

Short Note [Nota Corta]



EVALUATION OF POST-HARVEST OF WILD AND IMPROVED BLACKBERRY FRUITS †

[CARACTERIZACIÓN POSCOSECHA DE FRUTOS DE ZARZAMORA SILVESTRES Y MEJORADOS]

Hildegard Berenice List-Montesinos¹, Serafín Cruz-Izquierdo^{1*},
Geremias Rodríguez-Bautista², Nicacio Cruz-Huerta¹,
Luis Gerardo Zepeda-Vallejo³, J. Jesús García-Zavala¹
and Cruz del Rosario Alvarado-Ramírez⁴

¹*PREGEP-Genética. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Carr. Federal México-Texcoco Km 36.5, Montecillo. Estado de México, C.P. 56230. México.*

Email: seracruz@colpos.mx

²*Departamento de Producción Agrícola. Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Avenida Independencia Nacional 151. Aulán de Navarro. Jalisco. C.P. 48900, México*

³*Departamento de Química Orgánica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Prol. de Carpio y Plan de Ayala. Del. Miguel Hidalgo. Ciudad de México. C.P.11340, México*

⁴*Tecnológico Nacional de México Campus Tlajomulco. Km.10 Tlajomulco San Miguel Cuyutlan, Tlajomulco de Zuñiga, Jalisco. C.P. 45640, México*

**Corresponding author*

SUMMARY

Background. Blackberry fruits are fragile and very perishable; they require various care and practices that guarantee a long shelf life. The quality of the fruits is evidenced by determining the postharvest parameters; these parameters have been fundamental in the development of improved varieties. In Mexico there are various species of wild blackberries with interesting characteristics for their integration in genetic improvement. **Objective.** To determine the postharvest parameters of wild fruits, improved open and private varieties of blackberries. **Methodology.** Phenotypic parameters related to the fruit, drupeoles and fruit shape index were measured. The physicochemical parameters evaluated were: titratable acidity, total soluble solids and pH. **Results.** The wild fruits are smaller in size than the open varieties fruits, these in turn are smaller than the private varieties. In terms of shape, wild fruits are rounded, improved fruits tend to be elongated. Wild fruits had fewer drupeoles per fruit, except *Rubus adenotrichus*. In the physicochemical analysis, the improved fruits presented more total soluble solids and lower titratable acidity than the wild fruits. The pH presented little variation between wild and improved species. The parameters of size, fruit sweetness and titratable acidity notifies for the conventional breeding carried out in this species over time. **Implications.** Knowing the potential of wild *Rubus* species will allow their conservation and use. **Conclusions.** Wild fruits, improved open and private varieties presented a wide variability in the evaluated postharvest parameters.

Key words: *Rubus*; wild; varieties; quality; postharvest; good practices; breeding.

RESUMEN

Antecedentes. Los frutos de zarzamora son frágiles y bastante perecederos, requieren de diversos cuidados y prácticas que garanticen una larga vida de anaquel. La calidad de los frutos es evidenciada mediante la determinación de los indicadores poscosecha, mismos que han sido fundamentales en el desarrollo de las variedades mejoradas. En México existen diversas especies de zarzamos silvestres con características interesantes para su integración a programas de mejoramiento genético. **Objetivo.** Caracterizar los parámetros poscosecha de frutos silvestres, variedades mejoradas abiertas y privadas de zarzamora. **Metodología.** Se midieron parámetros fenotípicos relacionados con el fruto, las drupeolas y el índice de redondez. Los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron: acidez titulable, sólidos solubles totales y pH. **Resultados.** Los frutos silvestres presentaron menor tamaño que los frutos mejorados abiertos, estos a su

† Submitted December 4, 2023 – Accepted November 21, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5314>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

vez son más pequeños que las variedades privadas. En cuanto a forma, los frutos silvestres son redondeados, los frutos mejorados tienden a ser alargados. Los frutos silvestres presentaron menos número de drupeolas por fruto, excepto *Rubus adenotrichus*. En el análisis físico-químico, los frutos mejorados presentaron más sólidos solubles totales y menor acidez titulable que los frutos silvestres. El pH presentó poca variación entre especies silvestres y mejoradas. Los parámetros de tamaño, dulzura del fruto y acidez titulable dan cuenta del mejoramiento genético convencional llevado a cabo en esta especie a través del tiempo. **Implicaciones.** Conocer el potencial de las especies silvestres de *Rubus* permitirá su conservación y aprovechamiento. **Conclusiones.** Los frutos silvestres, variedades mejoradas abiertas y privadas presentaron una amplia variabilidad en los parámetros poscosecha evaluados.

Palabras clave: *Rubus*; silvestre; variedades; calidad; poscosecha; buenas prácticas; mejoramiento genético.

INTRODUCCIÓN

La zarzamora y la frambuesa forman parte del género *Rubus*. En México han adquirido importancia comercial debido a la demanda de sus frutos, pues los componentes que presentan aportan beneficios a la salud humana (Bhat *et al.*, 2023; Rocabado *et al.*, 2007; Schulz y Chim, 2019).

Los frutos del género *Rubus* son no climatéricos, es decir, no dependen del etileno para madurar. Tras la cosecha, la zarzamora y frambuesa presentan una serie de cambios metabólicos que condicionan su calidad y tiempo de vida de anaquel. La madurez inicia antes de la cosecha, continúa después de la recolección y finaliza cuando se detiene el agrandamiento natural del fruto (IICA, 2023). La maduración de los frutos está relacionada con su color, al perder acidez pasan de color verde a morado paulatinamente, este proceso se da en 6 fases: 0- fruto amarillo-verdoso con drupeolas bien formadas, 1- fruto amarillo-verdoso con algunas drupeolas rosadas, 2- aumento de las drupeolas rosadas, 3- fruto color rojo claro, 4- fruto color rojo intenso, 5- fruto rojo intenso con algunas drupeolas moradas y 6- fruto color morado oscuro (Franco *et al.*, 2012). El desarrollo del fruto está mediado por dos factores de transcripción, los factores RiACo1 y RiACS1 que activan la producción de etileno que inicia diversos cambios como la maduración del receptáculo, la degradación de la pared celular (firmeza), la síntesis de azúcares complejos (dulzura y sabor) y la biosíntesis de diversos compuestos relacionados con el aroma del fruto a partir de los ácidos grasos. Los factores de transcripción F3'H1, DFR4 y LDOXI activan la degradación de clorofila y la síntesis de los compuestos responsables del color: antocianinas, fenoles y flavonoides (Shah *et al.*, 2023).

Los frutos son cosechados al alcanzar la madurez fisiológica (fase 5), posterior a ello se dan cambios metabólicos debidos a la respiración que modifican el contenido de antocianinas, carotenoides, azúcares y ácidos orgánicos, además de la pared celular y la turgencia, para dar lugar a la madurez de consumo. Los factores que influyen en el tiempo de vida poscosecha de la zarzamora (vida de anaquel) son la tasa de respiración y transpiración que dependen de la temperatura, la atmósfera circundante, la humedad

relativa y la velocidad del aire (Franco *et al.*, 2012; Martínez-González *et al.*, 2017).

Estas frutillas son muy susceptibles a los movimientos bruscos y a las presiones durante la cosecha y los traslados, por lo que en campo deben ser manipulados con cuidado, clasificados, empacados en clamshell para evitar su compactación y colocados en cajas, tras lo cual son sometidos a enfriamiento a 5-7°C con humedad relativa de 90-95 % y/o atmósferas ricas en CO₂ para su traslado a países lejanos (Escobar, 2013; Franco *et al.* 2012). La falta de estas condiciones disminuye la calidad del fruto al generar ruptura de las drupeolas con “goteo” o “sangrado”, reversión de color y mayor susceptibilidad a las enfermedades fúngicas causando que tengan una corta vida de anaquel y poca aceptación en el mercado. Se considera que existe pérdida del 30- 60 % de las frutillas durante la manipulación, el almacenamiento, el transporte y la venta al menudeo (Kitinoja *et al.*, 2011; Shah *et al.*, 2023).

La calidad de los frutos de zarzamora se determina por diversos indicadores tales como: la apariencia, el brillo, el color, la textura y la firmeza, además de su forma, tamaño y homogeneidad entre frutos. El consumidor final y el acopiador se basan en estos indicadores poscosecha para decidir si adquirirlos o no (Escobar, 2013).

El deterioro de los frutos de la zarzamora se puede evitar tomando en cuenta ciertas consideraciones que incluyen la cosecha de frutos en el momento idóneo, adecuadas prácticas de manejo culturales, de recolección y de poscosecha, desinfección de recipientes y herramientas de cosecha, elección de los empaques y cajas de comercialización, ubicación apropiada de los sitios de acopio, empaque y almacenamiento con protección del sol, de la lluvia y de contaminantes, selección del sistema de enfriamiento o atmósfera modificada, así como la elección de la variedad a emplear (Franco *et al.*, 2012).

Las variedades de zarzamora que se comercializan en la actualidad han sido obtenidas mediante mejoramiento genético convencional empleando un número definido de accesiones (Darrow, 1937; Ballington, 2016), con el tiempo esto ha generado la

disminución del vigor del fruto y la susceptibilidad a diversas enfermedades, debido a la depresión endogámica y la deriva genética (Acquaah, 2012; Contreras *et al.*, 2007; Moore, 1984; Vallejo y Estrada, 2002). Una forma de abordar esta situación es renovar o realzar la genética de las variedades mediante cruzamientos con material vegetal no emparentado proveniente de especies silvestres (Acquaah, 2012; Molina y Córdova, 2006; Martínez y Dzul, 2017; Segura *et al.*, 2012) y mediante la generación de nuevos materiales parentales con diferente base genética.

En México existe una gran diversidad de especies silvestres de zarzamora que presentan frutos con características variadas e interesantes para el mejoramiento genético (Reyes, 2019; Rodríguez *et al.*, 2021; Rzedowski, 2021) de los cuales se tiene información limitada, por lo que esta investigación se enfocó en realizar la caracterización poscosecha de frutos de especies silvestres, variedades comerciales abiertas y variedades privadas de zarzamora.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material biológico

Las especies silvestres y dos variedades comerciales forman parte de la colección de germoplasma del Colegio de Postgraduados ubicado en Campus Montecillo, las cuales se colectaron en Chiapas, Hidalgo, Michoacán y Puebla. Las variedades privadas fueron proporcionadas por la empresa Splendor Produce y provienen de Michoacán, Jalisco y Colima.

Las especies silvestres evaluadas fueron: *R. adenotrichus* (S2), *R. cymosus* (S4), *R. palmeri* (S3) y *R. sapidus* (S1); las variedades comerciales abiertas de *R. fruticosus* fueron: Brazos (C3), Kiowa (C1) y Tupy (C2); las variedades comerciales privadas fueron: M1, M2, M3 M4 y M5. Los frutos evaluados en madurez comercial se obtuvieron en los ciclos 2021 y 2022.

Evaluación de variables morfo-físicas del fruto

Para la evaluación de las características del fruto se seleccionaron 15 frutos maduros al azar de campo. Las variables medidas en los frutos sin daño mecánico fueron: ancho de fruto (AF), largo de fruto (LF), índice de redondez de fruto (IRF), peso de fruto (PS), número de drupeolas por fruto (NDF), longitud de drupeola (LD), ancho de drupeola (AD) e índice de redondez de drupeola (IRD). Cada variable fue medida cinco veces. El índice de redondez o la forma del fruto y la drupeola se obtuvieron mediante la relación del largo entre ancho, así los frutos alargados u oblongos presentan IR mayor a 1, los frutos redondos tienen IR igual a 1 y los

frutos aplanados u ovoides presentan IR menor a 1 (Brewer *et al.*, 2006; García *et al.*, 2022).

Evaluación de variables físico-químicas del fruto

Los parámetros fisicoquímicos fueron determinados cinco veces. Los sólidos solubles totales (SST), reportados en °Brix, se determinaron colocando dos gotas de jugo de zarzamora en el prisma de un refractómetro Atago. El pH se determinó diluyendo 3 g de jugo de zarzamora en 50 mL de agua destilada. La acidez titulable (AT), expresada en porcentaje de ácido cítrico por 100g de muestra, se determinó por titulación potenciométrica con solución NaOH 0.1M hasta pH 8.1, de acuerdo con AOAC 942.15 (2005). La acidez titulable se evaluó por triplicado.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó con los programas R, R commander, Infostat y Past 4 (Di Rienzo *et al.*, 2020; Fox *et al.*, 2023; Hammer *et al.*, 2001; R Core Team, 2022). A cada parámetro se le determinaron los estadísticos: media, mediana, error estándar, desviación estándar y coeficiente de variación, posteriormente se realizó el análisis de varianza (ANOVA o Kruskal-Wallis) y la prueba de comparación de medias de Tukey o Shapiro-Wilk. La matriz de correlación de Spearman se obtuvo a partir de la mediana de cada parámetro medido, también se obtuvo el Análisis de Componentes Principales y el análisis de agrupación por UPGMA, basado en la distancia euclidiana como medida de similitud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los frutos silvestres presentaron menor tamaño (largo y ancho) que los frutos de zarzamora mejorados abiertos, las variedades más recientes (privadas) presentan frutos aún más largos (oblongos) debido a la persistencia en la selección hacia este parámetro. Las especies *R. cymosus*, *R. sapidus* y *R. palmeri* presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) en largo de fruto con las variedades comerciales Kiowa y Tupy, y con las cinco variedades privadas. La especie *R. adenotrichus* presentó diferencia significativa ($p < 0.05$) en ancho de fruto con las variedades comerciales y privadas. Los frutos de zarzamora mejorados tienden a tener un tamaño mayor que los frutos silvestres debido a que presentan una mayor ploidía, este incremento en el número de copias del ADN se da de manera natural o inducida y genera plantas más robustas con frutos de mayor tamaño. Las zarzamoras localizadas en la naturaleza son poliploides, presentan de 2 a 12 pares de cromosomas. Las especies silvestres presentan las ploidías: 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, 7x, 8x, 9x, 10x, 11x y 12x, mientras que las

variedades mejoradas solo presentan las ploidías: 2x, 4x, 6x, 7x, 8x, 9x, 12x (Darrow, 1950; Acquaah, 2012). La longitud de fruto reportada en las especies silvestres de esta investigación fueron similares a los valores reportados por Rubio et al., (2019) en *R. pringlei* y *R. adenotrichus* colectadas en Michoacán, valores similares se obtuvieron en materiales silvestres colectados en la Sierra Nororiental de Puebla (Ibañez, 2011).

En la **Figura 2** se presenta el índice de redondez y el peso del fruto. Los frutos de las zarzamoras presentan diversas formas: circular, elíptica, oval estrecha, oval media, cónica alargada y oblonga (UPOV, 2006). La forma redondeada del fruto es más común en las especies silvestres, tal como se observó en el índice de redondez donde *R. sapidus* y *R. palmeri* presentaron valores iguales a 1, sin embargo, la forma oblonga también se presenta en especies silvestres (*R. adenotrichus*). Frutos de zarzamora silvestre son formas similares fueron colectados en la Sierra Nororiental de Puebla (Ibañez, 2011).

Los frutos mejorados privados tienden a tener forma oblonga. Las variaciones significativas ($p < 0.05$) se observaron entre *R. cymosus*, M2 con formas ovoides y *R. adenotrichus*, M1 que son más alargadas. El tamaño de fruto ha sido un carácter prioritario en el mejoramiento genético de *Rubus*, la forma alargada viene dada por el número y tamaño (ancho y largo) de las drupeolas, así como el peso y longitud del receptáculo (Clark et al., 2007).

Los factores que influyen en el tamaño y homogeneidad de los frutos incluyen la densidad de plantación, la poda adecuada de las plantas y los planes de fertilización, además de la genética que es influenciada por el ambiente (Franco et al., 2012).

Con respecto al peso de fruto, los frutos silvestres de zarzamora pesaron menos con respecto a los frutos mejorados privados, todos los materiales presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$). El peso menor se debe a la ploidía que presenten, así como a detalles anatómicos de las flores que limitan la polinización de todos los estigmas y el desarrollo de todas las drupeolas. Rubio et al. (2019) reportaron tres especies silvestres de Michoacán: *R. adenotrichus*, *R. glaucus* Beth y *R. pringlei*, con pesos similares a los obtenidos en esta investigación, al igual que Ibañez, (2011), quien colecto materiales silvestres de *Rubus* en la Sierra Nororiental de Puebla.

Las variedades abiertas y privadas presentan pesos similares. A través del tiempo, la selección dirigida hacia este parámetro ha generado variedades con frutos de mayor peso sobrepasando los 15 gramos, sin embargo, para la venta en fresco y para procesamiento es más conveniente tener frutos entre 8 y 10 gramos (Clark y Finn, 2011). De acuerdo con Strik et al. (1996), el peso de fruto viene dado por el número de drupeolas, el peso de cada drupeola y el peso del receptáculo.

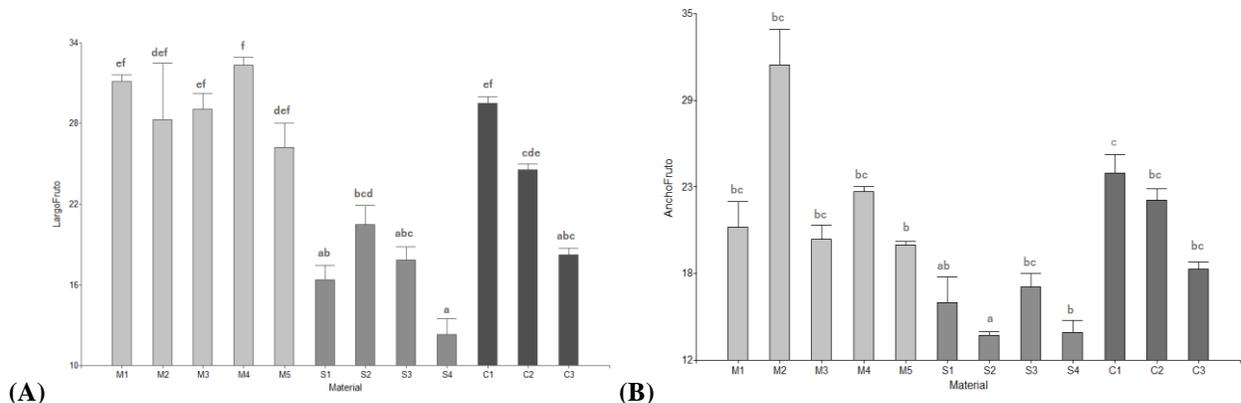


Figura 1. (A) Longitud y (B) Ancho de fruto de especies silvestres, variedades mejoradas abiertas y variedades privadas de *Rubus*. Las medias con letra distinta son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$; Tukey).

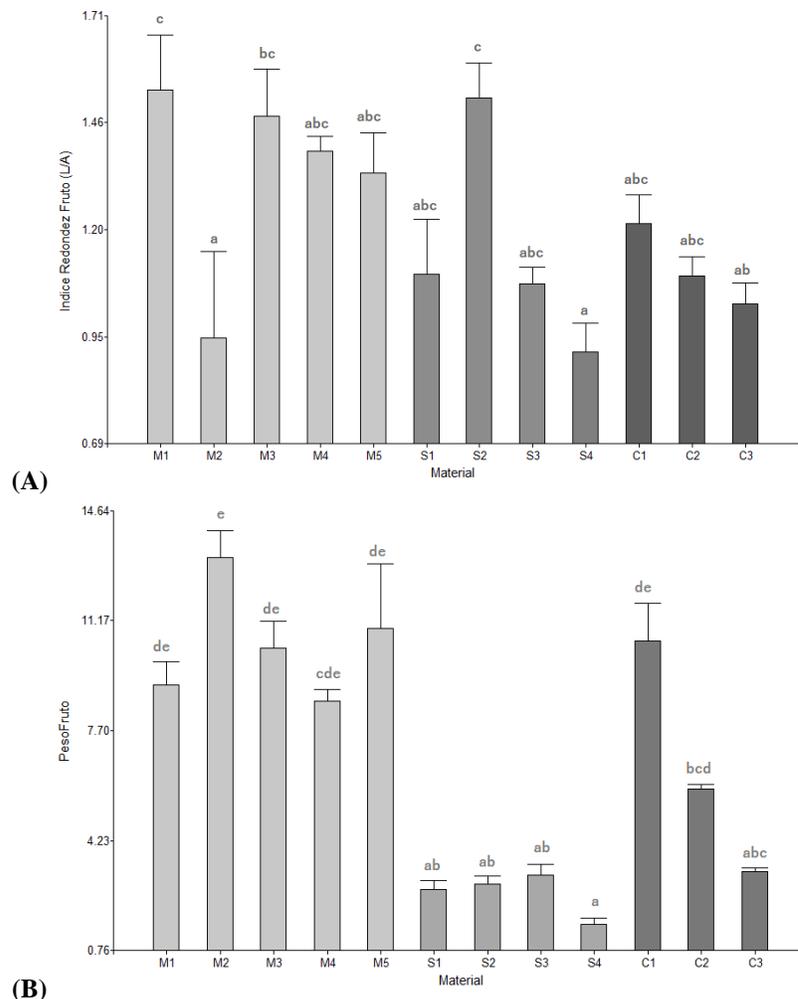


Figura 2. (A) Índice de Redondez del fruto y (B) Peso de fruto de especies silvestres, variedades mejoradas abiertas y variedades privadas de *Rubus*. Las medias con letra distinta son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$; Tukey).

En la **Figura 3** se presenta la longitud y ancho de las drupeolas. Las drupeolas de los frutos silvestres presentan menor longitud con respecto a los frutos mejorados. Las especies *R. adenotrichus*, *R. cymosus* y *R. sapidus* presentan diferencia significativa ($p < 0.05$) con respecto a las variedades comerciales abiertas y privadas en la longitud de drupeola y las especies *R. sapidus* y *R. adenotrichus* difieren en el ancho con respecto a las variedades comerciales ($p < 0.05$). El tamaño de las drupeolas de *R. adenotrichus* son particularmente pequeñas debido a que su fruto tiene muchas drupeolas en un tamaño reducido de longitud (20 mm). Las drupeolas de las variedades mejoradas abiertas y privadas presentan tamaños similares (largo y ancho). El tamaño de la drupeola es determinado por la producción de auxinas endógenas y los últimos estados de la maduración (Clark *et al.*, 2007).

En la **Figura 4** se presenta el índice de redondez de drupeola y el número de drupeolas por fruto. La forma

de la drupeola es similar en los frutos silvestres y variedades mejoradas, esta forma viene dada por el índice de redondez de la drupeola que fue similar en todos los materiales evaluados ($p < 0.05$). Las drupeolas presentan un IRD mayor a 1, por lo tanto, son más largas que anchas. Las drupeolas de variedades privadas fueron las más oblongas o alargadas.

En general, los frutos de zarzamoras silvestres presentaron menos drupeolas con respecto a las zarzamoras mejoradas, las especies silvestres que presentaron diferencia significativa ($p < 0.05$) fueron: *R. cymosus*, *R. palmeri*, *R. sapidus*, sin embargo, existen especies silvestres con un número elevado de drupeolas, tal fue el caso de *R. adenotrichus*, la cual presenta elevado número de drupeolas en una longitud reducida (71 drupeolas en 20 mm). Frutos silvestres con número de drupeolas similares fueron reportadas en *R. glausus* Beth y *R. pringlei* colectadas en Michoacán (Rubio *et al.*, 2019) y en la Sierra Nororiental de Puebla (Ibañez, 2011).

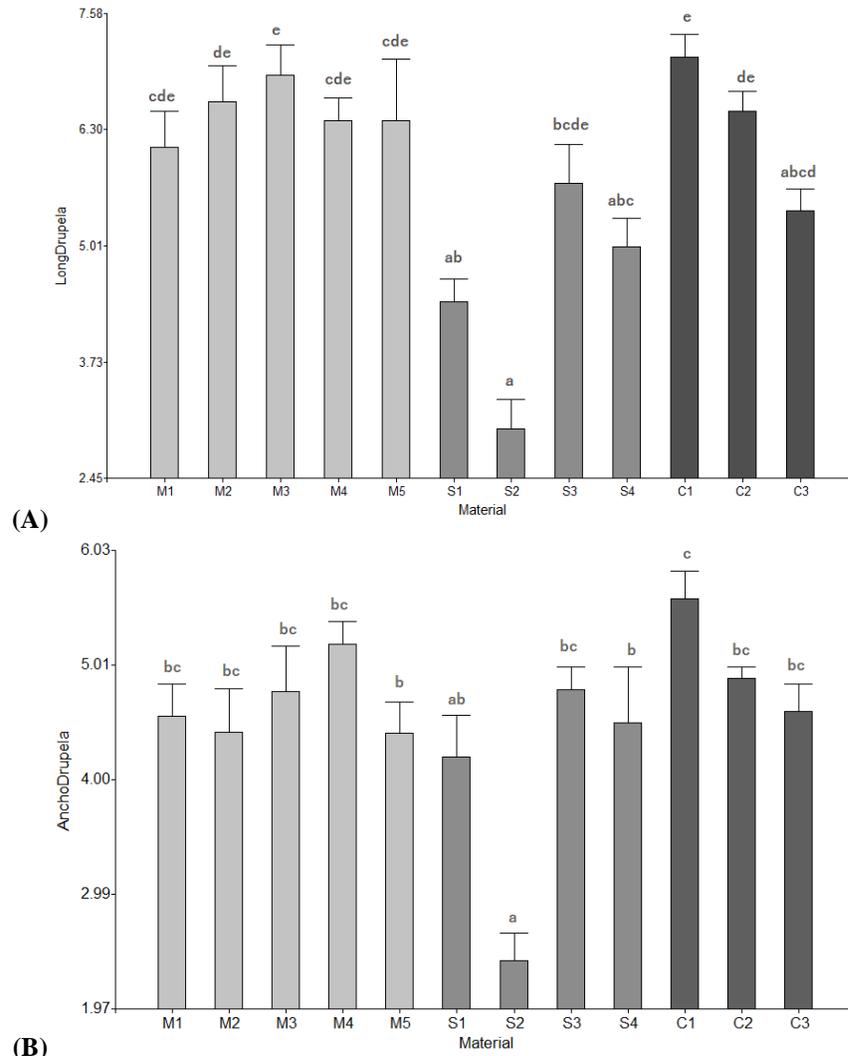


Figura 3. (A) Longitud y (B) Ancho de drupeola de especies silvestres, variedades mejoradas abiertas y variedades privadas de *Rubus*. Las medias con letra distinta son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$; Tukey).

El número de drupeolas fue similar entre variedades mejoradas abiertas y privadas. La variedad privada M2 sobresalió de las demás ($p < 0.05$) al presentar 128 drupeolas por fruto.

En la **Figura 5** se presenta el pH y la acidez de frutos de zarzamora. El pH de los frutos silvestres y mejorados abiertos y privados fueron similares, con un rango de pH 3.08 a 3.59. Las variedades que presentaron un pH más elevado fueron Brazos (C3) y M4 ($p < 0.05$). Valores similares de pH fueron obtenidos en las especies *R. adenotrichus*, *R. glaucus* Beth de Michoacán (Rubio *et al.*, 2019) y en materiales silvestres colectados en la

Sierra Nororiental de Puebla (Ibañez, 2011) y en la variedad Tupy (Alonso, 2017).

La acidez titulable mide la cantidad de ácido cítrico presente en los materiales. En general, los frutos silvestres presentaron mayor acidez que las variedades mejoradas. Los frutos de las especies *R. adenotrichus*, *R. cymosus*, *R. sapidus* y la variedad Tupy presentaron mayor acidez ($p < 0.05$). Valores de acidez titulable similares a *R. palmeri* han sido obtenidas en *R. glaucus* Beth de Michoacán (Rubio *et al.*, 2019) y en materiales silvestres colectados en la Sierra Nororiental de Puebla (Ibañez, 2011). Clark *et al.* (2007) señaló que una acidez elevada es requerida para dar estabilidad a las antocianinas de los frutos.

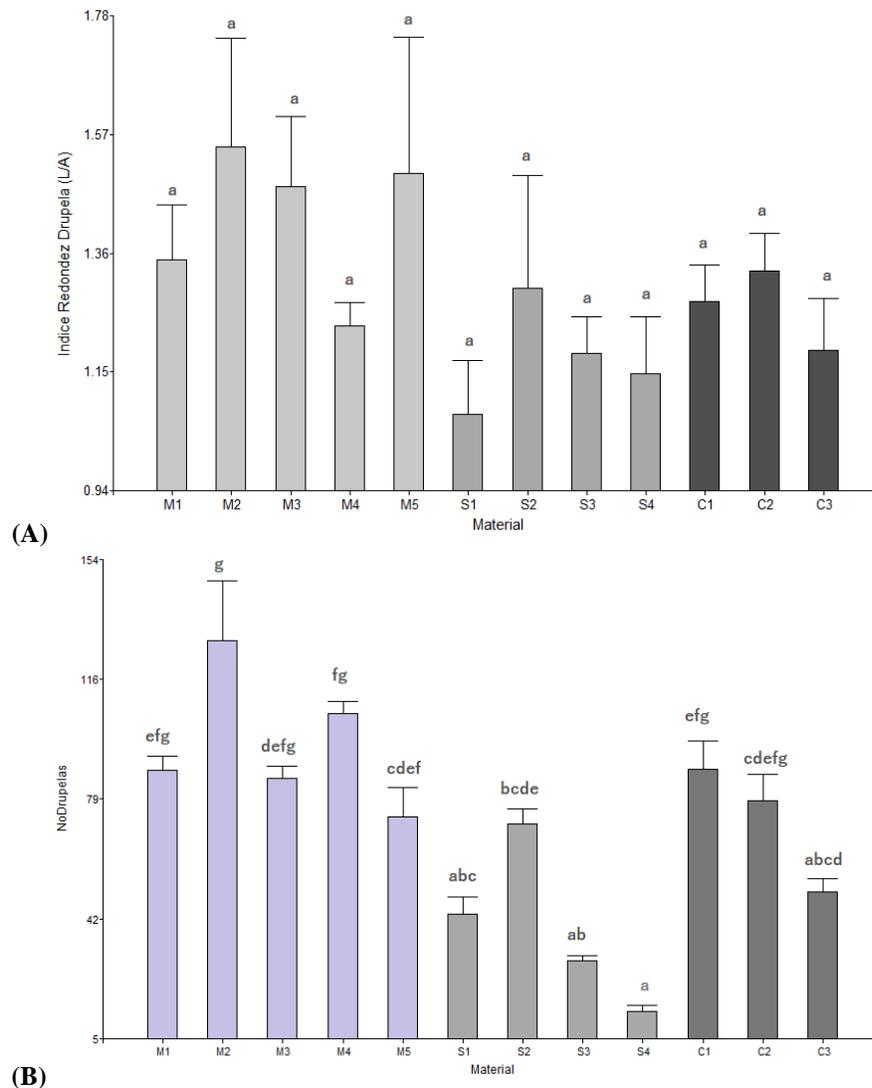


Figura 4. (A) Índice de Redondez de Drupeola y (B) Número de drupeolas por fruto de especies silvestres, variedades mejoradas abiertas y variedades privadas de *Rubus*. Las medias con letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Los sólidos solubles totales miden los azúcares o el dulzor presente en los frutos. En general, las variedades privadas presentaron mayor cantidad de SST, no obstante, la especie *R. sapidus* y la variedad Brazos no tuvieron diferencia significativa ($p < 0.05$) con estos materiales. Las variedades abiertas Kiowa, Tupy y la especie silvestre *R. palmeri* presentaron SST similares. Concentraciones de SST similares a las especies silvestres analizadas fueron obtenidos en *R. glaucus* Beth y *R. pringlei* de Michoacán (Rubio *et al.*, 2019) y en materiales silvestres colectados en la Sierra Nororiental de Puebla (Ibañez, 2011). Con respecto a la variedad Tupy, Alonso (2017) reportó valores similares a los obtenidos en esta investigación. Clark y Finn (2011) señalaron que el sabor dulce de los frutos se detecta cuando contienen al menos 10 % de sólidos

solubles totales, este indicador de dulzura también es afectado por la madurez del fruto.

La matriz de correlaciones se encuentra en la Tabla 1. En los parámetros fenotípicos del fruto se observó que el número de drupeolas presenta correlación positiva con el peso y el tamaño de fruto (largo y ancho). Esto concuerda con la correlación reportada por Strik *et al.* (1996), al evaluar las variedades Marion y Boysen. El índice de redondez del fruto tiene relación lineal positiva con la longitud del fruto. El índice de redondez de la drupeola tiene correlación positiva con el largo de drupeola y el peso de fruto. El peso de fruto presenta asociación significativa en sentido directo con el tamaño de fruto (largo y ancho), el número de drupeolas, la longitud de la drupeola y el índice de redondez de la drupeola. En los parámetros fisicoquímicos

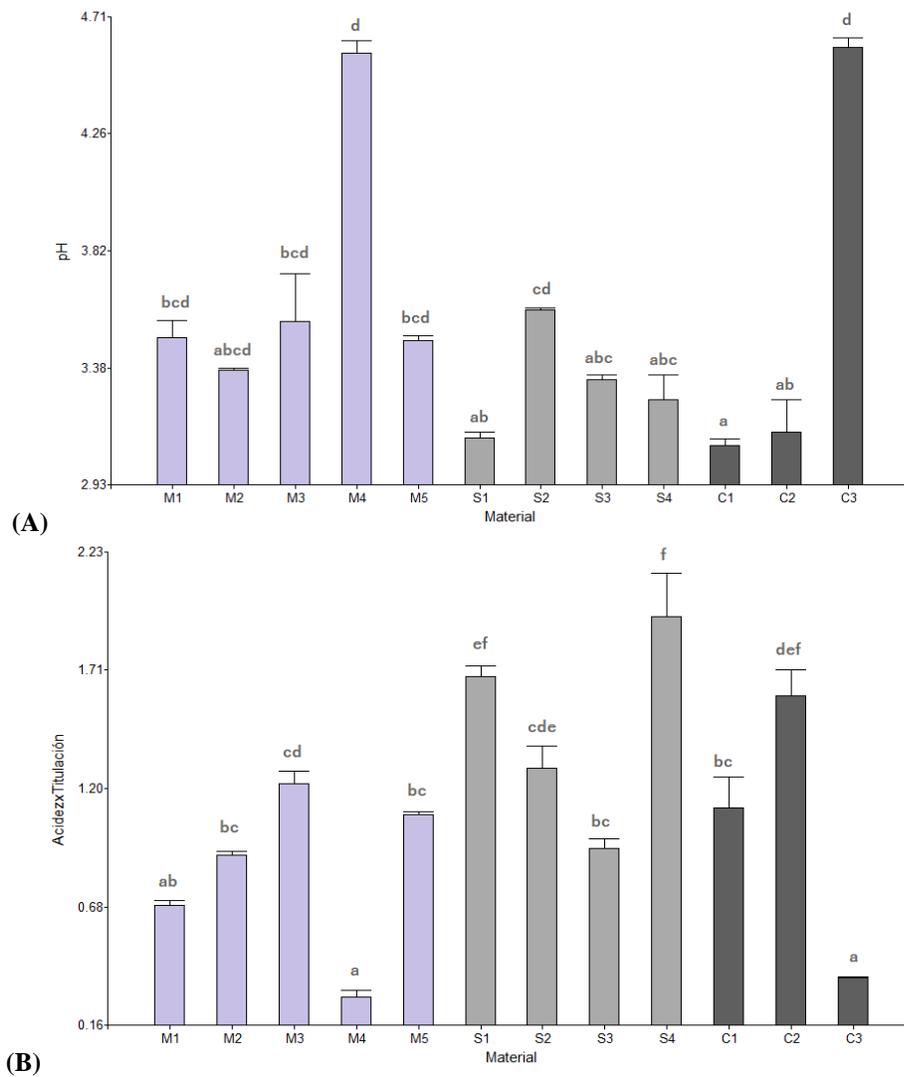


Figura 5. (A) pH y (B) Acidez por titulación de frutos de especies silvestres, variedades mejoradas abiertas y variedades privadas de *Rubus*. Las medias con letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

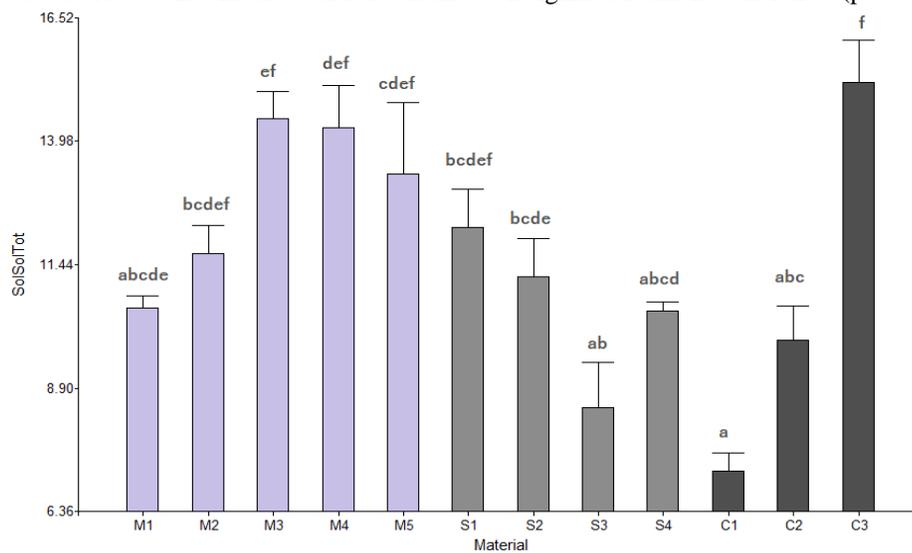


Figura 6. Solidos Solubles Totales de especies silvestres, variedades mejoradas abiertas y variedades privadas de *Rubus*. Las medias con letra distinta son significativamente diferentes ($p < 0.05$; Tukey).

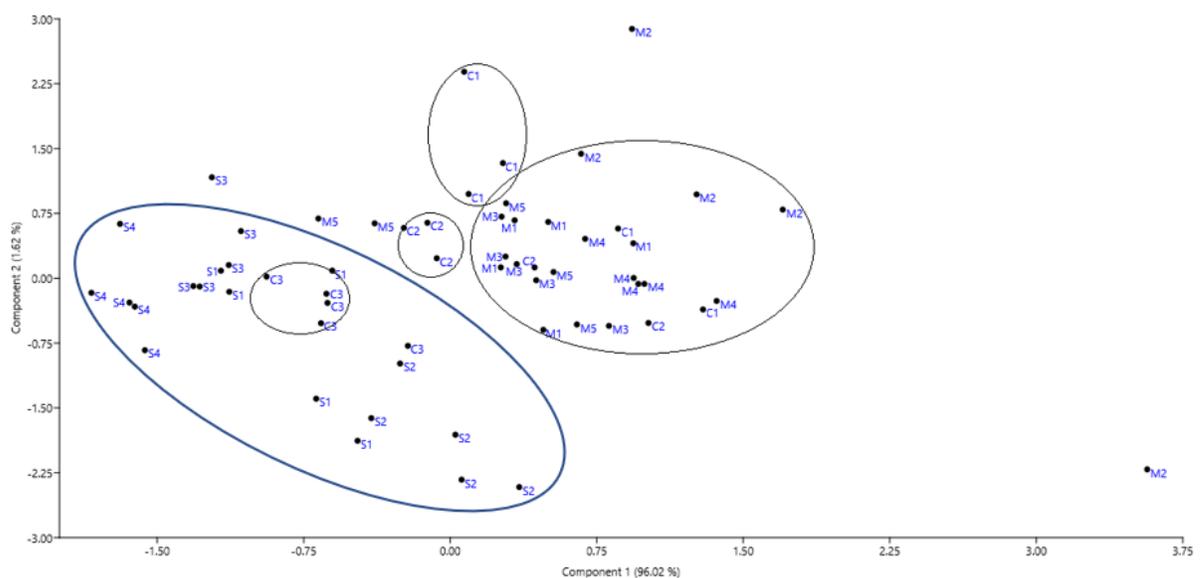
Tabla 1. Matriz de correlaciones de Spearman de los parámetros poscosecha.

	AT	AD	AF	IRD	IRF	LF	LD	ND	PF	PH	SST
AT	1.000	-0.209	-0.281	0.071	-0.184	-0.348	-0.021	-0.368	-0.314	-0.666	-0.254
AD	-0.209	1.000	0.430	-0.228	-0.252	0.161	0.381	0.213	0.151	-0.279	-0.220
AF	-0.281	0.430	1.000	0.343	-0.318	0.474	0.555	0.670	0.654	-0.096	-0.004
IR	0.071	-0.228	0.343	1.000	0.021	0.295	0.740	0.295	0.595	-0.177	0.032
IRF	-0.184	-0.252	-0.318	0.021	1.000	0.655	-0.006	0.210	0.178	0.288	0.070
LF	-0.349	0.161	0.474	0.295	0.655	1.000	0.463	0.680	0.640	0.132	0.053
LD	-0.021	0.381	0.555	0.740	-0.006	0.463	1.000	0.445	0.710	-0.359	-0.175
ND	-0.368	0.213	0.670	0.295	0.210	0.680	0.445	1.000	0.745	0.131	0.155
PF	-0.314	0.151	0.654	0.595	0.178	0.640	0.710	0.745	1.000	-0.022	0.038
PH	-0.666	-0.279	-0.096	-0.177	0.288	0.132	-0.359	0.130	-0.022	1.000	0.462
SS	-0.254	-0.220	-0.004	0.032	0.070	0.053	-0.175	0.156	0.038	0.462	1.000

se observó que el pH presenta correlación negativa significativa con la acidez titulable, esto indica que frutos con un pH mayor presentan menos acidez titulable (concentración de ácido cítrico), el mismo comportamiento se encontró al evaluar las variedades Navaho, Marion y Thornless evergreen (Clark *et al.*, 2007). Al respecto, Clark y Finn (2011) han mencionado que el balance adecuado entre acidez y sólidos solubles dan un sabor intenso al fruto. Cabe mencionar que los sólidos solubles totales y el ancho de drupeola no presentaron correlación con ningún otro parámetro.

En la figura 8 se observa la variación entre especies silvestres y variedades mejoradas abiertas y privadas de zarzamora. Los componentes CP1, CP2 y CP3 explicaron el 98.8% de la varianza de los parámetros evaluados. El primer componente explicó el 96 % de

la variación con los parámetros: número de drupeolas, largo, ancho y peso de fruto. El segundo componente explicó el 1.6 % mediante los parámetros: ancho, peso y largo de fruto, además del largo y ancho de drupeolas. El tercer componente contribuyó con 1.2 % de la variación, dada por el largo de fruto. En el diagrama ACP se observan cuatro grupos: (1) el grupo de las especies silvestres: *R. adenotrichus*, *R. cymosus*, *R. palmeri* y *R. sapidus*, que además incluye a la variedad Brazos, los cuales presentaron frutos redondeados y menor número de drupeolas, (2) el grupo de la variedad Kiowa que presentaron los frutos más anchos, (3) el grupo conformado por los materiales mejorados privados M1, M2, M3, M4 y M5 que presentaron los frutos más largos, con más drupeolas por fruto, y (4) un grupo intermedio integrado por la variedad Tupy.

**Figura 8.** Reducción de la dimensionalidad mediante Análisis de Componentes Principales.

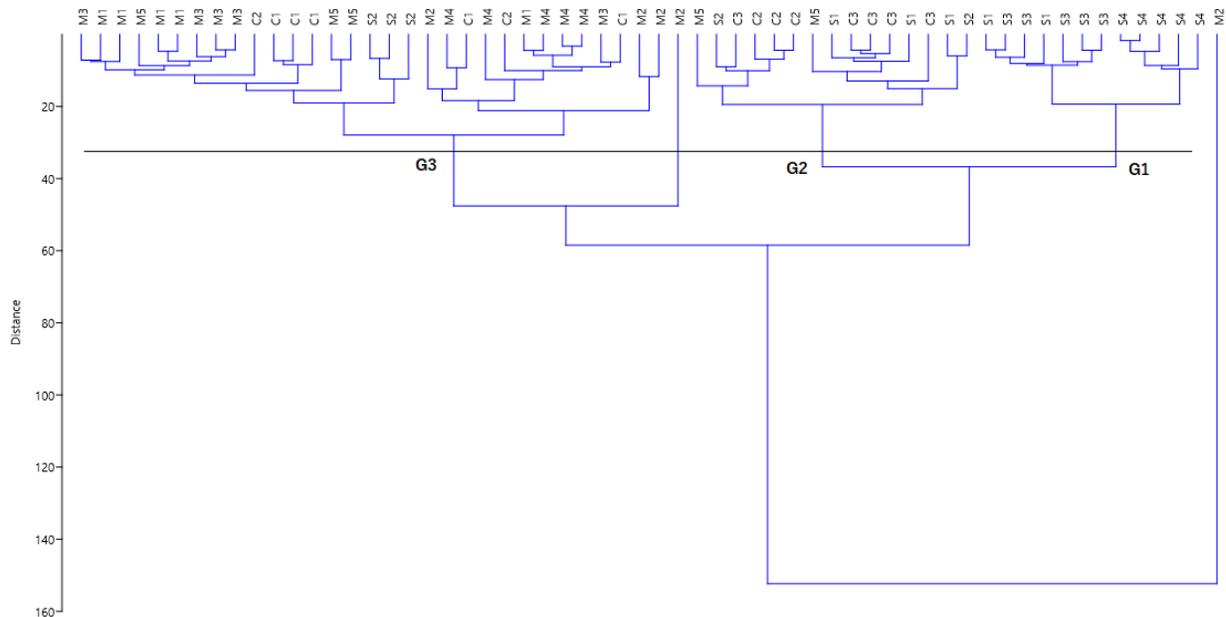


Figura 9. Relación de similitud mediante UPGMA.

El análisis de similitud entre los materiales de zarzamora formó 3 grupos, el primer grupo estuvo conformado por las especies silvestres *R. cymosus*, *R. palmeri* y *R. sapidus* que presentaron menor tamaño (largo y ancho) y peso de fruto, así como menor número de drupeolas por fruto; el segundo grupo fue conformado por las variedades mejoradas abiertas Tupy y Brazos, que presentan rasgos intermedios entre las variedades silvestres y las variedades mejoradas desarrolladas en años recientes; el tercer grupo conformado por las variedades mejoradas privadas M1, M2, M3, M4 y M5 que presentaron frutos más largos y de mayor peso, con mayor número de drupeolas por fruto, en este grupo también se ubicó la variedad Kiowa y la especie silvestre *R. adenotrichus* que presenta un número elevado de drupeolas en una superficie reducida.

CONCLUSIONES

Los frutos silvestres, variedades mejoradas abiertas y privadas presentaron una amplia variabilidad en peso, ancho y largo de fruto, parámetros que están directamente correlacionados con el número de drupeolas por fruto. Los frutos silvestres son redondeados, aunque existen excepciones. Los frutos mejorados tienden a ser alargados. En el análisis físico-químico, los frutos mejorados presentaron más sólidos solubles totales y menor acidez titulable que los frutos silvestres. Se sugiere incorporar los indicadores poscosecha de zarzamora silvestres a los programas de mejoramiento genético, para asegurar su conservación y aprovechamiento.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo financiero del CONACYT, del Colegio de Postgraduados, de la Universidad de Guadalajara, así como a la empresa Splendor Produce por permitir el uso de sus variedades comerciales, además de la contribución dada por los investigadores.

Funding. This research was conducted with funds from the Colegio de Postgraduados and the Universidad de Guadalajara.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. Not applicable.

Data availability. The data is available upon request with the corresponding author berenice.list@colpos.mx

Author contribution statement (CRediT). **H.B. List-Montesinos** - Field data collection, funding acquisition, formal analysis, conceptualization, writing-original draft.; **S. Cruz-Izquierdo** - Conceptualization, writing- review and editing; **G. Rodríguez-Hernandez** - investigation, funding acquisition, writing - review and editing; **L.G. Zepeda-Vallejo** - writing- review and editing; **J.J. García-Zavala** - Formal analysis, writing- review and editing **C. del R. Alvarado-Ramírez** - Investigation

REFERENCES

- Alonso O., B.C., 2017. Caracterización fisicoquímica y proteómica del proceso de maduración de frutos de zarzamora (*Rubus sp.*) cultivada en la región de Michoacán, México. Tesis de Maestría. *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Uruapan, Michoacán, pp. 85.
http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/x/mlui/handle/DGB_UMICH/2074
- Acquaah, G., 2012. Principles of plant genetics and breeding. John Wiley & Sons, Ltd.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118313718>
- AOAC, 2005. Official Method 942.15 Acidity (Titrable) of Fruit Products. *Official method of Analysis of AOAC International*, Capítulo 37, pp. 10.
- Ballington, J.R., 2016. The history of blackberry and raspberry breeding in the southern USA. *Acta Horticulturae*, 1133, pp. 13-22.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1133.3>
- Bhatt, S.C., Naik, B., Kumar, V., Gupta, A.K., Kumar, S., Preet, M.S., Sharma, N., Rustagi, S., 2023. Untapped potential of non-conventional *Rubus* species: bioactivity, nutrition, and livelihood opportunities. *Plant Methods*, 19(1), pp. 114.
<https://doi.org/10.1186/s13007-023-01094-y>
- Brewer, M.T., Lang L., Fujimura K., Dujmovic, N., Gray, S. and Knapp, E. van der., 2006. Development of a Controlled Vocabulary and Software Application to Analyze Fruit Shape Variation in Tomato and Other Plant Species^[W]. *Plant Physiology*, 141, pp. 15–25.
<https://doi.org/10.1104/pp.106.077867>
- Clark, J.R., 1999. The blackberry breeding program at the University of Arkansas: Thirty-plus years of progress and developments for the future. *Acta Horticulturae*, 505, pp. 73-78.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1999.505.8>
- Clark, J.R. and Finn, C.E., 2011. Blackberry breeding and genetics. *Fruit, Vegetables, Cereal Science and Biotechnology*, 5, pp. 27–43
- Contreras R., M., 2007. Efecto de una generación de endogamia sobre caracteres vegetativos y productivos en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis de Maestría. *Universidad Nacional de Colombia*. Palmira, Colombia, pp. 80.
<https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/66216>
- Darrow, G.M., 1937. Blackberry and raspberry improvement. In: *Yearbook of agriculture 1937*. U.S. Department of Agriculture. Washington, E.U.A.
<https://archive.org/details/yoa1937/page/n3/mode/lup>
- Darrow, G.M., 1950. Polyploidy in Fruit Improvement. *The Scientific Monthly*, 70(4), pp. 211-219.
<https://www.jstor.org/stable/19921>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M., Robledo, C.W., 2020. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA. *Universidad Nacional de Córdoba*, Argentina.
<http://www.infostat.com.ar>
- Escobar, M., C.M., 2013. Rendimiento y calidad de dos variedades de mora. Sistematización de Práctica Profesional. *Universidad Rafael Landívar*. Escuintla, Guatemala, pp. 92.
<http://biblio3.url.edu.gt/Tesario/2013/06/17/Escobar-Carina.pdf>
- Fox, J., Márquez, M.M., Bouchet-Valat, M., 2023. *Rcmdr: R Commander*. R package version 2.9-1.
<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Misc/Rcmdr/>
- Franco, G., García, M. C., Antia L., G. A., Henao R., J. C., 2020. Tecnología para el cultivo de la mora (*Rubus glaucus* Benth). *AGROSAVIA*. Germán Franco eds. Colombia, pp. 384.
<https://editorial.agrosavia.co/index.php/publicaciones/catalog/book/46>
- García A., L., Labrada D., G.J., Montalvo G., E. and Loza C., S., 2022. Caracteres morfométricos y anatómicos de frutos y semillas de una población de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) en Lagos de Moreno, Jalisco, México. *Acta Botánica Mexicana*, 129, p. e2057.
<https://doi.org/10.21829/abm129.2022.2057>
- Hammer, F., Harper, D.A.T. and Ryan, P.D., 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1), pp. 9.
<https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/>

- Ibañez M., A., 2011. Caracterización de zarzamora silvestre (*Rubus spp.*) en la Sierra Norte y Nororiente del estado de Puebla, y Sierra Centro de Veracruz. Tesis de Doctorado. *Universidad Autónoma Chapingo*, México, pp. 133. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/5fc5c1ab-6623-437d-82d0-0f39165b4073>
- IICA, 2023. Curso Poscosecha y Buenas Prácticas de Producción orientadas a la Agricultura Familiar. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura*. <https://elearning.ica.int/mod/page/view.php?id=8309>
- Kitinoja, L., Saran, S., Roy, S.K. and Kader, A.A., 2011. Postharvest technology for developing countries: challenges and opportunities in research, outreach and advocacy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91, pp. 597-603. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4295>
- Martínez C., J. and Dzul T., F., 2017. Introgresión genética entre poblaciones silvestres y domesticadas: importancia e implicaciones para los centros de origen y domesticación de cultivos. *Unidad de Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Desde el Herbario CICY*, 9, pp. 48-53. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2017/2017-03-02-Martinez-%20Dzul-El-papel-del-campesino-en-la-introgresion-genetica-silvestre.pdf
- Martínez-González., M.E., Balois-Morales, R., Alia-Tecajal., I., Cortes-Cruz., M.A., Palomino-Hermosillo, Y.A. and López-Guzmán, G.G., 2017. Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(19), pp. 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Molina M., J.C. and Córdova T., J., 2006. Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética*, A.C., México, pp. 172. <https://www.fao.org/3/i1500e/Mexico.pdf>
- Moore, J.N., 1984. Blackberry breeding. *HortScience*, 19(2), pp. 3-5. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.19.2.183>
- Moore, J.N., 1979. Small fruit breeding- A rich heritage, a challenging future. *HortScience*, 14(3). <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.14.3S.333>
- R Core Team, 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Segura, S., Rebollar, A., Boyzo M., J., Hernández B., M., López M., J., 2012. Genetic resources of blackberry wild species in Michoacan, México. *ISHS Acta Horticulturae*, 946: X International Rubus and Ribes Symposium. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.946.14>
- Schulz, M. and Chim, J.F., 2019. Nutritional and bioactive value of Rubus berries. *Food Bioscience*, 31, pp. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100438>
- Raiseira, M. do C.B., Franzon, R.C., Nardino, M., Carpenedo, S. and Correa, E.R., 2022. The blackberry breeding program of “Embrapa Clima Temperado”: An update. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 25, p.030 <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3893>
- Reyes Q., C., 2019. Colecta y caracterización de *Rubus spp.* silvestre. Tesis de Maestría. *Universidad Autónoma Chapingo*, México, pp. 112. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/9401a933-481d-416d-9cd3-d8e46795d7bb>
- Rocabado, G.O. Bedoya, L.M., Abad, M.J. and Bermejo P., 2008. *Rubus*- A Review of its Phytochemical and Pharmacological Profile. *Natural Product Communications*. 3(3). <https://doi.org/10.1177/1934578X0800300319>
- Rodríguez-Bautista, G., Segura-Ledesma, S.D., Cruz-Izquierdo, S., López-Medina, J., Cruz-Huerta, N. y Valenzuela-Nuñez, L. M., 2021. Distribución potencial y caracterización ecolimática de especies silvestres de *Rubus* subgenus *Eubatus* en México. *Polibotánica*, (52), pp. 103-116. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.52.8>
- Rubio O., E., Pérez S., R., Ávila V., T. C., Gómez L., J. F. y García S., P. A., 2019. Propiedades fisicoquímicas de frutos silvestres de *Rubus* con potencial nutracéutico y alimenticio. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*,

- 10(23), pp. 291-301.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2028>
- Rzedowski, J., 2021. La familia Rosaceae en México. *Polibotánica*, (51), pp. 1-16.
<https://doi.org/10.18387/polibotanica.51.1>
- Shah, H.M.S., Singh, Z., Kaur, J., Hasan, M.U., Woodward, A. and Afrifa-Yamoah, E., 2023. Trends in maintaining postharvest freshness and quality of Rubus berries. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22, pp. 4600-4643. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13235>
- Strik, B., Mann, J., Finn, C., 1996. Percent drupelet set varies among blackberry genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3), pp. 371-373.
<https://doi.org/10.21273/JASHS.121.3.371>
- Vallejo C., F.A. and Estrada S., E.I., 2002. Mejoramiento genético de plantas. *Universidad Nacional de Colombia*. Palmira. pp. 404.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52016>