

CARACTERIZACIÓN NUTRICIONAL Y FITOQUÍMICA DE HOJAS, FLOR Y FRUTO  
DE *PROSOPIS LAEVIGATA*  
NUTRITIONAL AND PHYTOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF LEAVES, FLOWER,  
AND FRUITS OF *PROSOPIS LAEVIGATA*

LILIA GARCÍA-AZPEITA<sup>1\*</sup>, EFIGENIA MONTALVO-GONZÁLEZ<sup>2</sup>, SOFÍA LOZA-CORNEJO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica Lagos de Moreno, Jalisco, México.

<sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Tepic, Tepic, Nayarit, México.

<sup>3</sup> Centro Universitario de los Lagos de la UdG, Lagos de Moreno, Jalisco, México.

\*Autor para correspondencia: [cytdocto.lga1612@gmail.com](mailto:cytdocto.lga1612@gmail.com)

### Resumen

**Antecedentes:** Es importante el aprovechamiento sustentable de plantas nativas para consumo humano y para la incorporación como ingrediente en nuevos alimentos. Los frutos de *Prosopis laevigata* se han utilizado ocasionalmente para consumo humano; sin embargo, pueden constituir una fuente sustentable de nutrientes y metabolitos secundarios.

**Preguntas y/o Hipótesis:** ¿Cuál es el contenido de nutrientes y la fitoquímica de hojas, flores y frutos de *Prosopis laevigata*?

**Especies de estudio/Descripción de datos/Modelo matemático:** *Prosopis laevigata*, familia Fabaceae, partes reproductivas (flor y fruto) y parte vegetativa (hoja).

**Sitio y años de estudio:** Portugalejo de los Romanes, Lagos de Moreno, Jalisco. De 2018-2020

**Métodos:** Se determinaron los sólidos solubles, pH, acidez e índice de madurez en el fruto. Se evaluó el contenido de nutrientes de la hoja, flor, y fruto; así como los macro y microelementos en hoja, fruto y semilla; mientras que fenoles solubles, taninos condensados, polifenoles hidrolizables y alcaloides totales fueron determinados en hoja, flor y fruto.

**Resultados:** Hubo diferencias significativas en el contenido de nutrientes entre órganos. El contenido de compuestos fenólicos y alcaloides fue mayor en la flor. Los compuestos fenólicos con mayor concentración en la flor fueron los ácidos 4- hidroxibenzoico,  $\rho$ -coumárico y gálico, en la hoja los ácidos 4- hidroxibenzoico, clorogénico y  $\rho$ -coumárico, y en fruto los ácidos gálico, cinámico y  $\rho$ -coumárico.

**Conclusiones:** El contenido de nutrientes, minerales y fitoquímicos permite concluir que esta especie puede constituir una fuente de metabolitos primarios, minerales y compuestos funcionales para el consumo humano o animal y para la obtención de subproductos.

**Palabras clave:** Composición, mezquite nativo, metabolitos primarios, metabolitos secundarios.

### Abstract

**Background:** The sustainable use of native plants for human consumption and their incorporation as an ingredient in new foods is important. The fruits of *Prosopis laevigata* have been used occasionally for human consumption; however, they can constitute a sustainable source of nutrients and secondary metabolites.

**Questions and / or Hypotheses:** Which is the nutrient content and phytochemical composition of leaves, flowers, and fruits of *Prosopis laevigata*?

**Study species / Data description / Mathematical model:** *Prosopis laevigata*, Fabaceae family, reproductive parts (flower and fruit) and vegetative part (leaf).

**Site and years of study:** Portugalejo de los Romanes, Lagos de Moreno, Jalisco. From 2018-2020

**Methods:** The soluble solids, pH, acidity, and maturity index were determined in fruit. The nutrient content of the leaf, flower and fruit was evaluated; as well as macro and microelements in leaf, fruit and seed were determined; while soluble phenols, condensed tannins, hydrolyzable polyphenols, and total alkaloids were determined in leaf, flower and fruit.

**Results:** There were significant differences in the nutrient content between organs. The content of phenolic compounds and alkaloids were highest in flower. The phenolic compounds with highest concentration in flower were the 4-hydroxybenzoic,  $\rho$ -coumaric and gallic acids, in leaf 4-hydroxybenzoic, chlorogenic and  $\rho$ -coumaric acids, and in fruit gallic, cinnamic and  $\rho$ -coumaric acids.

**Conclusions:** The content of nutrients, minerals and phytochemicals allows to conclude that this species can constitute a source of primary metabolites, minerals, and functional compounds for human or animal consumption, as well as for obtaining by-products.

**Keywords:** Composition, native mesquite, primary metabolites, secondary metabolites.

**E**l estudio de metabolitos secundarios en hojas, tallos, semillas y frutos de diversas plantas es amplio debido a sus diferentes actividades biológicas e importancia biomédica (Sheng *et al.* 2018). Sin embargo, es de interés investigar plantas nativas y sus diferentes órganos; como es el caso de tallos, hojas, flores, frutos y semillas, que además de su aporte nutricional son fuente de compuestos fenólicos y carotenoides (González-Barron *et al.* 2020, Zapata-Campos *et al.* 2020, Maciel-De Melo *et al.* 2022); así como también, se pueden aprovechar los residuos agroindustriales, valorizarlos y disminuir el impacto al ambiente (O'Shea *et al.* 2012, Álvarez *et al.* 2019). Las especies de *Prosopis* son un recurso forestal importante para la sostenibilidad de los ecosistemas, porque contribuyen a la fijación de nitrógeno y a la conservación del suelo (Fontana *et al.* 2020, Torabian *et al.* 2019). Además, los árboles de *Prosopis* son de valor ancestral, ya que estos han proporcionado alimentos y piensos ricos en proteínas para humanos y animales (Puppo & Felker 2021). Por ejemplo, en un estudio reciente realizado en un ecosistema de matorral xerófilo, *Prosopis laevigata* constituyó alrededor del 7 % de la dieta de las cabras en invierno, razón por la cual se consideró como rica en compuestos secundarios para la nutrición animal (García-Monjaras *et al.* 2021).

*Prosopis laevigata* es una especie de la familia Fabaceae, sección *Algarobia* del género *Prosopis* con 30 especies, de la cual en México se localizan 11 especies (Palacios 2006); mide de 3 a 9 m de altura con hojas compuestas y ramas con espinas pareadas. Presenta flores amarillentas en inflorescencias que producen de uno a seis frutos (Rzedowski 2006, Grether 2007). *P. laevigata* modifica los microambientes bajo su dosel (García-Sánchez *et al.* 2012), por lo que, como las otras especies del género, tiene una gran relevancia ambiental (Mendez-Estrella *et al.* 2017, Rodríguez-Sauceda *et al.* 2019a). Además, las vainas molidas (mesocarpio, epicarpio y semillas) de *P. alba* Griseb., *P. juliflora* (Sw.) DC., *P. chilensis* (Molina) Stuntz, *P. nigra* Griseb., *P. cineraria* (L.) Druce, *P. africana* (Guill. & Perr.) Taub. y *P. tamarugo* F.Phil., por sus propiedades nutritivas y bioactivas, son un ingrediente adecuado en las formulaciones tipo pan, ya que el contenido total de proteína en harina de cotiledón llega a ser de 62 % en algunas especies (González-Quijano *et al.* 2019). Es también importante resaltar el contenido de los fitoquímicos, ya que los compuestos reportados para *Prosopis* demuestran actividad antibiótica, así como potencial en otras aplicaciones farmacéuticas (Henciya *et al.* 2017). Al respecto, se han encontrado varios fitoquímicos en raíces, tallos, vainas, frutos y semillas de algunas especies de *Prosopis* (García-Andrade *et al.* 2013, Henciya *et al.* 2017); por ejemplo, en *Prosopis cineraria*, endémica del Asia occidental, se determinó que terpenoides aislados de tallo tuvieron un potencial antidiabético utilizando un modelo *in vitro* e *in vivo* (Soni *et al.* 2018); mientras que Pérez *et al.* (2020) reportaron una alta actividad antioxidante e inhibición de enzimas asociadas con síndrome metabólico, de polifenoles extraídos de residuos de vainas de *P. nigra*. Los estudios realizados han sido principalmente en vainas secas, debido a que forman parte de la dieta para el desarrollo de animales de granja en donde se integra en cantidades menores al 40 % (Ruiz-Nieto *et al.* 2020); así como el uso de hojas para complemento de alimentación animal, previo tratamiento enzimático (Pena-Avelino *et al.* 2020). Además, al ser las especies de *Prosopis* leguminosas, son ricas en fitoquímicos (Zapata-Campos *et al.* 2020) y el fruto fresco podría utilizarse para la obtención de extractos ricos en compuestos bioactivos (Sharifi *et al.* 2019). Peña-Avelino *et al.* (2014) indican que el exomesocarpio se puede utilizar en la nutrición humana debido a sus propiedades de bajo índice glucémico; las semillas secas se podrían consumir como otras especies de leguminosas (Millar *et al.* 2019).

Por otra parte, Godínez-Álvarez *et al.* (2008) reportaron una producción promedio de 350 frutos por árbol de *Prosopis laevigata*, en el valle de Puebla. En datos más recientes se reporta que *P. laevigata* produce 3.7 ton de frutos por hectárea en zonas del Altiplano potosino (García-López *et al.* 2019); por lo que los frutos de esta especie podrían constituir una fuente accesible y sostenible para la obtención de nutrientes y fitoquímicos. Por tal motivo, el objetivo de este estudio fue analizar la composición nutricional, mineral y fitoquímica de diferentes partes de *P. laevigata*.

## Material y Métodos

**Muestra, minerales y análisis nutricional.** Las muestras de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. se obtuvieron de árboles localizados en 21° 18' 57.4" N y 101° 54' 36.2" W, delimitado entre la Sierra Madre

Occidental y la Faja Volcánica Transmexicana a 1,787 m snm. La recolección de hoja, flor y fruto se realizó de 30 árboles maduros con tomas equidistantes y dos réplicas (mayo y junio). Para el desprendimiento de las flores de las inflorescencias y de los folíolos en las hojas, estas muestras se colocaron en estufa a 35 °C por 4 h. Los frutos se cosecharon con un 75 a 100 % de color amarillo-púrpura en la cáscara; la escala de color para el corte de los frutos se cotejó con el análisis del índice de madurez (Moreno & Oyola 2016); se realizaron dos cosechas o réplicas (A, B), con tres repeticiones de muestras con 20 frutos cada una, y las determinaciones se hicieron por triplicado. Todas las muestras se homogenizaron y se congelaron a -30 °C, hasta su análisis.

En los frutos, se determinaron los sólidos solubles totales (SST) con un refractómetro Biellingham Stanley Limited (modelo Abbe 5 (44501) Reino Unido), el pH se determinó con un potenciómetro Jenco (modelo 1671, Rumania) y la acidez titulable con el método volumétrico de la AOAC (2005); también se calculó el índice de madurez (SST/acidez). En las hojas y las estructuras reproductivas (flor y fruto) se determinó el contenido de nutrientes de acuerdo con los métodos de la AOAC (2005): humedad (Método 934.06), proteína (Método 978.04), grasa (Método 950.54), cenizas (Método 940.26), fibra cruda (Método 920.169) y los carbohidratos fueron calculados por diferencia, realizando el análisis por triplicado. El contenido de minerales se determinó en la hoja, fruto entero y en semilla, por espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente, en el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. Se analizaron macroelementos (calcio, potasio, azufre, manganeso y fósforo) y microelementos (cobre, hierro, manganeso, y zinc).

*Determinación de compuestos fitoquímicos.* Los fitoquímicos se evaluaron en hoja, flor y fruto. Se determinaron fenoles solubles con el método de Montreau (1972); polifenoles hidrolizables con el método de Hartzfeld *et al.* (2002), taninos condensados con el método de Reed (2001) y alcaloides totales (ALK) de acuerdo con el método de Ontiveros-Rodríguez *et al.* (2018). Además, se identificó el perfil y contenido de los fenoles solubles por cromatografía líquida de alta resolución siguiendo la metodología de Aguilar-Hernández *et al.* (2019). Se usó una columna C-18 (Thermo Scientific, Sunnyvale, CA, USA) y 10 µL de muestra. Como fase móvil se usó agua acidificada con ácido acético al 2 % (eluyente A) y agua acidificada (ácido acético al 0.5 %)-metanol (10:90, eluyente B) en gradiente: 0 % B; 0-35 min, 35 % B; 35-55 min, 75 % B; 55-60 min, 100 % B; 60-70 min; 0 % B, a un flujo de 0.4 ml/min. Las áreas de los picos de las muestras se detectaron a 280 y 320 nm. Se realizaron curvas patrón con estándares de polifenoles.

*Modelo estadístico.* La unidad experimental fue muestra compuesta obtenida de 30 árboles jóvenes mayores a 5 años (determinación no reportada en este artículo, de acuerdo con sus datos dasométricos), recolectada después de la floración y del rebrote de hojas, se cortaron en tres partes equidistantes por árbol. Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza ( $P < 0.05$ ) y pruebas de medias por Tukey HSD, usando el software Statgraphics Centurion (versión XVII, Virginia, USA), en todos los análisis se verificó la normalidad de los datos con los valores de sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada determinados por el software estadístico.

## Resultados

El fruto cosechado se describe como simple, seco, polispermo, indehiscente y monocarpelar. No hubo diferencias ( $P > 0.05$ ) en los SST ( $35.06 \pm 1.12$ ), el pH ( $5.12 \pm 0.17$ ) y la acidez ( $0.34 \pm 0.07$ ) entre las réplicas de los frutos, ni entre las repeticiones (Tabla 1). El promedio general del índice de madurez fue de 109.83.

En la Tabla 2 se observa que hubo diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la composición nutricional de cada órgano. La flor presentó un mayor contenido de humedad, proteínas, grasas, cenizas y carbohidratos, seguido de la hoja y el fruto; en cambio el contenido de fibra cruda fue mayor en el fruto. El contenido de minerales también fue estadísticamente diferente ( $P < 0.05$ ; Tabla 3) entre los frutos, semillas y hojas. Las hojas mostraron la mayor concentración de los macronutrientes fósforo y magnesio; el fruto tuvo la mayor concentración en potasio y en la semilla se encontró la mayor concentración de calcio. En cuanto a los micronutrientes (cobre, hierro, manganeso y zinc) la mayor concentración se encontró en la hoja.

**Tabla 1.** Parámetros fisicoquímicos e índice de madurez frutos de *Prosopis laevigata*.

Réplica-Repetición	Variables fisicoquímicas del fruto			Índice de madurez
	SST (°Brix)	pH	Acidez (%)	SST/Acidez
A-1	35.67 ± 0.05a	5.25 ± 0.01a	0.30 ± 0.05a	124.00 ± 21.21a
A-2	34.00 ± 0.13a	5.17 ± 0.01a	0.28 ± 0.13a	135.50 ± 61.52a
A-3	36.17 ± 0.29a	5.32 ± 0.01a	0.30 ± 0.05a	119.50 ± 19.09a
B-1	33.50 ± 0.00a	4.85 ± 0.01a	0.47 ± 0.03a	70.50 ± 4.95a
B-2	34.50 ± 0.00a	5.17 ± 0.01a	0.29 ± 0.01a	117.00 ± 2.83a
B-3	36.50 ± 0.00a	4.95 ± 0.01a	0.39 ± 0.03a	92.50 ± 7.78a
Promedio general	35.06 ± 1.12	5.12 ± 0.17	0.34 ± 0.07	109.83 ± 21.80

SST (Sólidos solubles totales), A (réplica uno), B (réplica dos). Los valores son la media y la desviación estándar. Letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ).

**Tabla 2.** Composición nutricional de estructuras reproductivas (flor y fruto) y vegetativa (hoja) de árboles de *Prosopis laevigata*.

Estructuras	Variables evaluadas (g/100 g base seca)					
	Humedad	Proteínas	Grasas	Cenizas	Carbohidratos	Fibra cruda
Hoja	15.50 ± 0.14b	17.75 ± 2.81b	0.07 ± 0.54c	5.05 ± 0.96b	37.97 ± 0.01c	23.66 ± 0.01b
Flor	19.27 ± 0.14a	20.36 ± 2.81a	1.69 ± 0.54a	5.87 ± 0.96a	43.46 ± 0.01a	9.35 ± 0.01c
Fruto	10.61 ± 0.14c	12.45 ± 2.81c	1.26 ± 0.54b	3.62 ± 0.96c	39.85 ± 0.01b	32.21 ± 0.01a

Los valores son la media y la desviación estándar. Letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes ( $P < 0.05$ ).

**Tabla 3.** Contenido de minerales en hoja, fruto y semilla de *P. laevigata*.

	Macronutrientes (mg/kg base seca)		
	Hoja	Fruto	Semilla
Ca	753.25 ± 0.50b	675.98 ± 0.38b	2,186.16 ± 0.50 a
P	2,575.53 ± 0.48a	497.86 ± 0.50b	492.38 ± 0.50c
K	15,423.74 ± 0.50b	20,102.31 ± 0.50a	1,372.71 ± 0.50c
Mg	308.16 ± 0.47a	175.39 ± 0.14c	182.85 ± 0.14b
	Micronutrientes (mg/kg base seca)		
Cu	3.40 ± 0.01a	3.62 ± 0.00b	2.90 ± 0.00c
Fe	25.23 ± 0.01a	7.34 ± 0.01c	8.06 ± 0.01b
Mn	24.11 ± 0.02a	1.46 ± 0.00c	5.38 ± 0.00b
Zn	28.75 ± 0.01a	7.27 ± 0.02c	9.94 ± 0.02b

Los valores son media y desviación estándar. Las letras iguales en la misma fila no son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ).

La concentración de fenoles solubles, polifenoles hidrolizables, taninos condensados y alcaloides totales varió ( $P < 0.05$ ) dependiendo del órgano (Tabla 4). En la flor se encontró el mayor contenido de fenoles solubles, hidrolizables y alcaloides seguido de la hoja y fruto; mientras que la mayor concentración de taninos condensados se encontró en el fruto y la menor concentración en la flor (Tabla 4).

La suma del contenido de cada compuesto fenólico identificado en la flor, hoja o fruto (Tabla 5), coincidió con la suma total de compuestos polifenoles de cada órgano (Tabla 4). Sin embargo, el perfil y cantidad de cada compuesto fenólico dependió de cada materia prima evaluada. No obstante, se observó un contenido mayor de compuestos

fenólicos (522.19 µg/g bs) en la flor comparado con la hoja (497.03 µg/g bs) y el fruto (390.79 µg/g bs). Cabe resaltar que en la flor se encontraron los ácidos siríngico, 4-hidroxibenzoico, gálico, *p*-coumárico y ácido cafeico; en la hoja los ácidos 4-hidroxibenzoico, protocateico, *p*-coumárico, neoclorogénico, clorogénico y cafeico; mientras que en el fruto los ácidos siríngico, 4-hidroxibenzoico, gálico, cinámico, protocateico, *p*-coumárico y clorogénico.

**Tabla 4.** Compuestos fenólicos y alcaloides totales determinados en *Prosopis laevigata*.

Compuestos fenólicos (mg/g base seca)	Estructura		
	Hoja	Flor	Fruto
Fenoles solubles totales	6.22 ± 2.30b	9.31 ± 2.81a	3.94 ± 5.70c
Polifenoles hidrolizados	14.68 ± 2.16b	25.56 ± 7.19a	15.85 ± 4.23b
Taninos condensados	3.66 ± 1.38ab	2.11 ± 0.35b	4.50 ± 0.78a
Compuestos fenólicos totales	24.56.b	36.98a	24.29b
Alcaloides totales (µg/g base seca)	10.72 ± 5.35b	20.63 ± 10.10a	9.59 ± 4.83b

Los valores son la media y la desviación estándar. Letras iguales en la misma fila no son estadísticamente diferentes ( $\alpha = 0.05$ ).

**Tabla 5.** Cuantificación de fenoles solubles totales por HPLC en hoja, flor y fruto de *Prosopis laevigata*.

Compuesto fenólico	TR (min)	nm	Concentración (µg/g base seca)		
			Hoja	Flor	Fruto
Ácido siríngico	40-42	280	NP	6.39 ± 3.27a	5.05 ± 3.04a
Ácido 4-hidroxibenzoico	30-31	280	68.57 ± 7.44b	112.40 ± 15.61a	55.29 ± 12.50b
Ácido gálico	14	280	ND	78.50 ± 45.79a	123.37 ± 57.09a
Ácido cinámico	57	290	ND	ND	88.16 ± 31.36
Ácido protocateico	22-23	300	6.36 ± 1.57a	ND	1.16 ± 0.06b
Ácido <i>p</i> -coumárico	45-47	310	103.80 ± 35.11b	322.56 ± 49.83a	76.89 ± 8.06b
Ácido neoclorogénico	24-25	310	1.70 ± 1.30	ND	ND
Ácido clorogénico	25-36	320	228.49 ± 86.42a	ND	40.87 ± 10.45b
Ácido cafeico	37-38	320	88.11 ± 16.77a	32.34 ± 12.48b	ND
Total			497.03b	522.19a	390.79c

TR (Tiempo de retención), nm (nanómetros), ND (no detectado). Los valores son la media y la desviación estándar. Letras iguales en la misma fila no son estadísticamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

## Discusión

Las réplicas de frutos de *Prosopis laevigata* se cosecharon en el mismo estado de madurez, y esto se demostró debido a que no se encontraron diferencias significativas en los SST, pH y acidez. El valor del índice de madurez encontrado indicó que la pulpa de los frutos de *P. laevigata* se encuentran estado de madurez de consumo, ya que en los frutos maduros la concentración de azúcares aumenta y la acidez disminuye, por ende, la relación de SST/acidez es alta (OCDE 1998). Además, se puede discutir que los frutos de *P. laevigata* en estado de madurez de consumo, tienen mayor contenido de antocianinas ya que se observó mayor pigmentación de colores púrpura en el pericarpio de los frutos, pigmentación que se degrada en la senescencia, tomando un color amarillo pálido. Esta síntesis de antocianinas se ha reportado, en frutos maduros de *Prosopis* sp. (González-Quijano *et al.* 2019)

El mayor contenido de proteínas, grasas, cenizas y carbohidratos en la flor, se atribuye a que en este órgano se concentra el mayor contenido de nutrientes debido que son utilizados para el desarrollo del fruto; mientras que el

menor contenido de estos nutrientes en las hojas, comparado con las flores, solo son necesarios para llevar a cabo la respiración, transpiración y fotosíntesis (Katz *et al.* 2005). En lo referente a los frutos, el menor contenido de los nutrientes ya mencionados, se asocia al estado de madurez en el que se evaluó, ya que el fruto durante su proceso de maduración utiliza los nutrientes de reserva para alcanzar la madurez de consumo (Kader 1992). Sin embargo, se cuantificó mayor contenido de fibra cruda en el fruto, y se relaciona a la presencia del pericarpio y tegumento de la semilla, que no están presentes ni en la flor, ni en la hoja. La cantidad de fibra cruda encontrada en el fruto de este experimento es diferente al reportado en *Prosopis laevigata*, con un contenido de entre 7.73 y 54.4 g/100 g base seca (Peña-Avelino *et al.* 2014, Díaz-Batalla *et al.* 2018, González-Quijano *et al.* 2019). Esto se atribuye a las diferencias entre especies, clima y contenido de nutrientes del suelo (Villagra *et al.* 2010). Es de resaltar que la hoja, flor y fruto de *P. laevigata* son ricos en carbohidratos y proteínas. Los resultados coinciden con el alto contenido de proteínas reportado en hojas de *P. chilensis* y *P. flexuosa* DC. (Vilela & Ravetta 2000), y en frutos de *P. cineraria* (Garg *et al.* 2021). La conjunción de hojas, flor y fruto puede ser utilizada para la obtención de péptidos con potencial biológico (García *et al.* 2017, García-López *et al.* 2019) y como alimento para animales de granja (Peña-Avelino *et al.* 2014, De Souza *et al.* 2019, Ruiz-Nieto *et al.* 2020). Además, el fruto podría incluirse en la dieta como fuente de fibra dietética, así como por las propiedades de bajo índice glucémico del exomesocarpo (Peña-Avelino *et al.* 2014); también, podría usarse en la formulación de productos de panificación, como otras leguminosas ricas en proteínas (González-Montemayor *et al.* 2019).

El contenido de macro y microelementos depende de patrones macro ecológicos, así como las diferentes latitudes en las que crece la planta (Elser *et al.* 2010). La mayor concentración de fósforo, magnesio, hierro, manganeso y zinc en la hoja está relacionado a que la hoja es el órgano con mayor actividad fotosintética, a diferencia de los frutos (Luo *et al.* 2020). Se ha demostrado que los minerales se encuentran en mayor concentración en hoja debido a que son los órganos principales donde se distribuyen los nutrientes, después de haber sido absorbidos por la raíz, lo que a su vez garantiza el flujo de nutrientes en la planta completa (Zhao *et al.* 2016). Rodríguez *et al.* (2019b) reportaron un contenido estequiométrico de potasio, calcio, magnesio y hierro en *Prosopis alba*, similar al que se registró en *P. laevigata* de nuestra investigación. Además, la relación estequiométrica fósforo:potasio para hojas de *P. laevigata* fue de 5.88 y corresponde a una característica propia de las plantas leñosas en zonas áridas (Luo *et al.* 2020), ligeramente mayor al 3.5 reportados para varias especies de zonas desérticas (Luo *et al.* 2020).

El contenido de minerales encontrado en las hojas, frutos y semillas denota que no existen deficiencias de minerales en estos órganos del árbol. Sin embargo, desde el punto de vista nutricional, la pulpa de los frutos y semillas de *P. laevigata* podrían constituir una fuente importante de minerales, para el consumo animal y humano. Esto coincide con Pérez *et al.* (2020), quienes concluyeron que los subproductos de fruto de *P. nigra* son fuente de minerales para consumo humano.

En la flor se encontró el mayor contenido de compuestos fenólicos y alcaloides. Resultados similares se encontraron en inflorescencia de *Inula helenium* L., donde se registró un 30 % más de compuestos polifenólicos que en hojas y raíces (Zlatic *et al.* 2019). De manera similar, en flores de *Agastache rugosa* (Fisch. & C.A.Mey.) Kuntze se reporta una mayor concentración de metabolitos secundarios que en tallos y hojas (Yeo *et al.* 2021). Esto se explica por las diferencias en estructuras morfológicas y etapas ontogénicas, por ende, la velocidad en que se sintetizan los diferentes metabolitos secundarios de cada órgano en particular, es distinta. Se reporta que, en la flor, la síntesis de compuestos fenólicos es mayor debido a que éstos atraen a insectos polinizadores; así mismo, tanto los polifenoles como los alcaloides tienen la función de proteger a la flor de microorganismos e insectos-plaga para asegurar el desarrollo del fruto; aunque, la síntesis de estos metabolitos secundarios en hojas y frutos, tienen la misma función (Zlatic *et al.* 2019, Yeo *et al.* 2021). Se han encontrado varios metabolitos secundarios en hojas de varias especies de *Prosopis* (García-Andrade *et al.* 2013, Henciya *et al.* 2017); entre los compuestos reportados están saponinas, terpenos, compuestos fenólicos, esteroides y alcaloides (Muhammad *et al.* 2013, Hassan *et al.* 2019). En el presente trabajo, la concentración de fenoles solubles e hidrolizables en hojas de *P. laevigata*, fue mayor que lo registrado por otros autores (García-Andrade *et al.* 2013, Zapata-Campos *et al.* 2020); coincide en el contenido de alcaloides reportado (Delgado-Altamirano *et al.* 2017, Delgado-Núñez *et al.* 2020), pero el contenido de taninos condensados

es menor (Zapata-Campos *et al.* 2020). Por otra parte, el contenido de polifenoles totales en fruto encontrado en este estudio fue mayor al encontrado en frutos de *Prosopis* en otras investigaciones (Gallegos-Infante *et al.* 2013, González-Quijano *et al.* 2019). Respecto a la identificación y cuantificación de compuestos fenólicos específicos, cabe resaltar que este es el primer reporte donde se identifican y cuantifican compuestos fenólicos en la flor de *P. laevigata*. Sin embargo, coincide con la identificación de ácidos cafeico y  $\rho$ -coumárico en otro tipo de flores comestibles (Stefaniak & Grzeszczuk 2019). Respecto a las hojas de *P. laevigata*, se han reportado ácidos fenólicos (ácidos gálico y coumárico) y flavonoides derivados de la quercetina, galocatequinas, epicatequinas, rutina y naringenina (García-Andrade *et al.* 2013, Zapata-Campos *et al.* 2020). Mientras que en vainas de *Prosopis* sp., se encontraron los ácidos gentístico, vanílico y ferúlico (González-Quijano *et al.* 2019). En este trabajo no se detectaron en hojas y frutos, los ácidos fenólicos y flavonoides que se han reportado, excepto el ácido  $\rho$ -coumarico. Las diferencias entre el contenido y tipo de compuestos fenólicos obtenidos en este trabajo y otras investigaciones podrían deberse a que se usaron condiciones de proceso y solventes de extracción distintas, así como es posible que estados de madurez diferentes. Así mismo, puede afectar los factores abióticos en donde se desarrolla la especie, ya que la variación de las condiciones ambientales como la temperatura, la radiación solar y el suministro de agua tienen influencia en síntesis de fitoquímicos en frutos (Rossi *et al.* 2007). Por lo anterior, es importante caracterizar cada especie de estudio en diferentes regiones de México, ya que los factores abióticos son diferentes.

Por otro lado, es importante mencionar que los extractos a partir de hojas de *Prosopis laevigata* han sido estudiadas *in vitro* para demostrar actividades biológicas tales como antiplasmodiales, antipiréticos, antiinflamatorios, antimicrobianos, anticancerígenos, antidiabéticos y cicatrizantes (García-Andrade *et al.* 2013, Delgado-Altamirano *et al.* 2017, Sharifi *et al.* 2019, Delgado-Núñez *et al.* 2020). Sin embargo, hacen falta más estudios sobre caracterización química, ensayos *in vivo* y clínicos para darle mayor valor medicinal y farmacéutico a esta especie.

*Prosopis laevigata* ha sido estudiada como una especie forestal, dejando de lado que es una leguminosa que produce frutos en vaina que se pueden consumir en su madurez, con una composición y usos poco valorados en la actualidad. Nuestros resultados brindan información sobre la composición química de *P. laevigata* (flor, fruto, hoja) lo que permite sugerir que esta especie aclimatada a la región semidesértica en un ecosistema de bosque espinoso podría constituir una fuente de metabolitos primarios, minerales y compuestos funcionales sustentable para el consumo humano o animal, así como para la obtención de subproductos. Y como ocurre en otros frutos, se infiere que la composición química y fitoquímica está relacionada con su índice de madurez, así como por los factores abióticos.

## Agradecimientos

Al Laboratorio de Bromatología y Nutrición del Laboratorio Integral de Alimentos del Instituto Tecnológico de Tepic.

## Literatura citada

- Aguilar-Hernández G, García-Magaña ML, Vivar-Vera MA, Sáyago-Ayerdi SG, Sánchez-Burgos JA, Morales-Castro J, Anaya-Esparza LM, Montalvo-González E. 2019. Optimization of Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from *Annona muricata* by-products and pulp. *Molecules* **24**: 904-919. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24050904>
- Álvarez MV, Cabred S, Ramirez CL, Fanovichb M. 2019. Valorization of an agroindustrial soybean residue by supercritical fluid extraction of phytochemical compounds. *The Journal of Supercritical Fluids* **143**: 90-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.07.012>
- AOAC [Association of Officiating Analytical Chemists]. 2005. *Official method of analysis of AOAC international*. 15th Edition. Washington, DC. ISBN: 0935554-77-3
- De Souza AM, Silva AT, Felix-Silva A, Campeche DFB, Melo JFB, Vidal LVO. 2019. Mesquite bean (*Prosopis juliflora*) meal in diets of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): Nutritional value, growth, physiological responses and health. *Aquaculture Research* **50**: 49-62. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13867>

- Delgado-Altamirano R, Monzote L, Piñón-Tápanes A, Vibrans H, Rivero-Cruz JF, Ibarra-Alvarado C, Rojas-Molina A. 2017. *In vitro* antileishmanial activity of Mexican medicinal plants. *Heliyon* **3**: 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00394>
- Delgado-Núñez EJ, Zamilpa A, González-Cortazar M, Olmedo-Juárez A, Cardoso-Taketa A, Sanchez-Mendoza E, Tapia Mauri D, Salinas-Sánchez DO, Mendoza-de Gives P. 2020. Isorhamnetin: A nematocidal flavonoid from *Prosopis laevigata* leaves against *Haemonchus contortus* eggs and larvae. *Biomolecules* **10**: 773. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10050773>
- Díaz-Batalla L, Hernández-Uribe JP, Gutiérrez-Dorado R, Téllez-Jurado A, Castro-Rosas J, Pérez-Cadena R, Gómez-Aldapa CA. 2018. Nutritional characterization of *Prosopis laevigata* legume tree (mesquite) seed flour and the effect of extrusion cooking on its bioactive components. *Foods* **7**: 2-9. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods7080124>
- Elser JJ, Fagan WF, Kerkhoff AJ, Swenson NG, Enquist BJ. 2010. Biological stoichiometry of plant production: metabolism, scaling and ecological response to global change. *New Phytologist* **186**: 593-608. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03214.x>
- Fontana ML, Pérez VR, Luna CV. 2020. Efecto de la procedencia sobre el comportamiento productivo de *Prosopis alba* en plantación. *Acta Agronómica* **69**: 68-74. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v69n1.79711>
- Gallegos-Infante JA, Rocha-Guzmán NE, González-Laredo RF, Garcia-Casas MA. 2013. Efecto del procesamiento térmico sobre la capacidad antioxidante de pinole a base de vainas de mezquite (*Prosopis laevigata*). *CyTA - Journal of Food* **11**: 162-170. DOI: <https://doi.org/10.1080/19476337.2012.712057>
- García EM, Cherry N, Lambert BD, Muir JP, Nazareno MA, Arroquy JI. 2017. Exploring the biological activity of condensed tannins and nutritional value of tree and shrub leaves from native species of the Argentinean Dry Chaco. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **97**: 5021-5027. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8382>
- García-Andrade M, González-Laredo RF, Rocha-Guzmán NE, Gallegos-Infante JA, Rosales-Castro M, Medina-Torres L. 2013. Mesquite leaves (*Prosopis laevigata*), a natural resource with antioxidant capacity and cardioprotection potential. *Industrial Crops and Products* **44**: 336– 342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.030>
- García-López J, Durán-García HM, De Nova JA, Álvarez-Fuentes G, Pinos Rodríguez JM, Lee- Rangel HA, López-Aguirre S, Ruiz-Tavares R, Rendón-Huerta J, Vicente-Martínez JG, Salinas-Rodríguez M. 2019. Producción y contenido nutrimental de vainas de tres variantes de mezquite (*Prosopis laevigata*) en el Antiplano potosino, México. *Agrociencia* **53**: 821-831. DOI: <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1846>
- García-Monjaras S, Santos-Díaz RE, Flores-Najera MJ, Cuevas-Reyes V, Meza-Herrera CA, Mellado M, Chay-Canul AJ, Rosales-Nieto CA. 2021. Diet selected by goats on xerophytic shrubland with different milk yield potential. *Journal of Arid Environments* **186**: 104429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104429>
- García-Sánchez R, Camargo-Ricalde SL, García Moya E, Luna-Cavazos M, Romero-Manzanares A, Montañón NM. 2012. *Prosopis laevigata* and *Mimosa biuncifera* (Leguminosae), jointly influence plant diversity and soil fertility of a Mexican semiarid ecosystem. *Revista de Biología Tropical* **60**: 87-103.
- Garg D, Chakraborty S, Gokhale JS. 2021. Optimizing the extraction of protein from *Prosopis cineraria* seeds using response surface methodology and characterization of seed protein concentrate. *LWT Food Science and Technology* **117**: 108630. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108630>
- Godínez-Álvarez H, Jiménez M, Mendoza M, Pérez F, Roldán P, Ríos-Casanova L, Lira R. 2008. Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* **79**: 393- 403.
- González-Barron U, Dijkshoorn R, Maloncy M, Finimundy T, Calhelha RC, Pereira C, Stojković D, Soković M, Ferreira ICFR, Barros L, Cadavez V. 2020. Nutritive and bioactive properties of mesquite (*Prosopis pallida*) flour and its technological performance in breadmaking. *Foods* **9**: 1-25. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9050597>
- González-Montemayor ÁM, Flores-Gallegos AC, Contreras-Esquivel, JC, Solanilla-Duque JF, Rodríguez-Herrera R. 2019. *Prosopis* spp. functional activities and its applications in bakery products. *Trends in Food Science & Technology* **94**: 12-19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.023>
- González-Quijano GK, Arrieta-Báez D, Dorantes-Álvarez L, Aparicio-Ozones G, Guerrero Legarreta L. 2019. Efec-

- to del método de extracción en el contenido de fitoestrógenos y principales fenólicos en los extractos de la vaina de mezquite (*Prosopis* sp.). *Revista Mexicana de Ingeniería Química* **18**: 303-312. DOI: <https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n1/Gonzalez>
- Grether R. 2007. *Prosopis* L. emend. Burkart, familia Leguminosae. *Flora del bajo y de las regiones adyacentes*. **150**: 202-209.
- Hartzfeld PW, Forkner R, Hunter MD, Hagerman AE. 2002. Determination of hydrolyzable tannins (gallotannins and ellagitannins) after reaction with potassium iodate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **50**, 1785-1790. <https://doi.org/10.1021/jf0111155>
- Hassan SM, Taha AM, Eldahshan OA, Sayed AA, Salem AM. 2019. Modulatory effect of *Prosopis juliflora* leaves on hepatic fibrogenic and fibrolytic alterations induced in rats by thioacetamide. *Biomedicine & Pharmacotherapy* **115**: 108788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.108788>
- Henciya S, Seturaman P, James AR, Tsai YH, Nikam R, Wu YC, Dahms HU, Chang FR. 2017. Biopharmaceutical potentials of *Prosopis* spp. (Mimosaceae, Leguminosa). *Journal of Food and Drug Analysis* **25**: 187-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.11.001>
- Kader AA. 1992. Postharvest biology and technology: an overview. In: Kader AA. eds. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. California, USA: Universidad de California, pp. 39-48.
- Katz E, Riov J, Weiss D, Goldschmidt EE. 2005. The climacteric-like behavior of young, mature and wounded citrus leaves. *Journal of Experimental Botany* **56**: 1359-1367. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eri137>
- Luo Y, Peng Q, He M, Zhang M, Liu Y, Gong Y, Eziz A, Li K, Han W. 2020. N, P and K stoichiometry and resorption efficiency of nine dominant shrub species in the deserts of Xinjiang, China. *Ecological Research* **35**: 625-637. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/1440-1703.12111>
- Maciel-De Melo CA, Maciel-De Melo, Ferreira da Silva AV, Da Silva-Neto GJ, Turola-Barbi RC, Ikeda M, Benatti-Silva G, Joy-Steel C, Soares-Da Silva O. 2022. Mesquite (*Prosopis juliflora*) grain flour: New ingredient with bioactive, nutritional and physical-chemical properties for food applications. *Future Foods* **5**: 100114 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100114>
- Mendez-Estrella R, Romo-León JR, Castellanos AE. 2017. Mapping changes in carbon storage and productivity services provided by riparian ecosystems of semi-arid environments in northwestern Mexico. *International Journal of Geo-Information* **6**: 298-325. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi6100298>
- Millar KA, Gallagher E, Burke R, McCarthy S, Barry-Ryan C. 2019. Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis* **82**: 1-8 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103233>
- Montreau F. 1972. Sur le dosage des composés phénoliques totaux dans les vins par la methode Folin-Ciocalteu. *Connaiss Vigne Vin* **24**, 397-404.
- Muhammad I, Muhammad N, Amanat A, Viqar UA, Munawwer R. 2013. Phytochemical analyses of *Prosopis juliflora* (Swartz) DC. *Pakistan Journal of Botany* **45**: 2101-2104.
- OCDE [Organización de Cooperación y Desarrollo]. 1998. Scheme for the application of international standards for fruit and vegetables. Guía De Pruebas Objetivas Para Determinar La Madurez De La Fruta. <https://www.oecd.org/tad/code/32022743.pdf> (Accessed 11.02.22).
- Ontiveros-Rodríguez JC, Burgueño-Tapia E, Porrás-Ramírez J, Joseph-Nathan P, Zepeda LG. 2018. Configurational study of an aporphine alkaloid from *Annona purpurea*. *Natural Product Communications* **13**: 831-836. DOI: <https://doi.org/10.1177/1934578X1801300711>
- O'Shea N, Arendt EK, Gallagher E. 2012. Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **16**: 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.06.002>
- Palacios RA. 2006. Los mezquites mexicanos: Biodiversidad y distribución geográfica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* **41**: 99-121.
- Pena-Avelino L, Ceballos-Olvera I, Alva-Pérez J, Vicente J, Pinos-Rodríguez J. 2020. Effects of mesquite (*Pro-*

- sopis laevigata*) pods as a potential feed material for kids. *Veterinari Medicina* **65**: 289-296. DOI: <https://doi.org/10.17221/106/2019-VETMED>
- Peña-Avelino LY, Pinos-Rodríguez JM, Yáñez-Estrada L, Juárez Flores BI, Mejía R, Andrade-Zaldivar H. 2014. Chemical composition and *in vitro* degradation of red and white mesquite (*Prosopis laevigata*) pods. *South African Journal of Animal Science* **44**: 298-306. DOI: <https://doi.org/10.4314/sajas.v44i3.12>
- Pérez MJ, Rodríguez IF, Zampini IC, Cattaneo F, Mercado MI, Ponessa G, Isla MI. 2020. *Prosopis nigra* fruits waste characterization, a potential source of functional ingredients for food formulations. *LWT Food Science and Technology* **132**: 109828. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109828>
- Puppo MA, Felker P. 2021. *Prosopis as a Heat Tolerant Nitrogen Fixing Desert Food Legume. Prospects for Economic Development in Arid Lands*. USA: Academic Press. ISBN: 9780128233207
- Reed JD. 2001. Effects of Proanthocyanidins on digestion of fiber in forages. *Journal of Range Management* **54**: 466-473. DOI: <http://doi.org/10.2307/4003118>
- Rodríguez-Sauseda EN, Argente-Martínez L, Morales Coronado D. 2019a. Water regime and gas exchange of *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M. C. Johnst. in two semi-arid ecosystems in southern Sonora. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* **25**: 107-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rch-scfa.2018.09.068>
- Rodríguez IF, Pérez MJ, Cattaneo F, Zampini IC, Cuello AS, Mercado MI, Ponessa G, Isla MI. 2019b. Morphological, histological, chemical, and functional characterization of *Prosopis alba* flours of different particle sizes. *Food Chemistry* **274**: 583-591. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.024>
- Rossi CA, De León M, González GL, Pereyra AM. 2007. Presencia de metabolitos secundarios en el follaje de diez leñosas de ramoneo en el bosque xerofítico del Chaco árido argentino. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* **7**: 133-143.
- Ruiz-Nieto JE, Hernández-Ruiz J, Hernández-Martín J, Mendoza-Carrillo J, Abraham-Juárez M, Isiordia Lachiga PM, Mireles-Arriaga AI. 2020. Mesquite (*Prosopis* spp.) tree as a feed resource for animal growth. *Agroforestry Systems* **94**: 1139-1149. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00481-x>
- Rzedowski J. 2006. *Vegetación de México, Bosque espinoso*, DF, México: Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO). [https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx\\_Cont.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf) (acceso diciembre 2, 2020).
- Sharifi RJ, Kobarfard F, Ata A, Ayatollahi SA, Khosravi DN, Jugran AK, Tomas M, Capanoglu E, Matthews KR, Popović DJ, Kostić A, Kamiloglu S, Sharopov F, Choudhary MI, Martins N. 2019. *Prosopis* plant chemical composition and pharmacological attributes: Targeting clinical studies from preclinical evidence. *Biomolecules* **9**: 777. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom9120777>
- Sheng S, Li T, Liu RH. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness* **7**: 185-195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.09.003>
- Soni LK, Dobhal MP, Arya D, Bhagour K, Parasher P, Gupta RS. 2018. *In vitro* and *in vivo* antidiabetic activity of isolated fraction of *Prosopis cineraria* against streptozotocin-induced experimental diabetes: A mechanistic study. *Biomedicine & Pharmacotherapy* **108**: 1015-1021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.09.099>
- Stefaniak A, Grzeszczuk ME. 2019. Nutritional and biological value of five edible flower species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanic Cluj-Napoca* **47**: 128-134. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha47111136>
- Torabian S, Farhangi-Abriz S, Denton MD. 2019. Tillage systems influence nitrogen fixation in legumes? A review. *Soil and Tillage Research* **185**: 113-121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.09.006>
- Vilela AE, Ravetta DA. 2000. El efecto de la radiación sobre el crecimiento y la fisiología de las plántulas en cuatro especies de *Prosopis* L. (Mimosaceae). *Journal of Arid Environments* **44**: 415-423. DOI: <https://doi.org/10.1006/jare.1999.0604>
- Villagra PE, Vilela A, Giordano C, Álvarez JA. 2010. Ecophysiology of *Prosopis* species from the arid lands of Argentina: what do we know about adaptation to stressful environments? In: Ramawat K. eds. *Desert Plants Biology and Biotechnology*. Dordrecht: Springer Heidelberg, pp. 322-336. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-02550-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02550-1_15)

- Yeo HJ, Park CH, Park YE, Hyeon H, Kim JK, Lee SY, Park SU. 2021. Metabolic profiling and antioxidant activity during flower development in *Agastache rugosa*. *Physiology and Molecular Biology of Plants* **27**: 445-455. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00945-z>
- Zapata-Campos C, García-Martínez JE, Salinas-Chavira J, Ascacio-Valdés JA, Medina Morales MA, Mellado M. 2020. Chemical composition and nutritional value of leaves and pods of *Leucaena leucocephala*, *Prosopis laevigata* and *Acacia farnesiana* in a xerophilous shrubland. *Emirates Journal of Food and Agriculture* **32**: 723-730. DOI: <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i10.2148>
- Zhao N, Yu G, He N, Xia F, Wang Q, Wang R, Xu Z, Jia Y. 2016. Invariant allometric scaling of nitrogen and phosphorus in leaves, stems, and fine roots of woody plants along an altitudinal gradient. *Journal of Plant Research* **129**: 647-657. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10265-016-0805-4>
- Zlatic N, Jakovljević D, Stanković M. 2019. Temporal, plant part, and interpopulation variability of secondary metabolites and antioxidant activity of *Inula helenium* L. *Plants* **8**: 179-189. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8060179>

---

**Editor de sección:** Juan Rodrigo Salazar

**Contribución de los autores:** LGA realizó estudio de campo, recolección y procesamiento de muestras, análisis de laboratorio, análisis de datos y redacción de documento; EMG conocimiento y técnicas para el trabajo de laboratorio e interpretación de resultados, revisó el documento arduamente, SLC recomendó en la planeación de trabajo de campo y selección de muestras, revisó el documento.