

Influencia de la concentración de infusiones de hojas de *Quercus sideroxyla* en la extracción de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y antiinflamatoria

Influence of the concentration of *Quercus sideroxyla* leaf infusions on the extraction of phenolic compounds, antioxidant and anti-inflammatory activity

Carlos Alonso Salas-Ramírez¹, Martha Rocío Moreno-Jiménez^{1*}, Nuria Elizabeth Rocha-Guzmán¹, Rubén Francisco González-Laredo¹, José Alberto Gallegos-Infante¹, Manuel Efraín González-Mercado², Karen Marlenne Herrera-Rocha¹

¹Laboratorio Nacional Conahcyt de Apoyo a la Evaluación de Productos Bióticos (LaNAEPBi), Unidad de Servicio Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Durango, Blvd. Felipe Pescador 1830 Ote., C.P. 34080, Durango, Dgo., México. CASR: <https://orcid.org/0000-0003-0294-7444>; MRMJ: <https://orcid.org/0000-0002-5865-9583>; NERG: <https://orcid.org/0000-0002-5715-8939>; RFGI: <https://orcid.org/0000-0001-6329-1413>; JAGI: <https://orcid.org/0000-0002-6018-5858>; KMHR: <https://orcid.org/0000-0002-5586-2674>.

²Grupo de Investigación en Ciencias del Movimiento Humano, Universidad Juárez del Estado de Durango, Constitución 404 Sur, 34000 Durango, Dgo., México. MEGM: <https://orcid.org/0000-0002-8175-4319>

*Autora de correspondencia:

mrmoreno@itdurango.edu.mx

Recibido:

23/11/2024

Aceptado:

18/03/2025

Publicado:

20/03/2025

Abstract

Quercus sideroxyla infusion has been shown to have important biotherapeutic effects, especially antioxidant and anti-inflammatory effects due to its content of polyphenolic compounds. Among the main variables for the extraction of bioactive compounds by infusing in water stands out the solute-solvent ratio. The purpose of this study was to analyze the influence of the percentage of leaves on the phenolic content extracted and its antioxidant and anti-inflammatory potential effects. To this end, infusions of *Quercus* 1 at 10% (w/v) of leaves were obtained, which were analyzed for the content of phenols and total flavonoids, phenolic profiling for phenolic acids, flavonoids and hydrolyzable tannins was monitored by means of UPLC-ESI-MS/MS. Antioxidant activity was determined using FRAP, ABTS, ORAC, and DPPH, as well as anti-inflammatory activity using an erythrocyte membrane stabilization assay. The variation in the percentage of leaves to produce the infusions promoted a progressive increase in the extraction of phenols to a percentage of 7% (w/v), subsequently no significant differences were observed, but a nominal decrease in the content was. The phenolic profiling was also affected, favoring a higher concentration of oak leaves and the extraction of hydrolyzable tannins, especially vascalagin and penducalagin 1 and 2, which contributed to increasing the antioxidant activity for the trapping of peroxide radicals and reduction of the ferric ion. Anti-inflammatory activity was also increased, although it appears to be more associated with a synergistic effect between epicatechin gallate and other polyphenols.

Resumen

Las infusiones del encino *Quercus sideroxyla* por su contenido rico en compuestos polifenólicos han mostrado tener efectos bioterapéuticos importantes, especialmente antioxidantes y antiinflamatorios. Dentro de las variables principales para la extracción de compuestos bioactivos por medio del infusionado en agua resalta la relación soluto-solvente. El propósito del presente trabajo fue analizar la influencia del porcentaje de hojas sobre el contenido fenólico extraído y su potencial efecto antioxidante y antiinflamatorios. Para ello se obtuvieron infusiones de *Quercus* 1 al 10% (p/v) de hojas, las cuales se analizaron el contenido de fenoles y flavonoides totales, se realizó un seguimiento del perfilado fenólico para ácidos fenólicos, flavonoides y taninos hidrolizables por medio de UPLC-ESI-MS/MS. Se determinó la actividad antioxidante por medio de los métodos de FRAP, ABTS, ORAC y DPPH, así como de la actividad antiinflamatoria por medio de un ensayo de estabilización de membranas de eritrocitos. La variación en el porcentaje de hojas para la elaboración de las infusiones promovió un aumento progresivo de la extracción de fenoles hasta un porcentaje del 7% (p/v), posteriormente no se observaron diferencias significativas, pero si una disminución nominal del contenido. El perfilado fenólico se vio también afectado, favoreciendo una mayor concentración de hojas de encino la extracción de taninos hidrolizables, especialmente vascalagina y penducalagina 1 y 2, los cuales contribuyeron en aumentar la actividad antioxidante para el atrapamiento de radicales peróxido y reducción del ion férrico. La actividad antiinflamatoria también se vio aumentada, aunque es posible que ésta se relacione con un efecto sinérgico entre la epicatequina galato con otros polifenoles.

Key words:

Oak infusions, polyphenols, antioxidant, anti-inflammatory.

Palabras clave:

Infusiones de encino, polifenoles, antioxidante, antiinflamatorio

INTRODUCCIÓN

Quercus sideroxylla es una especie endémica de México, y se distribuye en los estados de Durango, Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Jalisco, Nayarit, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas. Dentro de los usos principales de los encinos es obtención de productos maderables, particularmente, para la producción de leña, carbón y pulpa de celulosa para papel, teniendo el mercado de madera de encino a 2018 un valor de 1,079 millones de pesos (Statista, 2024). Dichos fines maderables coinciden con lo reportado por Nájera-Luna *et al.* (2006) quienes mencionan que, en la localidad de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango, se utiliza ampliamente *Q. sideroxylla* para su transforman en productos maderables.

Las infusiones de encino de la especie *Q. sideroxylla* han destacado por sus efectos biológicos *in vitro*, tales como, actividad antioxidante (Rocha-Guzmán *et al.*, 2012), actividad antiinflamatoria y anticarcinogénica en ratas inducidas a cáncer de colon (Moreno-Jiménez *et al.*, 2015). Modulación de la ganancia de peso y en la composición corporal en ratas inducidas a obesidad (Gamba-Gómez *et al.*, 2017). Asimismo, se ha determinado en estudios *in vitro* e *in silico* el potencial efecto de las infusiones en la disminución de enfermedades mentales como estrés, ansiedad y depresión al modular la monoamino oxidasa a (MAO-A) enzima clave en estos procesos (Álvarez *et al.*, 2023). Estos efectos han sido relacionados con la composición polifenólica, entre los cuales destaca flavan-3 oles como catequina y sus derivados, flavonoles como la quercetina glucósido y el kaempferol, así como diversos ácidos fenólicos y taninos hidrolizables, entre los que se encuentra el ácido elágico hexósido, ácido quínico, ácido shikimico y ácido clorogénico y procianidina B1.

Algunos de los compuestos presentes destacan por su capacidad antioxidante y antiinflamatoria, especialmente los flavonoides, como los derivados de la quercetina (Qi *et al.*, 2022), los derivados de ácido clorogénico (Wang *et al.*, 2021) y los derivados del ácido elágico (Evyugin *et al.*, 2020).

El objetivo del presente es evaluar el impacto de las distintas concentraciones de infusiones de hojas de *Quercus sideroxylla* en el contenido y perfil de compuestos fenólicos extraídos, así como el efecto en el potencial antioxidante y antiinflamatorio mediante ensayos *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Reactivos

Estándares de ácidos fenólicos (quínico, shikimico, gálico, elágico, protocatecuico, clorogénico, vanílico, cafeico, siríngico, coumárico, ferúlico, benzoico, transcinámico, 3,4-di-cafeoilquínico, y rosmarínico), estándares de flavonoides (catequina, epicatequina, procianidina B1, quercetina 3-O- β -glucurónido, quercetina 3-O-glucósido, kaempferol 3 O-glucósido y taxifolina), y 2,4,6-trihidroxibenzaldehído, se obtuvieron de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO); fluoresceína, ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (Trolox), 2, 20-azobis (2- amidinopropano) diclorhidrato (AAPH), amonio persulfato, sal diamónica de 2,20-azino-bis(ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS+•), 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), fueron adquiridas de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE.UU.).

Recolección de la materia prima y procesamiento

Las hojas de *Quercus sideroxylla* Bonpl. fueron recolectadas en Pueblo Nuevo, Durango (Longitud: 105°21'43" E Latitud: 23°46'46" N) en la temporalidad de Julio 2023. El material vegetal recolectado se desinfectó con hipoclorito de sodio al 1% durante 5 min (WHO, 2009). Posteriormente, el material se secó a temperatura ambiente 25°C en la oscuridad y molido hasta un tamaño de partícula de 2 mm y almacenado hasta su uso.

Obtención de las infusiones liofilizada

Las infusiones fueron preparadas de acuerdo con Rocha-Guzmán *et al.* (2010), para ello se adicionaron concentraciones de hojas de *Q. sideroxylla* del 1 al 10% (p/v) en agua a 80°C durante 10 min. Las infusiones fueron filtradas y congeladas a -19°C para posteriormente ser liofilizadas en un equipo Labconco Freezone 6 plus a 0.046 mBar de presión para sus posteriores análisis.

Determinación del contenido fenólico total

El contenido fenólico total se realizó de acuerdo con la metodología de Bobo *et al.* (2014) con modificaciones. Brevemente, se añadieron en placa de 96 pocillos 25 μ L de muestra, 80 μ L de agua destilada y 5 μ L de reactivo de Folin. Se incubaron en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente 5 min y se agregaron 80 μ L de solución Na_2CO_3 , posteriormente se agito y se dejó repostada durante 30 minutos en oscuridad a temperatura ambiente y se leyó la absorbancia a 750 nm en un lector de microplacas Synergy HT (Bio-Tek, Winooski, VT, EE.UU.).

Determinación de flavonoides totales

El contenido total de flavonoides se realizó de acuerdo con el método establecido por Sembiring *et al.* (2017). Se añadieron en placa de 96 pocillos 20 μ L de muestra, 6 μ L de NaNO_2 , 12 μ L de AlCl_3 , 40 μ L de NaOH y 122 μ L de agua destilada. Se incubaron en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente 5 min y se leyó la absorbancia a 510 nm en un lector de microplacas Synergy HT (Bio-Tek, Winooski, VT, EE.UU.).

Análisis del perfilado fenólico por UPLC-PDA-ESI--QqQ

Se prepararon soluciones estándar de grado HPLC de flavonoides y ácidos fenólicos simples en metanol de grado MS. Posteriormente la muestra filtrada se colocó en un inserto en un vial. La detección y cuantificación de los compuestos principales se realizó de acuerdo con Díaz-Rivas *et al.* (2018). Las muestras se prepararon en una proporción de 10 mg/mL (p/v), se homogeneizaron y se filtraron a través de un acrodisco (PTFE 0,45 μm , 13 mm θ) y se colocaron en un vial para su posterior análisis. El método establecido se realiza una ionización por electrospray/espectrometría en tándem en modo de monitoreo de reacciones múltiples (MRM). El análisis de la muestra se llevó a cabo con un sistema Acquity UPLC (Waters Corp., Milford, MA, EE. UU.) junto con un espectrómetro de masas de triple cuadrupolo Xevo TQ-S en tándem (Waters Corp., Milford, MA, EE. UU.). El sistema LC consistió en un gestor de muestras (6°C) y un gestor de disolventes cuaternarios. La columna utilizada para separar los compuestos fenólicos fue una columna Acquity® BEH C18 de fase reversa (tamaño de partícula de 1,7 μm , 50 mm x 2,1 mm de diámetro interior) operada a 35 °C. El gradiente de elución comenzó con 3% B a 1,23 min, y se aplicó un gradiente de hasta 9% B; a los 3,82 min, la pendiente aumentó a 16% B; a las 11.40 min, la pendiente alcanzó el 50% B; a los 13,24 min, el gradiente volvió al 3% B y se mantuvo hasta los 15 min para estabilizar la columna a un caudal de 250 $\mu\text{L}/\text{min}$. Se utilizó el modo de ionización de reacciones múltiples para los ensayos MS/MS. La ionización por electrospray (ESI) en condiciones negativas fue la siguiente: tensión capilar 2,5 kV, temperatura de desolvatación 400 °C, temperatura de la fuente 150 °C, caudal de gas de desolvatación 800 L/h y caudal de gas cónico 150 L/h, caudal de gas de colisión 0,13 mL/min, energía de colisión en modo MS 5,0 y energía de colisión en modo MS/MS 20,0. Para la identificación del perfil fenólico (ácidos fenólicos y flavonoides), se utilizaron patrones (20 ng/ μL) para monitorear el tiempo de retención y los valores m/z y las transiciones MS/MS. Se registró un modo de monitoreo de reacción múltiple para muestras y patrones. Para la identificación de taninos hidrolizables, se realizó la caracterización química de acuerdo con los patrones de fragmentación reportados por García-Villalba *et al.* (2017). El control y procesamiento de datos del espectrómetro de masas de triple cuadrupolo UPLC y Tandem Xevo TQ-S utilizó el software MassLinx v. 4.1 (Waters Corp).

Determinación del potencial antioxidante

Capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC)

La capacidad de absorción de radicales de oxígeno (ORAC) se realizó en infusiones liofilizadas según lo descrito por Ou *et al.* (2001). Brevemente, en una placa oscura de 96 pocillos, 20 μL de la muestra se hicieron reaccionar con 200 μL de fluoresceína a 1,09 μM durante 15 min a 37 °C. Se registró una primera lectura a 485 nm de excitación y 580 nm de longitud de onda de emisión en un lector de microplacas de detección múltiple Synergy HT (Bio-Tek, Winooski, VT, EE. UU.). Posteriormente, se añadieron 75 μL de diclorhidrato de 2,2-Azobis (2-metilpropionamida) (AAPH) a la reacción, y se inició la cinética registrando la lectura cada 3 min durante 3 h en las condiciones descritas. Finalmente, el área bajo la curva se calculó utilizando Sigma-Plot versión 15.

Atrapamiento del radical catiónico ABTS+•

La capacidad antioxidante se evaluó mediante el método de eliminación de radicales ABTS+•, que utiliza el radical 2,2'-azinobis (ácido 3-etil-benzotiazolina-6-sulfónico) descrito por Re *et al.* 1999. De manera breve, la solución madre del radical ABTS+•, para el ensayo se preparó a una concentración de 7 mM en una proporción 1:1 con persulfato de amonio 2,5 mM y se incubó a temperatura ambiente (25°C) en la oscuridad durante 16 h. Para la solución de trabajo, la solución madre se diluyó en tampón fosfato (50 mM, pH 7,4) hasta una absorbancia de 0,7 a 750 nm. Para Durante la reacción, se mezclaron 10 µL de la muestra con 190 µL de una solución ABTS diluida mientras se agitó la placa, luego se dejó reposar durante 10 minutos y se registró la absorbancia a 750 nm. utilizando un lector de microplacas de detección múltiple Synergy HT (Bio-Tek, Winooski, VT, EE. UU.). Se utilizó Trolox como estándar y los datos se expresaron como µg de equivalentes de Trolox por mL.

Determinación del potencial antiinflamatorio

La actividad antiinflamatoria se determinó mediante la metodología establecida por de Mendez-Encinas *et al.* (2023). Primeramente, partiendo de sangre entera fresca que se obtuvo de un donante humano sano con consentimiento informado y previa autorización del protocolo por parte de un comité de ética en investigación con código de autorización CEI-003-2022-0301-026. La sangre se recolectó en tubos con EDTA para prevenir la coagulación. Los eritrocitos se lavaron con solución salina normal (0,85%) en una proporción 1:4, seguido de centrifugación a 2000 xg durante 10 minutos a 4°C. Este proceso se repitió tres veces hasta obtener un sobrenadante claro. Las células empaquetadas se reconstituyeron como una suspensión de eritrocitos al 10% v/v con solución salina normal para su uso en el experimento. Para estudiar el efecto de las bebidas rehidratantes sobre la estabilidad de los eritrocitos, se preparó una mezcla de ensayo que contenía 200 µL de solución hipotónica (0,36% p/v de NaCl), 100 µL de tampón salino de fosfatos (PBS, 10 mM, pH 7.4), 100 µL de bebida rehidratante y 50 µL de suspensión de eritrocitos al 10%. Se incluyeron dos controles: uno sustituyendo el extracto por solución salina normal y otro reemplazando la suspensión de eritrocitos por solución salina normal. Se añadió diclofenaco sódico como fármaco estándar a una concentración de 2.5 mg/mL. Las mezclas de reacción se incubaron a 56°C durante 30 minutos bajo agitación, seguido de centrifugación a 5000 rpm durante 10 minutos a 4°C. Los sobrenadantes se recuperaron y se midió su absorbancia a 560 nm utilizando un lector de placas Synergy HT (Bio-Tek, Winooski, VT, EE.UU.).

Se realizó el cálculo del porcentaje de la estabilización de membranas mediante la siguiente formula

$$\% \text{ Estabilidad de membrana} = 100 - \left(\text{Abs muestra} - \frac{(\text{Abs control 1})}{(\text{Abs control 2})} \right) \times 100$$

Análisis estadístico

Todos los resultados de las tablas se expresaron como media ± desviación estándar (DE). Los datos se analizaron mediante análisis de ANOVA de una vía ($p < 0,05$). Además, el análisis multivariable de los datos se realizó por medio de un análisis discriminante de mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) determinando los puntajes de las principales en importancia (VIP scores) usando la plataforma Metaboanalyst 6.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la concentración de infusiones de hojas de *Quercus sideroxylla* sobre el contenido de fenoles y flavonoides totales

Los resultados obtenidos del contenido fenólico total de las infusiones de hojas de *Quercus sideroxylla*, de (1 y el 10%) se determinó que éste es afectado por el porcentaje de hojas utilizado en relación con el volumen total de agua para la obtención de las infusiones. Generándose una mayor extracción de compuestos fenoles conforme se aumento el contenido de hojas, teniendo un máximo de concentración de fenoles totales a un porcentaje del 7% (72.24 ± 0.12 mg/g). Sin embargo, este efecto no se genera a concentraciones mayores del 7%, determinándose que a concentraciones del 8-10% los contenidos de fenoles totales son de 69.35 ± 0.55 , 67.12 ± 0.40 y 64.21 ± 1.31 mg/g respectivamente, no existiendo una relación directa entre el porcentaje de hoja utilizado para realizar las infusiones sobre el contenido fenólico total extraído. Este mismo efecto se observa en el resultado del contenido total de flavonoides teniendo un máximo de concentración de al 7% (29.18 ± 2.57 mg/g), superiores a las infusiones del 8 al 10% (p/v) cuyas concentraciones de flavonoides totales fueron de 24.98 ± 1.41 , 24.55 ± 2.41 y 20.85 ± 0.70 mg/g respectivamente (Figura 1). La preparación de infusiones herbales como método tradicional para la extracción de compuestos es ampliamente utilizada, en ésta, distintos factores como la temperatura, el tiempo y la relación soluto-solvente afectan el rendimiento así como en el perfilado químico observado en dichas infusiones (Kowalska *et al.*, 2021).

De acuerdo con Astill *et al.* (2001), quienes estudiaron el contenido de compuestos polifenólicos en infusiones de café verde, observaron que dentro de las variables postcosecha de mayor relevancia relacionadas a la concentración extraída de estos compuestos se encontraban factores asociados al proceso de infusionado, entre ellos la proporción de café verde molido, así como el tamaño de partícula de dicha materia prima. Por lo tanto, es probable que estos factores se relacionan con los resultados obtenidos en concentraciones mayores de las hojas del encino impactando en su bajo contenido fenólico.

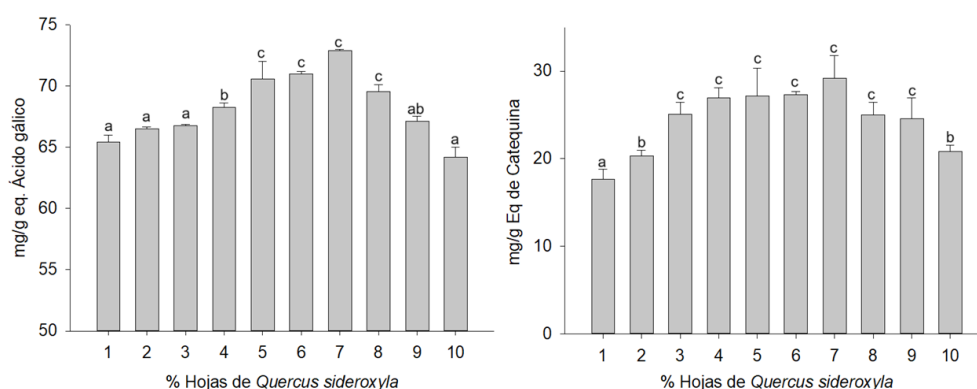


Figura 1. Contenido fenólico presente en infusiones de hojas de *Quercus sideroxylla* en concentraciones del 1 al 10% (p/v). a) contenido fenólico total y b) contenido total de flavonoides. Datos expresados en media \pm desviación estándar. Diferentes literales representan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$)

Con la finalidad de conocer los cambios en la composición fenólica, se realizó la determinación del perfilado fenólico por UPLC-PDA-ESI—QqQ (Cuadro 1), en el cual se incluyeron en el estudio un total de 29 estándares de ácidos fenólicos, 21 estándares de flavonoides, y ácido gálico como estándar de taninos hidrolizables, de los cuales se identificaron en

las infusiones de *Q. sideroxyla* un total de 15 ácidos fenólicos, 17 flavonoides y 9 taninos hidrolizables como puede observarse en el cuadro 1.

Cuadro 1. Perfilado fenólico encontrado en infusiones foliares de *Quercus sideroxyla* UPLC-PDA-ESI-MS/MS.

Compuesto	RT (min)	λ max	Principales transiciones
Ácidos fenólicos			
Ácido 4-hidroxibenzoico	3.89	253.86	137.04 > 93.05
2,4,6-trihidroxibenzaldehido	5.76	290.86	153.15 > 83.04
Ácido <i>t</i> -cinámico	7.07	276.86	147.17 > 103.08
Ácido 2,5-di-hidroxibenzoico	3.65	323.86	153.15 > 108.92
Ácido protocatecoico	2.74	258.86	153.15 > 109.05
Ácido coumárico	5.86	308.86	163.24 > 119.08
Ácido vanílico	4.54	259.96	167.18 > 152.02
Ácido gálico	1.48	270.86	169.15 > 125.05
Ácido shikimico	0.68	274.86	191.20 > 85.06
Ácido cafeico	4.73	321.86	179.19 > 135.08
Ácido quínico	0.62	254.86	191.20 > 85.06
Ácido ferúlico	6.42	322.86	193.24 > 134.04
Ácido siríngico	4.86	273.86	197.21 > 182.05
Ácido clorogénico	4.27	324.86	353.10 > 191.20
Ácido 4-O-cafeoilquínico	4.45	324.86	353.10 > 191.20
Ácido cafeoilquínico	3.41	324.86	353.10 > 191.20
Flavonoides			
Naringenina	9.26	268.86	270.97 > 150.92
Floretina	9.4	268.86	272.91 > 166.97
Kaempferol	9.46	266.86	289.04 > 245
Catequina	3.92	282.86	289.04 > 245
Epicatequina	4.82	278.86	288.97 > 245.06
Quercetina	8.42	366.86	300.95 > 150.96
Taxifolina	7.43	358.86	470.96 > 272.98
Epicatequina galato	6.28	265.86	441.05 > 168.92
Floridzina	7.55	271.86	470.96 > 272.98
Quercetina glucuronido	6.22	355.86	476.92 > 300.99
Naringina	6.9	282.86	579 > 150.96
Rutina	6.12	365.86	609.04 > 270.94
Quercetina 3-O-glucósido	6.32	353.86	463.26 > 300.42 > 151
Procianidina B1	3.69	275.86	470.96 > 272.98

El efecto de las concentraciones de hojas impacta en la concentración de compuestos polifenólicos en infusiones de *Quercus sideroxyla*, como se puede observar en el cuadro 2, conforme aumenta la relación hojas/agua en la obtención de las infusiones de *Quercus sideroxyla* aumenta la abundancia de algunos compuestos polifenólicos, sin embargo, al llegar a concentraciones superiores al 7% el contenido polifenólico deja de aumentar, e inclusive disminuye. Comportamientos similares son observados por Vuong *et al.* (2011), quienes encontraron que, en té negro, la extracción y el perfilado de compuestos fenólicos se veían influenciados por la relación hojas/agua caliente, con modificaciones en la extracción de compuestos fenólicos como catequinas y taninos, asociado esto a la

saturación del solvente, así también, variando en función de la afinidad de moléculas por la polaridad del agua.

El perfilado de ácidos fenólicos mostrado por las distintas concentraciones de la infusiones destacan por su abundancia la presencia de ácido gálico, ácido shikimico, así como ácido quínico y sus derivados ácidos clorogénico, y 4-O-cafeoilquínico. Mientras que del grupo de los flavonoides destacan por su abundancia algunos flavonoles como derivados de la quercetina como quercetina glucósido, quercetina glucurónido y rutina, así como flavanoles entre estos catequina, procianidina B1, con respecto a los taninos hidrolizables abunda la presencia de formas glicósido del ácido elágico (ácido elágico xilósido, ácido elágico ramnósido y ácido elágico hexósido), perfilados similares a los reportados por Álvarez *et al.* (2023) quienes reportaron el perfilado de infusiones al 1% de *Quercus sideroxyla*.

Así también, mayores concentraciones de hojas de encino favorecieron la extracción de compuestos de mayor tamaño molecular, los taninos hidrolizables, destacando especialmente el ácido elágico hexósido que cuenta con mayor concentración en la infusión al 5% (8044.98±34.26 ng/mg) y ácido elágico ramnósido que tiene su máxima concentración en la IQS al 7% (469.41±8.36 ng/mg), observándose también menores concentraciones de ácidos fenólicos como ácido 4-O-cafeoilquínico, ácido clorogénico y flavonoides como quercetina, procianidina B1, y catequina. De manera análoga a los resultados obtenidos, Çavuldak *et al.* (2019) quienes realizaron la extracción de compuestos polifenólicos de distintas matrices herbales haciendo extracciones acuosas asistidas por ultrasonido, observaron que a mayor relación de materia prima sobre el agua la extracción de compuestos de mayor tamaño molecular y con una mayor afinidad por el agua, debido a los sustituyentes hidroxilo, eran extraídos en mayor abundancia.

Cuadro 2. Perfilado fenólico de infusiones de *Quercus sideroxyla* a distinta concentración de hojas secas por UPLC-ESI-MS/MS. Concentración expresada en ng/mg de muestra liofilizada

Compuesto	Porcentaje de hojas de <i>Quercus sideroxyla</i>									
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Ácidos fenólicos										
Ácido 4-hidroxibenzoico	25.55±3.72 ^{ab}	20.98±3.61 ^a	31.10±3.92 ^b	23.60±0.67 ^a	25.90±1.63 ^{ab}	24.29±0.40 ^{ab}	22.04±2.37 ^b	25.78±2.68 ^{ab}	22.36±1.32 ^a	15.01±21.19 ^a
Ácido 2,4,6-trihidroxibenzaldehído	104.00±8.06 ^a	81.46±11.14 ^b	75.15±2.24 ^b	74.36±1.70 ^b	90.07±0.77 ^c	95.04±11.26 ^c	93.02±7.73 ^c	82.89±14.44 ^b	85.05±8.97 ^b	55.79±7.87 ^a
Ácido <i>l</i> -cinámico	6.39±1.07 ^a	8.90±1.53 ^b	9.32±1.31 ^a	15.02±6.20 ^{ab}	10.51±0.56 ^a	9.77±1.71 ^a	14.58±0.21 ^b	18.94±1.85 ^b	15.34±4.19 ^b	11.42±1.61 ^a
Ácido 2,5-dihidroxibenzoico	32.01±2.07 ^a	28.03±0.56 ^a	38.33±5.45 ^b	39.51±4.72 ^b	40.83±6.08 ^b	43.25±0.34 ^b	43.52±1.91 ^b	34.26±4.85 ^c	18.12±3.86 ^d	21.87±3.08 ^d
Ácido protocatecoico	391.53±22.62 ^a	270.89±21.76 ^b	292.39±31.21 ^b 189.83±45.34 ^a	300.13±38.31 ^b	329.34±4.77 ^b	324.15±2.19 ^b	304.40±72.03 ^b	281.52±9.85 ^b	259.16±6.85 ^c	262.35±37.04 ^c
Ácido coumárico	163.57±8.33 ^a	162.02±8.35 ^a	218.42±32.27 ^b	219.36±2.17 ^b	162.83±11.32 ^a	93.59±14.49 ^c	84.85±2.40 ^c	56.39±4.75 ^d	42.20±59.57 ^d	
Ácido vanílico	20.89±15.41 ^a	28.38±6.13 ^a	28.99±17.59 ^a	29.63±07.87 ^a	32.54±0.49 ^a	28.44±0.31 ^a	23.35±0.87 ^a	21.69±1.10 ^a	16.08±12.91 ^b	5.32±7.50 ^c
Ácido gálico	4265.62±201.8 ^{3a}	4767.56±173.5 ^{5b}	4987±848.95 ⁴	5817.08±292.5 ⁹	5127.62±186.2 ^{4b}	5115.89±455.9 ⁰	3839.51±560.9 ^{5a}	3741.50±935.4 ^{9a}	2684.44±70.60 ^d	2443.42±34.49 ^a
Ácido shikimico	2664.37±273.0 ^{1a}	2394.76±434.2 ^{2a}	2735.48±337.7 ^{2b} 126.87±22.32 ^a	2750.92±71.50 ^a	2416.55±8.46 ^a	2869.23±29.89 ^a	2805.03±309.5 ^{4a}	2825.75±85.40 ^a	2822.65±75.72 ^a	1871.78±26.42 ^b
Ácido cafeico	118.38±3.58 ^a	119.01±3.95 ^a	135.64±0.12 ^b	99.58±1.66 ^a	113.22±4.68 ^a	60.25±2.88 ^b	69.65±11.11 ^c	46.85±4.22 ^d	38.99±5.50 ^d	
Ácido quínico	26933.41±221.27 ^a	21210.64±26.3 ^{5b}	28313±1830.3 ^{9c}	28990.56±282.59 ^c	28066.66±121.02 ^c	27209.02±56.3 ^{7c}	28363.94±992.92 ^c	30699.09±345.52 ^d	28544.51±192.81 ^c	18578.25±26.2 ^{2c}
Ácido ferúlico	9.71±1.18 ^a	9.44±2.08 ^a	10.65±2.41 ^a	10.24±2.22 ^a	8.46±0.02 ^a	11.36±0.92 ^a	8.81±1.31 ^a	7.03±0.55 ^b	5.45±1.68 ^b	4.79±0.67 ^c
Ácido siringico	20.16±1.05 ^a	25.58±1.49 ^a	27.64±0.07 ^b	22.24±3.78 ^{ab}	20.98±0.12 ^a	20.37±3.68 ^a	17.27±0.64 ^a	10.80±0.81 ^a	8.06±6.66 ^c	4.09±0.57 ^d
Ácido clorogénico	9912.26±479.4 ^{9a}	9467.03±64.62 ^a	9373.03±418.8 ^{8a}	9648.81±850.5 ^{7a}	10358.06±125.93 ^a	9849.40±218.7 ^{8a}	9435.63±1050.57 ^a	8956.89±464.3 ^{0b}	7957.89±64.37 ^c	5168.31±72.95 ^d
Ácido 4-O-cafeoilquínico	4898.29±256.8 ^{5a}	3262.29±69.47 ^a	2720.91±165.7 ^{0b}	2999.79±240.5 ^{5a}	2905.93±2319.09 ^b	2320.33±496.5 ^{0b}	1728.28±526.1 ^{5b}	868.38±12.28 ^a	985.79±478.46 ^c	1078.89±15.23 ^c
Ácido cafeoilquínico	3.71±0.04 ^a	2.83±0.44 ^a	5.55±1.17 ^b	7.57±2.13 ^b	4.13±1.92 ^{ab}	4.81±0.11 ^b	7.72±0.98 ^b	5.73±1.30 ^b	9.55±0.28 ^c	9.63±1.36 ^c
Flavonoides										
Naringenina	2.49±0.53a	1.41±0.20a	1.82±0.13 ^a	1.33±0.00a	0.97±0.10 ^{ab}	0.64±0.20 ^b	0.60±0.19 ^b	0.55±0.11 ^b	0.35±0.17 ^b	0.40±0.11 ^b
Floretina	0.16±0.04a	0.05±0.02a	0.08±0.07 ^a	0.09±0.02a	0.07±0.05 ^a	0.05±0.02 ^a	0.02±0.02 ^a	0.04±0.05 ^a	0.02±0.00 ^a	0.02±0.02 ^a

Kaempferol	48.33±6.76a	24.07±0.03b	25.51±6.87 ^b	26.97±7.90 ^b	21.72±3.91 ^b	21.39±0.03 ^b	25.58±4.84 ^b	22.07±2.32 ^b	22.87±8.46 ^b	16.02±2.48 ^b
Catequina	2109.55±6.26a	1628.43±63.43	1776.71±64.57	1727.67±35.40 ^b	1593.52±74.03 ^a	1652.49±63.43	1372.59±98.13 ^a	1526.12±59.60 ^a	1257.43±204.2	1306.36±236.5
Epicatequina	9.52±8.78a	6.72±3.60a	8.99±11.98 ^a	12.74±3.41 ^a	12.82±2.12 ^a	9.04±3.60 ^a	11.34±0.19 ^a	7.66±1.79 ^a	4.37±0.18 ^b	2.56±1.48 ^b
Quercetina	221.27±29.36a	201.50±15.18a	289.59±31.91 ^b	277.51±30.43 ^b	168.31±3.77 ^c	155.08±15.18 ^c	92.67±16.41 ^c	110.79±24.69 ^c	98.59±6.17 ^c	90.92±22.49 ^c
Taxifolina	5.06±0.79a	4.86±0.31a	3.93±1.04 ^a	3.14±0.04 ^a	3.73±0.43 ^a	3.66±0.31 ^a	2.96±2.17 ^a	2.86±0.38 ^a	1.86±1.10 ^a	2.34±0.88 ^a
Epicatequina galato	3.04±0.09a	3.00±0.08a	3.16±0.47 ^a	2.80±0.01 ^{ab}	1.25±0.07 ^b	1.20±0.00 ^b	1.00±0.00 ^b	1.20±0.11 ^b	1.60±0.27 ^b	1.88±0.97 ^b
Floridzina	59.96±2.24 ^a	48.86±1.82 ^{ab}	42.15±3.00 ^b	38.90±11.21 ^b	40.47±6.49 ^b	40.91±1.82 ^b	37.32±7.20 ^b	30.06±3.71 ^c	34.53±1.19 ^c	35.06±7.10 ^{cb}
Quercetina glucuronido	2805.09±69.56 ^a	2022.44±87.66	1934.87±190.8	2053.95±614.4	2673.73±60.22 ^a	2374.44±87.66	2305.26±263.8	1906.78±301.9	1859.04±61.78 ^b	2049.21±283.3
Naringina	0.06±0.00 ^a	0.00±0.00 ^b	0.20±0.02 ^c	0.00±0.00 ^b	0.22±0.03 ^c	0.28±0.00 ^d	0.16±0.023 ^c	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b
Rutina	235.71±63.51 ^a	247.56±27.43 ^a	295.11±66.27 ^a	281.26±75.11 ^{ab}	297.91±58.78 ^{ab}	297.41±27.43 ^a	334.89±76.82 ^{bc}	390.59±72.06 ^{bc}	379.91±21.00 ^{bc}	350.38±50.09 ^{bc}
Quercetina 3-O-glucósido	642.00±138.99 ^a	656.75±22.01 ^a	673.78±87.14 ^a	639.30±162.89 ^a	674.86±19.18 ^a	609.98±22.01 ^a	607.94±74.51 ^a	532.63±122.77 ^b	532.81±13.53 ^b	521.16±65.97 ^b
Procianidina B1	2405.38±510.6	2691.96±58.23	2456.40±5.10 ^a	2246.84±312.0	2030.18±176.9	2104.18±58.23	1795.46±263.1	1762.93±351.7	1679.92±95.69 ^b	1748.37±256.9
Procianidina B2	184.45±14.66 ^a	50.60±71.55 ^b	49.44±9.77 ^b	44.59±2.22 ^b	43.66±6.88 ^b	45.25±71.55 ^b	31.19±51.61 ^b	32.22±12.78 ^b	30.46±16.04 ^b	34.70±20.33 ^b
Kaempferol glucósido	192.01±15.79 ^a	115.34±3.02 ^b	104.95±13.58 ^c	111.63±49.63 ^c	120.10±2.89 ^d	124.55±3.02 ^d	130.30±3.85 ^d	96.66±24.81 ^e	92.37±0.68 ^e	76.12±17.50 ^e
Taninos hidrolizables										
Ácido elágico xilósido	365.58±62.22 ^a	330.36±22.92 ^a	303.57±27.06 ^a	392.25±73.66 ^a	439.33±4.91 ^a	351.28±25.74 ^a	392.13±61.66 ^a	392.18±103.32 ^a	398.24±8.24 ^a	419.03±29.94 ^a
Ácido elágico ramnósido	370.29±87.33 ^{ab}	398.54±16.09 ^a	440.89±27.98 ^a	406.66±53.67 ^a	427.71±8.13 ^a	469.41±8.36 ^a	404.51±78.86 ^a	344.91±20.75 ^b	321.27±21.27 ^b	349.50±50.59 ^{ab}
Ácido elágico hexósido	6814.27±128.8	7000.87±278.3	6008.67±84.68	6356.19±155.0	8044.98±34.26 ^b	6361.97±228.7	7209.70±504.1	5437.01±1253.	6227.54±27.54 ^a	6304.40±1118.
Trigalol hexósido	139.44±24.38 ^a	91.39±13.24 ^b	29.09±1.91 ^c	40.26±24.68 ^b	90.28±4.30 ^b	89.70±27.37 ^b	112.28±8.96 ^b	22.27±5.28 ^b	30.22±1.22 ^c	65.06±19.08 ^{bc}
Castalagina	28.32±1.66 ^a	13.32±11.53 ^b	7.70±5.22 ^b	11.94±6.52 ^b	13.01±1.76 ^b	10.58±0.26 ^b	17.87±0.91 ^c	17.96±6.26 ^c	22.26±2.26 ^c	19.47±0.97 ^c
Di-HHDP-hexósido (Penedulagina 1)	11.78±1.13 ^a	11.92±1.66 ^a	9.12±1.10 ^a	9.20±4.06 ^a	18.11±9.58 ^b	19.31±3.71 ^b	22.15±0.42 ^b	17.73±6.21 ^b	20.90±0.90 ^b	24.20±3.79 ^b
Di-HHDP hexósido (Penedulagina 2)	14.44±1.87 ^a	17.47±2.40 ^a	18.91±4.18 ^a	25.11±0.63 ^b	26.79±2.55 ^b	32.51±0.92 ^b	39.27±8.28 ^b	49.36±3.40 ^d	50.19±0.19 ^d	55.11±14.88 ^d
Vascalagina	1.68±1.45 ^a	3.26±2.82 ^a	3.42±1.21 ^a	3.25±0.30 ^a	4.63±0.16 ^a	5.52±3.81 ^a	10.51±1.26 ^b	13.20±1.75 ^b	18.02±8.02 ^c	17.70±4.76 ^c

Datos expresados en media ± desviación estándar. Diferentes literales representan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Dichos cambios en el perfilado fenólico pueden impactar en los potenciales efectos funcionales, en el caso de las infusiones con mayor proporción de hojas, especialmente aquellas entre el 5 y 6% de hojas de encino al extraer en mayor abundancia taninos hidrolizables, las cuales pueden poseer un mayor potencial antioxidante, principalmente relacionado a los múltiples mecanismos de dichos taninos entre ellos la eliminación de radicales libres, quelación de metales de transición, inhibición de enzimas prooxidativas y peroxidación lipídica (Koleckar *et al.*, 2008). Otro potencial efecto asociado a la presencia de taninos hidrolizables es la modificación de la microbiota intestinal, en donde la presencia de taninos hidrolizables se ha asociado con mayores abundancias de especies como *Akkermansia muciniphila*, así como favorecer la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) (Molino *et al.*, 2021).

Potencial biológico antioxidante y antiinflamatoria de infusiones de *Quercus sideroxylla*

Dentro de los principales potenciales funcionales encontrados en infusiones de *Quercus sideroxylla* se encuentran su potencial antioxidante, así como el potencial antiinflamatorio derivado de su composición fenólica. Como pudo observarse en el cuadro 3, las diferencias significativas en cuanto al contenido polifenólico, así como el perfilado fenólico mostró concordancia con respecto a su efecto sobre la actividad antioxidante de las infusiones de encino para los métodos analizados fue similar en comportamiento, es decir, la mayor concentración de compuestos polifenólicos favoreció un mayor potencial antioxidante (ABTS+•: 52.49±0.89; DPPH: 38.17±2.25, ORAC: 505.16±12.91 mg/g eq. Trolox), correspondientes a la infusión al 7% (p/v) (Cuadro 3). Asimismo, la actividad antioxidante fue de mayor para el ensayo de ORAC, ensayo que mide la capacidad de absorción de radicales de oxígeno, dicho efecto puede asociarse a la presencia de un alto contenido de taninos hidrolizables derivados de ácido elágico, que por la presencia de ácido elágico, así como múltiples grupos -OH favorecen la donación de hidrógenos (Yoshida *et al.*, 2010)

La determinación del potencial antiinflamatorio de las infusiones de *Q. sideroxylla* en las concentraciones de entre el 1 y el 10% permitió observar un importante potencial antiinflamatorio al mantener la estabilidad de las membranas biológicas sometidas a estrés osmótico y térmico, siendo en todos los casos superior al control de indometacina a una concentración de 250 µg/mL que estabilizó las membranas eritrocitarias en un 60.31±0.31%. Dichos efectos son superiores a los mostrados por Yesmin *et al.* (2020) quienes estudiaron el efecto estabilizador de membranas de extractos metanólicos de raíces de la especie Piper chaba, estabilizando en un 35.67% a una concentración de 500 µg/mL. Por otro lado, Thakur *et al.* (2020) quienes trabajaron con extractos metanólicos y hidrometanólicos de jengibre, observando que a concentraciones de 1000 µg/mL los extractos metanólicos estabilizaron las membranas eritrocitarias en un 88.13% en tanto que a la misma concentración los extractos hidrometanólicos la estabilización fue de solamente el 75.53%, en donde tras un tamizaje fitoquímico, los extractos hidrometanólicos fueron carentes de la presencia de taninos hidrolizables.

Cuadro 3. Efecto de la concentración de infusiones de hojas de *Quercus sideroxylla* sobre la actividad antioxidante y antiinflamatoria

Parámetro	Concentración de las infusiones (% de hojas de <i>Quercus sideroxylla</i>)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ABTS+• (mg eq. Trolox / mg)	43.38±0.38 ^a	48.26±0.80 ^b	49.15±1.02 ^b	52.62±1.02 ^b	62.36±1.73 ^c	50.95±0.59 ^b	52.49±0.89 ^b	51.97±0.80 ^b	51.59±5.44 ^b	45.69±1.33 ^a
FRAP (mg eq. Trolox / mg)	10.39±0.14 ^a	25.90±0.76 ^a	34.63±0.24 ^c	31.85±0.98 ^c	32.50±1.04 ^c	34.61±0.49 ^c	38.17±2.25 ^c	39.31±1.43 ^c	36.27±0.16 ^c	36.67±0.90 ^c
ORAC (mg eq. Trolox / mg)	277.91±11.90 ^a	336.86±52.95 ^b	387.05±16.18 ^b	393.16±26.81 ^b	427.68±18.04 ^c	481.34±24.81 ^d	505.16±12.91 ^c	524.16±4.90 ^f	522.46±14.01 ^f	493.89±27.89 ^d
% EMB (% de estabilización)	88.43±0.95 ^a	87.93±0.10 ^a	88.76±1.42 ^a	83.00±0.29 ^b	84.10±1.45 ^b	84.66±0.67 ^b	83.96±0.81 ^b	83.00±0.81 ^b	80.63±1.31 ^{b,c}	78.03±0.52 ^c

Datos expresados en media ± desviación estándar. Diferentes literales representan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Con la finalidad de establecer la relación de dichos efectos biológicos y su relación con las concentraciones de hojas de encino, se realizó un análisis discriminante por mínimos cuadrados parciales (PLS-DA, figura 2a), en donde puede observarse comportamiento de similitud entre los grupos de acuerdo con el porcentaje de hojas de encino usados para su formulación, identificando un comportamiento similar entre los grupos cuya concentración de hojas del 7 al 10% (p/v). Adjunto al análisis por PLS-DA, se obtuvieron las principales variables en importancia (VIP, figura 2b), considerando significativas aquellas cuyo puntaje VIP fue superior o igual a 1. En dicho estudio puede observarse que un total de 9 variables resultaron de importancia para el modelo, así también pudo correlacionarse los efectos biológicos de actividad antioxidante (FRAP, ORAC, ABTS) y antiinflamatoria (% EMB).

Fue posible a partir de dichos análisis relacionar el contenido de taninos hidrolizables con los efectos biológicos, al favorecer el la reducción del ion férrico, especialmente a la naringenina y penducalagina, estos efectos también fueron reportados previamente en elagitaninos en frambuesa (Ross *et al.*, 2007). Otros autores, como Dudonné *et al.* (2009) observaron que el atrapamiento de radicales de oxígeno es influenciado por el contenido de castalagina actuando de manera sinérgica con distintos ácidos fenólicos, esto al estudiar 30 distintos extractos purificados.

Así también, el contenido polifenólico demostró influenciar el potencial antiinflamatorio, dichas condiciones de estrés suelen ser características del inicio de procesos de señalización proinflamatorios, de ahí la importancia de mantener la estabilidad de las membranas. La actividad antiinflamatoria se encuentra asociada al contenido de taninos hidrolizables y la actividad antioxidante, entre ellas la epicatequina galato (figura 2b). Este compuesto se ha relacionado por otros autores con potencial antiinflamatorio al disminuir concentraciones de las interleucina 6 (IL-6) e IL-1β, así como la prostaglandina E2 (PGE2) (Al-Sayed y Abdel-Daim, 2018). Asimismo, estudios realizados por Wang y Cao

(2014) la epicatequina inhibió la producción de sustancias proinflamatorias, entre ellas el óxido nítrico (NO) y la prostaglandina E2 (PGE2). Además, redujo la generación de citocinas proinflamatorias como el factor de necrosis tumoral alfa (TNF-alfa) y IL-6 en macrófagos Raw 264.7 estimulados con lipopolisacárido (LPS).

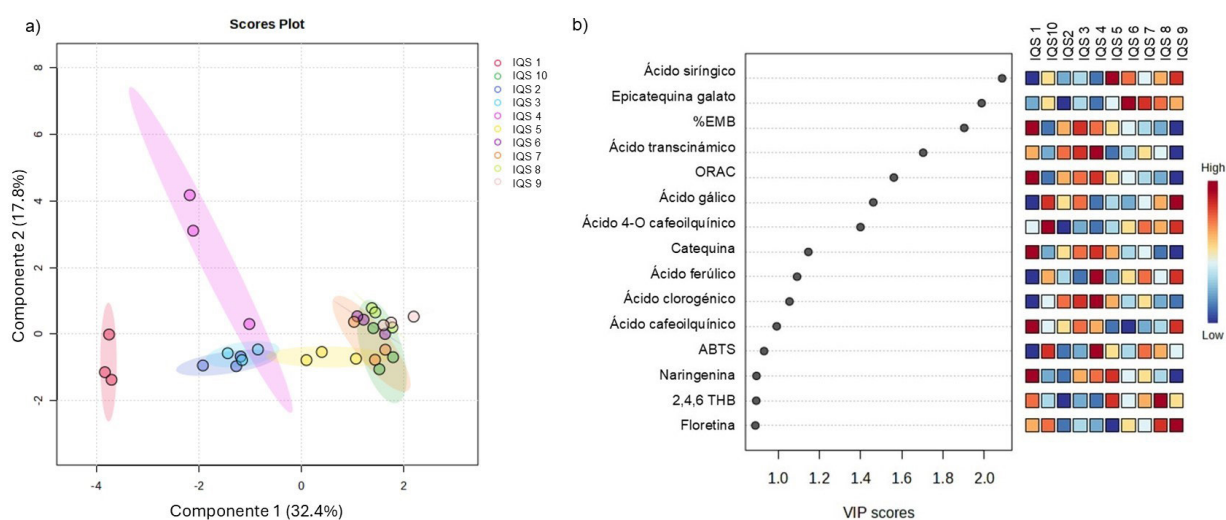


Figura 2. Análisis multivariable del comportamiento de infusiones de hojas de *Quercus sideroxylla*. a) Grafico de puntajes 2D donde se observa el comportamiento de los grupos de estudio tras realizar un análisis discriminante por mínimos cuadrados parciales (PLS-DA) b) puntajes de las principales variables en importancia (VIP) considerando valores significativos aquellas variables cuyo puntaje fue superior a 1.

CONCLUSIÓN

La variación en el porcentaje de hojas de *Quercus sideroxylla* en función del porcentaje en relación peso/volumen (p/v) mostró diferencias en el contenido total y el perfilado de fenoles extraídos y la extracción de compuestos no aumenta de manera lineal con respecto al aumento de soluto. Las diferencias en el perfilado polifenólico mostró tener efecto sobre la actividad antioxidante y antiinflamatoria, en donde la actividad sinérgica de los ácidos fenólicos, flavonoides y la epicatequina galato se asoció con la actividad antioxidante y antiinflamatoria.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Rocío Moreno-Jiménez. Curación de datos: Rocío Moreno-Jiménez, Alberto Gallegos-Infante; Nuria Rocha-Guzmán; Análisis formal: Carlos Salas-Ramírez, Rocío Moreno-Jiménez, Alberto Gallegos-Infante, Nuria Rocha-Guzmán, Rubén González-Laredo, Karen Herrera-Rocha, Manuel González-Mercado; Adquisición de fondos: Rocío Moreno-Jiménez; Investigación: Rocío Moreno-Jiménez, Carlos Salas-Ramírez; Metodología: Carlos Salas-Ramírez; Administración del proyecto: Rocío Moreno-Jiménez; Recursos: Rocío Moreno-Jiménez; Supervisión: Carlos Salas-Ramírez, Rocío Moreno-Jiménez, Alberto Gallegos-Infante, Nuria Rocha-Guzmán, Rubén González-Laredo, Karen Herrera-Rocha, Manuel González-Mercado; Validación: Carlos Salas-Ramírez, Rocío Moreno-Jiménez, Alberto Gallegos-Infante, Nuria Rocha-Guzmán, Rubén González-Laredo, Karen

Herrera-Rocha, Manuel González-Mercado; Visualización: Rocío Moreno-Jiménez, Carlos Salas-Ramírez; Redacción - borrador original: Rocío Moreno-Jiménez, Carlos Salas-Ramírez Redacción - revisión y edición: Rocío Moreno-Jiménez, Carlos Salas-Ramírez.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto apoyado por el Tecnológico Nacional de México (TECNM) (Subvención No. 20656.24-P); C.A.S.-R. Agradece su beca a la SECITI.

LITERATURA CITADA

- Al Sayed, E., & Abdel Daim, M. M. (2018). Analgesic and anti inflammatory activities of epicatechin gallate from *Bauhinia hookeri*. *Drug Development Research*, 79(4), 157-164. <https://doi.org/10.1002/ddr.21430>
- Álvarez, S. A., Rocha Guzmán, N. E., Sánchez-Burgos, J. A., Gallegos Infante, J. A., Moreno Jiménez, M. R., González Laredo, R. F., & Solís-González, S. (2023). Analysis of antioxidant constituents of filtering infusions from oak (*Quercus sideroxyla* bonpl. and *Quercus eduardii* trel.) and yerbaniz (*Tagetes lucida* (Sweet) voss) as monoamine oxidase inhibitors. *Molecules*, 28(13), 5167. <https://doi.org/10.3390/molecules28135167>
- Astill, C., Birch, M. R., Dacombe, C., Humphrey, P. G., & Martin, P. T. (2001). Factors affecting the caffeine and polyphenol contents of black and green tea infusions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5340-5347. <https://doi.org/10.1021/jf010759+>
- Benzie, I. F., & Choi, S. W. (2014). Antioxidant in food: Content, measurement, significance, action, cautions, caveats, and research needs. *En Advances in food and nutrition research.*, 71, 1-53. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800270-4.00001-8>
- Bobo, G., Davidov Pardo, G., Arroqui, C., Vírseda, P., Marín-Arroyo, M. R., & Boronat-Navarro, M. (2014). Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(1), 204-209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6706>
- Çavuldak, Ö. A., Vural, N., Akay, M. A., & Anlı, R. E. (2019). Optimization of ultrasound assisted water extraction conditions for the extraction of phenolic compounds from black mulberry leaves (*Morus nigra* L.). *Journal of Food Process Engineering*, 42(5). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13132>
- Díaz-Rivas, J.O.; González-Laredo, R.F.; Chávez-Simental, J.A.; Montoya-Ayón, J.B.; Moreno-Jiménez, M.R.; Gallegos-Infante, J.A.; Rocha-Guzmán, N.E. (2018) Comprehensive PDA-ESI-QqQ of *Buddleja scordioides* plants elicited with salicylic acid. *J. Chem.* 218, 4536970
- Dudonné, S., Vitrac, X., Coutière, P., Woillez, M., & Mérillon, J. (2009). Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1768-1774. <https://doi.org/10.1021/jf803011r>
- Evtugin, D. D., Magina, S., & Evtugin, D. V. (2020). Recent Advances in the Production and Applications of Ellagic Acid and Its Derivatives. A Review. *Molecules*, 25(12), 2745. <https://doi.org/10.3390/molecules25122745>
- Gamboa Gómez, C. I., Simental Mendía, L. E., González Laredo, R. F., Alcantar-Orozco, E. J., Monserrat-Juarez, V. H., Ramírez-España, J. C., Gallegos Infante, J. A., Moreno Jiménez, M. R., & Rocha Guzmán, N. E. (2017). In vitro and in vivo assessment of anti-hyperglycemic and antioxidant effects of oak lea-

- ves (*Quercus convallata* and *Quercus arizonica*) infusions and fermented beverages. *Food Research International*, 102, 690-699. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.040>
- Kowalska, J., Marzec, A., Domian, E., Galus, S., Ciuzyńska, A., Brzezińska, R., & Kowalska, H. (2021). Influence of Tea Brewing Parameters on the Antioxidant Potential of Infusions and Extracts Depending on the Degree of Processing of the Leaves of *Camellia sinensis*. *Molecules*, 26(16), 4773. <https://doi.org/10.3390/molecules26164773>
- Koleckar, V., Kubikova, K., Rehakova, Z., Kuca, K., Jun, D., Jahodar, L., & Opletal, L. (2008). Condensed and Hydrolysable Tannins as Antioxidants Influencing the Health. *Mini-Reviews In Medicinal Chemistry*, 8(5), 436-447. <https://doi.org/10.2174/138955708784223486>
- Mendez-Encinas, M. A., Valencia, D., Ortega-García, J., Carvajal-Millan, E., Díaz-Ríos, J. C., Mendez-Pfeiffer, P., Soto-Bracamontes, C. M., Garibay-Escobar, A., Alday, E., & Velazquez, C. (2023b). Anti-Inflammatory Potential of Seasonal Sonoran Propolis Extracts and Some of Their Main Constituents. *Molecules*, 28(11), 4496. <https://doi.org/10.3390/molecules28114496>
- Molino, S., Lerma-Aguilera, A., Jiménez-Hernández, N., Gosalbes, M. J., Rufián-Henares, J. Á., & Francino, M. P. (2021). Enrichment of Food With Tannin Extracts Promotes Healthy Changes in the Human Gut Microbiota. *Frontiers In Microbiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.625782>
- Moreno Jiménez, M. R., Trujillo-Esquivel, F., Gallegos Corona, M. A., Reynoso Camacho, R., González Laredo, R. F., Gallegos Infante, J. A., Rocha Guzmán, N. E., & Ramos-Gómez, M. (2015). Antioxidant, anti-inflammatory and anticarcinogenic activities of edible red oak (*Quercus* spp.) infusions in rat colon carcinogenesis induced by 1,2-dimethylhydrazine. *Food and Chemical Toxicology*, 80, 144-153. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2015.03.011>
- Nájera-Luna, J. A., Vargas-Antonio, Z., Méndez-González, J., & De Jesús Graciano-Luna, J. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. de El Salto, Durango. *Redalyc.org*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46110307>
- Oliveira, P. A., Medeiros Fonseca, B., Nóbrega, C., Alvarado, A., Pires, M. J., Vala, H., Barros, A., & Faustino-Rocha, A. I. (2023b). *Quercus* spp. extract as a Promising preventive or therapeutic strategy for cancer: A Systematic review. *Molecular Medicine Reports*, 28(3). <https://doi.org/10.3892/mmr.2023.13062>
- Osman, N. I., Sidik, N. J., Awal, A., Adam, N. A. M., & Rezali, N. I. (2016). In vitro xanthine oxidase and albumin denaturation inhibition assay of *barringtonia racemosa* L. And total phenolic content analysis for potential anti-inflammatory use in gouty arthritis. *Journal of Intercultural Ethnopharmacology*, 5(4), 343-349. <https://doi.org/10.5455/jice.20160731025522>
- Ou, B., Hampsch-Woodill, M., & Prior, R. L. (2001). Development and Validation of an Improved Oxygen Radical Absorbance Capacity Assay Using Fluorescein as the Fluorescent Probe. *Journal Of Agricultural And Food Chemistry*, 49(10), 4619-4626. <https://doi.org/10.1021/jf010586o>
- Piazza, S., Martinelli, G., Fumagalli, M., Pozzoli, C., Maranta, N., Giavarini, F., Colombo, L., Nicotra, G., Vicentini, S. F., Genova, F., De Fabiani, E., Sangiovanni, E., & Dell'Agli, M. (2023). Ellagitannins from *Castanea sativa* Mill. leaf extracts impair *H. pylori* viability and Infection-Induced inflammation in human gastric epithelial cells. *Nutrients*, 15(6), 1504. <https://doi.org/10.3390/nu15061504>
- Qi, W., Qi, W., Xiong, D., & Long, M. (2022). Quercetin: Its Antioxidant Mechanism, Antibacterial Properties and Potential Application in Prevention and Control of Toxipathy. *Molecules*, 27(19), 6545. <https://doi.org/10.3390/molecules27196545>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A. R., Pannala, A. S., Yang, M., & Rice Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology And Medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Rocha Guzmán, N. E., Gallegos Infante, J. A., González Laredo, R. F., Reynoso Camacho, R., Ramos-Gómez, M., García-Gasca, T., Rodríguez-Muñoz, M. E., Guzmán-Maldonado, S. H., Medina Torres, L., & Lujan-García, B. A. (2009). Antioxidant activity and genotoxic effect on HELA cells of phenolic compounds from infusions of *Quercus resinosa* leaves. *Food Chemistry*, 115(4), 1320-1325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.050>
- Rocha Guzmán, N. E., Medina-Medrano, J. R., Gallegos Infante, J. A., González Laredo, R. F., Ramos-

- Gómez, M., Reynoso Camacho, R., Guzmán Maldonado, H., & González Herrera, S. M. (2012). Chemical evaluation, antioxidant capacity, and consumer acceptance of several oak infusions. *Journal of Food Science*, 77(2). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02524.x>
- Ross, H. A., McDougall, G. J., & Stewart, D. (2007). Antiproliferative activity is predominantly associated with ellagitannins in raspberry extracts. *Phytochemistry*, 68(2), 218-228. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.10.014>
- Samuel, B. B., Esho, B. A., Akinwunmi, K. F., & Oluyemi, W. M. (2021). Membrane stabilization and inhibition of protein denaturation as mechanisms of the Anti-Inflammatory activity of some plant species. DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals). <https://doi.org/10.30476/tips.2021.93160.1118>
- Sembing, E. N., Elya, B., & Sauriasari, R. (2017). Phytochemical screening, total flavonoid and total phenolic content and antioxidant activity of different parts of *Caesalpinia Bonduc* (L.) Roxb. *Pharmacognosy Journal*, 10(1), 123-127. <https://doi.org/10.5530/pj.2018.1.22>
- Statista. (2024). México: valor de la producción forestal de encino 2005-2018. <https://es.statista.com/estadisticas/593140/valor-de-la-produccion-de-encino-mexico/>
- Thakur, M. D., Sheth, N. R., & Raval, M. K. (2020). Assessment of In vitro Anti-inflammatory Activity of Ginger and Diclofenac sodium combination. *International Journal Of Pharmaceutical Sciences And Drug Research*, 442-447. <https://doi.org/10.25004/ijpsdr.2020.120503>
- Vuong, Q. V., Golding, J. M., Stathopoulos, C. E., Nguyen, M. H., & Roach, P. D. (2011). Optimizing conditions for the extraction of catechins from green tea using hot water. *Journal of Separation Science*, 34(21), 3099-3106. <https://doi.org/10.1002/jssc.201000863>
- Wang, H., & Cao, Z. (2014). Anti-inflammatory Effects of (-)-Epicatechin in Lipopolysaccharide-Stimulated Raw 264.7 Macrophages. *Tropical Journal Of Pharmaceutical Research*, 13(9), 1415. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v13i9.6>
- Wang, S., Li, Y., Meng, X., Chen, S., Huang, D., Xia, Y., & Zhu, S. (2021). Antioxidant activities of chlorogenic acid derivatives with different acyl donor chain lengths and their stabilities during in vitro simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 357, 129904. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129904>
- World Health Organization. (2009). Benefits and risks of the use of chlorine-containing disinfectants in food production and food processing : report of a joint FAO/WHO expert meeting, Ann Arbor, MI, USA, 27-30 May 2008. <https://iris.who.int/handle/10665/44250>
- Yesmin, S., Paul, A., Naz, T., Rahman, A. B. M. A., Akhter, S. F., Wahed, M. I. I., Emran, T. B., & Siddiqui, S. A. (2020). Membrane stabilization as a mechanism of the anti-inflammatory activity of ethanolic root extract of *Choi* (*Piper chaba*). *Clinical Phytoscience*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40816-020-00207-7>
- Yoshida, T., Amakura, Y., & Yoshimura, M. (2010). Structural Features and Biological Properties of Ellagitannins in Some Plant Families of the Order Myrtales. *International Journal Of Molecular Sciences*, 11(1), 79-106. <https://doi.org/10.3390/ijms11010079>