical content, and antioxidant activity. *Molecules*, 26(8), Article 2351. <https://doi.org/10.3390/molecules26082351>

ARTÍCULO EN PRENSA