



POTENCIAL NUTRACÉUTICO DE FRUTOS DE ESPECIES SILVESTRES DE ZARZAMORA Y FRAMBUESA

NUTRACEUTICAL POTENTIAL OF FRUITS OF WILD SPECIES OF BLACKBERRY AND RASPBERRY

Christian Camilo Castañeda-Cardona¹, Diana Guerra-Ramírez^{2*}, Juan Martínez-Solís¹, Alejandro Facundo Barrientos-Priego¹, Margarita Gisela Peña-Ortega¹ y Yacenia Morillo-Coronado³

¹Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Departamento de Fitotecnia, Texcoco, Estado de México, México. ²UACH, Departamento de Preparatoria Agrícola, Texcoco, Estado de México, México. ³Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

*Autor de correspondencia (dguerrar@chapingo.mx)

RESUMEN

Las frutillas como zarzamoras, frambuesas, arándanos y fresas son ricas en compuestos fenólicos, metabolitos secundarios biosintetizados como resultado de la evolución de las plantas terrestres para hacer frente a los desafíos ambientales; en particular, las especies silvestres suelen tener características que les permiten adaptarse a ambientes adversos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial nutraceutico de genotipos silvestres del género *Rubus*, mediante la determinación de sus propiedades antioxidantes, para su posible inclusión en programas de mejoramiento genético. El contenido de fenoles, flavonoides y antocianinas totales, así como la capacidad antioxidante, por los ensayos ABTS y FRAP, fueron cuantificados en extractos polares de frutos correspondientes a seis zarzamoras: *Rubus glaucus*, la variedad Tupy, una muestra comercial y tres silvestres (Hidalgo 2.3, Hidalgo 2.4 y Chiapas 1) y una frambuesa (*Rubus niveus*). La concentración de compuestos fenólicos en las especies se encontró en el intervalo de 9.67 ± 0.47 a 17.81 ± 0.54 mg g⁻¹ equivalentes de ácido gálico (EAG) en peso seco (PS), los flavonoides totales de 2.28 ± 0.20 a 10.27 ± 0.58 mg g⁻¹ equivalentes de catequina (EC) en PS y antocianinas totales de 0.88 ± 0.05 a 19.19 ± 0.65 mg g⁻¹ equivalentes de cianidina-3-glucósido EC3G en PS. Los valores de la capacidad antioxidante fueron de 715.09 ± 25.22 a 1357.29 ± 20.76 y de 19.67 ± 0.94 a 93.5 ± 6.03 μmol g⁻¹ equivalentes de trolox (ET) en PS para los ensayos ABTS y FRAP, respectivamente. Se encontró que los genotipos silvestres, denominados Hidalgo 2.3 y Chiapas 1, presentaron las concentraciones más altas de compuestos fenólicos y, por lo tanto, una mayor capacidad antioxidante. Considerando que estos compuestos protegen a las plantas contra factores bióticos y abióticos adversos dentro de su ecosistema, los genotipos silvestres Hidalgo 2.3 y Chiapas 1 son candidatos para la selección en programas de mejoramiento genético.

Palabras clave: *Rubus glaucus*, *Rubus niveus*, antocianinas, capacidad antioxidante, contenido fenólico, Tupy.

SUMMARY

Berries such as blackberries, raspberries, blueberries and strawberries are rich in phenolic compounds, secondary metabolites biosynthesized as a result of the evolution of terrestrial plants to cope with environmental challenges. In particular, wild species often have characteristics that allow them to adapt to adverse environments. The objective of this study was to evaluate the nutraceutical potential of wild genotypes of the genus *Rubus*, by determining their antioxidant properties, for possible inclusion in breeding programs. The content of phenols, flavonoids and total anthocyanins, as well as the antioxidant capacity, by ABTS and FRAP assays, were quantified in polar

extracts of fruits corresponding to six blackberries: *Rubus glaucus*, the Tupy variety, one commercial sample and three wild ones (Hidalgo 2.3, Hidalgo 2.4 and Chiapas 1) and one raspberry (*Rubus niveus*). The concentration of phenolic compounds in the species was found in the range of 9.67 ± 0.47 to 17.81 ± 0.54 mg g⁻¹ gallic acid (GAE) equivalents in dry weight (DW), total flavonoids from 2.28 ± 0.20 to 10.27 ± 0.58 mg g⁻¹ mg catechin equivalents (CE) in DW, and total anthocyanins of 0.88 ± 0.05 to 19.19 ± 0.65 mg g⁻¹ of cyanidin-3-glucoside (C3GE) equivalents in DW. The antioxidant capacity values were from 715.09 ± 25.22 to 1357.29 ± 20.76 and from 19.67 ± 0.94 to 93.5 ± 6.03 μmol g⁻¹ of trolox equivalents (TE) in DW for ABTS and FRAP assays, respectively. Wild genotypes named Hidalgo 2.3 and Chiapas 1, were found to have the highest concentrations of phenolic compounds, and therefore, higher antioxidant capacity. Considering that these compounds protect plants against adverse biotic and abiotic factors within their ecosystem, the wild genotypes Hidalgo 2.3 and Chiapas 1 are candidates for selection in breeding programs.

Index words: *Rubus glaucus*, *Rubus niveus*, anthocyanins, antioxidant capacity, phenolic content, Tupy.

INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista económico, las frutillas, pertenecientes a los géneros *Rubus*, *Fragaria* y *Vaccinium*, tienen una demanda muy alta a nivel mundial. En relación con sus propiedades nutricionales, estos frutos tienen bajo contenido energético, son ricos en vitaminas, minerales y compuestos fitoquímicos como flavonoides, ácidos fenólicos, taninos y otros que les confieren características nutraceuticas (Foito *et al.*, 2018; Nile *et al.*, 2014; Shahidi y Ambigaipalan, 2015).

El género *Rubus* es uno de los más diversos del reino vegetal, se estima que alrededor del mundo existen más de 700 especies (Brennan *et al.*, 2014). En gran parte del continente americano, desde México hasta Ecuador, las diferentes especies de zarzamoras crecen entre los 2000 y 3100 msnm (Cancino-Escalante *et al.*, 2011). Tan solo en México, se presentan alrededor de 42 especies (Rodríguez-Bautista *et al.*, 2021). Las zarzamoras y frambuesas pertenecen al mismo género, *Rubus*, pero difieren en el

subgénero, ya que las zarzamoras pertenecen a *Rubus* y las frambuesas a *Ideaobatus*. Estas últimas son diploides ($2n = 2x = 14$) y las zarzamoras varían de diploides hasta dodecaploides ($2n = 2x = 14$ a $2n = 12x = 84$) (Foster *et al.*, 2019). Sus frutos están formados por drupeolas con diversas texturas y de forma globosa, se agrupan formando polidrupas, donde cada una de ellas contiene una semilla, pueden mantenerse unidas al receptáculo floral para el caso de las zarzamoras o desprenderse de él para el caso de las frambuesas (Romoleroux, 1996).

Entre los principales compuestos fenólicos en las especies del género *Rubus* se encuentran las antocianinas, predominando la cianidina-3-glucósido y la pelargonidina 3-rutinósido; otro tipo de flavonoides son la quercetina, el kaemferol y la epicatequina; también se encuentran presentes algunos ácidos orgánicos como el elágico y gálico y taninos hidrolizables como los elagitaninos (Bhatt *et al.*, 2023; Schulz y Chim, 2019). La concentración de estos compuestos en los frutos puede estar determinada por factores como la especie, el cultivar, la fase de maduración y las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrollan (Lee *et al.*, 2012; Taiz y Zeiger, 2009).

Por otro lado, la síntesis de antocianinas es inducida por estrés biótico y abiótico, estos factores conducen a diferentes concentraciones y perfiles de antocianinas, ya que los tipos individuales tienen funciones distintas en la fisiología de las plantas (Chaves-Silva *et al.*, 2018). La exposición a la luz es un factor ambiental que aumenta el contenido de antocianinas en los frutos al aumentar la expresión de genes biosintéticos de flavonoides en la piel de las bayas; sin embargo, las altas temperaturas conducen a una supresión de la biosíntesis de antocianinas (Di Vittori *et al.*, 2018). Los compuestos fenólicos, encontrados en las moras y las frambuesas, están asociados con la capacidad antioxidante de dichas bayas (Yang y Choi, 2017). Otras propiedades biológicas estudiadas en diferentes especies del género *Rubus* son la anti-inflamatoria, la quimiopreventiva y la antimicrobiana. También se ha documentado que las concentraciones fisiológicas de polifenoles actúan sobre las vías de señalización celular para prevenir o retrasar la aparición de enfermedades relacionadas con la inflamación crónica, como la aterosclerosis y otras enfermedades cardiovasculares (Schulz y Chim, 2019).

Desde un punto económico, el cultivo de frutillas es altamente rentable y es una fuente de empleo por la alta demanda de mano de obra. El rápido equilibrio económico en inversión y su potencial exportador han hecho que México se ubique entre los primeros productores de arándanos, fresas, frambuesas y zarzamoras. Estos frutos se exportan a países como Estados Unidos y Canadá

(González *et al.*, 2019). En el año 2022, las frutillas fueron el segundo producto con mayor valor de exportación, generando ganancias de alrededor de cuatro mil 700 millones de dólares estadounidenses, con una producción de un millón 046 mil 264 toneladas, en una superficie sembrada de 37 mil 575 hectáreas, donde la fresa representó el 55.3 %, la zarzamora 21.3 %, la frambuesa 17.1 % y el arándano 6.4 % (SADER, 2023).

Las plantas usadas para producir zarzamoras mejoradas pertenecen a las variedades Tupy y Brazos, mientras que para el mejoramiento de las frambuesas se han descrito los cultivares Roja Europea y Norteamericana (*Rubus ideaus*) y las especies Negra (*Rubus occidentalis*) y Ártica (*Rubus arcticus*) (Foster *et al.*, 2019). Estas especies han generado un gran interés en emprendimientos comerciales y en investigación debido a su alto valor nutracéutico (Kempler *et al.*, 2012; Titirică *et al.*, 2023). Tomando en cuenta lo anterior, en México se cuenta con especies silvestres que se distribuyen en las zonas altas de las montañas, principalmente en los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla e Hidalgo, que podrían ser utilizadas para incrementar la diversidad genética. Algunos estudios han demostrado que las especies silvestres de *Rubus* cumplen con características fisicoquímicas y nutracéuticas para ser incorporadas en programas de fitomejoramiento o a la industria farmacéutica (Rubio *et al.*, 2019); sin embargo, han sido poco estudiadas y desaprovechadas en la industria alimentaria. El objetivo de la presente investigación fue evaluar el potencial nutracéutico de frutillas silvestres de frambuesa y zarzamora de diferentes especies, mediante el análisis de sus propiedades antioxidantes, con el fin de identificar genotipos de mejor calidad nutracéutica que puedan ser incluidos en programas de mejoramiento genético.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se colectaron plantas de 21 accesiones de zarzamora y frambuesa silvestres en los estados de Chiapas, México, Veracruz e Hidalgo. Estos materiales fueron llevados al campo agrícola experimental del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo ubicado en el municipio de Texcoco de Mora, Estado de México (19° 51' latitud norte y 98° 88' longitud oeste, altitud de 2258 msnm). Se trasplantaron a bolsas de vivero con suelo y peat moss en proporción 1:1, se tutoraron y se fertilizaron semanalmente con Bayfolan® (2 mL L⁻¹) y Rootex® (1 g L⁻¹). De estas accesiones solo cuatro alcanzaron su estado de fructificación, éstas fueron las zarzamoras Chiapas 1, Hidalgo 2.3, Hidalgo 2.4, y la frambuesa *Rubus niveus*, cuyos datos de colecta son: 16° 44' latitud norte, 92° 47'

longitud oeste, 1991 msnm; 20° 34' latitud norte, 98° 34' longitud oeste, 1978 msnm; 20° 34' latitud norte, 98° 34' longitud oeste, 1975 msnm; y en Chiapas a 16° 25' latitud norte, 92° 29' longitud oeste, 1840 msnm; respectivamente.

Además de los materiales silvestres, se incluyeron las zarzamoras que hacen parte del campo experimental del Departamento de Fitotecnia en el Estado de México identificadas como Mora de Castilla (*Rubus glaucus*), la variedad Tupy y una muestra comercial de zarzamora de procedencia desconocida. Se cosechó en el verano de 2022, teniendo en cuenta el estado de madurez 6 (color morado oscuro) según la tabla de colores de la norma técnica colombiana NTC 4106 del ICONTEC.

Reactivos químicos

Los reactivos Folin-Ciocalteu, ácido gálico (GA), carbonato de sodio anhidro, ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (Trolox), ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) y 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ), catequina, ácido acético glacial, acetato de sodio trihidratado, ácido clorhídrico y cloruro férrico hexahidratado fueron adquiridos de Sigma Aldrich.

Extracción de los compuestos antioxidantes

Una muestra de 1 g de los frutos molidos previamente liofilizados a -53 °C y 0.046 mbar de presión (Labconco®, Kansas City, Missouri, EUA), se mezcló con metanol 80 % en una proporción 1:10 (p/v). La mezcla se acidificó a pH 3 ± 0.3 con HCl 1 N y se extrajo por agitación en vortex (1000 rpm, 3 min), sonicación (15 min) y agitación en incubadora (180 rpm, 30 °C, 30 min). Finalmente, la mezcla fue centrifugada a 4500 rpm por 15 min (Ohaus, FC5718R, Parsippany, New Jersey, EUA). El sobrenadante recuperado se llevó a un volumen final de 10 mL con metanol 80 %. Los extractos se almacenaron en refrigeración y fueron protegidos de la luz hasta su análisis. A partir de estos extractos, obtenidos de cada muestra procesada por triplicado, se determinaron los contenidos de fenoles, flavonoides y antocianinas totales, así como la capacidad antioxidante, aplicando los ensayos FRAP y ABTS.

Determinación de fenoles totales

El contenido de fenoles totales fue determinado por el método de Folin-Ciocalteu adaptado a microplacas (Hernández *et al.*, 2016; Singleton y Rossi, 1965). Se construyó una curva patrón usando como estándar ácido gálico. El extracto se diluyó a niveles que se ubicaron dentro de la curva de ácido gálico en un intervalo de concentraciones de 0.001 a 0.011 mg mL⁻¹. En cada pozo

de una microplaca se colocaron 25 µL de la muestra a analizar, 125 µL de agua destilada, 20 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (diluido 1:10 con agua destilada) y 30 µL de Na₂CO₃ 20 %. La mezcla fue agitada y se dejó reaccionar durante 30 min en oscuridad; la absorbancia frente al blanco fue medida a 760 nm en un multidetector de microplacas Synergy 2, equipado con el software de análisis de datos Gen5 (Biotek Instruments Inc., Winoosky, Vermont, EUA). Los resultados fueron expresados en mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra en peso seco (mg EAG g⁻¹ PS).

Determinación de flavonoides totales (CFT)

Los flavonoides totales se determinaron de acuerdo con Kubola y Siriamornpun (2011). Se preparó una solución stock con 29 mg de catequina y se llevó a 1 mL con metanol 80 %. De esta solución, se colocaron 250 µL en un matraz de 25 mL, que se aforó con metanol 80 %. A partir de esta disolución se tomaron alícuotas para obtener la curva de calibración en un intervalo de concentraciones de 0.001 a 0.032 mg mL⁻¹. Se tomaron 0.5 mL del extracto y se mezclaron con 2.25 mL de agua destilada y 150 µL de solución de NaNO₂ 5 %. Después de 6 min, se añadieron 300 µL de una solución de AlCl₃·6H₂O 10 % y se dejó reposar durante otros 5 min antes de añadir 1.0 mL de NaOH 5 %. La mezcla se agitó utilizando un vórtex (Vortex Synergy, WVR International, Radnor, Pennsylvania, EUA) 3000 rpm por 3 min. La absorbancia se midió inmediatamente a 510 nm con un lector de microplacas equipado con el software de análisis de datos Gen5 (Biotek Instruments Inc., Winoosky, Vermont, EUA). Los resultados se expresaron en mg de equivalente de catequina (EC) por gramo de muestra en peso seco (mg EC g⁻¹ PS).

Determinación de antocianinas totales

Las antocianinas se cuantificaron según el método de pH diferencial (Lee *et al.*, 2015). Se prepararon dos muestras por separado con una alícuota de 0.15 mL del extracto. Una muestra se mezcló con 0.85 mL de buffer pH 1.0 y la otra, mezclando 0.15 mL de extracto con 0.85 mL de buffer pH 4.5. Ambas mezclas se agitaron por 3 min en un vórtex a 1000 rpm y posteriormente se midieron las absorbancias a 513 nm y 700 nm desde lector de microplacas Synergy 2, equipado con el software de análisis de datos Gen5 (Biotek Instruments Inc., Winoosky, Vermont, EUA). La concentración de antocianinas monoméricas se obtuvo con la siguiente ecuación, tomando como referencia los datos de la cianidina-3-glucósido (PM 449.2 g mol⁻¹) y ε el coeficiente de extinción molar (26900 unidades):

$$\text{Antocianinas totales (mg L}^{-1}\text{)} = A(\text{PM})(\text{FD}) (1000) / \epsilon \quad \text{Ec. 1}$$

Donde FD es el factor de dilución y A se calculó con la fórmula siguiente:

$$A = \frac{(A_{513nm} - A_{700nm}) \text{ a pH } 1.0 - (A_{513nm} - A_{700nm}) \text{ a pH } 4.5}{\text{Ec. 2}}$$

Finalmente, los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de cianidina-3-glucósido (EC3G) por gramo de muestra en peso seco (mg g^{-1} de EC3G en PS) (Gaviria *et al.*, 2009).

Determinación de la capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos de zarzamoras y frambuesa se determinaron por los ensayos FRAP (poder antioxidante reductor del hierro) (Benzie y Strain, 1996) y ABTS [ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico, A-1888] (Re *et al.*, 1999), adaptados a microplacas. Se usó Trolox como curva de calibración para ambos ensayos. Para FRAP, el extracto se diluyó a niveles que se ubicaron dentro de la curva de Trolox en un intervalo de concentraciones de 0.1295 a 1.6526 mg mL^{-1} , en cada pozo de una microplaca se colocaron 20 μL de la muestra a analizar, 60 μL de agua destilada, 180 μL de disolución FRAP para un total de 260 μL . La mezcla fue agitada y se dejó reaccionar durante 10 min en oscuridad. La absorbancia se midió a 595 nm. Para ABTS el extracto se diluyó a niveles que se ubicaron dentro de la curva de Trolox en un intervalo de concentraciones de 0.2085 a 1.1457 mg mL^{-1} . Con al menos 16 h de anticipación se preparó una mezcla con solución 7.4 mM del reactivo ABTS (2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) con una dilución de persulfato de potasio 2.6 mM ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$). En cada pozo de la microplaca se adicionaron 180 μL de la solución ABTS y 20 μL del extracto de la muestra, se dejó reposar durante 10 min y se leyó la absorbancia a 734 nm. Para ambas lecturas se utilizó un lector de microplacas (software Gen5, Biotek Instruments Inc., Winooski, Vermont, EUA). Los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra en peso seco ($\mu\text{mol g}^{-1}$ ET en PS).

Análisis estadístico

Los resultados se presentaron como valor medio de tres réplicas por muestra y se analizaron mediante ANOVA unidireccional. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey y las diferencias se consideraron significativas a $P \leq 0.05$. El análisis estadístico se realizó utilizando el programa estadístico InsfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el fin de comparar los valores obtenidos en este trabajo con aquellos de la literatura, en algunos casos fue necesario considerar el porcentaje de humedad. El contenido de fenoles totales se encontró entre 9.67 y 17.81 mg EAG por gramo de muestra en peso seco. Estos datos fueron estadísticamente diferentes, siendo las zarzamoras silvestres Hidalgo 2.3, Chiapas 1 y *R. glaucus* los que presentaron las concentraciones más altas de compuestos fenólicos. Valores superiores (285.06 a 592.61 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de EAG en PF) fueron encontrados por Rubio *et al.* (2019) en *Rubus* silvestres, mientras que en plantas cultivadas de zarzamora y fresa Wang y Lin (2000) reportaron valores similares a los de este estudio (204 a 268 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de EAG en PF). Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios biosintetizados por las plantas para su protección contra la radiación UV, plagas y enfermedades. Según Cheynier *et al.* (2013), estos compuestos han permitido la evolución de plantas terrestres y se acumulan en los tejidos para hacer frente a factores adversos, bióticos y abióticos, que puedan perturbar a las plantas en su ecosistema.

Dentro de los compuestos fenólicos se encuentran los flavonoides, siendo un grupo importante de metabolitos secundarios producidos por las plantas y genéticamente regulados e inducidos por factores ambientales (Gimeno, 2004). Estos compuestos tienen actividad antioxidante elevada, por lo que son capaces de reducir la producción de radicales libres (Garrido *et al.*, 2013). *Rubus glaucus* tuvo la mayor concentración de flavonoides totales (10.27 mg g^{-1} de EC en PS), este valor es alto comparado con el reportado por Lee *et al.* (2014) (14.28 a 14.90 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ PF); asimismo, se documentó en otras investigaciones para la misma especie una concentración de flavonoides de 43 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de EQ en PF (Rubio *et al.*, 2019). En *R. adenotrichus* Martínez-Cruz *et al.* (2011) encontraron valores de 5.26 mg g^{-1} equivalentes de catequina (EC) en peso seco (PS) en esta especie silvestre de zarzamora.

Como se observa en el Cuadro 1, el contenido total de antocianinas mostró diferencias estadísticas significativas entre las especies estudiadas. La zarzamora silvestre Hidalgo 2.3 tuvo mayor concentración, con un valor medio de 19.19 mg g^{-1} equivalentes a cianidina 3-glucósido (EC3G) en PS, seguidas por frutos de *Rubus* silvestres junto con la comercial, seguida por *R. glaucus* y por último *R. niveus*. Estos resultados estuvieron por debajo de otras especies de *Rubus* donde se obtuvieron valores que van de 5.69 a 11.92 mg g^{-1} de materia fresca (Wada y Ou, 2002) y similares a los indicados por Zorzi *et al.* (2020) de 0.2 y 2.1 mg g^{-1} de EC3G en PF en *R. fruticosus* y *R. idaeus*, respectivamente. Esta diversidad de resultados puede

deberse a la complejidad varietal que se manifiesta en la composición de metabolitos secundarios incidiendo en la calidad de frutos (Lee *et al.*, 2012).

La capacidad antioxidante se determinó por los ensayos ABTS y FRAP. En la primera metodología el persulfato de potasio generó un radical al reaccionar con el ABTS, por lo cual, se evaluó la capacidad de los extractos de las muestras para atrapar el radical generado por la reacción de oxidación; posteriormente, hay una disminución en la absorbancia a una longitud de onda de 732 nm. La metodología del FRAP permite medir la capacidad que tiene el extracto para reducir el ión férrico (Fe^{+3}) presente en una solución con la 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ) a la forma ferrosa (Fe^{+2}), que presenta un máximo de absorbancia a una longitud de onda entre 590 y 595 nm (Rojano *et al.*, 2011). Los valores de capacidad antioxidante fueron similares para las tres primeras muestras, siendo *R. glaucus* y *R. niveus* las que tuvieron los valores más bajos. Aquí sobresalieron las muestras silvestres colectadas en los estados de Hidalgo y Chiapas (Cuadro 1). Los frutos de la planta Hidalgo 2.3 mostraron la concentración de antocianinas totales más alta; sin embargo, en la capacidad antioxidante comparte el mismo grupo con las otras dos muestras silvestres, esto puede deberse a las diferencias en el perfil de los diferentes tipos de antocianinas de cada especie (Lee *et al.*, 2015). Deighton *et al.* (2000) analizaron las propiedades antioxidantes de especies de *Rubus* domesticadas y silvestres y encontraron valores entre 0 y 25.3 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$, valores similares a los reportados en este estudio (19.67 a 93.5 $\mu\text{mol ET g}^{-1}$). Estas diferencias entre especies y genotipos pueden corresponder a factores

genéticos que influyen en la capacidad antioxidante de un cultivo, puesto que existen procesos de hibridación que llevan a la variabilidad genética y a diferente nivel de ploidía, que va desde diploides hasta dodecaploides (Meng y Finn, 2002).

Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas son diferentes, lo cual posiblemente se deba al tipo de especie evaluada. Así, por ejemplo, las zarzamoras presentan mayores concentraciones de flavonoides y antocianinas que las frambuesas y, por consiguiente, mayor capacidad antioxidante (Sariburun *et al.*, 2010). Esto concordó con el estudio de Zorzi *et al.* (2020) donde evaluaron diferentes tipos de frutillas, como grosellas, arándanos, zarzamoras y frambuesas, siendo estas últimas las de menor cantidad de antocianinas. En este estudio se encontró que *R. niveus*, la única frambuesa, tuvo los valores más bajos en las variables evaluadas. También influyen las condiciones ambientales del lugar de procedencia de las plantas silvestres, tal como lo documentaron Rubio *et al.* (2019), quienes evaluaron las mismas variables en frutos silvestres de *Rubus*. Hernández *et al.* (2019) obtuvieron diferencias significativas en materiales procedentes de la región de la Sierra Norte de Oaxaca, México y cultivares comerciales; las frutillas correspondientes a las plantas silvestres tuvieron mayor concentración de metabolitos secundarios y una mayor capacidad antioxidante.

Resultados semejantes se obtuvieron en el presente estudio, las frutillas de las plantas silvestres fueron las que destacaron, como el caso de la muestra de Hidalgo 2.3. Esto puede deberse a las condiciones ecológicas

Cuadro 1. Contenido de fenoles, flavonoides, antocianinas totales y capacidad antioxidante (CA) por poder antioxidante reductor del hierro (FRAP) y 2,2'-azinobis-(3-etil benzotiazolin-6-sulfonato de amonio) (ABTS) en frutos de especies del género *Rubus*.

Cultivar	Fenoles totales (mg EAG g ⁻¹)	Flavonoides (mg EC g ⁻¹)	Antocianinas (mg EC3G g ⁻¹)	ABTS ($\mu\text{mol ET g}^{-1}$)	FRAP ($\mu\text{mol ET g}^{-1}$)
Hidalgo 2.3	17.81 ± 1.16 a	3.48 ± 0.50 c	16.16 ± 0.65 a	1357.29 ± 20.76 a	93.5 ± 6.03 a
Hidalgo 2.4	14.53 ± 0.72 b	2.28 ± 0.20 c	7.74 ± 0.72 b	1192.47 ± 46.81 b	68.1 ± 6.19 c
Chiapas 1	17.48 ± 0.54 a	2.45 ± 0.08 c	7.06 ± 0.42 b	1276.07 ± 42.49 ab	75.84 ± 2.89 bc
Tupy	14.34 ± 1.39 b	2.97 ± 0.05 c	7.78 ± 0.09 b	1190.6 ± 42.81 b	73.09 ± 2.88 bc
Comercial	13.88 ± 0.45 b	2.95 ± 0.10 c	6.65 ± 0.41 b	1320.99 ± 46.64 a	84.34 ± 10.40 ab
<i>R. glaucus</i>	15.68 ± 0.38 ab	10.27 ± 0.58 a	3.71 ± 0.29 c	1061.8 ± 23.32 c	38.22 ± 2.17 d
<i>R. niveus</i>	9.67 ± 0.47 c	8.02 ± 1.05 b	0.88 ± 0.05 d	715.09 ± 25.22 d	19.67 ± 0.94 e
DSH (0.05)	2.27	1.39	1.24	103.32	15.08

Medias con letras iguales en la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). EAG: equivalente de ácido gálico, EC: equivalente de catequina, EC3G: equivalente de cianidina-3-glucósido, ET: equivalente de trolox, DSH: diferencia significativa honesta. Datos expresados como medias ± desviación estándar.

en que se desarrollan, por la necesidad de producir metabolitos secundarios en defensa ante depredadores, en comparación con los frutos comerciales (Hernández et al., 2019).

CONCLUSIONES

En este estudio destacaron las especies silvestres del género *Rubus* colectadas en los estados de Hidalgo y Chiapas, México por su mayor potencial nutraceutico, atribuido principalmente a su contenido fenolico. Esta característica es de interés para la selección de materiales élite en programas de mejoramiento genético para obtener frutillas con atributos sensoriales más atractivos y propiedades antioxidantes superiores que contribuyan a tolerar las condiciones ambientales adversas.

BIBLIOGRAFÍA

- Benzie I. F. F. and J. J. Strain (1996) The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239:70-76, <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bhatt S. C., B. Naik, V. Kumar, A. K. Gupta, S. Kumar, M. Singh, ... and S. Rustagi (2023) Untapped potential of non-conventional *Rubus* species: bioactivity, nutrition, and livelihood opportunities. *Plant Methods* 19:114, <https://doi.org/10.1186/s13007-023-01094-y>
- Brennan R. M., P. D. S. Caligari, J. R. Clark, P. N. Brás de Oliveira, C. E. Finn, J. F. Hancock, ... and D. Simpson (2014) Berry crops. In: *Horticulture: Plants for People and Places*. Vol. 1. G. Dixon and D. Aldous (eds.). Springer. Dordrecht, The Netherlands. pp:301-325, https://doi.org/10.1007/978-94-017-8578-5_9
- Cancino-Escalante G. O., L. R. Sánchez-Montaño, E. Quevedo-García y C. Díaz-Carvajal (2011) Caracterización fenotípica de accesiones de especies de *Rubus* L. de los municipios de Pamplona y Chitagá, región Nororiental de Colombia. *Universitas Scientiarum* 16:219-233, <https://doi.org/10.11144/javeriana.SC16-3.pcor>
- Chaves-Silva S., A. L. Dos Santos, A. Chalfun-Júnior, J. Zhao, L. E. P. Peres and V. A. Benedetto (2018) Understanding the genetic regulation of anthocyanin biosynthesis in plants – Tools for breeding purple varieties of fruits and vegetables. *Phytochemistry* 153:11-27, <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2018.05.013>
- Cheyrier V., G. Comte, K. M. Davies, V. Lattanzio and S. Martens (2013) Plant phenolics: recent advances on their biosynthesis, genetics, and ecophysiology. *Plant Physiology and Biochemistry* 72:1-20, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.05.009>
- Deighton N., R. Brennan, C. Finn and H. V. Davies (2000) Antioxidant properties of domesticated and wild *Rubus* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80:1307-1313, [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200007\)80:9<1307::AID-JSFA638>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200007)80:9<1307::AID-JSFA638>3.0.CO;2-P)
- Di Rienzo J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. A. Gonzalez, E. M. Tablada y C. W. Robledo (2020) InfoStat. Centro de Transferencia InfoStat. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Di Vittori L., L. Mazzoni, M. Battino and B. Mezzetti (2018) Pre-harvest factors influencing the quality of berries. *Scientia Horticulturae* 233:310-322, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.058>
- Foito A., G. J. McDougall and D. Stewart (2018) Evidence for health benefits of berries. *Annual Plant Reviews Online* 1:105-148, <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0600>
- Foster T. M., N. V. Bassil, M. Dossett, M. L. Worthington and J. Graham (2019) Genetic and genomic resources for *Rubus* breeding: a roadmap for the future. *Horticulture Research* 6:116, <https://doi.org/10.1038/s41438-019-0199-2>
- Garrido G., M. Ortiz y P. Pozo (2013) Fenoles y flavonoides totales y actividad antioxidante de extractos de hojas de *Lampaya medicinalis* F. Phil. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research* 1:30-38.
- Gaviria M. C., C. Ochoa O., N. Sánchez M., C. Medina C., M. Lobo A., P. Galeano G., ... y B. Rojano (2009) Actividad antioxidante e inhibición de la peroxidación lipídica de extractos de frutos de mortiño (*Vaccinium meridionale* SW). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas* 8:519-528.
- Gimeno C. E. (2004) Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. *Offarm* 23:80-84.
- González R. F. J., S. Rebollar R., J. Hernández-M., J. L. Morales H. and O. Ramírez A. (2019) Situación actual y perspectivas de la producción de berries en México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 44:260-272, <https://doi.org/10.22004/ag.econ.292265>
- Hernández H. I., H. Chávez D., P. Benito B., N. Arellanes J. y A. Pérez S. (2019) Comportamiento postcosecha de frutos de zarzamora (*Rubus* spp.) silvestre en refrigeración. In: *Investigación en la Educación Superior*. Academia Journals. Puebla, México. pp:1035-1040.
- Hernández-Rodríguez G., T. Espinosa-Solares, G. Hernández-Eugenio, M. Villa-García, B. Reyes-Trejo and D. Guerra-Ramírez (2016) Influence of polar solutions on the extraction of phenolic compounds from capulín fruits (*Prunus serotina*). *Journal of the Mexican Chemical Society* 60:73-78, <https://doi.org/10.29356/jmcs.v60i2.76>
- Kempler C., H. Hall and C. E. Finn (2012) Raspberry. In: *Fruit Breeding. Handbook of Plant Breeding* Vol. 8. M. L. Badenes and D. H. Byrne (eds.). Springer. Boston, Massachusetts, USA. pp:263-304, https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9_8
- Kubola J. and S. Siriamornpun (2011) Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food Chemistry* 127:1138-1145, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.115>
- Lee J., M. Dossett and C. E. Finn (2012) *Rubus* fruit phenolic research: the good, the bad, and the confusing. *Food Chemistry* 130:785-796, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.08.022>
- Lee H. H., Y. S. Moon, H. K. Yun, P. J. Park and E. J. Kwak (2014) Contents of bioactive constituents and antioxidant activities of cultivated and wild raspberries. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 32:115-122, <https://doi.org/10.7235/hort.2014.13114>
- Lee S. G., T. M. Vance, T. G. Nam, D. O. Kim, S. I. Koo and O. K. Chun (2015) Contribution of anthocyanin composition to total antioxidant capacity of berries. *Plant Foods for Human Nutrition* 70:427-432, <https://doi.org/10.1007/s11130-015-0514-5>
- Martínez-Cruz N. S., K. Arévalo-Niño, M. J. Verde-Star, C. Rivas-Morales, A. Oranday-Cárdenas, M. A. Núñez-González y M. E. Morales-Rubio (2011) Antocianinas y actividad anti radicales libres de *Rubus adenotrichus* Schldl (zarzamora). *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas* 42:66-71.
- Meng R. and C. Finn (2002) Determining ploidy level and nuclear DNA content in *Rubus* by flow cytometry. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127:767-775, <https://doi.org/10.21273/JASHS.127.5.767>
- Nile S. H. and S. W. Park (2014) Edible berries: bioactive components and their effect on human health. *Nutrition* 30:134-144, <https://doi.org/10.1016/j.nut.2013.04.007>
- Re R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26:1231-1237, [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Rodríguez-Bautista G., S. D. Segura L., S. Cruz-Izquierdo, J. López-Medina, N. Cruz-Huerta y L. M. Valenzuela N (2021) Distribución potencial y caracterización eco-climática de especies silvestres de *Rubus* subgenus *Eubatus* en México. *Polibotánica* 52:103-116, <https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.8>
- Rojano B. A., I. C. Zapata V., A. F. Alzate A., A. J. Mosquera M., F. B. Cortés C. y L. Gamboa C. (2011) Polifenoles y actividad antioxidante del fruto liofilizado de palma naidi (açai colombiano) (*Euterpe oleracea*

- Mart). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 64:6213-6220.
- Romoleroux K. (1996)** Rosaceae. In: Flora of Ecuador 56. G. Harling and L. Andersson (eds.). University of Gothenburg. Göteborg, Sweden; Riksmuseum, Stockholm, Sweden; Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. pp:1-151.
- Rubio O. E., R. E. Pérez S., T. C. Ávila V., J. F. Gómez L. y P. A. García S. (2019)** Propiedades fisicoquímicas de frutos silvestres de *Rubus* con potencial nutraceutico y alimenticio. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Pub. Esp. 23:291-301, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2028>
- SADER, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023)** Berries, segundo producto del campo con mayor valor de exportación: Agricultura. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/berries-segundo-producto-del-campo-con-mayor-valor-de-exportacion-agricultura?idiom=es> (Julio 2023).
- Sariburun E., S. Şahin, C. Demir, C. Türkben and V. Uylaşer (2010)** Phenolic content and antioxidant activity of raspberry and blackberry cultivars. *Journal of Food Science* 75:C328-C335, <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01571.x>
- Schulz M. and J. F. Chim (2019)** Nutritional and bioactive value of *Rubus* berries. *Food Bioscience* 31:100438, <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>
- Shahidi F. and P. Ambigaipalan (2015)** Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods* 18:820-897, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Singleton V. L. and J. A. Rossi (1965)** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16:144-158, <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- Taiz L. and E. Zeiger (2009)** Plant Physiology. 4th edition. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA. 700 p.
- Titirică I., I. A. Roman, C. Nicola, M. Sturzeanu, E. Iurea, M. Botu, ... and A. F. Sestras (2023)** The main morphological characteristics and chemical components of fruits and the possibilities of their improvement in raspberry breeding. *Horticulturae* 9:50, <https://doi.org/10.3390/horticulturae9010050>
- Wada L. and B. Ou (2002)** Antioxidant activity and phenolic content of Oregon caneberrries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50:3495-3500, <https://doi.org/10.1021/jf011405l>
- Wang S. Y. and H. S. Lin (2000)** Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48:140-146, <https://doi.org/10.1021/jf9908345>
- Yang J. W. and I. S. Choi (2017)** Comparison of the phenolic composition and antioxidant activity of Korean black raspberry, Bokbunja, (*Rubus coreanus* Miquel) with those of six other berries. *CyTA-Journal of Food* 15:110-117, <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1219390>
- Zorzi M., F. Gai, C. Medana, R. Aigotti, S. Morello and P. G. Peiretti (2020)** Bioactive compounds and antioxidant capacity of small berries. *Foods* 9:623, <https://doi.org/10.3390/foods9050623>