



Evaluación fenólica y antioxidante en madera de *Prosopis laevigata* y corteza de *Acrocarpus fraxinifolius*

Phenolic and antioxidant evaluation in *Prosopis laevigata* wood
and *Acrocarpus fraxinifolius* bark

Jorge Ibarra-Berumen¹, Cynthia Ordaz-Pichardo^{2†} y Martha Rosales-Castro^{1*}

¹ Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional - Unidad Durango. Laboratorio de Fitoquímica. Durango, Durango, México.

² Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía. Laboratorio de Biología Celular y Productos Naturales. Ciudad de México, México.

* Autora de correspondencia.
mrciidirdgo@yahoo.com

RESUMEN

Durante el aprovechamiento forestal de las especies *Prosopis laevigata* (mezquite) y *Acrocarpus fraxinifolius* (cedro rosado) se generan productos de desecho, tanto de madera como de corteza. Este material contiene metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos, con potencial en áreas farmacéuticas. Este trabajo tuvo como objetivo obtener extractos de madera de *P. laevigata* y corteza de *A. fraxinifolius*, mediante diferentes disolventes de extracción y distintas temperaturas, con el fin de encontrar las condiciones para obtener el mayor rendimiento, la mayor cantidad de fenoles, flavonoides y proantocianidinas, y su capacidad antioxidante evaluadas *in vitro* mediante FRAP, ABTS y poder reductor. Se muestra la importancia del rendimiento de extracto cuando se expresan los resultados con base en material vegetal. Se identificaron sus compuestos fenólicos mediante UPLC/MS. En madera de *P. laevigata* las mejores condiciones de extracción fueron con acetato de etilo a 60 °C para resultados con base en extracto seco, y etanol 70% y 60 °C, para resultados base madera; sus principales compuestos fueron catequina, taxifolina, eriodictol y ácido protocatequico. En corteza de *A. fraxinifolius*, el etanol 70% y temperaturas de 50 °C y 60 °C favorecieron el aumento de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante. Los principales compuestos identificados fueron ácido gálico, taxifolina, luteolina, apigenina y catequina. Los resultados brindan información sobre el uso de la madera de *P. laevigata*, hasta ahora inexplorada como fuente de compuestos fenólicos con potenciales aplicaciones en áreas farmacológicas, y sobre condiciones de extracción para mejorar la concentración de compuestos fenólicos en la corteza de *A. fraxinifolius*.

PALABRAS CLAVE: cedro rosado, etanol acuoso, mezquite, rendimiento en sólidos, solvente de extracción, UPLC/MS.

ABSTRACT

During forest harvesting of *Prosopis laevigata* (mesquite) and *Acrocarpus fraxinifolius* (pink cedar) species, waste products are generated, both of wood and bark. This material contains secondary metabolites such as phenolic compounds that have potential in pharmaceutical areas. The objective of this work was to obtain extracts of *P. laevigata* wood and *A. fraxinifolius* bark, using different extraction solvents and different temperatures, in order increase yield, phenols, flavonoids and proanthocyanidins, as well as to show the importance of yield when the results are expressed on plant material basis. The *in vitro* antioxidant capacity of the extracts was evaluated, and their phenolic compounds were identified by UPLC/MS. In *P. laevigata* wood, the best extraction conditions were with ethyl acetate at 60 °C for results based on dry extract, and ethanol 70% at 60 °C, for results based on wood. Its main compounds were catechin, taxifolin, eriodictyol, and protocatechuic acid. In *A. fraxinifolius* bark, 70% ethanol and temperatures of 50 °C and 60 °C favored the increase of phenolic compounds and the antioxidant capacity. The main compounds identified were gallic acid, taxifolin, luteolin, apigenin and catechin. The results provide information on the use of *P. laevigata* wood, so far unexplored as a source of phenolic compounds with potential applications in pharmacological areas, and on extraction conditions to improve the concentration of phenolic compounds in *A. fraxinifolius* bark.

KEYWORDS: pink cedar, aqueous ethanol, mesquite, extraction yield, extraction solvent, UPLC/MS.

INTRODUCCIÓN

Las especies *Prosopis laevigata* y *Acrocarpus fraxinifolius* pertenecen a la familia Fabaceae, la cual está conformada por 730 géneros y 19 400 especies (Erard et al., 2013). Los miembros de esta familia pueden crecer en una variedad de condiciones medioambientales y climas, como tropical, templado, bosques y desiertos.

P. laevigata, especie conocida comúnmente como mezquite, es un árbol cuya altura puede oscilar de 5 m a 10 m y un diámetro promedio de 50 cm, cuenta con una madera densa y de alta resistencia. Esta especie es arbórea y está distribuida en zonas áridas y semiáridas del noreste y centro de México (Palacios Romero et al., 2016). Esta especie como otras de este género es considerada invasiva (Nath et al., 2020); sus usos principales son obtención de carbón, postes de cercas y muebles (Carrillo et al., 2008).

A. fraxinifolius también conocido como cedro rosado, mundani or lazcar, es una especie nativa del sudeste asiático y que fue introducida a México hace varias décadas. Es un árbol de rápido crecimiento, el cual puede crecer anualmente de 1,3 m a 3 m, llegando a una altura de 25 m a 30 m. La madera es fuerte y de fácil manejo, por lo que es usada para fabricación de muebles, construcción, manufactura de cajas de té, cajas de embalaje y para dar sombra en los sistemas agroforestales. En algunos estados de México, existen plantaciones destinadas a manufactura de productos de madera (Rosales-Castro et al., 2015).

Durante el aprovechamiento maderable de *P. laevigata* y *A. fraxinifolius*, se generan residuos de madera y corteza, los cuales son considerados desechos. Estos materiales representan una fuente importante de metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos, entre otros. El uso alternativo de la madera de *P. laevigata* como fuente de compuestos químicos, con posibles aplicaciones en áreas farmacéuticas, podría diversificar el uso de estas especies. Las diferencias en las condiciones de crecimiento y el entorno pueden inducir cambios en la cantidad y diversidad de sus compuestos fenólicos (Yang et al., 2018). La extracción de estos compuestos de la matriz vegetal está influenciada por varios factores como su naturaleza

química, el método de extracción utilizado, la temperatura y el tiempo, entre otros. (Naczki y Shahidi, 2004; Xavier et al., 2021). Los compuestos fenólicos pueden tener diferentes grupos hidroxilos, los cuales pueden estar conjugados con azúcares, ácidos o grupos alquilo; en consecuencia, las polaridades de los compuestos fenólicos varían mucho, por lo que no existe un único método ni solvente para extraerlos (Ajila et al., 2010).

Existen alrededor de 8000 compuestos fenólicos vegetales naturales, de los cuales aproximadamente la mitad son flavonoides. (Vuolo et al., 2019). Las proantocianidinas son un grupo particular de flavonoides conocidos como flavan-3-ol, algunos son oligómeros de catequina y epicatequina (Rauf et al., 2019).

Se ha registrado la presencia de compuestos fenólicos en los géneros *Acrocarpus* y *Prosopis*, principalmente de hojas. En un extracto de hojas de *A. fraxinifolius*, el ácido gálico y quercetina mostraron un efecto hepatoprotector, dependiente de la concentración frente a la hepatotoxicidad inducida por CCl_4 *in vitro*, así como frente a la radiación gamma (El-Nashar et al., 2017). Flavonoides como la quercetina 3-O- β -D-glucopiranosido y otros compuestos fueron identificados en un extracto metanólico de hojas de *A. fraxinifolius*, el cual mostró actividad antimicrobiana (Wala et al., 2016). Se observó que la edad del árbol es un factor importante para incrementar el rendimiento, contenido de polifenoles, así como la capacidad antioxidante en extractos de corteza de *A. fraxinifolius* (Rosales-Castro et al., 2015).

Con respecto a *P. laevigata*, un extracto acetónico de hojas mostró efectos antihipertensivos, inhibiendo la enzima convertidora de angiotensina y protección cardiovascular, así como baja oxidación de lipoproteínas de baja densidad. (García-Andrade et al., 2013). En otro estudio se evaluó la actividad antifúngica de extractos acuosos de madera y corteza de *P. laevigata*, obtenidos por un método de extracción Soxhlet (Carrillo-Parra et al., 2012), en el que el contenido fenólico total era siete veces mayor en la madera que en la corteza, y el contenido de flavonoides era catorce veces mayor en la madera que en la corteza. Los



registros bibliográficos en ambas especies indican que sus extractos poseen un potencial farmacéutico.

OBJETIVOS

El objetivo de este estudio fue obtener extractos fenólicos de la madera de *P. laevigata* (Mezquite) y de la corteza de *A. fraxinifolius* (cedro rosado), con tres solventes de extracción, a tres temperaturas y dos tiempos, con el fin de encontrar las condiciones para incrementar el rendimiento y concentración de sus polifenoles, expresados tanto con base en extracto seco como con base en material vegetal seco, así como su capacidad antioxidante y la identificación de sus compuestos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

La madera de *P. laevigata* se recolectó en el municipio de Cuencamé, Durango, México. La corteza de *A. fraxinifolius* se recolectó en Xicotepec, Puebla, México. El material se secó bajo sombra, a temperatura ambiente (25 °C), se molió en molino de laboratorio y se tamizó a través de un tamiz Tyler malla 10. Se almacenó en refrigeración en bolsas de papel hasta su uso posterior. Se evaluó el contenido de humedad y se consideró en el procedimiento de extracción.

Reactivos químicos

Los reactivos Folin-Ciocalteu, ácido gálico, vainillina, catequina fueron utilizados para determinar los contenidos de fenoles totales, flavonoides, proantocianidinas; el Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8 tetrametilcroman-2-carboxílico), TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina se usaron para las técnicas de ABTS y FRAP. Los reactivos fueron adquiridos en Sigma-Aldrich Co. Para la identificación de compuestos se usaron estándares (grado HPLC) de Sigma-Aldrich Co. El resto de los reactivos químicos fueron de grado analítico.

Procedimiento de extracción

Las extracciones se realizaron mediante un procedimiento de maceración no secuencial. Se utilizaron como disolven-

tes de extracción acetato de etilo (AE) y metanol (MEOH), considerados selectivos para extraer compuestos fenólicos con alta capacidad antioxidante (Naczky y Shahidi, 2004; Spigno et al., 2007). Se utilizó además una mezcla de etanol-agua en relación 70:30 (ETOH), considerando futuras aplicaciones en alimentos, farmacéuticas o nutraceuticas (Rosales-Castro et al., 2015, 2017; Soto-García y Rosales-Castro, 2016). Se aplicaron temperaturas de 25 °C, 50 °C y 60 °C y una relación sólido:solvente de 1:10. Se evaluaron dos tiempos de extracción, 2 h y 24 h, considerando temperatura baja y tiempo largo (25 °C - 24 h), así como temperatura alta y tiempo corto (50 °C, 60 °C - 2 h).

A 10 g de material vegetal seco, corteza de *A. fraxinifolius* o madera de *P. laevigata* se adicionaron 100 mL de solvente, a la temperatura y tiempo descritos en la tabla 1. Transcurrido el tiempo de extracción se filtraron mediante papel Whatman No. 4 y se concentraron en rotavapor con vacío a 40 °C. Finalmente los extractos se secaron en campana de extracción a temperatura ambiente. Se calculó el rendimiento en sólidos. Para cada tratamiento y análisis se realizaron dos estudios independientes con tres repeticiones.

Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales se determinó por el método de Folin-Ciocalteu (Rosales-Castro et al., 2017). El ácido gálico se usó como estándar para elaborar la curva de calibración. Los resultados se expresan como miligramos equivalentes de ácido gálico/gramo de extracto seco (mg EAG g⁻¹_{e.s.}), así como miligramos equivalentes de ácido gálico/gramo de material vegetal (mg EAG g⁻¹_{madera} y mg EAG g⁻¹_{corteza}). Estos últimos se obtienen al multiplicar el resultado de (mg EAG g⁻¹_{e.s.}) × (rendimiento/100).

Contenido de flavonoides

El contenido de flavonoides se determinó con base en la metodología de Rosales-Castro et al. (2017). Se utilizó catequina como estándar para obtener la curva de calibración. Los resultados se expresan como miligramos equivalentes de catequina por gramo de extracto seco (mg EC g⁻¹_{e.s.}) así como miligramos equivalentes de

catequina por gramo de material vegetal ($\text{mg EC g}^{-1}_{\text{madera}}$ y $\text{mg EC g}^{-1}_{\text{corteza}}$). Este resultado se obtiene al multiplicar el valor de $(\text{mg EC g}^{-1}_{\text{e.s.}}) \times (\text{rendimiento}/100)$.

Contenido de proantocianidinas (PAC's)

El contenido de proantocianidinas se determinó de acuerdo acon Rosales-Castro et al. (2017). Se empleó catequina como estándar para obtener la curva de calibración. Los resultados se expresan como miligramos equivalentes de catequina/gramo de extracto seco ($\text{mg EC g}^{-1}_{\text{e.s.}}$), así como miligramos equivalentes de catequina/gramo de material vegetal ($\text{mg EC g}^{-1}_{\text{madera}}$ y $\text{mg EC g}^{-1}_{\text{corteza}}$). Este resultado se obtiene al multiplicar el valor de $(\text{mg EC g}^{-1}_{\text{e.s.}}) \times (\text{rendimiento}/100)$.

Capacidad antioxidante

Las metodologías utilizadas para evaluar la capacidad antioxidante de los extractos corresponden al principio de transferencia de electrones. ABTS evalúa la capacidad relativa de los compuestos antioxidantes para reducir el radical $\text{ABTS}^{\circ+}$ (forma coloreada) a su forma no coloreada

en fase acuosa, en comparación con el análogo de vitamina E Trolox. Este método es rápido y compatible con un amplio rango de pH tanto en sistemas acuosos como orgánicos, y se recomienda para muestras coloridas (Arnao, 2000). FRAP evalúa la reducción del complejo Fe^{+3} -TPTZ a pH bajo a su forma ferrosa (color azul intenso). Poder de reducción (PR) también es una técnica de transferencia de electrones en la que el ferricianuro férrico reacciona con FeCl_3 para formar un compuesto verde esmeralda. (Huang et al., 2005).

Poder reductor/antioxidante férrico (FRAP)

El poder reductor/antioxidante férrico (FRAP) se realizó con base en la metodología de Soto-García y Rosales-Castro (2016). Los extractos se diluyeron con etanol a 50% (concentración v/v) a $200 \mu\text{g mL}^{-1}$. La actividad de los extractos se calculó a partir de una curva de calibración de trolox ($50 \text{ mg L}^{-1} - 300 \text{ mg L}^{-1}$), y los resultados se expresan como miligramos equivalentes de trolox/gramo de extracto seco ($\text{mg ET g}^{-1}_{\text{e.s.}}$).

TABLA 1. Solventes y condiciones utilizadas para la obtención de extractos.

<i>Tratamiento</i>	<i>Solvente</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Tiempo (h)</i>
AE25	Acetato de etilo	25	24
AE50	Acetato de etilo	50	2
AE60	Acetato de etilo	60	2
MEOH25	Metanol	25	24
MEOH50	Metanol	50	2
MEOH60	Metanol	60	2
ETOH25	Etanol/agua 70/30 (v/v)	25	24
ETOH50	Etanol/agua 70/30 (v/v)	50	2
ETOH60	Etanol/agua 70/30 (v/v)	60	2



ABTS

La capacidad antioxidante por la técnica del ABTS se determinó de acuerdo con Soto-García y Rosales-Castro (2016). Se utilizó Trolox como estándar para elaborar una curva de calibración. Los resultados se expresan en miligramos equivalentes de Trolox/gramo de extracto seco (mg ET g⁻¹e.s.).

Poder Reductor (PR)

La determinación del poder reductor se realizó de acuerdo con (Ku y Mun (2008). Los extractos se diluyeron a 50 µg mL⁻¹. La actividad de los extractos se calculó a partir de una curva de calibración de ácido ascórbico (0 mg L⁻¹ – 300 mg L⁻¹) y los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de ácido ascórbico/g extracto seco (mg EAA g⁻¹e.s.).

UPLC/MS

UPLC/MS se analizó de acuerdo con Villegas-Novoa et al. (2019), utilizando un sistema Acquity UPLC (Waters Corp. Milford, MA, USA), columna C₁₈ (100 mm × 2,1 mm × 1,7 µm) (Water Corp., Milford, MA, USA), operado a 40 °C. El sistema UPLC se acopló a un espectrómetro de masas de triple cuadrupolo Xevo TQ-S en tándem (Waters Corp., Milford, MA, USA). Se utilizó el modo de ionización negativa.

Los compuestos se identificaron mediante la interpretación de sus espectros de masas, empleando el arreglo MS/MS, así como utilizando curvas estándar para los diferentes compuestos (ácidos fenólicos y flavonoides-Sigma-Aldrich grado HPLC), con lo cual se evaluó también su concentración relativa.

Análisis estadístico

Todos los ensayos se realizaron por triplicado, se presenta el promedio ± desviación estándar (DE). Los análisis estadísticos se realizaron con el software SAS® JMP 13. Se realizó la prueba de análisis de la varianza (ANOVA) de una vía y posteriormente la prueba de Tukey-HSD. Las diferencias con un valor de $p < 0,05$ se consideraron significativas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

El rendimiento en sólidos es un parámetro importante de considerar cuando los resultados se expresan con base en material vegetal seco, ya que afecta de forma directa a otros parámetros evaluados. Los rendimientos de los extractos de madera de *P. laevigata* y corteza de *A. fraxinifolius* se presentan en la tabla 2.

En el caso de *P. laevigata*, los extractos de AE mostraron rendimientos bajos, con un máximo de 3,2%, sin diferencias significativas en los tratamientos AE25, AE50 y AE60 ($p > 0,05$), la temperatura tampoco tuvo efecto significativo. Para los extractos MEOH el rendimiento máximo alcanzado fue 8,4%, sin diferencia estadística entre las tres temperaturas de extracción ($p > 0,05$). Los mayores rendimientos en *P. laevigata* se obtuvieron en los tratamientos ETOH, con valores de 9,5% a 10,0%. Para esta especie el solvente de extracción fue el factor más importante para alcanzar mayores rendimientos de extracto.

Para *A. fraxinifolius*, los tratamientos AE tuvieron un rendimiento similar, solo AE50 fue estadísticamente significativo con respecto a los demás ($p < 0,05$), con un valor de 14,8%. En los tratamientos MEOH, los rendimientos fueron similares a los de AE, con un rendimiento máximo de 12,8%. Los rendimientos mayores se obtuvieron con ETOH 60, con 16,2%, este valor es similar a los publicados por Rosales-Castro et al. (2015) para extractos de corteza de *A. fraxinifolius*. Para esta especie tanto el solvente como la temperatura de extracción fueron factores importantes para incrementar el rendimiento de extractos.

En ambas especies el aumento en la polaridad del solvente favoreció la disolución de los compuestos y, para los tratamientos ETOH, el aumento en la temperatura facilitó la solubilidad, lo cual puede corresponder a lo que mencionan Spigno et al., 2007 y Xavier et al., 2021, respecto a que un aumento de la temperatura de trabajo favorece la extracción mejorando tanto la solubilidad del soluto como el coeficiente de difusión.

TABLA 2. Polifenoles en madera de *P. laevigata* y corteza de *A. fraxinifolius*, expresada respecto a material vegetal seco.

Tratamiento	Rendimiento en sólidos (%)		Fenoles totales (mg EAGg ⁻¹)		Flavonoides (mg ECg ⁻¹)		PAC's (mg ECg ⁻¹)	
	<i>P. laevigata</i>	<i>A. fraxinifolius</i>	<i>P. laevigata</i>	<i>A. fraxinifolius</i>	<i>P. laevigata</i>	<i>A. fraxinifolius</i>	<i>P. laevigata</i>	<i>A. fraxinifolius</i>
AE 25	3,2 ± 0,6 ^a	11,9 ± 0,9 ^{cd}	23,6 ± 0,5 ^a	54,9 ± 0,4 ^g	12,5 ± 0,2 ^{cd}	19,5 ± 0,2 ^f	3,5 ± 0,2 ^c	19,6 ± 0,7 ^e
AE 50	2,3 ± 0,4 ^a	14,8 ± 0,1 ^b	17,1 ± 0,5 ^a	72,2 ± 0,8 ^{cd}	9,4 ± 0,3 ^d	23,8 ± 0,1 ^{cd}	2,6 ± 0,1 ^c	23,1 ± 0,7 ^{cd}
AE 60	3,2 ± 0,2 ^a	12,1 ± 0,1 ^{cd}	23,9 ± 0,9 ^a	61,6 ± 0,8 ^{ef}	14,1 ± 0,3 ^c	21,1 ± 0,2 ^e	3,5 ± 0,2 ^c	20,4 ± 0,7 ^e
MEOH 25	8,4 ± 0,5 ^{bc}	11,2 ± 1,4 ^d	45,1 ± 0,7 ^b	58,2 ± 1,7 ^{fg}	24,5 ± 0,5 ^a	19,8 ± 0,4 ^f	8,9 ± 0,5 ^{ab}	18,9 ± 0,7 ^e
MEOH 50	7,7 ± 0,6 ^b	12,8 ± 0,2 ^c	40,3 ± 0,4 ^b	70,9 ± 1,8 ^d	20,8 ± 1,2 ^b	23,4 ± 0,3 ^d	7,9 ± 0,3 ^b	21,4 ± 1,0 ^{de}
MEOH 60	8,3 ± 0,1 ^{bc}	11,9 ± 0,1 ^{cd}	39,4 ± 1,3 ^b	62,1 ± 1,5 ^e	21,2 ± 0,7 ^b	21,5 ± 0,3 ^e	8,7 ± 0,4 ^{ab}	20,2 ± 0,7 ^e
ETOH 25	9,5 ± 0,5 ^{bc}	15,4 ± 0,5 ^{ab}	44,4 ± 3,2 ^b	74,9 ± 1,6 ^c	23,9 ± 0,8 ^{ab}	24,8 ± 0,1 ^c	9,8 ± 0,6 ^a	24,4 ± 1,6 ^{bc}
ETOH 50	9,6 ± 0,6 ^{bc}	15,8 ± 0,4 ^{ab}	41,9 ± 4,7 ^b	92,6 ± 1,8 ^b	21,9 ± 1,3 ^{ab}	27,4 ± 0,4 ^b	9,3 ± 0,5 ^{ab}	27,1 ± 0,2 ^b
ETOH 60	10,03 ± 0,3 ^c	16,2 ± 0,4 ^a	44,4 ± 3,3 ^b	102,9 ± 0,7 ^a	22,8 ± 1,3 ^{ab}	30,3 ± 0,2 ^a	9,8 ± 0,1 ^a	29,9 ± 1,3 ^a

mg EAG g⁻¹ madera = miligramos equivalentes de ácido gálico g⁻¹ madera

mg EAG g⁻¹ corteza = miligramos equivalentes de ácido gálico g⁻¹ corteza

mg EC g⁻¹ madera = miligramos equivalentes de catequina g⁻¹ madera

mg EC g⁻¹ corteza = miligramos equivalentes de catequina g⁻¹ corteza

Se presenta promedio ± desviación estándar para cada parámetro.

Valores con literales distintas significa que son significativamente diferentes ($\alpha=0.05$).

Compuestos fenólicos

Los resultados de compuestos fenólicos totales, flavonoides y PAC's se presentan en la figura 1, para concentración base extracto seco, y en la tabla 2 para concentración base material vegetal seco.

En *P. laevigata* las mayores concentraciones de fenoles base extracto seco se obtuvieron con los tratamientos AE, con valores de 760,6 mg EAG g⁻¹es (Fig. 1a), sin embargo, por su bajo rendimiento de extracto, al referirlos como material vegetal, el valor máximo fue de 23,9 mg EAG g⁻¹madera, lo cual es estadísticamente diferente a los valores obtenidos con el resto de los solventes de extracción ($p<0,05$).

Los tratamientos MEOH y ETOH tuvieron resultados similares en concentración de fenoles, con máximos de 534,6 mg EAG g⁻¹es en MEOH25; 468,1 mg EAG g⁻¹es en ETOH25, y referidos como material vegetal las concentraciones fueron de 45,1 mg EAG g⁻¹madera y 44,4 mg EAG g⁻¹madera, respectivamente. El aumento en

la temperatura de extracción no tuvo un efecto significativo para estos tratamientos.

En la especie *A. fraxinifolius*, los tratamientos EA tuvieron las menores concentraciones de fenoles, referidas como extracto seco (Fig. 1b), con un valor máximo de 511,0 mg EAG g⁻¹es en AE60. Para los tratamientos MEOH y ETOH la temperatura de extracción favoreció el aumento en la concentración de fenoles, con valores de 528 mg EAG g⁻¹es en MEOH50 y 635,5 mg EAG g⁻¹es en ETOH60. En los resultados referidos como material vegetal seco, los valores máximos fueron de 72.2 mg EAG g⁻¹corteza en AE50; 70,9 mg EAG g⁻¹corteza en MEOH50 y 102,9 mg EAG g⁻¹corteza en ETOH60.

Con respecto al contenido de flavonoides, en *P. laevigata* (Fig. 1a), la tendencia fue similar a la registrada para fenoles totales. En los resultados respecto a extracto seco, la concentración mayor fue de 446,2 mg EC g⁻¹es en AE60, mientras que con base en material vegetal la concentración fue de 14,4 mg EC g⁻¹madera. El valor máximo de flavonoides



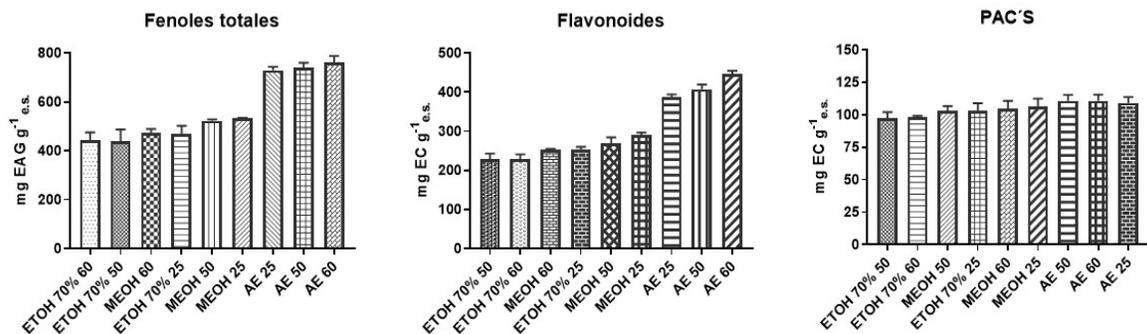
fue para ME25 con 24,5 mg EC g⁻¹madera, aunque sin diferencia estadística ($p < 0,05$) con los tratamientos ETOH.

El contenido de flavonoides en *A. fraxinifolius* (Fig. 1b) no tuvo una tendencia de aumento o disminución de estos con respecto al solvente de extracción, aunque sí fue significativa con respecto al aumento en la temperatura ($p < 0,05$), tanto en los resultados base extracto como base material vegetal. Para esta especie, el valor mínimo fue de 19,5 mg EC g⁻¹corteza en AE25 y el valor máximo de 30,3 mg EC g⁻¹corteza en ETOH60.

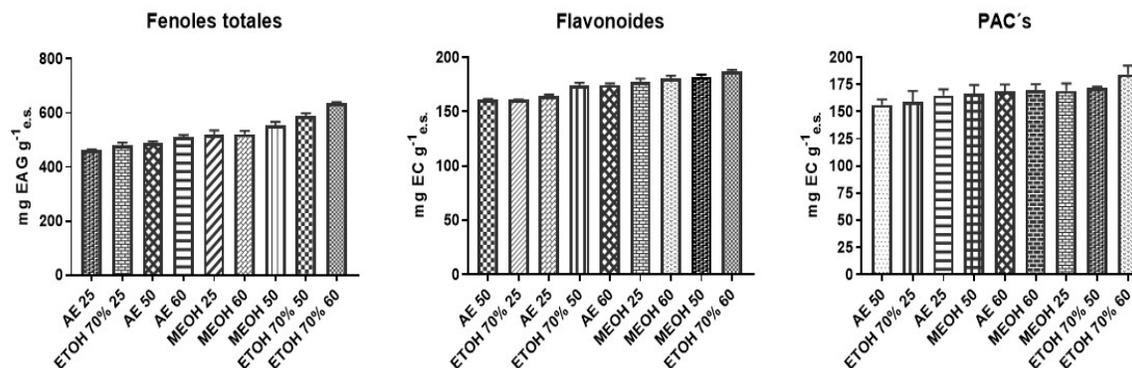
Se realizó una correlación entre la concentración de flavonoides y el rendimiento en sólidos en ambas especies,

con resultados de $R^2 = 0,921$ en *P. laevigata* y $R^2 = 0,889$ en *A. fraxinifolius*.

La concentración de proantocianidinas en los extractos de *P. laevigata* base extracto seco fue muy homogénea, sin tendencia respecto al solvente o a la temperatura de extracción (Fig. 1a). La menor concentración fue de 97,3 mg EC g⁻¹es en ETOH50 y la mayor de 110,6 mg EC g⁻¹es en AE25. En los resultados en base material vegetal, los tratamientos AE fueron bajos, debido al bajo rendimiento de extracto. El máximo valor se obtuvo en los tratamientos ETOH con 9,8 mg EC g⁻¹madera.



a) Madera de *P. laevigata*



b) Corteza de *A. fraxinifolius*

FIGURA 1. a) Composición fenólica de extractos de madera de *P. laevigata*, b) Composición fenólica de extractos de corteza de *A. fraxinifolius*.

Los resultados fueron calculados como base extracto seco. Se presenta promedio \pm desviación estándar para cada parámetro.

En *A. fraxinifolius* las proantocianidinas fueron de 164,9 mg EC g⁻¹ en AE50, 184,4 mg EC g⁻¹ en ETOH60 y de 19,6 mg EC g⁻¹ corteza en AE25 a 29,9 mg EC g⁻¹ corteza. Se obtuvo una correlación entre el rendimiento en sólidos y la concentración de PAC's, con valores de R²= 0,993 en *P. laevigata* y R²= 0,850 en *A. fraxinifolius*.

En la madera de *P. laevigata* y corteza de *A. fraxinifolius*, los mayores rendimientos se obtuvieron con los tratamientos ETOH, parámetro importante cuando los resultados se expresan con base en material vegetal seco. El aumento en la temperatura de extracción favoreció la extracción de los polifenoles en ambas especies. Estos resultados son acordes con los de Che Sulaiman et al. (2017), quienes encontraron que una temperatura de 60 °C y 120 min fueron las condiciones óptimas para aumentar los contenidos de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en los extractos de *Clinacanthus nutans*. Estos autores mencionan que en esas condiciones los tejidos de las plantas se ablandan y los compuestos fenólicos se pueden extraer fácilmente en el solvente. Se ha demostrado que los compuestos fenólicos son estables a 60 °C. Liqid et al. (2007) investigaron la estabilidad térmica de varias sustancias como ácidos benzoicos, catequinas, cumarinas, estilbenos y flavonoides, encontraron que solo a 125 °C hay una degradación significativa de las catequinas. En otro estudio Chaaban et al. (2017) demostraron que, según su estructura, los flavonoides son más o menos sensibles al tratamiento térmico. Los flavonoides glicosilados son más resistentes al tratamiento térmico que sus agliconas. La polaridad del solvente es otro factor para obtener mayores rendimientos. En los extractos de cáscara de *Castanea sativa* y corteza de *Eucalyptus globulus* utilizando etanol, metanol y agua, los rendimientos de ambas plantas aumentaron a mayor polaridad del solvente (Vázquez et al., 2008).

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos en las diferentes metodologías evaluadas (ABTS, FRAP, PR) mostraron una tendencia similar a la observada para fenoles y flavonoides base extracto seco (Fig. 2). En el caso de *P. laevigata*, las condiciones de extracción que presentaron mayor capa-

cidad antioxidante fueron las de AE60, mientras que en corteza de *A. fraxinifolius* fueron ETOH50.

La capacidad antioxidante presentó una correlación con el contenido fenólico en ambas especies, la correlación con el ensayo FRAP fue R²= 0,951 para *P. laevigata* y R²= 0,790 en *A. fraxinifolius*, lo que indica que las estructuras químicas de los compuestos fenólicos, principalmente en *P. laevigata* les permiten tener una mayor capacidad antioxidante.

En la corteza de *Prosopis Juliflora* se encontró una correlación entre la concentración de un extracto y la inhibición de radicales libres de DPPH (Siahpoosh y Mehrpeyma, 2014). Otros extractos de especies de *Prosopis* han mostrado capacidad antioxidante, como los extractos metanólicos de hojas de *P. cineraria* y *P. juliflora* (Napar et al., 2012). Poudineh et al. (2015) evaluaron el efecto de los solventes etanol, metanol, octanol y n-heptano sobre las actividades antioxidantes y antibacterianas de los extractos de semillas y vainas de *P. farcta*, el mayor contenido fenólico y la mayor actividad se obtuvo al utilizar octanol como solvente de extracción. Un estudio sistemático en *P. juliflora* mostró una gran cantidad de un compuesto identificado como (-)-mesquitol, un favan-3-ol que tiene una estructura tipo (+)-catequina. El porcentaje en el extracto acetónico varió de 31% a 72 % en el duramen y médula de la madera, aunque también se detectaron pequeñas cantidades de mesquitol en la corteza y en la albura (Chepkwony et al., 2020; Sirmah et al., 2009).

Identificación de compuestos fenólicos

De acuerdo con el análisis de UPLC, los principales compuestos encontrados en la madera de *P. laevigata* fueron los flavonoides de catequina, taxifolina, eriodictiol, naringenina y epicatequina, así como los ácidos fenólicos ácido protocatequico, ácido cafeico, ácido siríngico, ácido ferúlico, ácido 2-hidroxibenzoico, ácido 4-hidroxibenzoico, ácido hidroxibenzoico y ácido gálico. Los valores exhibidos en la tabla 3 están expresados como porcentajes relativos (valor de respuesta de cada compuesto en relación con la respuesta total en el análisis UPLC). Otros flavonoides encontrados en la madera de *P. laevigata* fueron procianidina

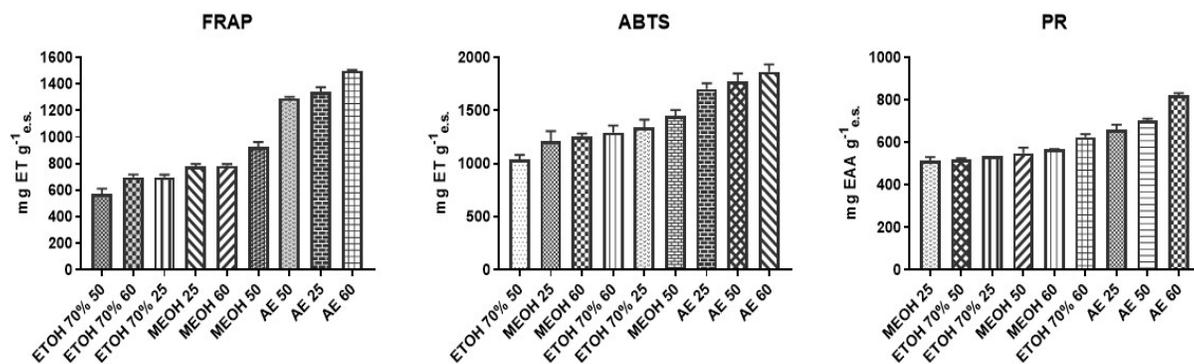
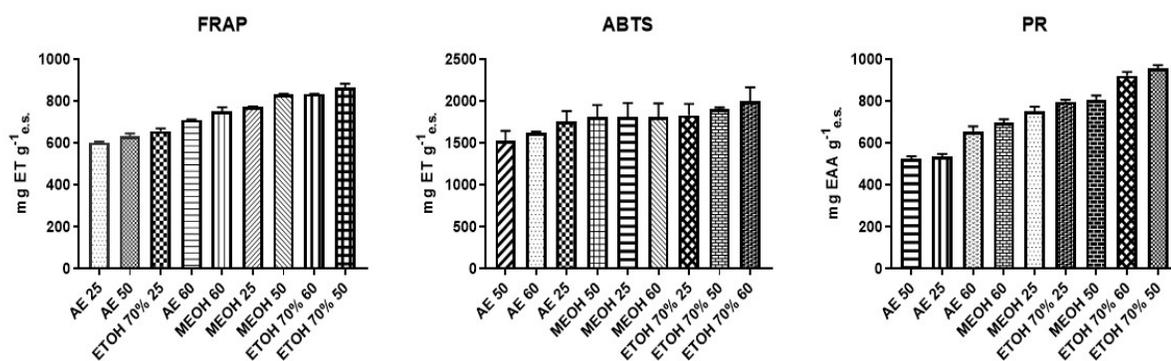
a) Madera de *P. laevigata*b) Corteza de *A. fraxinifolius*

FIGURA 2. a) Capacidad antioxidante de extractos de madera de *P. laevigata*, b) Capacidad antioxidante de extractos de corteza de *A. fraxinifolius*.

Los resultados fueron calculados como base extracto seco.

Se presenta promedio \pm desviación estándar para cada parámetro.

mg ETg-1e.s.= miligramos equivalentes de Trolox por gramo de extracto seco

mg EAA g-1e.s.= miligramos equivalentes de ácido ascórbico por gramo de extracto seco

B1, procianidina B2, naringina, luteolina, quercetina, floretina y apigenina. El solvente AE favorece la extracción de flavonoides como taxifolina y eriodictiol, y tuvo la mayor actividad antioxidante en FRAP, ABTS y RP. El tratamiento con ETOH favorece la extracción de catequina y epicatequina. Carrillo et al. (2008) detectaron la presencia de catequina, epicatequina y taxifolina en extractos de duramen interno de *P. laevigata*, obtenidos con acetona:agua 9:1 v/v, temperatura 60 °C, presión 10 MPa (100 bar) y tiempo de calentamiento 5 min. En el caso de los extractos de corteza de *A. fraxinifolius* (Tabla 4), el principal compuesto encontrado fue el ácido gálico en proporciones

mayores a 65%. Se identificaron flavonoides como taxifolina, luteolina y apigenina. Otros flavonoides que se encuentran en menor concentración son catequina, naringenina, epicatequina, el galato de epicatequina, eriodictiol y floretina, así como los ácidos fenólicos protocatéuico, 4-hidroxibenzoico y cafeico. El etanol acuoso favorece la extracción de catequina, epicatequina y epicatequina galato. Previamente Rosales-Castro et al. (2015) observaron que los extractos etanólicos y de agua caliente de la corteza de *A. fraxinifolius* contienen catequina, epicatequina, ácido gálico y galato de catequina.

TABLA 3. Compuestos fenólicos identificados en los extractos de *P. laevigata* por UPLC/MS, expresados como porcentaje relativo.

<i>Compuesto</i>	<i>Tiempo de retención (min)</i>	<i>AE 60</i>	<i>MEOH 50</i>	<i>ETOH 60</i>
Ácido quínico	1,44	0,10	0,93	1,50
Ácido gálico	1,75	0,56	0,51	0,34
Ácido protocatéquico	2,67	8,49	6,06	5,40
Procianidina B1	3,50	0,15	0,22	0,14
Ácido 4-hidroxibenzoico	3,51	0,82	0,89	0,66
Catequina	3,76	25,46	34,65	36,14
Procianidina B2	4,11	0,15	0,33	0,28
Ácido cafeico	4,32	0,64	0,56	0,38
Ácido siríngico	4,61	0,23	0,22	0,23
(Epi)-catequina	4,86	1,72	2,21	2,49
Ácido cumárico	5,50	0,39	0,43	0,30
2,4,6 trihidroxibenzaldehído	5,65	0,83	0,97	0,55
Ácido ferúlico	6,15	1,01	0,76	0,65
Taxifolina	6,42	29,86	24,33	28,04
Naringina	7,15	0,34	0,56	0,66
Ácido 2-hidroxibenzoico	7,56	2,06	2,05	1,11
Eriodictiol	8,67	18,53	13,85	13,94
Luteolina	8,96	1,31	1,03	0,69
Quercetina	9,17	1,56	1,05	0,63
Naringenina	9,73	3,85	5,87	4,29
Floretina	9,90	0,89	1,13	0,51
Apigenina	10,01	0,32	0,31	0,21
Kaempferol	10,13	0,15	0,26	0,09
Total (Porcentaje)		99,42	99,18	99,23

TABLA 4. Compuestos fenólicos identificados en *A. fraxinifolius* por UPLC/MS, expresados como porcentaje relativo.

Compuesto	Tiempo de retención (min)	AE 60	MEOH 50	ETOH 60
Ácido gálico	1,73	69,37	70,46	66,89
Ácido protocatéquico	2,67	1,58	0,99	1,26
Ácido 4-hidroxibenzoico	3,55	0,22	0,23	0,25
Catequina	3,77	0,21	0,53	0,64
Ácido cafeico	4,32	0,47	0,80	0,61
Ácido siríngico	4,57	0,16	0,11	0,13
(Epi)-catequina	4,74	0,07	0,14	0,20
Ácido cumárico	5,51	0,13	0,19	0,11
(Epi)-catequina galato	6,30	0,26	0,72	0,87
Taxifolina	6,37	11,30	9,54	14,31
Eriodictiol	8,66	0,20	0,22	0,24
Luteolina	8,93	10,39	10,43	9,16
Quercetina	9,05	0,18	0,16	0,13
Naringenina	9,71	0,43	0,57	0,61
Floretina	9,90	0,10	0,30	0,26
Apigenina	9,91	4,01	3,62	3,37
Kaempferol	10,19	0,05	0,10	0,01
Acacetina	12,50	0,16	0,16	0,14
Total (Porcentaje)		99,29	99,27	99,19

CONCLUSIONES

Las condiciones de extracción como el solvente y la temperatura influyen significativamente en el rendimiento de sólidos, en la concentración de compuestos fenólicos, tanto fenoles como flavonoides y PAC's, y en la capacidad antioxidante de los extractos de ambas especies. El acetato de etilo mejoró la extracción de fenoles y flavonoides en madera de *P. laevigata*, especialmente en el AE60. Los principales compuestos identificados en esta especie son los flavonoides catequina, taxifolina y eriodictiol.

En el caso de *A. fraxinifolius*, el aumento de la polaridad del solvente y la temperatura de 60 °C tuvieron un efecto favorable en la extracción de los compuestos fenólicos, el

mejor tratamiento fue ETOH60. Los principales compuestos identificados en esta especie fueron el ácido gálico en altas proporciones y los flavonoides taxifolina y luteolina. En ambas especies los tratamientos que presentaron mayor concentración fenólica mostraron al mismo tiempo una mayor actividad antioxidante. El rendimiento en sólidos es un parámetro muy importante para considerar cuando se requiere conocer la concentración de compuestos fenólicos con base en el material vegetal. La alta concentración de polifenoles en los extractos de madera de *P. laevigata*, y corteza de *A. fraxinifolius*, considerados como subproductos, son una fuente importante de materia prima para la elaboración de nutracéuticos.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. Nuria E. Rocha-Guzmán por el uso de UPLC/MS, y dedican este artículo a la Dra. Cynthia Ordaz-Pichardo, quien falleció el 22 de julio de 2022, en reconocimiento por su invaluable aportación en la investigación encaminada al empleo de plantas medicinales para el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas.

REFERENCIAS

- Ajila, C. M., Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., Godbout, S., & Valéro, J. R. (2010). Extraction and analysis of Polyphenols: Recent trends. *Critical Reviews in Biotechnology*, *31*(3), 227-249. <https://doi.org/10.3109/07388551.2010.513677>
- Arnao, M. B. (2000). Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. *Trends in Food Science & Technology*, *11*(11), 419-421. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00027-9)
- Carrillo-Parra, A., Rosales, M., Wehenkel, C., Foroughbakhch, R., González, H., & Garza, F. (2012). Phenols and flavonoids concentration and fungistatic activity of wood and bark of five common tropical species. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *15*(3), 621-628. <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v15i3.1566>
- Carrillo, A., Mayer, I., Koch, G., & Hapla, F. (2008). Wood anatomical characteristics and chemical composition of *Prosopis laevigata* grown in the northeast of Mexico. *LAWA Journal*, *29*(1), 25-34. <http://dx.doi.org/10.1163/22941932-90000167>
- Chaaban, H., Ioannou, I., Chebil, L., Slimane, M., Gérardin, C., Paris, C., Charbonnel, C., Chekir, L., & Ghoul, L. (2017). Effect of heat processing on thermal stability and antioxidant activity of six flavonoids. *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*(5), 1-12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13203>
- Che Sulaiman, I. S., Basri, M., Fard Masoumi, H. R., Chee, W. J., Ashari, S. E., & Ismail, M. (2017). Effects of temperature, time, and solvent ratio on the extraction of phenolic compounds and the anti-radical activity of *Clinacanthus nutans* Lindau leaves by response surface methodology. *Chemistry Central Journal*, *11*(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0285-1>
- Chepkwony, S. C., Dumarçay, S., Chapuis, H., Kiprop, A., Gerardin, P., & Gerardin-Charbonnier, C. (2020). Geographic and intraspecific variability of mesquit amounts in *Prosopis juliflora* trees from Kenya. *European Journal of Wood and Wood Products*, *78*, 801-809. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01535-8>
- El-Nashar, H. A., Eldahshan, O. A., Elshawi, O. E., & Singab, A. N. B. (2017). Phytochemical investigation, antitumor activity, and hepatoprotective effects of *Acrocarpus fraxinifolius* leaf extract. *Drug Development Research*, *78*(5), 210-226. <https://doi.org/10.1002/ddr.21395>
- Erard, C., Fleming, T. H. & Kress, W. J. (2015). The ornaments of life. Coevolution and conservation in the tropics. The University of Chicago Press, Chicago & London, 2013. *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, *70*(1), 94-95.
- García-Andrade, M., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., 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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.030>
- Huang, D., Ou, B., & Prior, R. L. (2005). The chemistry behind antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*(6), 1841-1856. <https://doi.org/10.1021/jf030723c>
- Ku, C. S., & Mun, S. P. (2008). Antioxidant properties of monomeric, oligomeric, and polymeric fractions in hot water extract from *Pinus radiata* bark. *Wood Science and Technology*, *42*, 47-60. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0150-9>
- Liaqid, A., Palma, M., Brigui, J., & Barroso, C. G. (2007). Investigation on phenolic compounds stability during microwave-assisted extraction. *Journal of Chromatography A*, *1140*(1-2), 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.11.040>
- Naczki, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, *1054*(1-2), 95-111. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>
- Napar, A. A., Bux, H., Zia, M. A., Ahmad, M. Z., Iqbal, A., Roomi, S., & Shah, S. H. (2012). Antimicrobial and antioxidant activities of Mimosaceae plants; *Acacia modesta* Wall (Phulai), *Prosopis cineraria* (Linn.) and *Prosopis juliflora* (Swartz). *Journal of Medicinal Plants Research*, *6*(15), 2962-2970. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1349>
- Nath, K., Panchani, S. C., Patel, T. M., Dave, H. K., Patel, V. B., Tiwari, K. K., & Sahoo, N. (2020). Evaluation of *Prosopis juliflora* as a potential feedstock for the production of sodium lignosulfonate from the spent liquor of a laboratory digester. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, *40*(5), 331-347. <https://doi.org/10.1080/02773813.2020.1809677>
- Palacios Romero, A., Rodríguez Laguna, R., Hernández Flores, M. D. L. L., Jiménez Muñoz, E., & Tirado Torres, D. (2016). Potential distribution of *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. Ex Willd) MC Johnston Based on an ecological niche model.



- Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(34), 35-46.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i34.81>
- Poudineh, Z., Amiri, R., & Noshin Mir, S. N. (2015). Total phenolic content, antioxidant, and antibacterial activities of seed and pod of *Prosopis farcta* from Sistan region, Iran. *Azarian Journal of Agriculture*, 2(2), 51-56
- Rauf, A., Imran, M., Abu-Izneid, T., Patel, S., Pan, X., Naz, S., Silva, A., Saeed, F., & Suleria, H. A. R. (2019). Proanthocyanidins: A comprehensive review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 116, 108999. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.108999>
- Rosales-Castro, M., González-Laredo, R. F., Rivas-Arreola, M. J., & Karchesy, J. (2017). Chemical analysis of polyphenols with antioxidant capacity from *Pinus durangensis* bark. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 37(5), 393-404. <https://doi.org/10.1080/02773813.2017.1310898>
- Rosales-Castro, M., Honorato-Salazar, J. A., Reyes-Navarrete, M. G., & González-Laredo, R. F. (2015). Antioxidant phenolic compounds of ethanolic and aqueous extracts from Pink Cedar (*Acrocarpus fraxinifolius* Whight & Arn.) bark at two tree ages. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 35(4), 270-279. <https://doi.org/10.1080/02773813.2014.946619>
- Siahpoosh, A., & Mehrpeyma, M. (2014). Antioxidant effects of *Albizia lebbek* and *Prosopis juliflora* barks. *International Journal of Biosciences*, 5(9), 273-284.
- Sirmah, P., Dumarcay, S., Masson, E., & Gerardin, P. (2009). Unusual amount of (-)-mesquitol from the heartwood of *Prosopis juliflora*. *Natural Product Research*, 23(2), 183-189. <https://doi.org/10.1080/14786410801940968>
- Soto-García, M., & Rosales-Castro, M. (2016). Effect of solvent and solvent-to-solid ratio on the phenolic extraction and the antioxidant capacity of extracts from *Pinus durangensis* and *Quercus sideroxylla* bark. *Maderas. Ciencia y Tecnología*, 18(4), 701-714. <https://doi.org/10.4067/S0718-221X2016005000061>
- Spigno, G., Tramelli, L., & De Faveri, D. M. (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.021>
- Vázquez, G., Fontenla, E., Santos, J., Freire, M. S., González-Álvarez, J., & Antorrena, G. (2008). Antioxidant activity and phenolic content of chestnut (*Castanea sativa*) shell and eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) bark extracts. *Industrial Crops and Products*, 28(3), 279-285. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.03.003>
- Villegas-Novoa, C., Gallegos-Infante, J. A., González-Laredo, R. F., García-Carrancá, A. M., Herrera-Rocha, K. M., Jacobo-Karam, J. S., Moreno-Jiménez, M. R., & Rocha-Guzmán, N. E. (2019). Acetone effects on *Buddleja scordioides* polyphenol extraction process and assessment of their cellular antioxidant capacity and anti-inflammatory activity. *Medicinal Chemistry Research*, 28, 2218-2231. <https://doi.org/10.1007/s00044-019-02448-9>
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Junior, M. R. M. (2019). Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. En M. R. Campos (Ed.), *Bioactive compounds* (pp. 33-50). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5>
- Walaa, A., Hamed, A. R., El-Raey, M., Elshamy, A. I., & Abd-Ellatef, G. E. F. (2016). Antiproliferative, antioxidant and antimicrobial activities of phenolic compounds from *Acrocarpus fraxinifolius*. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 8(3), 520-528.
- Xavier, L., Barrenengoa, M., Dieste, A., Amilivia, A., Palombo, V., Sabag, M., & Zecchi, B. (2021). Valorization of *Pinus taeda* bark: Source of phenolic compounds, tannins and fuel: Characterization, extraction conditions and kinetic modelling. *European Journal of Wood and Wood Products*, 79, 1067-1085. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01703-4>
- Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., & Wang, Q. (2018). Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(4), 762. <https://doi.org/10.3390/molecules23040762>

Manuscrito recibido el 27 de junio de 2022

Aceptado el 30 de agosto de 2022

Publicado el 18 de diciembre de 2023

Este documento se debe citar como:

Ibarra-Berumen, J., Ordaz-Pichardo, C., & Rosales-Castro, M. (2023). Evaluación fenólica y antioxidante en madera de *Prosopis laevigata* y corteza de *Acrocarpus fraxinifolius*. *Madera y Bosques*, 29(2), e2922503. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2922503>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.