

<https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2024.05.02>

Versión en español

Características nutricionales y nutraceuticas de segregantes de capulín (*Prunus serotina*) fresco y procesado

Omar Castillo-García¹; María del Rosario García-Mateos^{2*}; Ana María Castillo²; Ma. Carmen Ybarra Moncada¹; Lyzbeth Hernandez Ramos²

Historial del artículo:

Recibido: 7 de diciembre, 2024.

Aceptado: 6 de marzo, 2025

*Autor de correspondencia:

rosгар08@hotmail.com

¹Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, km 38.5, Carretera México-Texcoco C. P. 56230, Chapingo, Estado de México, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, km 38.5, Carretera México-Texcoco C. P. 56230, Chapingo, Estado de México, México.

Resumen

El fruto del capulín (*Prunus serotina*; Familia *Rosacea*) es valorado desde la época prehispánica por sus propiedades medicinales, utilizadas en el tratamiento de algunas enfermedades. Aunque México forma parte del centro de origen del capulín, la producción y el consumo de esta fruta ha disminuido en los últimos años, convirtiéndose en un fruto subutilizado. Son pocas las investigaciones sobre sus propiedades nutricionales y nutraceuticas. El objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades físico-químicas, componentes nutricionales y nutraceuticos de frutos de capulín, frescos y procesados de cuatro segregantes. Se determinó el diámetro polar y ecuatorial, el color de la cáscara mediante la evaluación de *L* (luminosidad), el ángulo de tono (*hue*) y la pureza de color o índice de cromaticidad (*chroma*), pH, y SST; así como, el contenido de carbohidratos, cenizas, humedad, fibra cruda, proteína y lípidos de acuerdo con lo establecido por la AOAC. Se cuantificó el contenido de minerales por espectrofotometría de emisión atómica, compuestos fenólicos por el método de Folin-Ciocalteu, antocianinas por el método diferencial de pH y la actividad antioxidante por el método de ABTS. Los frutos presentaron altos contenidos de proteína y fibra. Se encontraron diferencias significativas del contenido de nutraceuticos entre los cuatro tipos de segregantes. El proceso térmico no disminuyó la calidad nutraceutica (excepción de las antocianinas) de los cuatro tipos de segregantes, éste únicamente afectó los atributos nutricionales. Por lo tanto, los segregantes de mayor valor nutraceutico fueron Puebla 5-28F y Puebla 5-3F, por sus elevados contenidos de compuestos fenólicos y antocianinas. En conclusión, los frutos de capulín contienen una gran variedad de compuestos antioxidantes y nutricionales, que su consumo podría generar beneficios en la salud humana.

► **Palabras clave:** Antioxidantes, minerales, proximal, segregación genética.

Introducción

Recientemente, en México se ha generado un creciente interés por el conocimiento y manejo de frutas subutilizadas, también conocidas como frutas menores, secundarias o alternativas, como es el caso del capulín (*Prunus serotina*). El capulín pertenece a la familia *Rosaceae* y al género *Prunus*, donde se encuentran más de 200 especies de importancia comercial como la cereza, durazno, ciruela, entre otras, denominadas frutas de hueso (Potter, 2011). En 1951, McVaugh describió cinco subespecies de la especie *Prunus*

serotina, las subespecies *capuli*, *serotina* y *virens*, coexisten en varios estados de México (Guzmán et al., 2020).

Prunus serotina es un árbol caducifolio nativo de América que crece en diversas regiones en condiciones silvestres o cultivado, en climas semifríos frescos, húmedos y templados. Su distribución incluye el sureste de Canadá, noreste de Estados Unidos, Ecuador, Colombia, Guatemala y las Sierras Madre Oriental, Occidental y el eje Neovolcánico de México, (López-Hernández et al., 2024; Pathania et al., 2022). Actualmente, esta especie se encuentra naturalizada en

Please cite this article as follows (APA 7): Castillo-García, O., García-Mateos, M. R., Castillo, A. M., Ybarra Moncada, M. C., & Hernandez Ramos, L. (2025). Características nutricionales y nutraceuticas de segregantes de capulín (*Prunus serotina*) fresco y procesado. *Current Topics in Agronomic Science*, 5, e2402. <https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2024.05.02>

varios países del mundo, incluyendo en diversas regiones de Europa (Alemania, Dinamarca, Francia, Inglaterra, Lituania, Países Bajos, Polonia, Rumania, Suiza, entre otros) (Petitpierre et al., 2009). En Estados Unidos el capulín es conocido como cereza silvestre o negra, en Europa como cereza mexicana (Petitpierre et al., 2009). En 2023, México reportó el cultivo formal de capulín solo en Veracruz, Ciudad de México, Puebla, Estado de México y Jalisco, con una superficie cosechada de 37 ha con una producción de 114.28 t de este fruto (SIAP, 2024).

Los frutos de capulín son drupas carnosas globosas, de color rojizo a negro según su estado de madurez, de naturaleza climatérica y de sabor agridulce; además contienen comúnmente glucósidos cianogénicos (prunazina y amigdalina), el consumo excesivo, sin tratamiento térmico, puede tener efectos adversos para la salud (Telichowska et al., 2020). De acuerdo con Swain et al. (1992), la presencia de glucósidos cianogénicos en algunos miembros del género *Prunus* se considera un mecanismo de defensa de la planta contra herbívoros y patógenos mediante la liberación de cianuro de hidrógeno (HCN) y benzaldehído. En el caso particular de *P. serotina*, se reporta que acumula altos niveles de glucósidos cianogénicos en la fruta madura; sin embargo, carece de las enzimas amigdalina hidrolasa (AH), prunasina hidrolasa (PH) y mandelonitrilo liasa (MDL) que por hidrólisis liberarían HCN, por lo que estos solo contribuyen al sabor amargo que es compensado con la acumulación de azúcares en madurez de consumo, en contraste, las semillas durante el proceso de tostado se destruyen por la temperatura los glicósidos cianogénicos (Telichowska et al., 2020).

En general, los frutos de *P. serotina* son comercializados en fresco, seco o en mermelada, licores o almibares, las semillas se consumen tostadas con sal como botana (Ordaz-Galindo et al., 1999). Desde la época prehispánica sus frutos han sido utilizados tradicionalmente para el tratamiento de algunas enfermedades (respiratorias, cardíacas, estomacales e hipertensión) (García-Aguilar et al., 2015; Luna-Vázquez et al., 2013). Además, el fruto del capulín ha llamado la atención como una fuente potencial de nutrimentos y antioxidantes. Ordaz-Galindo et al. (1999) reportaron la presencia de antocianinas (cianidin-3-glucósido y cianidin-3-rutósido) en la cáscara del fruto de *P. serotina* subsp. *capuli*. Asimismo, Ibarra-Alvarado et al. (2009) señalan la presencia de compuestos antihipertensivos como algunos compuestos fenólicos (ácido clorogénico) en el fruto, metabolitos que podrían justificar en parte sus propiedades medicinales. Hernández Rodríguez et al. (2019) reportan que el contenido de flavonoides y compuestos fenólicos disminuye en las últimas etapas de maduración del fruto, con un aumento considerable de antocianinas totales de hasta 1.4 mg cianidina-3-glucósido · g⁻¹ en peso seco. El alto contenido de compuestos fenólicos (ácidos fenólicos), flavonoides (antocianinas, proantocianidinas, catequinas), aceites esenciales y taninos (Jiménez et al., 2011; Luna-Vázquez et al., 2013) explican su uso como terapia natural para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas, como algunos tipos de

cáncer, problemas del sistema inmunológico y enfermedades cardiovasculares (Poti et al., 2019; Telichowska et al., 2020). Además, la semilla de capulín es una fuente significativa de minerales, ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico y α -eleosteárico) y proteínas de alta calidad, altamente biodisponibles (García-Aguilar et al., 2015).

Por otra parte, los estudios genéticos de *P. serotina* han reportado el fenómeno de alopoliploidía (unión de genomas de especies diferentes), por lo que se dispone de híbridos intraespecíficos de capulín en México con características de diferentes subespecies (Fresnedo-Ramírez et al., 2011; Pairon & Jacquemart, 2005). Además, la variabilidad morfológica del capulín en el centro-occidente de México es producto de la selección humana, dirigida a caracteres de interés antropocéntricos, por lo que se encuentran frutos de diversos tamaños, grado de dulzor, con epicarpio de coloraciones rojizas hasta casi negras, en poblaciones silvestres, en manejo *in situ* y cultivadas (Fresnedo-Ramírez et al., 2011; Guzmán et al., 2020).

En este contexto, la variabilidad morfológica del capulín es útil para el mejoramiento genético de esta especie, dirigido a la obtención de selecciones con mejor calidad de fruto, semilla o valor nutrimental y nutraceutico. En este sentido el Colegio de Posgraduados cuenta con una colección de capulín donde se tiene diversos lotes segregantes derivados de individuos sobresalientes del estado de Puebla, principalmente por sus características físico-químicas. El término segregante utilizado en esta investigación, denomina a individuos que nacieron por cultivo de semillas de un mismo árbol (reproducción sexual). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar las características físico-químicas, contenido de compuestos nutraceuticos, capacidad antioxidante y composición nutricional en los frutos de cuatro segregantes de capulín, frescos y procesados.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Los frutos se recolectaron en etapa de madurez comercial de cuatro segregantes (individuos que nacieron de diferentes semillas de un mismo árbol) de capulín (*Prunus serotina*) cultivados en el Huerto de Fruticultura del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos, municipio de Texcoco, Estado de México, México (19°27' N, 98°54' O, 2 245 msnm): Puebla 5-1 (P5-1F), Puebla 5-3 (P5-3F), Puebla 5-18 (P5-18F) y Puebla 5-28 (P5-28F). Los cuatro segregantes fueron seleccionados porque son hijos del mismo árbol, bajo las mismas condiciones edafoclimáticas.

Diseño experimental

La caracterización físico-química de los frutos de cuatro segregantes de capulín se realizó bajo un diseño experimental completamente al azar con 25 repeticiones, la unidad experimental consistió en un fruto fresco con semilla. El

contenido de minerales en la pulpa de frutos frescos de cuatro segregantes de capulín se efectuó bajo diseño completamente al azar con tres repeticiones, considerando 100 g de frutos con piel y sin semilla de cada segregante fresco como la unidad experimental. El efecto del tratamiento térmico en las características proximales y nutraceuticas de los frutos de capulín se evaluó mediante un diseño experimental factorial asimétrico con asignación completamente al azar para el estudio de los factores: capulín segregante (cuatro segregantes) y grado de procesamiento (fresco y procesado). Un total de ocho tratamientos fueron evaluados con tres repeticiones. La unidad experimental fue 100 g de frutos de capulín con piel y sin semilla de cada segregante, frescos o procesados (Cuadro 1).

Análisis estadístico

Los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a la prueba de comparación de medias de Tukey ($P < 0.05$), mediante el programa Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 2002). Los resultados de las variables evaluadas fueron expresados como la media de desviación estándar.

Preparación de la muestra

Para el procesamiento, el fruto en agua se mantuvo a 40 °C por 5 min en una parrilla eléctrica (Corning, modelo PC-620D, USA). Los frutos procesados y frescos fueron congelados con nitrógeno líquido y almacenados a -18 °C, hasta su análisis.

Caracterización físico-química

Se midieron los diámetros polar y ecuatorial de 25 frutos frescos con cáscara y semilla de cada segregante mediante un pie de rey electrónico (Truper, modelo CALDI-6MP, Jilotepec, México). El peso de los frutos se determinó en una balanza analítica (Adventurer Pro AV64C, Ohaus Corporation, Nueva Jersey, USA). Del mismo modo, estas variables fueron medidas en la semilla del capulín libre de pulpa.

El color de la cáscara de los frutos de cada segregante se determinó mediante la evaluación de *L* (luminosidad), el ángulo de tono (*hue*) y la pureza de color o índice de cromaticidad (*chroma*) con un colorímetro digital (Chroma Meter CR-400, modelo B8210363, Konica Minolta Sensing, Inc., Tokyo, Japón) según lo descrito por McGuire (1992).

Los sólidos solubles totales (SST) se determinaron mediante un refractómetro (Hand-Held Refractometer, N-1E, ATAGO, Tokyo, Japón) y el pH mediante un potenciómetro (HI2211 pH/ORP Meter, Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA) según lo establecido por la AOAC (2005).

Cuantificación de minerales

El fruto de capulín con cáscara y sin semilla de cada segregante se deshidrató en un horno de aire por convección forzada (Binder®, modelo KB115 Tuttlingen, Alemania) a 60 °C por 48 h. Las muestra secas y molidas fueron sometidas a digestión húmeda diácida ($H_2SO_4:HClO_4$, 4:1 v/v y H_2O_2) en un Digestor™ (Tecator Kjeltex FOSS, modelo DT 220, Hoeganaes, Suecia). La determinación de B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, y Zn se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Alcántar-González & Sandoval-Villa (1999) en un Espectrofotómetro de Emisión Atómica de Plasma por Inducción Acoplada (ICP-AES, Instrument Varian Liberty serie II, Sydney, Australia).

Análisis proximal

El contenido de carbohidratos, cenizas, humedad, fibra cruda, proteína y lípidos se determinó de acuerdo con lo establecido por la AOAC (2005). Los resultados se expresaron como porcentaje en peso fresco.

Cuantificación de nutraceuticos

Preparación de extracto metanólico. A 1 g de pulpa de fruto con cáscara de cada segregante (fresco y procesado) se le adicionaron 10 mL de MeOH acuoso a 80 % (v/v), la

Cuadro 1. Atributos físicos de frutos y semillas de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Variable	Segregante			
	P5-1F	P5-3F	P5-18F	P5-28F
<i>Fruto fresco con semilla</i>				
Peso (g)	3.04 ± 0.53 b	3.39 ± 0.32 a	2.18 ± 0.28 d	2.73 ± 0.26 c
Diámetro ecuatorial (mm)	17.58 ± 1.27 b	18.83 ± 0.78 a	16.51 ± 0.86 c	16.74 ± 0.57 c
Diámetro polar (mm)	15.69 ± 0.78 b	16.29 ± 0.45 a	14.76 ± 0.60 c	15.07 ± 0.52 c
<i>Semilla</i>				
Peso (g)	0.38 ± 0.03 b	0.51 ± 0.06 a	0.32 ± 0.02 c	0.38 ± 0.02 b
Diámetro ecuatorial (mm)	9.57 ± 0.26 b	10.72 ± 0.29 a	9.09 ± 0.28 c	9.48 ± 0.26 b
Diámetro polar (mm)	10.84 ± 0.40 c	12.38 ± 0.45 a	10.08 ± 0.32 d	11.77 ± 0.38 b

Los valores representan la media de 25 repeticiones ± desviación estándar. Medias con la misma letra, en una misma fila, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

mezcla se homogeneizó mediante agitación en un vortex (Barnstead International, modelo M16715, Iowa, USA). Posteriormente, se sonicó (Cole Parmer 8892, Illinois, USA) por 15 min a temperatura ambiente y se dejó reposar por 24 h. Por último, se centrifugó (Cole-Parmer Instrument Company, modelo 8892, Vernon Hills, IL, USA) a 1 409 g (10 min) para la cuantificación de nutraceuticos (Román-Cortés et al., 2018).

Determinación de compuestos fenólicos. Se tomaron 0.5 mL del extracto metanólico y se le agregó 0.5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (0.2 N) y 4 mL de 0.7 M de Na_2CO_3 , la mezcla se incubó a temperatura ambiente en oscuridad por 2 h. Se tomaron lecturas en un espectrofotómetro UV/Vis (Thermoscientific, Genesys 10s, Florida, USA) a 765 nm. La concentración se calculó a partir de una curva estándar ($y = 0.0068x - 0.0003$; $R^2 = 0.995$) a base de ácido gálico (Waterman & Mole, 1994). El contenido total de fenólicos se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco ($\text{mg EAG} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ p.f.).

Cuantificación de flavonoides. Se realizó siguiendo el método reportado por Chang et al. (2002). A 0.5 mL del extracto metanólico se le adicionó 1.5 mL de metanol (95 %), 0.1 mL de AlCl_3 (10 % p/v), 0.1 mL de solución 1 M de CH_3COOK y 2.8 mL de agua destilada. La mezcla se homogeneizó y se incubó por 30 min a temperatura ambiente en oscuridad. Se leyó la absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro UV/Vis. La curva estándar ($y = 0.007x - 0.0051$; $R = 0.999$) se construyó a base de quercetina. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina en 100 g de peso fresco ($\text{mg EQ} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ p.f.).

Cuantificación de antocianinas. Se realizó mediante el método de pH diferencial descrito por Giusti & Wrolstad (2001). Se tomaron dos muestras de 0.2 mL de extracto metanólico; a la primera se le adicionó 1.8 mL de una solución amortiguadora pH = 1.0 (KCl), a la segunda se le agregó una solución amortiguadora pH = 4.5 ($\text{CH}_3\text{COOH}/\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). A las dos muestras se les midió la absorbancia a 510 y 700 nm. La absorbancia total (A_T) se calculó a partir de la fórmula: $A_T = [(A_{510} - A_{700})_{\text{pH} = 1.0}] - [(A_{510} - A_{700})_{\text{pH} = 4.5}]$. La concentración de antocianinas se calculó mediante la ecuación: $\text{Antocianinas (mg} \cdot \text{L}^{-1}) = (A_T \cdot \text{PM} \cdot \text{FD} \cdot 1000) / (\epsilon \cdot 1)$; donde: A_T = absorbancia total, PM = peso molecular ($449.2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) de Cianidina-3-glucósido, FD = factor de dilución (10), ϵ = absortividad molar del estándar (26 900). La concentración se expresó en mg de cianidina-3-glucósido por 100 g de peso fresco de capulín.

Cuantificación de vitamina C (ácido ascórbico). Se determinó en pulpa con cáscara de los frutos frescos y procesados de los cuatro segregantes, siguiendo la metodología descrita por Dürüst et al. (1997). Para la preparación del extracto se colocó 1 g de material vegetal en 10 mL de ácido oxálico al 0.4 % (p/v). La mezcla se sonicó por 15 min a temperatura ambiente, después se filtró. Un mL del extracto se mezcló con 1 mL de solución amortiguadora

de acetato pH = 3 (3 g de acetato anhidro de sodio en 7 mL de agua y 10 mL de ácido acético glacial) y 8 mL de dicloroindofenol (de una solución acuosa de $12 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), después de 15 s, se midió la absorbancia a 520 nm en un espectrofotómetro. Los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg EAA} \cdot 100^{-1}$ p.f.), utilizando una curva estándar de ácido ascórbico ($y = 0.004x + 0.0011$; $R^2 = 0.997$).

Evaluación de capacidad antioxidante. A 10 mL de una solución 7 mM del radical $\text{ABTS}^{\bullet+}$ (ácido 2,2'-azinobis (3-etilben-zotiazolin)-6-sulfónico), se le agregaron 6.61 mg de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, la mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente en oscuridad por 16 h (Re et al., 1999). Se tomó 1 mL del radical ABTS y se le agregó etanol absoluto hasta obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.01 a una longitud de onda de 734 nm. A 1 mL del radical ABTS se le adicionaron 10 μL del extracto a analizar y se incubó la mezcla a 30 °C en oscuridad por 7 min. Finalmente, se tomó la lectura de la absorbancia a 734 nm. Se preparó una curva estándar ($y = -0.2895x + 0.7583$; $R2 = 0.9956$) a base de trolox. Los resultados se expresaron en mg equivalentes de trolox por cada 100 g de peso fresco ($\text{mg ET} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ p.f.). Para calcular el porcentaje de inhibición del radical libre ABTS se empleó la fórmula: % de inhibición = $[(A_0 - A_F) / A_0] \cdot 100$, donde: A_0 = absorbancia inicial del radical libre a 734 nm, A_F = absorbancia final de la reacción con la muestra.

Resultados y Discusión

Propiedades físico – químicas

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre las características físico-químicas de los frutos de los cuatro segregantes. El segregante P5-3F presentó los frutos en peso y tamaño significativamente superiores, los frutos más pequeños y de menor peso fueron encontrados en el segregante P5-18F. La misma tendencia se encontró en el peso y tamaño de la semilla (Cuadro 1). Es limitada la información sobre las características morfológicas del fruto de capulín mexicano; sin embargo, Hernández Rodríguez et al. (2019) refieren menores valores de peso, diámetros polar y ecuatorial ($< 2.8 \text{ g}$, 1.1 cm y 1.2 cm, respectivamente) de frutos en madurez de consumo de *P. serotina* recolectados en Zacatlán, Puebla, México, las diferencias se deben probablemente a su naturaleza silvestre.

Los frutos del segregante P5-1F obtuvieron los valores significativamente más altos de sólidos solubles totales (SST, °Brix) y pH, por lo tanto, fueron los frutos de menor acidez y probablemente los más dulces. Los frutos de los segregantes P5-3F, P5-18F y P5-28F no mostraron diferencias significativas en el contenido de SST, mientras que los frutos del segregante P5-3 obtuvieron los valores más bajos de pH y SST (Cuadro 2). De acuerdo con Baxter et al. (2005), el aumento en la capacidad de absorber sacarosa descargada del floema es el principal factor que ocasiona diferencias en el contenido de sólidos solubles (SST) entre

frutos de varias plantas de una misma especie. Lo anterior, podría explicar el mayor contenido de SST en el segregante P5-1F. Por otra parte, los valores de pH obtenidos en el presente estudio fueron superiores a los reportados por Ordaz-Galindo et al. (1999) (pH 3.96) y Jiménez et al. (2011) (pH 4.20) en la pulpa fresca de la misma especie (*Prunus serotina* subsp *capuli*), esto podría deberse a la variabilidad genética (Ballistreri et al., 2013).

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los parámetros de color (ángulo de tono o *hue*, índice de saturación o *chroma* y luminosidad) de la cáscara de los frutos (Cuadro 2). Los frutos del segregante P5-1F mostraron los valores significativamente más altos de *chroma* y ángulo de tono *hue* (17.16 y 28.35, respectivamente), que los identificó como frutos de mayor intensidad de color anaranjado. Los frutos del segregante P5-28F mostraron los valores estadísticamente más bajos de *chroma* y *hue* (6.18 y 20.95, respectivamente), que los identificó como frutos más rojos y de menor intensidad de color. Los valores de luminosidad permitieron dividir los frutos de los cuatro segregantes en dos grupos, los frutos significativamente más claros (P5-1F y P5-3F) y los frutos más oscuros (P5-18F y P5-28F). El color de la cáscara es el atributo más importante de calidad y madurez en los frutos de capulín, asociados con la presencia de antocianinas (Hernández Rodríguez et al., 2019; Jimenez et al., 2011).

Contenido de minerales

Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) del contenido de minerales entre los frutos frescos de los cuatro segregantes (Cuadro 4). El segregante P5-1F presentó las concentraciones estadísticamente superiores de P, K y Mg, en contraste, los frutos del segregante P5-28F mostraron significativamente mayores contenidos de Na, Ca, Fe y Cu; los segregantes P5-1F, P5-28F y P5-3F obtuvieron los mayores contenidos de B (Cuadro 3). Luna-Vázquez et al. (2013) reportaron valores mayores de K ($184.30 \pm 3.50 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) y Na ($22.40 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) en frutos de capulín cosechados en Huejotzingo, Puebla, México; así como, contenidos menores de P ($28.10 \pm 0.40 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) y Ca ($12.90 \pm 1.90 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$); sin embargo, el contenido de Mg ($21.20 \pm 0.40 \text{ mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) fue similar al obtenido en el presente estudio. Las diferencias encontradas respecto a los valores reportados en otras investigaciones se deben principalmente a factores edafoclimáticos del lugar de origen de cosecha del capulín. Respecto a las diferencias encontradas en las concentraciones de minerales entre los cuatro segregantes, se podrían atribuir nuevamente a diferencias genéticas como se ha reportado en otros frutos y algunas hortalizas (Reynoso-Camacho et al., 2006). No existen estudios realizados sobre la variación del contenido de minerales en los frutos de capulín en relación con estos

Cuadro 2. Contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix), pH y atributos de color en frutos frescos de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix)	pH	Luminosidad (%)	Ángulo de tono Hue ($^{\circ}$)	Chroma
P5-1F	15.88 \pm 0.97 a	5.40 \pm 0.18 a	23.34 \pm 1.46 a	28.35 \pm 3.82 a	17.16 \pm 2.98 a
P5-3F	14.84 \pm 1.43 b	4.21 \pm 0.16 d	22.75 \pm 1.69 a	19.38 \pm 3.95 b	11.64 \pm 3.82 b
P5-18F	14.92 \pm 0.88 b	4.78 \pm 0.16 b	21.22 \pm 0.89 b	18.02 \pm 2.93 b	9.44 \pm 3.17 b
P5-28F	15.37 \pm 0.88 ab	4.42 \pm 0.20 c	20.95 \pm 0.63 b	17.68 \pm 2.68 b	6.18 \pm 1.91 c

Los valores reportados son la media de 25 repeticiones \pm desviación estándar. Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 3. Contenido de minerales ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) en la pulpa de frutos frescos de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Mineral	Segregante			
	P5-1F	P5-3F	P5-18F	P5-28F
P	40.28 \pm 0.34 a	35.87 \pm 0.24 c	35.85 \pm 0.39 c	37.13 \pm 0.41 b
K	106.72 \pm 0.38 a	100.46 \pm 0.46 c	104.99 \pm 0.26 b	96.31 \pm 0.17 d
Ca	22.63 \pm 0.36 b	21.19 \pm 0.25 c	16.43 \pm 0.32 d	23.82 \pm 0.43 a
Mg	24.57 \pm 0.07 a	22.34 \pm 0.21 b	16.97 \pm 0.12 d	19.67 \pm 0.42 c
Na	21.03 \pm 0.39 ab	20.19 \pm 0.42 b	17.45 \pm 0.42 c	21.63 \pm 0.05 a
Fe	0.67 \pm 0.08 b	0.63 \pm 0.00 b	0.53 \pm 0.00 b	0.88 \pm 0.04 a
Mn	0.16 \pm 0.00 b	0.17 \pm 0.00 b	0.20 \pm 0.00 a	0.20 \pm 0.01 a
Zn	0.28 \pm 0.00 b	0.34 \pm 0.00 a	0.30 \pm 0.00 b	0.32 \pm 0.00 a
Cu	0.02 \pm 0.00 d	0.04 \pm 0.00 b	0.03 \pm 0.00 c	0.07 \pm 0.00 a
B	0.99 \pm 0.03 a	1.04 \pm 0.00 a	0.90 \pm 0.01 b	1.01 \pm 0.02 a

Los valores representan la media de 3 repeticiones; \pm desviación estándar. Medias con la misma letra, en una misma fila, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 4. Análisis proximal (%) de los frutos frescos (F) y procesados (P) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Cenizas	Humedad	Proteína	Carbohidratos	Fibra cruda
P5-1 F	0.771 ± 0.016 d	79.45 ± 0.26 b	1.79 ± 0.46 b	17.95 ± 0.25 ab	3.99 ± 0.06 ab
P 5-3 F	0.954 ± 0.004 a	81.21 ± 0.26 a	2.37 ± 0.01 a	15.52 ± 0.11 d	3.45 ± 0.06 d
P 5-18 F	0.911 ± 0.008 b	80.98 ± 0.66 a	1.82 ± 0.09 b	16.33 ± 0.76 cd	3.63 ± 0.17 cd
P5-28 F	0.912 ± 0.011 b	79.92 ± 0.02 b	1.83 ± 0.01 b	17.31 ± 0.10 bc	3.85 ± 0.01bc
P5-1 P	0.684 ± 0.008 e	79.26 ± 0.11 b	1.82 ± 0.01 b	18.21 ± 0.11 ab	4.04 ± 0.02 ab
P 5-3 P	0.856 ± 0.013 c	81.33 ± 0.09 a	1.17 ± 0.02 d	16.52 ± 0.09 cd	3.67 ± 0.02 cd
P5-18 P	0.841 ± 0.015 c	81.24 ± 0.16 a	1.40 ± 0.02 c	16.42 ± 0.13 cd	3.64 ± 0.03 cd
P5-28 P	0.821 ± 0.011c	78.95 ± 0.16 b	1.47 ± 0.02 c	18.74 ± 0.17 a	4.16 ± 0.04 a

Los valores representan la media de 3 repeticiones; ± desviación estándar. Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

factores, la presente investigación es una contribución del contenido de minerales en segregantes. Por lo tanto, los resultados obtenidos sugieren que el consumo de los frutos de capulín podría ser una alternativa de ingesta de minerales económica en la población.

Análisis proximal

Después del procesamiento de los frutos (40 °C por 5 min), el contenido de cenizas (minerales en el alimento) disminuyó solo en tres segregantes P5-1P y P5-28P, así como el contenido de humedad (Cuadro 4), por lo tanto, hubo pérdida de minerales (lixiviados) por transferencia al agua de cocción. De acuerdo con Yagmur & Taskin (2011), la mayoría de los minerales de frutas y verduras son solubles en agua, por lo cual es común que estos nutrientes pasen del tejido al agua de proceso; la difusión externa de los minerales durante la cocción depende del nivel de daño físico de los tejidos vegetales y aumenta con el tratamiento térmico en el agua de cocción; factores como el nivel de pH, temperatura, relación agua-nutrientes, área de la superficie expuesta, entre otros factores afectan las pérdidas de minerales en el producto final.

Por otra parte, los frutos frescos de los cuatro segregantes de capulín son importante fuente de carbohidratos, fibra cruda y proteína (Cuadro 4). No se encontraron significativas en el contenido de lípidos fresco (F). El contenido de lípidos en todos los segregantes fue menor a 0.03 % por lo que no se reportó en el Cuadro 5.

Los frutos P5-1F presentaron las mayores concentraciones de carbohidratos y fibra cruda entre los segregantes estudiados. Los frutos del segregante P5-3F fueron los de mayor concentración de proteína cruda. Al respecto, Luna-Vázquez et al. (2013) reportaron valores menores de carbohidratos, similares de fibra cruda y mayores de proteína en frutos de capulín (*P. serotina* subssp. *capuli*) (12.23, 3.58 y 2.10 %, respectivamente); pero, el fruto de los segregantes estudiados presentaron valores superiores de carbohi-

dratos y proteína en comparación con lo reportado en cereza (*Prunus domestica*) (8.28 y 0.49 %, respectivamente) y uva (*Vitis vinifera*) (13.96 y 0.46 %, respectivamente). Por tanto, esta fruta es fuente de nutrientes a bajo costo. Es importante destacar que el valor de fibra cruda encontrado en capulín de los segregantes estudiados, entre 18.36 a 19.41 % en peso seco, superior a lo reportado por Blejan et al. (2023) en algunos subproductos (mezcla seca de cáscaras, semillas y pulpa residual después de la eliminación de jugo) de arándanos silvestres (*Vaccinium myrtillus* L.) y grosellas negras (*Ribes nigrum* L.) (11.84 y 15.50 % en peso seco, respectivamente). Los alimentos ricos en fibra proveen beneficios a la salud para la prevención y reducción del riesgo de enfermedades crónicas; el consumo de fibra cruda tiene un efecto laxante, por lo que es recomendada por especialistas a personas que sufren de estreñimiento (Ioniță-Mîndrican et al., 2022).

Respecto al efecto del tratamiento térmico en los contenidos de carbohidratos y fibra cruda, los frutos procesados (P) presentaron mayores concentraciones en comparación con el fruto fresco (F) (Cuadro 4), debido a la concentración de estos nutrimentos por pérdida de agua del fruto durante el tratamiento térmico. De acuerdo con Ramalakshmi et al. (2021), la pérdida de nutrientes durante la cocción depende de la temperatura, duración del tratamiento y el nutriente involucrado; la pérdida de carbohidratos durante la cocción es generalmente pequeña y solo después de varios minutos de cocción y a temperaturas cercanas a los 100° C.

Por último, es importante referir que se observó una reducción de hasta el 25 % en el contenido de proteínas en los frutos procesados (P) con respecto al capulín fresco (Cuadro 4), a excepción del segregante fresco y procesado (P5-1F y P5-1P) cuyo contenido fue estadísticamente igual en las dos condiciones. Es común la pérdida considerable de sustancias nutritivas solubles al disolverse o lixiviarse en el agua de cocción, como proteínas, minerales solubles en agua y vitaminas (Deng et al., 2019).

Cuadro 5. Contenido de compuestos nutraceuticos en frutos fresco (F) y procesado (P) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*) por cada 100 g de peso fresco.

Segregante	Compuestos Fenólicos (mg EAG)	Flavonoides (mg EQ)	Antocianinas (mg ECyd-3-Gli)	Vitamina C (mg EAA)
P5-1 F	96.42 ± 3.09 e	28.39 ± 0.18 e	9.05 ± 0.20 e	33.87 ± 0.24 c
P5-3 F	331.57 ± 4.09 b	50.49 ± 0.83 a	19.69 ± 0.19 ^a	40.06 ± 0.55 a
P5-18 F	228.84 ± 5.95 d	48.68 ± 1.47 ab	16.46 ± 0.61 c	42.01 ± 0.93 a
P5-28 F	341.27 ± 3.09 b	50.25 ± 0.44 a	18.54 ± 0.32 ab	40.46 ± 0.77 a
P5-1 P	104.6 ± 2.14 e	31.30 ± 0.31d	8.44 ± 0.24 e	33.52 ± 0.34 c
P5-3 P	390.69 ± 3.24 a	49.58 ± 0.53 a	16.57 ± 0.34 c	40.06 ± 0.62 a
P5-18 P	305.27 ± 2.14 c	46.44 ± 0.53 b	10.77 ± 0.24 d	36.61 ± 0.40 b
P5-28 P	388.84 ± 0.86 a	42.01 ± 0.12 c	17.48 ± 0.29 bc	36.69 ± 0.54 b

Los valores representan la media de 3 repeticiones; ± desviación estándar. Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). EAG: equivalentes de ácido gálico, EQ: equivalentes de quercetina, ECyd-3-Gli: cianidina-3-glucósido, EAA: equivalentes de ácido ascórbico.

Contenido de nutraceuticos

Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la concentración de compuestos fenólicos, antocianinas, flavonoides y vitamina C entre los frutos frescos de los cuatro segregantes. Los frutos frescos (F) de los segregantes P5-28F y P5-3F fueron los que presentaron las concentraciones mayores de antocianinas y compuestos fenólicos. En relación con las concentraciones de flavonoides totales y vitamina C, los valores fueron similares entre todos los segregantes, a excepción de P5-1F que presentó las menores concentraciones de estos metabolitos (Cuadro 5). Anttonen & Karjalainen, (2005) refieren que el contenido de compuestos fenólicos puede variar significativamente entre cultivares de una especie debido a la expresión génica relacionada con la biosíntesis de algunos metabolitos en respuesta a los cambios en el entorno del cultivo. Los compuestos fenólicos además de su capacidad antioxidante poseen otros mecanismos de acción que explican sus diversos efectos benéficos en los consumidores (Potì et al., 2019).

Los estudios fitoquímicos de los cultivares, variedades o segregantes de una especie permiten planificar estrategias de mejoramiento, así como, seleccionar individuos con alto contenido de principios activos o de interés comercial como colorantes naturales, ingredientes nutraceuticos y antioxidantes para la industria alimentaria o para mejorar el contenido de compuestos saludables en frutos de capulín.

Es importante señalar que los valores de compuestos fenólicos y flavonoides (4.69-17.64 mg EAG · g⁻¹ y 1.38-2.68 mg EQ · g⁻¹ p.s., respectivamente) encontrados en los cuatro segregantes estudiados y transformados en las mismas unidades de concentración fueron inferiores a lo reportado por Hernández Rodríguez et al. (2019) en capulín silvestre colectado en Zacatlán, Puebla, México (14.40-26.96 mg EAG · g⁻¹ p.s., 16.56-9.23 mg EQ · g⁻¹ p.s. y 0.04-0.66 mg cianidina-3-glucósido (C-3-G) · g⁻¹ p.s.); en contraste, se encontraron mayores concentraciones de antocianinas (0.44-1.05 mg equivalentes de C-3-G por g, en peso seco)

en todos los segregantes estudiados. Ordaz-Galindo et al. (1999) reportaron valores de antocianinas en los frutos de capulín (*Prunus serotina*) (31.7 mg equivalentes de cianidin-3-glicósido · 100 g⁻¹ p.f.) similares a los reportados en el presente estudio.

Por otra parte, la concentración de flavonoides encontrada en todos los segregantes fue menor a la de compuestos fenólicos totales, posiblemente porque algunos flavonoides se podrían encontrar formando procianidinas (taninos condensados) como en otros frutos (Cui et al., 2006).

El contenido de vitamina C fue estadísticamente igual entre los frutos frescos de los segregantes P5-3F, P5-18F y P5-28F, el valor más bajo de este metabolito lo presentaron los frutos frescos del segregante P5-1F. No existen estudios sobre el contenido de esta vitamina en capulín.

Por otra parte, el tratamiento térmico tuvo un efecto significativo en el contenido de compuestos nutraceuticos entre los frutos de los cuatro segregantes. El contenido de compuestos fenólicos obtuvo un incremento significativo en los frutos de los cuatro segregantes posterior al tratamiento térmico (17 %), que podría deberse a la concentración de estos nutrimentos por la pérdida de agua del fruto durante el tratamiento térmico, como se observó en carbohidratos.

Los segregantes P5-3F y P5-18F no mostraron diferencias significativas en el contenido de flavonoides después del tratamiento térmico, por el contrario del segregante P5-28P mostró la mayor disminución de estos metabolitos. Los flavonoides son también compuestos fenólicos con potencial antioxidante presentes en hortalizas y frutas; en las últimas dos décadas los estudios epidemiológicos han demostrado una relación entre el consumo de flavonoides y la baja incidencia de padecimientos degenerativos (Toh et al., 2013). Los mecanismos de acción de cada grupo de fitoquímicos en capulín se desconocen, pero el efecto sinérgico de estos bioactivos lo convierten en un alimento

Cuadro 6. Capacidad antioxidante en frutos frescos (F) y procesados (P) de cuatro segregantes de capulín (*Prunus serotina*).

Segregante	Capacidad Antioxidante ($\mu\text{ mol} \cdot \text{ET}100 \text{ g}^{-1} \text{ pf}$)	Inhibición (%)
P5-1 F	1326.084 \pm 47.27 c	54.17 \pm 2.17 b
P5-3 F	1800.81 \pm 23.23 b	92.25 \pm 3.28 a
P5-18 F	1390.40 \pm 2.88 c	57.13 \pm 0.13 b
P5-28 F	2154.05 \pm 71.48 a	95.77 \pm 1.13 a
P5-1 P	1816.94 \pm 8.81 b	91.36 \pm 0.40 a
P5-3 P	2252.06 \pm 22.22 a	96.76 \pm 1.02 a
P5-18 P	2145.89 \pm 76.11 a	91.87 \pm 3.50 a
P5-28 P	2134.66 \pm 8.78 a	97.84 \pm 0.43 a

Los valores representan la media de 3 repeticiones; \pm desviación estándar. Medias con la misma letra, en una misma columna, son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). ET: equivalentes de trolox.

con propiedades funcionales notables, principalmente los frutos de los segregantes P5-3F y P5-28F.

El efecto del tratamiento térmico también provocó una disminución significativa promedio de 16 % del contenido de antocianinas en los segregantes P5-3F y P5-18F (Cuadro 5). Los niveles de antocianinas pueden verse afectados por la temperatura del proceso. Oliveira et al. (2010) observaron una reducción en el contenido de antocianinas en arándanos entre 12 y 42 % durante un calentamiento progresivo de 12° hasta 99 °C por 60 min, el mismo fenómeno se encontró en el capulín con tratamiento térmico estudiado en la presente investigación.

El contenido de vitamina C (Cuadro 6) mostró diferencias significativas únicamente entre los frutos frescos y procesados de los segregantes P5-18F y P5-28F, donde se generó una disminución de su contenido (12.8 y 9.3 %, respectivamente). El contenido de vitamina C en los frutos frescos de capulín de los cuatro segregantes analizados fue mayor al reportado por García et al. (2006) en plátano (8 – 16 mg · 100 g⁻¹) y en manzana verde (3-30 mg · 100 g⁻¹). La vitamina C juega un papel muy importante en el metabolismo humano, es fundamental para el desarrollo y función del sistema nervioso, forma parte de los mecanismos de cicatrización, biosíntesis de colágeno y diferentes neurotransmisores (Kükürt & Gelen, 2024).

Por último, es importante señalar que los frutos frescos del segregante P5-3F fueron en los que se afectaron menos los compuestos nutraceuticos debido al tratamiento térmico (a excepción de la concentración de antocianinas), que correspondió con mayor actividad antioxidante (Cuadro 6), por esta razón se recomienda como un segregante con potencial para ser procesado.

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los frutos frescos y procesados de los cuatro segregantes presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro 6). Los valores más altos de

capacidad antioxidantes se observaron en los frutos frescos del segregante P5-28F, seguido de P5-3F. Los frutos frescos de estos segregantes fueron los que presentaron el mayor contenido de antocianinas, compuestos fenólicos, flavonoides y vitamina C. Los frutos procesados de los cuatro segregantes mostraron un aumento promedio de 28 % en el contenido de capacidad antioxidante; así como, de su capacidad inhibidora promedio de radicales libres (34 %), lo cual podría explicarse por el aumento de compuestos fenólicos (17 %) como se mencionó anteriormente en el presente estudio. La capacidad antioxidante obtenida en los frutos frescos y procesados de los cuatro segregantes de capulín (1326.08 \pm 47.27 – 2252.06 \pm 22.22 $\mu\text{mol ET} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) fue similar a los valores reportados por Luna-Vázquez et al. (2013) (1455.2 \pm 92.5 – 2056.7 \pm 108.0 $\mu\text{mol ET} \cdot 100 \text{ g}^{-1} \text{ p.f.}$) en frutos frescos de la misma especie. Por otra parte, investigaciones similares realizadas por García-Mateos et al. (2013) en 20 diferentes genotipos de tejocote y Ballistreri et al. (2013) en 24 variedades de cereza dulce (*P. avium*), mostraron que el factor genético podría explicar las variaciones en las características nutraceuticas de los segregantes de capulín.

Conclusiones

El fruto de capulín de los cuatro segregantes estudiados es fuente de nutrientes (proteínas, fibra, carbohidratos, P, K, Ca, Mg y Fe) y de compuestos antioxidantes (fenólicos, antocianinas y vitamina C) a bajo costo. El fruto del segregante P5-1F fue el que presentó el mayor contenido de carbohidratos, sólidos solubles totales y pH, atributos de calidad importantes para comercializar un fruto; sin embargo, fue el de menor valor nutraceutico en estado fresco y procesado. En contraste, los frutos del segregante P5-3 fueron los de mayores valores de proteínas y potencial nutraceutico por sus altas concentraciones de compuestos fenólicos, flavonoides, antocianinas, vitamina C y actividad antioxidante en fresco (P5-3F) y procesado (P5-3P). Los frutos frescos de los segregantes P5-3F y P5-28F fueron estadísticamente superiores en contenido de antocianinas y flavonoides, compartiendo esta superioridad en el contenido de vita-

mina C con los frutos frescos del segregante P5-18F. Los frutos frescos del segregante P5-28F mostraron la mayor capacidad antioxidante, asociado a su alta concentración de compuestos nutraceuticos. Los factores tratamiento térmico (40 °C por 5 min) y segregante de capulín tuvieron un efecto significativo conjunto en el valor nutricional y nutraceutico de los frutos frescos y procesados. Los frutos de segregante P5-3P toleraron mayormente el tratamiento térmico, por lo que los frutos presentaron las menores afectaciones en los componentes nutraceuticos y el mayor valor de actividad antioxidante, por esta razón se recomienda como un segregante con potencial para ser procesado con el fin de generar valor agregado.

Agradecimientos

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz (QEPD) y al M. C. Alfonso Muratalla Lúa, Profesores Investigadores del Posgrado de Fruticultura del Colegio de Postgraduados, por la donación del material biológico para la presente investigación. Al IBQ, Félix Esparza Torres del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la UACH por el apoyo en la realización del Análisis Proximal.

Referencias

- Alcántar-González, G., & Sandoval-Villa, M. (1999). Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. 1999. Chapingo, México.
- Anttonen, M. J., & Karjalainen, R. O. (2005). Environmental and genetic variation of phenolic compounds in red raspberry. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(8), 759–769. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.11.003>
- AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis*. (18th Ed.). Association of Official Analytical Chemist.
- Ballistreri, G., Continella, A., Gentile, A., Amenta, M., Fabroni, S., & Rapisarda, P. (2013). Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars grown in Italy. *Food Chemistry*, 140(4), 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.024>
- Baxter, C. J., Carrari, F., Bauke, A., Overy, S., Hill, S. A., Quick, P. W., Fernie, A. R., & Sweetlove, L. J. (2005). Fruit Carbohydrate Metabolism in an Introgression Line of Tomato with Increased Fruit Soluble Solids. *Plant and Cell Physiology*, 46(3), 425–437. <https://doi.org/10.1093/pcp/pci040>
- Blejan, A. M., Nour, V., Păcularu-Burada, B., & Popescu, S. M. (2023). Wild bilberry, blackcurrant, and blackberry by-products as a source of nutritional and bioactive compounds. *International Journal of Food Properties*, 26(1), 1579–1595. <https://doi.org/10.1080/10942912.2023.2224530>
- Cui, T., Nakamura, K., Tian, S., Kayahara, H., & Tian, Y.-L. (2006). Polyphenolic Content and Physiological Activities of Chinese Hawthorn Extracts. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70(12), 2948–2956. <https://doi.org/10.1271/bbb.60361>
- Chang, C.-C., Yang, M.-H., Wen, H.-M., & Chern, J.-C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178–182. <https://doi.org/10.3821/2224-6614.2748>
- Deng, L.-Z., Mujumdar, A. S., Zhang, Q., Yang, X.-H., Wang, J., Zheng, Z.-A., Gao, Z.-J., & Xiao, H.-W. (2019). Chemical and physical pretreatments of fruits and vegetables: Effects on drying characteristics and quality attributes – a comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(9), 1408–1432. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1409192>
- Dürüst, N., Sümengen, D., & Dürüst, Y. (1997). Ascorbic Acid and Element Contents of Foods of Trabzon (Turkey). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(6), 2085–2087. <https://doi.org/10.1021/jf9606159>
- Fresnedo-Ramírez, J., Segura, S., & Muratalla-Lúa, A. (2011). Morphovariability of capulín (*Prunus serotina* Ehrh.) in the central-western region of Mexico from a plant genetic resources perspective. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 58(4), 481–495. <https://doi.org/10.1007/s10722-010-9592-2>
- García, G., García, A., Mejía, Ó., Clavijo, D., Hernández, S., Báez, S., & Cobos, C. (2006). Aspectos bioclinicos y patobiológicos de la vitamina C en la especie humana. *CES Medicina*, 20(2), 3479–3495. <https://doi.org/10.3390/molecules20023479>
- García-Mateos, R., Ibarra-Estrada, E., & Nieto-Angel, R. (2013). Antioxidant compounds in hawthorn fruits (*Crataegus* spp.) of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 84(4), 1298–1304. <https://doi.org/10.7550/rmb.35675>
- García-Aguilar, L., Rojas-Molina, A., Ibarra-Alvarado, C., Rojas-Molina, J., Vázquez-Landaverde, P., Luna-Vázquez, F., & Zavala-Sánchez, M. (2015). Nutritional Value and Volatile Compounds of Black Cherry (*Prunus serotina*) Seeds. *Molecules*, 20(2), 3479–3495. <https://doi.org/10.3390/molecules20023479>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00(1). <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Guzmán, F. A., Segura-Ledesma, S. D., & Almaguer-Vargas, G. (2020). El capulín (*Prunus serotina* Ehrh.): Árbol multipropósito con potencial forestal en México. *Madera y Bosques*, 26(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611866>
- Hernández Rodríguez, G., Espinosa-Solares, T., Perez-Lopez, A., Salgado-Escobar, I., & Guerra-Ramirez, D. (2019). Antioxidant capacity of capulín (*Prunus serotina* subsp. Capulí (Cav). McVaugh) fruit at different stages of ripening. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(16), 35–44. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1947>
- Ibarra-Alvarado, C., Rojas, A., Luna, F., Rojas, J., Rivero-Cruz, B., & Rivero-Cruz, J. (2009). Vasorelaxant constituents of the leaves of *Prunus serotina* “Capulín”. *Revista Latinoamericana de Química*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Vasorelaxant-constituents-of-the-leaves-of-Prunus-Ibarra-Alvarado-Rojas/ad6ce32ea8c6eba2a9e8adeeb937e23764d52be>
- Ioniță-Mindrican, C.-B., Ziani, K., Mititelu, M., Oprea, E., Neacșu, S. M., Moroșan, E., Dumitrescu, D.-E., Roșca, A. C., Drăgănescu, D., & Negrei, C. (2022). Therapeutic Benefits and Dietary Restrictions of Fiber Intake: A State of the Art. Review. *Nutrients*, 14(13), 2641. <https://doi.org/10.3390/nu14132641>
- Jimenez, M., Castillo, I., Azuara, E., & Beristain, C. I. (2011). Actividad antioxidante y antimicrobiana de extractos de capulín (*Prunus serotina* subsp capulí). *Revista mexicana de ingeniería química*, 10(1), 29–37.
- Kükürt, A., & Gelen, V. (2024). Understanding Vitamin C: Comprehensive Examination of Its Biological Significance and

- Antioxidant Properties. En A. Kükürt & V. Gelen (Eds.), *Ascorbic Acid—Biochemistry and Functions*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.114122>
- López-Hernández, E. F., Santiago-Mejía, H., & Ortiz, Y. G. (2024). Conocimiento etnobotánico asociado al árbol de capulín (*Prunus serotina* Ehrh.) en comunidades mazahua de Jocotitlán, Estado de México, México. *Etnobiología*, 22(1), Article 1.
- Luna-Vázquez, F., Ibarra-Alvarado, C., Rojas-Molina, A., Rojas-Molina, J., Yahia, E., Rivera-Pastrana, D., Rojas-Molina, A., & Zavala-Sánchez, Á. M. (2013). Nutraceutical Value of Black Cherry *Prunus serotina* Ehrh. Fruits: Antioxidant and Antihypertensive Properties. *Molecules*, 18(12), 14597–14612. <https://doi.org/10.3390/molecules181214597>
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12), 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Oliveira, C., Amaro, L. F., Pinho, O., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2010). Cooked blueberries: Anthocyanin and anthocyanidin degradation and their radical-scavenging activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(16), 9006–9012. <https://doi.org/10.1021/jf101923w>
- Ordaz-Galindo, A., Wesche-Ebeling, P., Wrolstad, R. E., Rodriguez-Saona, L., & Argaiz-Jamet, A. (1999). Purification and identification of Capulin (*Prunus serotina* Ehrh) anthocyanins. *Food Chemistry*, 65(2), 201–206. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00196-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00196-4)
- Pairon, M. C., & Jacquemart, A.-L. (2005). Disomic Segregation of Microsatellites in the Tetraploid *Prunus serotina* Ehrh. (Rosaceae). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(5), 729–734. <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.5.729>
- Pathania, S., Itle, R. A., Chávez, C. R., Lema, L. F., Caballero-Serrano, V., Carrasco, J. C., & Chavez, D. J. (2022). Fruit Characterization of *Prunus serotina* subsp. Capuli. *Horticulturae*, 8(9), 838. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8090838>
- Petitpierre, B., Pairon, M., Broennimann, O., Jacquemart, A. L., Guisan, A., & Besnard, G. (2009). Plastid DNA variation in *Prunus serotina* var. *Serotina* (Rosaceae), a North American tree invading Europe. *European Journal of Forest Research*, 128(5), 431–436. <https://doi.org/10.1007/s10342-009-0287-1>
- Poti, F., Santi, D., Spaggiari, G., Zimetti, F., & Zanotti, I. (2019). Polyphenol Health Effects on Cardiovascular and Neurodegenerative Disorders: A Review and Meta-Analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), 351. <https://doi.org/10.3390/ijms20020351>
- Potter, D. (2011). *Prunus*. En C. Kole (Ed.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources* (pp. 129–145). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-16057-8_7
- Ramalakshmi, K., Subhapiya, P., Ananthavalli, K., Sarada, K., & Shanmugapriya, D. (2021). Impact of cooking on nutrients in selected vegetables. *International Journal of Engineering Research and Application*, 11(2), 31–35. <https://doi.org/10.9790/9622-1102023135>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., 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)
- Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gómez, M., Loarca-Piña, G., Guevara-González, R., & Torres-Pacheco, I. (2006). Bioactive components in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). [https://www.semanticscholar.org/paper/Bioactive-components-in-common-beans-\(Phaseolus-Reynoso-Camacho-Ramos-G-C3%B3mez/6f298346344c2ea4b0c585e7c7b3c1df9f23f2ab](https://www.semanticscholar.org/paper/Bioactive-components-in-common-beans-(Phaseolus-Reynoso-Camacho-Ramos-G-C3%B3mez/6f298346344c2ea4b0c585e7c7b3c1df9f23f2ab)
- Román-Cortés, N. R., García-Mateos, Ma. del R., Castillo-González, A. Ma., Sahagún-Castellanos, J., & Jiménez-Arellanes, Ma. A. (2018). Características nutricionales y nutraceuticas de hortalizas de uso ancestral en México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(3), 245–253. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.245-253>
- SAS Institute Inc. (2002). *SAS/STAT Software, Version 9.00* [Statistical Analysis System 9.0 for Windows].
- SIAP. (2024). *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta* (Versión 2024) [Software]. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Swain, E., Li, C. P., & Poulton, J. E. (1992). Development of the Potential for Cyanogenesis in Maturing Black Cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) Fruits. *Plant Physiology*, 98(4), 1423–1428. <https://doi.org/10.1104/pp.98.4.1423>
- Telichowska, A., Kobus-Cisowska, J., & Szulc, P. (2020). Phytopharmacological Possibilities of Bird Cherry *Prunus padus* L. and *Prunus serotina* L. Species and Their Bioactive Phytochemicals. *Nutrients*, 12(7), 1966. <https://doi.org/10.3390/nu12071966>
- Toh, J. Y., Tan, V. M. H., Lim, P. C. Y., Lim, S. T., & Chong, M. F. F. (2013). Flavonoids from Fruit and Vegetables: A Focus on Cardiovascular Risk Factors. *Current Atherosclerosis Reports*, 15(12), 368. <https://doi.org/10.1007/s11883-013-0368-y>
- Waterman, P. G., & Mole, S. (1994). *Analysis of phenolic plant metabolites. Methods in Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 238 p.
- Yagmur, C., & Taskin, M. (2011). Study on changes in mineral content of plum (*Prunus domestica*) and strawberry (*Fragaria*—ananassa) during canning. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 81(8), Article 8. <https://epubs.icar.org.in/index.php/IJAgS/article/view/8424>