

Los portainjertos afectan la producción de fruta exportable y la eficiencia productiva exportable del dosel de los cerezos

Tersoglio, E. y Setién, N.

DOI: <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v1.n40.37566>

RESUMEN

Los portainjertos de cerezo permiten la adaptación a diferentes condiciones edafo-climáticas modificando los atributos productivos del dosel. Una adecuada selección de portainjertos, mejor adaptados a cada zona de cultivo, incrementa la producción. En este trabajo, se evaluaron los atributos productivos del dosel: producción por árbol, producción por unidad de dosel y precocidad de ocho portainjertos y dos variedades de cerezos. Se consideraron solo frutos con calidad de exportación. El diseño experimental fue por bloques completos al azar, con seis repeticiones. Los doseles inducidos por los portainjertos se clasificaron en cuatro grupos homogéneos con atributos de dosel semejantes. El grupo SL 64-MxM 60 evidenció alta producción exportable por árbol, pero baja eficiencia de producción exportable. El grupo MxM 14-CAB 6P evidenció baja producción y eficiencia. El grupo G 5-G 6 evidenció baja producción, pero alta eficiencia. El grupo W 13-Adara-M evidenció alta producción, eficiencia y precocidad. G 5-G 6 fueron precoces según eficiencia. SL 64-MxM 60 y MxM 14-CAB 6P evidenciaron precocidad según producción solo con la variedad adecuada. Adara-M evidenció precocidad según la producción y eficiencia, en tanto que W 13 lo hizo solo con la variedad adecuada.

Palabras clave: filtro, precocidad, adaptación edafo-climática

Tersoglio, E. and Setién, N. (2023). Rootstocks affect exportable fruit production and canopy yield efficiency of sweet cherry. *Agriscientia* 40: 63-81

SUMMARY

Rootstocks help cherry trees adapt to different edaphic and climatic conditions by modifying canopy productive attributes. A suitable selection of rootstocks better adapted to growing area increases production. In this work, canopy productive attributes were evaluated: production per tree, production per canopy unit and precocity of eight rootstocks and two sweet cherry varieties.

Only fruits with export quality were considered. The experimental design was a randomized complete block, with six replications. The canopies induced by the rootstocks were classified into four homogeneous groups with similar canopy attributes. The SL 64-MxM 60 group showed high exportable production per tree, but low exportable yield efficiency. The MxM 14-CAB 6P group showed low production per tree and efficiency. Group G 5-G 6 showed low production per tree but high yield efficiency. The W 13-Adara-M group showed high production per tree, yield efficiency and precocity. G 5-G 6 were precocious according to efficiency. SL 64-MxM 60 and MxM 14-CAB 6P showed precocity only according to production when grafted with the suitable variety. Adara-M showed precocity according to production and efficiency, while W 13 only showed precocity when grafted with the suitable variety.

Keywords: interstock, precocity, soil-climate adaptation

Tersoglio, E. (ORCID: 0000-0002-0869-4858) y Setién, N. (ORCID: 0000-0002-5870-3601), Laboratorio de Fruticultura. Estación Experimental Agropecuaria Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Correspondencia a: tersoglio.eduardo@inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Los portainjertos permiten cultivar cerezos en diferentes condiciones edafo-climáticas, controlar el tamaño del dosel y la producción (Usenik et al., 2006), mejorar la precocidad (López-Ortega et al., 2016) y elevar la densidad de plantación (Gainza et al., 2015). Sin embargo, un mismo portainjerto puede inducir respuestas productivas diferentes. En tal sentido, para incrementar la producción, la mejor opción es la selección previa de portainjertos adaptados a las condiciones agroclimáticas locales. Ello implica una selección empírica (Aloni et al., 2010), que es especialmente importante en los materiales de bajo vigor (Fajt, Jug et al., 2014; Sansavini y Lugli, 2014; Kouman et al., 2018).

Actualmente, la tendencia se inclina por reducir el tamaño del dosel, lo que permite aumentar la densidad, la precocidad, la sustentabilidad, la eficiencia de la mano de obra y la productividad (Seavert y Long, 2007; López-Ortega et al., 2016). Sin embargo, estos portainjertos exigen manejos altamente especializados y grandes inversiones que incrementan los riesgos financieros. Por lo tanto, las ventajas productivas de su uso deben justificar la mayor inversión (Seavert y Long, 2007; West et al., 2012).

Los atributos productivos del dosel, generalmente, son: producción por árbol, eficiencia productiva, precocidad y adaptación

edafo-climática. Estos aportan información complementaria que mejora la calidad de la selección del portainjerto.

El índice de eficiencia productiva (EP) es uno de los atributos productivos más utilizados para comparar árboles de diferentes tamaños en ensayos que evalúan portainjertos, densidades de plantación, sistemas de conducción y reguladores de crecimiento (Fioravanço et al., 2016). La EP se define como la producción de fruta por unidad de estimador de vigor. Los estimadores de vigor utilizados son: área de sección transversal del tronco (AST) (Gyeviki et al., 2012; Lanauskas et al., 2012; Fajt, Jug et al., 2014; Bujdosó et al., 2019), área de dosel proyectada (Santos et al., 2006; Gyeviki et al., 2012) y volumen de dosel, calculado según la geometría del árbol (VD) (Santos et al., 2006; Usenik et al., 2006; Gyeviki et al., 2012; Gainza et al., 2015). Sin embargo, los estimadores de vigor son influenciados por la densidad de plantación (Robinson et al., 2008), la poda (Gonkiewicz, 2011), la genética del portainjerto, de la variedad e interacción (Tersoglio y Setien, 2016 y 2021), el sistema de conducción, las condiciones edafo-climáticas, el riego (Sansavini y Lugli, 2014; López-Ortega et al., 2016), entre otros. Por otro lado, en los huertos comerciales, los estimadores de vigor evolucionan naturalmente de diferentes modos. Según Gainza et al. (2015), el AST no siempre refleja el verdadero tamaño de dosel.

Gyeviki et al. (2012) mencionaron que el AST crece permanentemente durante la vida del árbol, aun con el espacio asignado ocupado en su totalidad. Robinson et al. (2014) sugirieron que el AST debe complementarse con la altura y el VD, dado que la EP, basada en el AST, tiende a disminuir con los años, debido a su crecimiento continuo. Tersoglio y Setien (2016) establecieron que el portainjerto influye en la relación AST-VD y, por lo tanto, un mismo AST puede estimar diferentes VD según portainjerto. Consecuentemente, su utilidad es relativa, dado que se aplica solo al año del estudio y su valor predictivo es limitado (Gyevik et al., 2012). Por otro lado, el VD, en condiciones de cultivo, tiende a permanecer constante (Fajt, Folini, et al., 2014; Tersoglio y Setien, 2016) ya que está limitado por el marco de plantación, por la poda (Robinson et al., 2014), entre otros. Por lo tanto, la EP según VD (EP_{VD}) es un indicador más estable que depende de la producción o, eventualmente, de una reducción o incremento del vigor (Fioravanço et al., 2016).

Los atributos restantes del dosel, precocidad productiva (P_{rec}) y adaptación edafo-climática (A_{EC}), permiten identificar aquellos portainjertos que alcanzan, temprana y frecuentemente, altas producciones de calidad en las condiciones locales, lo que mejora la sustentabilidad (Whiting et al., 2005; Seavert y Long, 2007; López-Ortega et al., 2016).

Estos atributos productivos del dosel deben complementarse con los atributos de calidad de la fruta. Según Chiang et al. (2018), la decisión de compra es definida por la apariencia de la cereza: el consumidor de cereza exige altos estándares de calidad. Los atributos de calidad que inducen a la decisión de compra son el tamaño y el color de los frutos, principalmente. En tal sentido, Whiting et al. (2005) encontraron que el peso medio de los frutos asoció negativamente con la eficiencia productiva. López-Ortega et al. (2016), por su parte, encontraron que los portainjertos influyen sobre la EP de las variedades. Kouman et al. (2018) observaron que portainjertos enanos y productivos no presentan buen desempeño en condiciones de clima seco y suelos pobres, debido a que tienden a sobrecargar, a atrofiarse o, incluso, a morir. Bujdosó et al. (2019) encontraron que la mayor EP de ciertos portainjertos se relacionó con un menor peso medio de los frutos, lo que podría afectar la rentabilidad. Milošević et al. (2018) encontraron que la producción por árbol y la EP variaron entre portainjertos.

Puesto que el tamaño de los frutos es un atributo de calidad de gran importancia, la producción por planta y la eficiencia productiva deben analizarse

de acuerdo con estas exigencias de calidad. Esto permite una interpretación clara de las ventajas productivas y económicas reales de cada dosel inducido por los portainjertos. Existe un número significativo de investigaciones que miden el efecto de los portainjertos sobre la producción por planta y la EP, sin embargo, son escasos los que estudian los atributos del dosel según las exigencias de calidad de la fruta.

Según los antecedentes considerados, el objetivo de este trabajo fue establecer el efecto de ocho portainjertos sobre la producción exportable por árbol y la eficiencia productiva exportable del dosel de dos variedades de cerezo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones del ensayo

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Mendoza, INTA, Argentina (latitud 33° 00' 13" S; longitud 68° 51' 34" O; altitud 920 msnm), de clima continental árido con temperatura media anual de 17 °C y gran amplitud térmica. Los veranos son cálidos, con una precipitación media de 190 mm. La textura edáfica es limo-arcillosa, con presencia de capas arcillosas discontinuas y horizontales, cuya profundidad oscila entre 0,90 m y 1,50 m. Las características físico-químicas fueron descritas en Tersoglio y Setien (2016). Para el riego, se utilizaron cuatro mangueras de goteo por hilera, con una lámina de reposición de 7,6 mm, cuando el potencial matriz alcanzó los 30-40 kPa. El ensayo se inició en el año 2004, con un marco de plantación de 3 m entre plantas y 5 m entre hileras, bajo cubierta de malla antigranizo. El sistema de conducción fue de tres ejes por planta, con 18 a 21 laterales. A partir del 2008, se fertirrigó con dosis de reposición, que consideraron rendimiento y contenido edáfico. Las dosis anuales de N oscilaron, según rendimiento, entre 33 y 70 kg. ha⁻¹, aplicados entre la post-cosecha y el otoño. El P se aplicó en otoño, en dosis de 22 a 30 kg.ha⁻¹ de H₃PO₄.

Materiales vegetales

Se estudió el comportamiento de los atributos productivos del dosel de dos variedades de cerezo sobre ocho portainjertos. Los portainjertos utilizados fueron:

Prunus mahaleb L. selección SL 64, originado en la Grande Ferrade, Francia. En las condiciones locales presenta buen anclaje, compatibilidad,

resistencia a sequía, a clorosis por pH edáfico elevado y sensibilidad a hipoxia (López-Ortega et al., 2016).

Los híbridos inter-específicos de *P. mahaleb* x *P. avium* fueron MxM 14 y MxM 60. El MxM 60 se adapta a diferentes tipos de suelo y clima (Long y Kaiser, 2010), con sensibilidad intermedia a la hipoxia (Pimentel et al., 2014). El MxM 14 tolera el replante, la clorosis inducida y posee buen anclaje, precocidad y productividad (Balmer, 2008). Los clones de *P. cerasus* L. CAB 6P de la Universidad de Boloña (Italia) y Weiroot 13 (W 13) del Instituto para la fruticultura de Weihenstephan (Múnich, Alemania) son selecciones de guindos silvestres de las regiones montañosas del norte de Italia y sur de Alemania (Babiera), respectivamente. Ambos, se adaptan a suelos pobres, tienen buen anclaje, compatibilidad y producen sierpes, se adaptan a suelos pesados, calcáreos y toleran hipoxia (Pimentel et al., 2014).

Las selecciones de cruzamientos inter-específicos de *P. cerasus* L. x *P. canescens* B., los portainjertos GiSeLa®5 (G 5) y GiSeLa®6 (G 6), fueron selecciones obtenidas por la Universidad de Giessen (Alemania), en un programa iniciado en 1965 que duró 25 años (Franken-Bembenek, 2005). El portainjerto G 5 es de difícil instalación (Neilsen et al., 2010) con alta mortalidad inicial (López-Ortega et al., 2016), sensible a clorosis, anclaje intermedio y requiere buen drenaje. G 6 es más sencillo de instalar y tiene mejor anclaje. Ninguno produce sierpes (Whiting et al., 2005; Long y Kaiser, 2010).

El portainjerto Mariana 2624 *P. cerasifera* Ehrh. x *P. munsoniana* Wight & Hedrick se adapta a la hipoxia (Pimentel et al., 2014), resiste clorosis, presenta buen anclaje y produce sierpes (Balmer, 2008; Long y Kaiser, 2010). Para lograr compatibilidad entre Mariana 2624 y *P. avium* L., se utilizó Adara (*P. cerasifera* E.) como filtro (Adara-M), de 30-40 cm de longitud (López-Ortega, 2016).

En las condiciones locales, SL 64 y MxM 60 mostraron un dosel vigoroso; CAB 6P, Adara-M y MxM 14 semi-vigoroso; W 13 semi-enanizante; G 6 enanizante; G 5 muy enanizante (Tersoglio y Setien, 2016).

Las variedades injertadas fueron: Bing, clon OB260, de vigor medio-alto, precocidad baja, auto-incompatible grupo III, maduración, productividad y fruto de tamaño medio. Celeste es una variedad auto-fértil grupo IX, de vigor y precocidad media, maduración temprana, productividad alta, tendencia a la sobrecarga, pedúnculo corto y muy sensible al agrietado.

Cosecha, muestreo y clasificación de los frutos

Se evaluaron las producciones desde el quinto hasta el octavo año después de la injertación (ADI). La cosecha se inició cuando el 30 % de los frutos alcanzaron el grado de color 3 de la escala de colores de la EEA Mendoza INTA, o 4 de la escala Ctifl (2005). En cada unidad experimental, compuesta por cuatro plantas (UE), se realizó un muestreo sistemático. Se extrajo el 10 %, aproximadamente, de cada recipiente de cosecha que correspondió a 400 g de fruta, oscilando, según producción, entre 2 kg y 6 kg totales por UE. La muestra se identificó y se envió al laboratorio. Se cosecharon solo las plantas sanas de cada UE y se evaluó solo la primera pasada.

De cada muestra, se extrajo una sub-muestra al azar de 1,5 kg (Serradilla et al., 2008), cuyos frutos se clasificaron como sanos o con presencia de daños y/o defectos. Se utilizó otra sub-muestra al azar de 25 frutos sanos, para medir el diámetro mayor con calibre digital (resolución 0,01mm) y el correspondiente peso con balanza electrónica (resolución 0,01 g).

VARIABLES OBSERVADAS

Producción de fruta sana (P_{FS}). Es la producción media por árbol, libre de daños y defectos macroscópicos, expresada en kg. Representa la producción comercializable, sin considerar las exigencias de tamaño.

Peso y diámetro mayor. De cada UE se midió, al azar, el peso expresado en g (P) y el correspondiente diámetro mayor expresado en mm (D), de 25 frutos sanos (Serradilla et al., 2008).

Volumen de dosel (VD_{ct}). El cálculo asumió que el dosel tuvo forma de cono truncado y se expresó en m^3 (Usenik et al., 2006). Las mediciones fueron invernales, para evitar la influencia del peso de la producción sobre las dimensiones del dosel (Rüegg et al., 1999).

VARIABLES CALCULADAS

Relación diámetro-peso ($R_{D,P}$). Se calculó la relación entre D y P de frutos sanos ($R_{D,P}$) de cada combinación, variedad, portainjerto y ADI.

Distribución de frecuencia relativa observada según diámetro (F_{ROD}). Se calculó la frecuencia del número de frutos según D, en el rango de 17 mm a 35 mm de cada variedad, portainjerto y ADI, en intervalos de 1 mm (Szot y Meland, 2001; Serradilla et al., 2008). Se calculó cada F_{ROD} como el cociente

entre el número de frutos en cada intervalo de diámetro y el número total de frutos.

Distribución de la frecuencia relativa estimada según diámetro (F_{RED}). Se calculó la F_{RED} a partir de la F_{ROd} por cada diámetro, según la distribución normal estándar del estadístico z. Luego, se realizó la prueba de normalidad, mediante la prueba de bondad de ajuste de χ^2 . Para ello, se comparó la distribución de la F_{ROd} y la F_{RED} , y se estableció la existencia o no de normalidad según variedad, portainjerto y ADI.

Distribución de la frecuencia relativa observada según peso (F_{ROg}). Se calculó como el cociente entre el producto del peso medio estimado de cada diámetro, en el rango desde los 17 mm hasta los 35 mm, con la correspondiente F_{ROd} y la sumatoria de los pesos medios estimados de cada diámetro. Se expresó en g, según tamaño de fruto por g de fruta sana. Luego, el análisis agrupó la F_{ROg} según tamaños comercializables, igual o mayor que 24 mm ($F_{ROg(\geq 24)}$), e igual o mayor que 28 mm ($F_{ROg(\geq 28)}$).

Producción exportable (P_{EX}). Es la cantidad de fruta sana por árbol, expresada en kg de tamaño igual o mayor que 24 mm ($P_{EX(\geq 24)}$), e igual o mayor que 28 mm ($P_{EX(\geq 28)}$). Se calculó como el producto entre P_{FS} y $F_{ROg(\geq 24)}$ o $F_{ROg(\geq 28)}$, respectivamente (Atkinson et al., 2003).

Eficiencia productiva (EP_v). Se calcula como el cociente entre la producción exportable según tamaño y el VD_{ct} expresada en $g \cdot m^{-3}$. La EP_v de fruta con tamaño mayor que 24 mm ($EP_{v(\geq 24)}$) se calcula con la $P_{EX(\geq 24)}$. La EP_v con tamaño mayor que 28 mm ($EP_{v(\geq 28)}$) utiliza la $P_{EX(\geq 28)}$ (Stehr, 2001; Santos et al., 2006; Gainza et al., 2015).

Precocidad (P_{rec}). Refiere a las combinaciones portainjerto-variedad que superaron, al sexto ADI, la media de alguna de las siguientes variables: $P_{EX(\geq 24)}$, $P_{EX(\geq 28)}$, $EP_{v(\geq 24)}$ o $EP_{v(\geq 28)}$.

Adaptación edáfica y climática (A_{EC}). Refiere a la capacidad que posee un dosel para superar la media de $P_{EX(\geq 24)}$, $P_{EX(\geq 28)}$, $EP_{v(\geq 24)}$ o $EP_{v(\geq 28)}$ con mayor frecuencia y en el mayor número de bloques.

La adaptación climática se midió según la frecuencia de ADI con la que cada combinación portainjerto-variedad superó la media. Se clasificó de la siguiente manera: muy frecuente, 3 de 4 ADI; frecuente, 2 de 4 ADI; ocasional, 1 de 4 ADI; nunca, 0 de 4 ADI.

La adaptación edáfica se midió según la frecuencia de bloques con la que cada combinación portainjerto-variedad superó la media. Se clasificó de la siguiente manera: muy frecuente, 5 - 6 bloques de 6; frecuente, 3 - 4 bloques de 6; ocasional, 1 - 2

bloques de 6; nunca, 0 bloques.

El diseño fue bloques completos al azar, con seis bloques-repetición de cuatro plantas por UE (Stehr, 2001). El análisis se realizó con las medias de cada UE. Los coeficientes de correlación utilizados fueron Pearson y Spearman, según correspondió. La prueba de comparación múltiple de medias del ANAVA fue Scott & Knott (S&K) y el nivel de significancia fue $p \leq 0,05$. Para realizar los análisis de la varianza, de correlación, de conglomerados (AC) y de componentes principales (ACP), se utilizó el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2018). Para establecer la normalidad de las distribuciones de F_{RO} , se utilizó la prueba bondad de ajuste χ^2 ($p \leq 0,01$) de cada combinación variedad-portainjerto-ADI. Los modelos de regresión fueron seleccionados con TableCurve 2D [versión prueba] (Systat, 2005). Para establecer la influencia de los efectos variedad, portainjerto o ADI con significancia sobre las variables analizadas, se utilizó el método de comparación de regresiones anidadas (Mendenhall y Sincich, 1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Relación diámetro-peso (R_{D-P}). El diámetro asoció con el peso de fruto ($r = 0,91$, $p \leq 0,0001$), tal como lo observado por López-Ortega et al. (2013), y se relacionó mediante un modelo lineal simple ($R^2 = 0,84$; $p \leq 0,0001$), a través de la ecuación $P = a + b \cdot D^{2,5}$, cuyos parámetros fueron $a = 1,376$; $b = 2,05E-03$. A continuación, se estudió la calidad del aporte de información de los efectos variedad, portainjerto y ADI al modelo inicial, mediante la prueba de comparación de modelos anidados (Mendenhall y Sincich, 1995).

a. Efecto variedad sobre la R_{D-P} . Se estudió la incorporación del efecto variedad al modelo simple inicial. La Figura 1 muestra que ambas

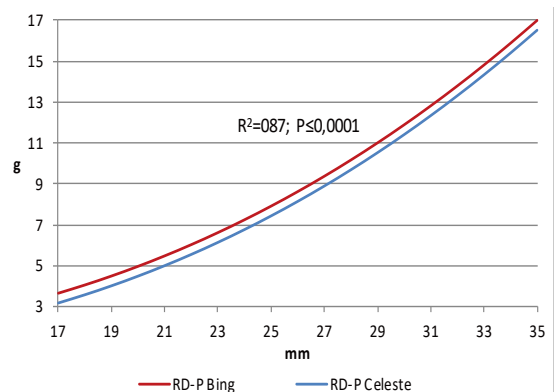


Figura 1. R_{D-P} según variedad

variedades comparten el mismo modelo ($R^2 = 0,87$; $p \leq 0,0001$), pero se diferencian en el inicio de cada $R_{D,P}$ ($p \leq 0,005$). La información de la interacción variedad-diámetro no aporta diferencia significativa entre las pendientes de la $R_{D,P}$ de ambas variedades ($p \geq 0,05$). Los parámetros de Bing fueron $a = 1,10$; $b = 2,20E-03$, y los de Celeste fueron $a = 0,57$; $b = 2,20E-03$. La Figura 1 muestra que, para un mismo D, la variedad Bing incrementó P en 0,53 g, con respecto a Celeste. Por lo tanto, un fruto de la variedad Celeste tuvo un diámetro 0,75 mm mayor que un fruto con igual peso de la variedad Bing. Dicho de otro modo, para completar 5 kg de cerezas de 26 mm, se requirieron 579 frutos de Bing o 617 frutos de Celeste.

b. Efecto portainjerto según variedad. Los datos de D y P de la variedad Bing asociaron ($r = 0,91$; $p \leq 0,0001$). La variedad Bing registró una $R_{D,P}$ con un modelo lineal cuadrático ($R^2 = 0,83$; $p \leq 0,0001$). Cuando se incluyó el efecto portainjerto, el modelo no mejoró ($p \geq 0,05$). Luego, los portainjertos se clasificaron mediante un análisis de conglomerado, con una correlación cofenética de 0,756. La Figura 2 muestra que las variables D y P clasificaron los portainjertos en tres grupos. Al incluir esta información en un modelo de regresión anidada, se obtuvo un modelo lineal ($R^2 = 0,85$; $p \leq 0,0001$) que mejoró la calidad de la información, solo con la introducción de la ordenada de origen ($p \leq 0,005$). La información de la interacción grupo de portainjerto-diámetro no aporta diferencia significativa entre las pendientes de la $R_{D,P}$ de ambas variedades ($p \geq 0,05$). Por lo tanto, los datos soportan la hipótesis de que los tres grupos de portainjertos comparten el mismo modelo de $R_{D,P}$ con la misma pendiente, pero se diferencian en los parámetros del inicio. En consecuencia, para completar una caja de 5 kg de fruta de 22 mm de la variedad Bing sobre los

portainjertos SL 64, MxM 60, MxM 14 o G 6, se necesitaron 593 frutos; mientras que sobre W 13 o CAB 6P se requirieron 583 frutos y sobre G 5 o Adara-M se utilizaron 568 frutos.

La variedad Celeste tuvo un modelo lineal cuadrático de $R_{D,P}$ ($R^2 = 0,88$; $p \leq 0,0001$) que no mejoró el ajuste al incorporar el efecto portainjerto ($p \geq 0,05$) y el efecto interacción portainjerto-diámetro ($p \geq 0,05$). Por lo tanto, el portainjerto no influyó en la $R_{D,P}$ de Celeste.

c. Efecto ADI. El modelo lineal cuadrático de Bing ($R^2 = 0,83$; $p \leq 0,0001$) mejoró al incluir la información aportada por el efecto ADI ($p \leq 0,005$) con un modelo ($R^2 = 0,86$; $p \leq 0,0001$) y, por lo tanto, por lo menos uno de los ADI analizados diferenció el intercepto. La interacción entre ADI-D no mejoró el ajuste del modelo ($p \geq 0,05$), de manera que la $R_{D,P}$ registró la misma pendiente durante los ADI. Luego, los ADI se clasificaron mediante un análisis de conglomerado (no mostrado) según D y P en dos grupos (quinto y séptimo / sexto y octavo) con una correlación cofenética de 0,951. Este agrupamiento mejoró el ajuste ($p = 0,005$) y el modelo ($R^2 = 0,89$; $p \leq 0,0001$). Por lo tanto, los datos soportan la hipótesis de que ambos grupos de ADI comparten el mismo modelo de $R_{D,P}$ con la misma pendiente, pero se diferencian en los parámetros del inicio.

El modelo de $R_{D,P}$ lineal de la variedad Celeste ($R^2 = 0,88$; $p \leq 0,0001$) no mejoró la calidad del ajuste al incluir el efecto ADI ($p \geq 0,05$) o la interacción ADI-D ($p \geq 0,05$). La evidencia indica que la variedad Bing requirió de 581 frutos para completar una caja de 5 kg de cerezas de 26 mm en el quinto y séptimo ADI. Por su parte, en el sexto y octavo, requirió de 567 frutos.

La evidencia soporta la hipótesis de que los efectos variedad, portainjerto y ADI mejoran la estimación del peso de los frutos a través del diámetro de los frutos, especialmente la de Bing.

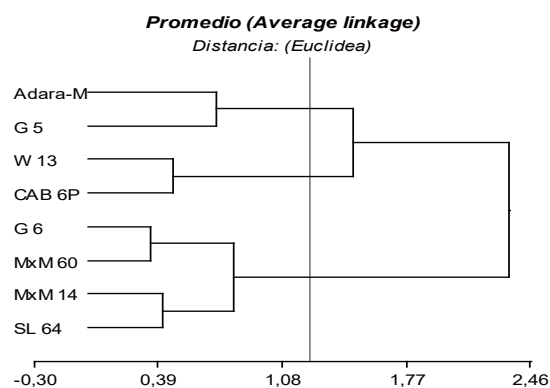


Figura 2. Análisis de conglomerado de portainjertos según D y P de frutos

Prueba de normalidad de la distribución de F_{ROd}

Se comparó la distribución de frecuencia relativa de diámetro de frutos (F_{ROd}) observada según variedad y portainjerto, con las correspondientes distribuciones de frecuencia estimada según diámetro (F_{REG}), a partir de la distribución normal estándar del estadístico z. Se compararon ambas distribuciones mediante el estadístico χ^2 . La comparación evidenció que la F_{ROd} de cada combinación variedad-portainjerto-ADI tuvo distribución normal ($p \leq 0,01$) (datos no mostrados).

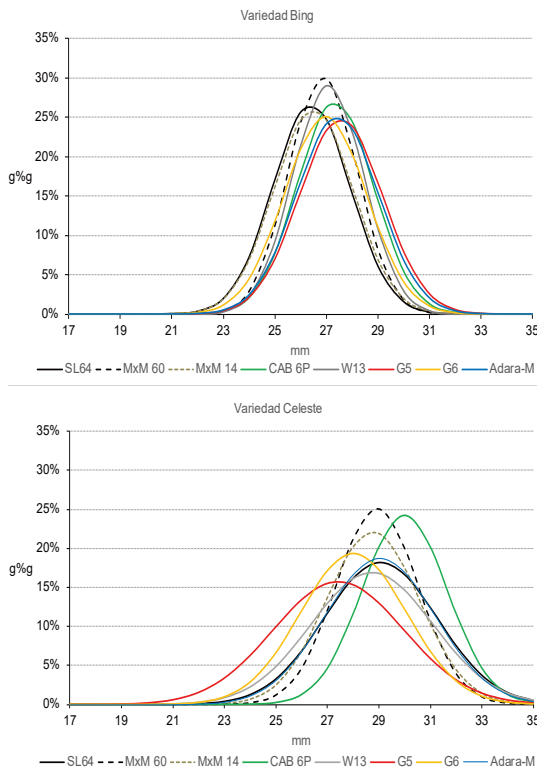
Distribución de las frecuencias relativas observadas según peso de fruto (F_{ROg})

La estimación de F_{ROg} permite expresar la distribución de tamaño de fruto según el peso, correspondiente a cada diámetro o rango de diámetro. Las Figuras 3a y 3b muestran cómo los portainjertos modifican la F_{ROg} de cada variedad, tal como lo mencionan Szót y Meland (2001), Lanauskas et al. (2012) y, en manzano, por Milošević et al. (2018).

Ambas variedades registraron distribuciones de F_{ROg} con valores de simetría cercanos a cero. Solo Bing sobre G 5 midió simetría ligeramente positiva (0,38). Celeste sobre G 5 lo hizo con sesgo levemente negativo (-0,39). La variedad Bing evidenció distribuciones leptocúrticas, mientras que las de Celeste fueron mesocúrticas y platicúrticas.

Análisis de la $F_{ROg(\geq 24)}$

La media de $F_{ROg(\geq 24)}$ fue $0,95 \pm 0,05g \cdot g^{-1}$. Correlacionó con baja magnitud, con variedad ($r = 0,25$; $p = 0,046$) y con $P_{EX(\geq 24)}$ ($r = 0,21$; $p \leq 0,0001$).



Figuras 3a y 3b. Distribuciones de F_{ROg} de Bing y de Celeste, respectivamente, según portainjerto

No asoció con $EP_{v(\geq 24)}$ ($p = 0,195$), lo que sugiere que para alcanzar alta $EP_{v(\geq 24)}$ no es condición necesaria alcanzar alta $F_{ROg(\geq 24)}$.

El modelo ($R^2_{aj} = 0,87$; $p \leq 0,0001$) explicó la variabilidad con los efectos ADI ($p = 0,0059$), variedad ($p = 0,0043$) e interacción portainjerto-variedad ($p = 0,0102$).

Entre el quinto y el sexto ADI, la $F_{ROg(\geq 24)}$ se incrementó $0,04 g \cdot g^{-1}$. A partir del sexto ADI, no diferenció (Tabla 1). La $F_{ROg(\geq 24)}$ de Celeste registró un incremento de $0,03 g \cdot g^{-1}$, con respecto a la de Bing. Portainjerto no diferenció, sin embargo, la interacción con la variedad Bing sobre SL 64, MxM 14 o G 6 registró la menor $F_{ROg(\geq 24)}$ de la serie; mientras que, sobre el resto de los portainjertos, alcanzó la mayor. La variedad Celeste sobre G 5 registró baja $F_{ROg(\geq 24)}$, con una reducción de $0,03 g \cdot g^{-1}$ respecto de la media; mientras que el resto alcanzó la mayor $F_{ROg(\geq 24)}$ (Tabla 1). López-Ortega et al. (2016) señalaron que, tanto G 5 como MxM 14, registraron mayor proporción de frutos pequeños que el resto. Bujdosó et al. (2019) mencionaron el riesgo de G 6 de obtener mayor proporción de frutos de menor tamaño.

Análisis de la $F_{ROg(\geq 28)}$

La media de $F_{ROg(\geq 28)}$ fue $0,36 \pm 0,26 g \cdot g^{-1}$, lo que evidenció mayor variabilidad que $F_{ROg(\geq 24)}$. Correlacionó con variedad ($r = 0,81$; $p \leq 0,0001$) indicando que una variedad con alto tamaño potencial se asocia con alta $F_{ROg(\geq 28)}$. Correlacionó con $P_{EX(\geq 28)}$ ($r = 0,48$; $p \leq 0,0001$) y con $EP_{v(\geq 28)}$ ($r = 0,51$; $p \leq 0,0001$). Esto sugiere que una alta eficiencia productiva de fruta grande se asoció con alta $F_{ROg(\geq 28)}$. Sin embargo, la $F_{ROg(\geq 28)}$ se relacionó con $P_{EX(\geq 28)}$ ($R^2 = 0,23$; $p \leq 0,0001$) y con $EP_{v(\geq 28)}$ ($R^2 = 0,26$; $p \leq 0,0001$). Ambas relaciones tuvieron bajo poder explicativo, lo que indica que $F_{ROg(\geq 28)}$ es un estimador poco preciso de $P_{EX(\geq 28)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$.

La variabilidad fue explicada por el modelo ($R^2_{aj} = 0,83$; $p \leq 0,0001$), con los efectos ADI ($p = 0,0011$), portainjerto ($p = 0,0404$), variedad ($p \leq 0,0001$) e interacción ADI-variedad ($p = 0,0014$) y portainjerto-variedad ($p = 0,0093$).

La $F_{ROg(\geq 28)}$ se incrementó $0,17 g \cdot g^{-1}$ entre el quinto y el octavo ADI, alcanzando la mayor frecuencia al octavo. Además, demostró que, con la edad, se incrementa la proporción de frutos grandes (Tabla 1). Sin embargo, la $F_{ROg(\geq 28)}$ se redujo durante el séptimo ADI por condiciones climáticas adversas (Tersoglio y Setien, 2021). La $F_{ROg(\geq 24)}$ no diferenció del resto. Ello sugiere que los frutos de mayor tamaño son más susceptibles a experimentar daños por causas climáticas que los de menor

Tabla 1. Efecto ADI, portainjerto, variedad e interacción portainjerto variedad sobre la $F_{ROg(\geq 24)}$, $F_{ROg(\geq 28)}$, $P_{EX(\geq 24)}$, $P_{EX(\geq 28)}$, VD_{ct} , $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$

Efectos		${}^2F_{ROg(\geq 24)}$ (g g ⁻¹)	${}^3F_{ROg(\geq 28)}$ (g g ⁻¹)	${}^4P_{EX(\geq 24)}$ kg/árbol	${}^5P_{EX(\geq 28)}$ kg/árbol	${}^6VD_{ct}$ (m ³)	${}^7EP_{v(\geq 24)}$ g m ⁻³	${}^8EP_{v(\geq 28)}$ g m ⁻³
¹ ADI	5to	0,92a	0,27a	1,30a	0,24a	12,2a	148a	29,4a
	6to	0,96b	0,40b	7,14c	2,95c	14,6b	558c	217c
	7to	0,96b	0,34a	5,59b	1,54b	19,4c	377b	106b
	8vo	0,98b	0,44c	13,3d	5,87d	19,7c	694d	313d
Porta- injerto	SL64	0,93	0,35a	9,20e	3,78e	24,0h	389b	159a
	MxM60	0,97	0,33a	9,67e	3,41e	22,9g	395b	139a
	MxM14	0,94	0,35a	6,49c	2,22c	18,0d	338b	113a
	CAB6P	0,98	0,48b	5,49b	2,71d	19,8f	258a	125a
	W13	0,96	0,35a	7,79d	2,79d	15,4c	493c	194b
	G5	0,94	0,32a	2,63a	0,72a	4,5a	573d	161a
	G6	0,94	0,29a	4,86b	1,38b	8,5b	605d	187b
	Adara-M	0,96	0,43b	8,51d	4,21e	18,9e	502c	254c
Varie- dad	Bing	0,94a	0,16a	7,60b	1,49a	18,9 b	445	84,0a
	Celeste	0,97b	0,57b	6,06a	3,81b	14,1 a	443	249b
Porta injerto-varie- dad	B-SL64	0,89a	0,07a	8,17c	0,98a	25,2j	339a	36a
	B-MxM60	0,95b	0,09a	10,1d	1,36a	25,4j	395b	50a
	B-MxM14	0,89a	0,15a	7,34c	1,16a	19,9g	349a	35a
	B-CAB6P	0,96b	0,18a	6,44c	1,65a	21,0h	302a	73a
	B-W13	0,96b	0,11a	9,52d	1,51a	18,0f	521c	77a
	B-G5	0,97b	0,23a	4,16b	1,03a	6,9c	604d	146b
	B-G6	0,93a	0,16a	7,18c	1,60a	11,7d	665d	134b
	B-Adara-M	0,96b	0,25b	7,82c	2,66b	22,7i	379b	121b
	C-SL64	0,98b	0,63c	10,2d	6,59e	22,8i	440b	281d
	C-MxM60	0,99b	0,56c	9,20d	5,45d	20,3g	395b	229c
	C-MxM14	0,99b	0,56c	5,64b	3,28c	16,0e	327a	190b
	C-CAB6P	1,00b	0,78d	4,54b	3,78c	18,5f	214a	178b
	C-W13	0,96b	0,60c	6,05b	4,06c	12,8d	464b	310d
	C-G5	0,92a	0,41b	1,10a	0,40a	2,1a	543c	176b
C-G6	0,95b	0,41b	2,54a	1,16a	5,3b	545c	241c	
C-Adara-M	0,97b	0,61c	9,21d	5,77d	15,0e	624d	388e	

Para cada columna y efecto, las medias seguidas por diferentes letras son significativamente diferentes según el Test de Scott & Knott ($p < 0,05$).

¹ADI (años después de la injertación). ² $F_{ROg(\geq 24)}$ (Frecuencia relativa observada de fruta sana con tamaño igual o mayor que 24mm). ³ $F_{ROg(\geq 28)}$ (Frecuencia relativa observada de frutos con tamaño igual o mayor que 28mm). ⁴ $P_{EX(\geq 24)}$ (Producción exportable de fruta con tamaño igual o mayor que 24mm de diámetro). ⁵ $P_{EX(\geq 28)}$ (Producción exportable de fruta con tamaño igual o mayor que 28mm de diámetro). ⁶ VD_{ct} (Volumen de dosel cono truncado). ⁷ $EP_{v(\geq 24)}$ (Eficiencia productiva exportable de fruta con tamaño igual o mayor que 24mm de diámetro). ⁸ $EP_{v(\geq 28)}$ (Eficiencia productiva exportable de fruta con tamaño igual o mayor que 28mm de diámetro).

tamaño, tal como lo expresado por Simon (2006). La $F_{ROg(\geq 28)}$ de Celeste fue 3,6 veces mayor que la de Bing. Esto indica la fuerte influencia del tamaño potencial de una variedad sobre la $F_{ROg(\geq 28)}$ (Tabla 1). La variedad Bing registró menor $F_{ROg(\geq 28)}$ que la media durante los cuatro ADI, mientras que la de Celeste fue mayor. Además, Bing evidenció mayor variabilidad interanual (datos no mostrados). Los portainjertos que registraron la mayor $F_{ROg(\geq 28)}$ fueron CAB 6P y Adara-M, con incrementos de 0,12 g.g⁻¹ y de 0,07 g.g⁻¹ sobre la media, respectivamente (Tabla 1), tal como lo observado por Cantín et al. (2010). La variedad Bing, sobre los portainjertos

de la serie, registró la menor $F_{ROg(\geq 28)}$, excepto sobre Adara-M que alcanzó mejor desempeño. La variedad Celeste sobre CAB 6P registró la mayor $F_{ROg(\geq 28)}$, con un incremento de 0,42 g.g⁻¹ sobre la media. Jiménez et al. (2003) encontraron fruta de alto peso medio sobre CAB 6P. La menor $F_{ROg(\geq 28)}$ de Celeste correspondió a G 5 o G 6, semejante a la registrada en Bing sobre Adara-M. Robinson et al. (2014) mencionaron que, incluso, una buena gestión de la carga frutal no alcanza para aumentar la proporción de fruta grande. Sobre los portainjertos SL 64, MxM 60, MxM 14, W 13 o Adara-M, se registraron incrementos sobre la

media de 0,20 g.g⁻¹ a 0,27 g.g⁻¹ (Tabla1). López-Ortega et al. (2016) observaron frutos grandes sobre Adara-M y de menor tamaño sobre MxM 14 o G 5.

Análisis de la producción exportable

La media de $P_{EX(\geq 24)}$ fue $6,83 \pm 6,8$ kg y la de $P_{EX(\geq 28)}$ fue $2,65 \pm 3,7$ kg por árbol. La media de la producción cosechada fue 11,5 kg por planta. La producción de fruta sana fue 7,1 kg por planta (Tersoglio y Setien, 2021).

Por lo tanto, la pérdida fue de 38,3 % al seleccionar fruta sana libre de daños y defectos; mientras que la pérdida fue de 40,6 % al seleccionar la $P_{EX(\geq 24)}$. Aunque solo 2,3 % fue debido a falta de tamaño. Sin embargo, la pérdida fue de 76,9 % al seleccionar $P_{EX(\geq 28)}$ dado que, con este nivel de exigencia de calidad, 37,5 % fue debido a falta de tamaño.

La $P_{EX(\geq 24)}$ asoció con VD_{ct} ($r = 0,56$; $p \leq 0,0001$) con una relación lineal ($R^2 = 0,66$; $p \leq 0,0001$) y $P_{EX(\geq 28)}$ asoció ($r = 0,36$; $p \leq 0,0001$) y relacionó con un modelo lineal ($R^2 = 0,43$; $p \leq 0,0001$). Los modelos muestran significancia, pero bajo poder explicativo, lo que sugiere que VD_{ct} es un predictor impreciso de $P_{EX(\geq 24)}$ y $P_{EX(\geq 28)}$. Sin embargo, VD_{ct} explica, aunque parcialmente, que los árboles de mayor tamaño alcanzan mayor P_{EX} que los doseles pequeños. En tal sentido, Sitarek et al. (2005) observaron que los portainjertos vigorosos produjeron más fruta grande por árbol que los enanizantes.

Producción exportable de fruta mayor o igual que 24 mm ($P_{EX(\geq 24)}$)

La variabilidad de la $P_{EX(\geq 24)}$ se explicó con el modelo ($R^2_{aj} = 0,80$; $p \leq 0,0001$) por los efectos bloque ($p \leq 0,0001$), ADI ($p \leq 0,0001$), variedad ($p \leq 0,0001$), portainjerto ($p \leq 0,0001$) e interacciones portainjerto-variedad ($p \leq 0,0001$), ADI-portainjerto-variedad ($p = 0,0045$) y bloque-portainjerto-variedad ($p = 0,0034$).

Entre el quinto y el octavo ADI, la $P_{EX(\geq 24)}$ duplicó la media y se incrementó 10,2 veces, con respecto a la del quinto. Aunque, en el séptimo ADI, se redujo a 82 % de la media por daños, debido a lluvia durante la cosecha (Tabla 1).

La variedad Bing incrementó la $P_{EX(\geq 24)}$ en un 20,2 % con respecto a la de Celeste (Tabla 1). Los portainjertos SL 64 o MxM 60 registraron la mayor $P_{EX(\geq 24)}$, seguidos por W 13 o Adara-M con el 35 %, 42 % y, 14 y 25 %, respectivamente. MxM

14 registró valores cercanos a la media. CAB 6P o G 6 registraron 80 % y 71 % de la media, respectivamente. G 5 registró la menor, con 38 % de la media (Tabla 1). Aglar y Yıldız (2014) encontraron que los portainjertos afectan la producción por árbol. López-Ortega et al. (2013) observaron que Adara-M registró la mayor producción por árbol. Sansavini y Lugli (2014) mencionaron que W 13 mostró alta producción en las zonas del sur de Italia. López-Ortega et al. (2016) encontraron que SL 64 alcanzó alto rendimiento acumulado. Cantín et al. (2010) y López-Ortega et al. (2016) observaron que G 5 indujo baja producción.

La variedad Bing sobre MxM 60 o W 13 registró la mayor $P_{EX(\geq 24)}$ con incrementos sobre la media de 49 % y 39 %, respectivamente. G 5 registró la menor $P_{EX(\geq 24)}$ con 61 % de la media. El resto registró valores intermedios. La variedad Celeste logró la mayor $P_{EX(\geq 24)}$ sobre SL 64, MxM 60 o Adara-M, con incrementos de 50 %, 35 % y 35 % sobre la media, respectivamente. G 5 o G 6 registraron solo 16 % y 37 % de la media. El resto mostró valores cercanos a la media (Tabla 1). Sansavini y Lugli (2014) mencionaron que la interacción con portainjertos vigorosos mejoró el desempeño productivo de variedades auto-fértiles. Stehr (2001) encontró que los portainjertos enanizantes mejoraron la producción de variedades auto-infértiles. López-Ortega et al. (2013) registraron que los frutos sobre MxM 14 o G 5 tienden a ser de menor tamaño y que, además, los árboles producen menor cantidad. López-Ortega et al. (2016) registraron un mayor rendimiento acumulado sobre Adara-M; y Cantín et al. (2010) registraron alto vigor y rendimiento anual, mientras que observaron baja producción sobre G 5.

La Figura 4 muestra que las combinaciones que superaron muy frecuentemente la media de $P_{EX(\geq 24)}$ en tres de los cuatro ADI fueron Bing sobre MxM 60 o W 13 y Celeste sobre SL 64 o Adara-M. Las combinaciones que superaron frecuentemente la media, en la mitad de los ADI, fueron Bing sobre Adara-M y Celeste sobre MxM 60. Por lo tanto, estas combinaciones poseen buena adaptación climática. En el caso de Bing sobre G 5 o Celeste sobre G 5 o G 6, no superaron la $P_{EX(\geq 24)}$ media.

La mayor P_{rec} para superar la $P_{EX(\geq 24)}$ media al sexto ADI se alcanzó con las siguientes combinaciones: Bing o Celeste sobre MxM 60 o Adara-M, Bing sobre W 13 y Celeste sobre SL 64 (Figura 4).

La Figura 5 muestra las combinaciones mejor adaptadas a las condiciones edáficas del ensayo. Las que superaron muy frecuentemente la media, en cinco de los seis bloques, fueron: Bing o

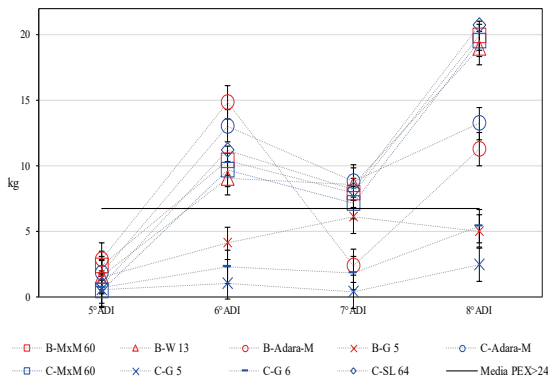


Figura 4. Combinaciones portainjerto-variedad que superaron la $P_{EX(\geq 24)}$ media con mayor o menor frecuencia de ADI. Test de S&K ($\alpha = 0,05$).

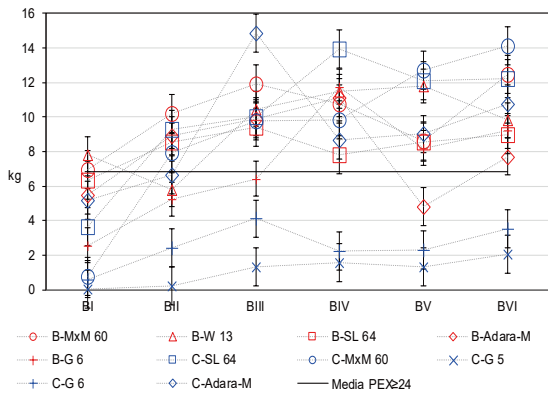


Figura 5. Combinaciones portainjerto-variedad que superaron la $P_{EX(\geq 24)}$ media, según bloques. Test de S&K ($\alpha = 0,05$).

Celeste sobre MxM 60 y Celeste sobre SL 64. Bing sobre SL 64, W 13, G 6 o Adara-M y Celeste sobre Adara-M superaron frecuentemente, en tres o cuatro de los seis bloques. Las combinaciones de Celeste sobre G 5 o G 6 no superaron la media, tal como lo reportado por López-Ortega et al. (2016) en regiones cálidas.

Producción exportable mayor o igual que 28 mm ($P_{EX(\geq 28)}$)

La variabilidad de $P_{EX(\geq 28)}$ fue explicada con el modelo ($R^2_{aj} = 0,83$; $p \leq 0,0001$) por los efectos bloque ($p \leq 0,0001$), ADI ($p \leq 0,0001$), portainjerto ($p \leq 0,0001$), variedad ($p \leq 0,0001$) e interacciones portainjerto-variedad ($p = 0,0001$), ADI-portainjerto-variedad ($p \leq 0,0001$) y bloque-portainjerto-variedad ($p = 0,0071$).

La $P_{EX(\geq 28)}$ del octavo ADI aumentó 122 % sobre la media, e incrementó 24,5 veces con respecto a

la producción inicial del quinto ADI. La producción cosechada incrementó solo 7,6 veces en el mismo período (Tersoglio y Setien, 2021), lo que evidencia que la proporción de fruta de gran tamaño aumenta con la edad (Tabla 1).

La $P_{EX(\geq 28)}$ de la variedad Celeste fue 2,6 veces mayor que la de Bing, con un incremento de 44 % con respecto a la media (Tabla 1). Los portainjertos que midieron la mayor $P_{EX(\geq 28)}$ fueron: SL 64, MxM 60 o Adara-M con 43 %, 29 %, 59 % de incremento sobre la media, seguidos por CAB 6P o W 13 con valores medios. MxM 14, G 6 o G 5 redujeron la media a 84 %, 52 % y 27 %, respectivamente (Tabla 1). Jiménez et al. (2007) observaron alta producción sobre Adara y baja producción sobre G 5. López-Ortega et al. (2016) encontraron que Adara-M produjo gran tamaño de frutos, mientras que los de MxM 14 o G 5 fueron de menor tamaño. El comportamiento de G 5 es coincidente con los resultados obtenidos por Aglar y Yıldız (2014) y con lo mencionado por Sansavini y Lugli (2014).

La $P_{EX(\geq 28)}$ de Bing fue baja sobre todos los portainjertos de la serie. Sobre Adara-M superó al resto con un valor cercano a la media (Tabla 1), semejante al comportamiento de $F_{ROg(\geq 28)}$. La mayor $P_{EX(\geq 28)}$ de Celeste se registró sobre SL 64, seguido por MxM 60 o Adara-M con incrementos de 150 %, 110 % y 120 % sobre la media, respectivamente. Los portainjertos MxM 14, CAB 6P o W 13 registraron 24 %, 43 % y 53 % de incremento sobre la media, respectivamente. Mientras que G 5 o G 6 la redujeron a 15 % y 44 % de la media, respectivamente. Robinson et al. (2014) mencionaron la dificultad para lograr tamaños comerciales sobre G 5 o G 6.

La Figura 6 muestra que la variedad Celeste superó la media muy frecuentemente en tres de los cuatro ADI sobre SL 64, MxM 60 o Adara-M. Celeste sobre CAB 6P y Bing sobre Adara-M superaron la media frecuentemente en la mitad de los ADI. Esto indica que tales combinaciones poseen buena adaptación climática según $P_{EX(\geq 28)}$.

Las combinaciones que registraron mayor P_{rec} para superar la $P_{EX(\geq 28)}$ media al sexto ADI fueron las de ambas variedades sobre Adara-M y las de Celeste sobre SL 64, MxM 60 o CAB 6P (Figura 6).

La Figura 7 muestra que la variedad Celeste sobre Adara-M superó la $P_{EX(\geq 28)}$ media en todos los bloques. El grupo SL 64, MxM 60 o CAB 6P superó la $P_{EX(\geq 28)}$ media muy frecuentemente en cinco de los seis bloques, coincidente con lo reportado por López-Ortega et al. (2016), que encontraron buena adaptación de Adara-M a las condiciones del ensayo. Bing sobre Adara-M o Celeste sobre W 13 superaron la media frecuentemente en tres y

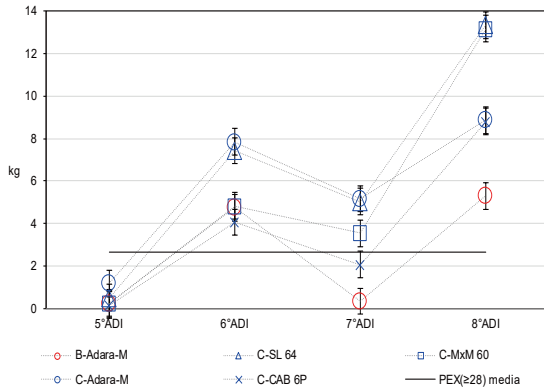


Figura 6. Combinaciones portainjerto-variedad que superaron la $P_{EX(\geq 28)}$ media con la mayor frecuencia. Test de S&K ($\alpha = 0,05$).

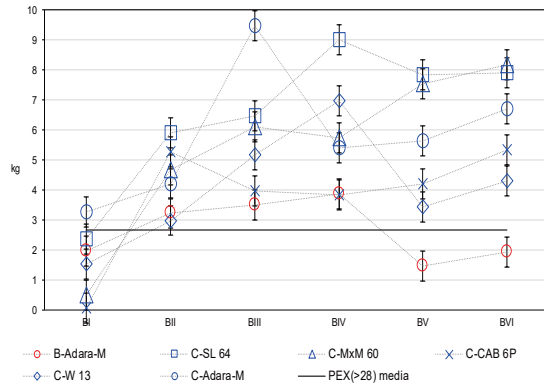


Figura 7. Combinaciones portainjerto-variedad que superaron la $P_{EX(\geq 28)}$ media con la mayor frecuencia entre bloques. Test de S&K ($\alpha = 0,05$).

cuatro de los seis bloques, respectivamente.

Análisis de las eficiencias productivas

La media de $EP_{v(\geq 24)}$ fue $428,2 \pm 354 \text{ g.m}^{-3}$ y la de $EP_{v(\geq 28)}$ fue $164,9 \pm 187 \text{ g.m}^{-3}$.

La $EP_{v(\geq 24)}$ asoció con $EP_{v(\geq 28)}$ ($r = 0,76$; $p \leq 0,0001$) y ambas eficiencias asociaron con ADI ($r = 0,51$; $p \leq 0,0001$) y ($r = 0,48$; $p \leq 0,0001$). Variedad no asoció con $EP_{v(\geq 24)}$ ($p = 0,6675$), pero lo hizo con $EP_{v(\geq 28)}$ ($r = 0,45$; $p \leq 0,0001$), lo que sugiere que variedades de mayor tamaño potencial influyen en la $EP_{v(\geq 28)}$, pero no en la $EP_{v(\geq 24)}$.

La $EP_{v(\geq 24)}$ asoció con $P_{EX(\geq 24)}$ ($r = 0,65$; $p \leq 0,0001$), mediante una relación lineal ($R^2 = 0,70$; $p \leq 0,0001$). La $EP_{v(\geq 28)}$ asoció con $P_{EX(\geq 28)}$ ($r = 0,82$; $p \leq 0,0001$), con una relación lineal ($R^2 = 0,78$; $p \leq 0,0001$). Por lo tanto, se infiere que la producción exportable es un buen estimador de ambas eficiencias. Ambas regresiones mostraron pendientes positivas, lo que indica que a mayor producción exportable mayor eficiencia productiva del dosel y, además, revela la

inexistencia de sobrecarga, tal como lo reportado por Balmer (2008).

El VD_{ct} no asoció con $EP_{v(\geq 24)}$ ($p \leq 0,1639$) y con $EP_{v(\geq 28)}$ ($p = 0,4513$). Sin embargo, VD_{ct} relacionó con $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$ mediante los modelos ($R^2 = 0,25$; $p < 0,0001$) y ($R^2 = 0,23$; $p < 0,0001$), respectivamente. Esto indica que VD_{ct} es un estimador impreciso de la eficiencia productiva de exportación.

Los antecedentes señalan que los efectos variedad, portainjerto e interacción afectan a ambos componentes de la eficiencia productiva: el tamaño del dosel (Aglar y Yildiz, 2014; Sansavini y Lugli, 2014; López-Ortega et al., 2016; Tersoglio y Setien, 2016) y la producción por árbol (Gainza et al., 2015; Bujdosó et al., 2019; Tersoglio y Setien, 2021).

Atkinson y Else (2001), Santos et al. (2006), Usenik et al. (2006) mencionan que la eficiencia de rendimiento aumentó con el grado de enanismo relacionado con un menor peso del árbol, volumen de copa y área de sección transversal del tronco.

Sin embargo, según Moreno et al. (1996), el portainjerto Adara registró alta eficiencia productiva, aun siendo vigoroso. Cantín et al. (2010) mencionaron que los portainjertos G 5 y Adara, con volúmenes de dosel diferentes, mostraron eficiencias productivas similares.

Por otro lado, Charlot et al. (2005) observaron alta eficiencia productiva sobre el portainjerto enanizante Tabel Edabriz, pero con frutos de menor tamaño. Whiting et al. (2005) encontraron alta correlación negativa entre eficiencia y tamaño medio de frutos, semejante a lo observado por Kappel y Lang (2008), Sansavini y Lugli (2014) y Bujdosó et al. (2019).

La EP_v es un atributo del dosel que también es influido por otras variables, como el incremento de la densidad de plantación que reduce el volumen del dosel siendo más intenso en los enanizantes (Robinson et al., 2008; Fajt, Jug et al., 2014), la interacción portainjerto-variedad-sistema de conducción (Musacchi et al., 2015) y la variedad que modifica el volumen de dosel y la eficiencia (Srivastava et al., 2019).

Los datos analizados soportan la hipótesis de que VD_{ct} y $EP_{v(\geq 24)}$ o $EP_{v(\geq 28)}$ no asocian y de que VD_{ct} no explica adecuadamente la variabilidad. Esto se debe a que la producción utilizada en el cálculo de $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$ refiere a fruta seleccionada según exigencias de calidad de exportación, y que tal producción difiere según portainjerto, variedad e interacciones.

Eficiencia productiva de fruta de tamaño mayor o igual que 24 mm ($EP_{v(\geq 24)}$)

El modelo ($R^2_{aj}=0,72$; $p \leq 0,0001$) explicó la variabilidad por los efectos ADI ($p \leq 0,0001$), portainjerto ($p \leq 0,0001$) e interacciones portainjerto-variedad ($p = 0,0003$), bloque-portainjerto-variedad ($p = 0,0166$) y ADI-portainjerto-variedad ($p \leq 0,0001$).

Entre el quinto y el octavo ADI, la $EP_{v(\geq 24)}$ aumentó 4,7 veces. La del quinto ADI solo alcanzó un 35 % de la media. La del octavo ADI registró 62 % de incremento sobre la media. La del séptimo ADI se redujo, debido a condiciones de lluvia durante la cosecha (Tabla 1). El efecto variedad no tuvo significancia ($p = 0,5184$), de la misma manera que el efecto bloque ($p = 0,4039$). Esto último, se explica en la medida en que la menor fertilidad de los primeros bloques reduce el VD_{ct} (Tersoglio y Setien, 2016), pero, también, la producción (Tersoglio y Setien, 2021). La falta de significancia del efecto bloque sugiere que la menor fertilidad reduce, proporcionalmente, tanto el vigor como la P_{EX} .

Los portainjertos G 5 o G 6 registraron la mayor $EP_{v(\geq 24)}$ con incrementos sobre la media de 33 % y 35 %, respectivamente (Tabla 1). Los doseles de W 13 o Adara-M le siguieron con 10 % y 14 % de incremento sobre la media. Sobre SL 64 o MxM 60 se redujo la media a 89 % y 88 %, respectivamente. Sobre MxM 14 o CAB 6P se redujo la media a 74 % y 57 %, respectivamente (Tabla 1). Aglar y Yıldız (2014), Gainza et al. (2015), López-Ortega et al. (2016) y Morandi et al. (2019) mencionaron que portainjerto afectó la producción y la eficiencia. Robinson et al. (2008) registraron alta EP sobre G 5, sin embargo, Stehr (2008) consideró que aún se requiere un portainjerto con la misma eficiencia, pero con mayor vigor que G 5, dado que es indispensable para obtener buen tamaño de frutos con sistema de conducción en alta densidad y bajo protección anti-granizo o lluvia. Fajt, Folini et al. (2014) observaron valores medios de eficiencia productiva sobre W 13, sin embargo, Sansavini y Lugli (2014) registraron alta eficiencia en zonas cálidas del sur de Italia. López-Ortega et al. (2016) observaron alta eficiencia sobre Adara-M al sur de España.

La variedad Bing registró la mayor $EP_{v(\geq 24)}$ sobre G 5 o G 6, seguido por W 13 con incrementos de 38 %, 48 % y 15 % de la media, respectivamente. Los portainjertos MxM 60 o Adara-M mostraron baja $EP_{v(\geq 24)}$ de la media con 88 % y 86 %, respectivamente. Sobre SL 64, MxM 14 o CAB 6P registraron la menor $EP_{v(\geq 24)}$ con 76 %, 73 % y 66 % de la media, respectivamente. Coincidente con lo

observado por Sitarek et al. (2005), Santos et al. (2006) y Jiménez et al. (2007) que registraron alta eficiencia sobre G 5, pero la menor sobre MxM 14, SL 64 y SL 405. López-Ortega et al. (2013) observaron baja eficiencia productiva sobre SL 64. Según Sansavini y Lugli (2014), los portainjertos de bajo vigor, como G 5 o G 6, fueron más eficientes con variedades auto-infértiles.

La variedad Celeste registró la mayor $EP_{v(\geq 24)}$ sobre Adara-M o G 5, seguido por G 6 o W 13 con incrementos del 42 % y 29 %, y del 21 % y 5 % de la media, respectivamente. SL 64 o MxM 60 se registró valores cercanos a la media y sobre MxM 14 o CAB 6P se registró la menor eficiencia con 75 % y 49 % de la media, respectivamente (Tabla 1).

Según Atkinson y Else (2001), Usenik et al. (2006) y Fioravanço et al. (2016), los portainjertos modifican el volumen de dosel y la producción de una misma variedad alterando la EP_v . Jiménez et al. (2007), Cantín et al. (2010) y López-Ortega et al. (2016) observaron alta eficiencia productiva sobre Adara-M y baja sobre MxM 14 o SL 64. Además, Cantín et al. (2010) encontraron que CAB 6P tuvo alta EP_v , lo que muestra la variabilidad del comportamiento productivo entre regiones y la necesidad de estudios locales (Usenik et al., 2006; Fajt, Jug et al., 2014; Sansavini y Lugli, 2014).

Fioravanço et al. (2016) mencionan que la eficiencia aumenta cuando incrementa la producción, pero también cuando reduce el vigor.

Los datos muestran que Bing sobre G 6 o Adara-M no diferenciaron $P_{EX(\geq 24)}$, sin embargo, el VD_{ct} de G 6 midió la mitad del de Adara-M. Por esto, la $EP_{v(\geq 24)}$ de G 6 fue 1,7 veces mayor que la de Adara-M. Por otro lado, la $P_{EX(\geq 24)}$ de Bing sobre MxM 60 fue mayor que sobre SL 64, pero ambas combinaciones no diferenciaron VD_{ct} . Por esto, la $EP_{v(\geq 24)}$ de MxM 60 fue mayor que la de SL 64 (Tabla 1).

La interacción de variedades auto-fértiles con el portainjerto semi-vigoroso Adara-M alcanzó alta eficiencia, incluso superó a los enanizantes G 6 o W 13. Si bien los semi-vigorosos requieren menor densidad de plantación, inversión inicial, conocimiento y experiencia, también requieren mayores costos de cosecha, debido a una mayor altura del dosel que los enanizantes (López-Ortega et al., 2016; Kouman et al., 2018). La auto-infértil Bing sobre los enanizantes W 13, G 5 o G 6 evidenció alta eficiencia.

La Figura 8 muestra que la variedad Bing sobre G 5 y Celeste sobre Adara-M superaron la media de la $EP_{v(\geq 24)}$ muy frecuentemente, en tres de los cuatro ADI. Le siguieron Bing sobre W 13 o G 6 y Celeste sobre SL 64, G 5 o G 6 que superaron la

media de la $EP_{v(\geq 24)}$ frecuentemente, en la mitad de los ADI, evidenciando buena adaptación climática.

Las combinaciones con mayor P_{rec} que superaron la media de la $EP_{v(\geq 24)}$ fueron: Bing o Celeste sobre G 5, G 6 o Adara-M y Bing sobre W 13 y Celeste sobre SL 64.

La Figura 9 muestra que la variedad Bing sobre G 6 superó la $EP_{v(\geq 24)}$ media muy frecuentemente, en cinco de los seis bloques. Sobre G 5 o W 13 lo hizo frecuentemente en cuatro y en tres de los seis bloques, respectivamente, mientras que sobre Adara-M o CAB 6P no superó la media. La variedad Celeste sobre G 5 o Adara-M superó la media frecuentemente en cuatro de los seis bloques. Sobre G 6 superó la media frecuentemente en tres de los seis bloques, mientras que sobre CAB 6P no la superó.

Eficiencia productiva de fruta de tamaño mayor o igual que 28 mm ($EP_{v(\geq 28)}$)

La variabilidad de $EP_{v(\geq 28)}$ se explicó por el modelo ($R^2_{aj} = 0,79$; $p \leq 0,0001$) con los efectos

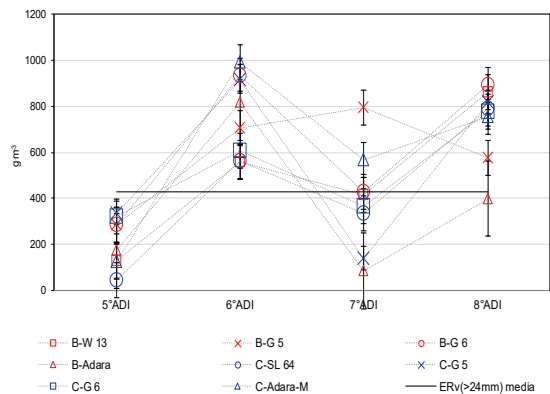


Figura 8. Combinaciones variedad-portainjerto que superaron la $EP_{v(\geq 24)}$ media con mayor frecuencia. Test de S&K ($\alpha = 0,05$).

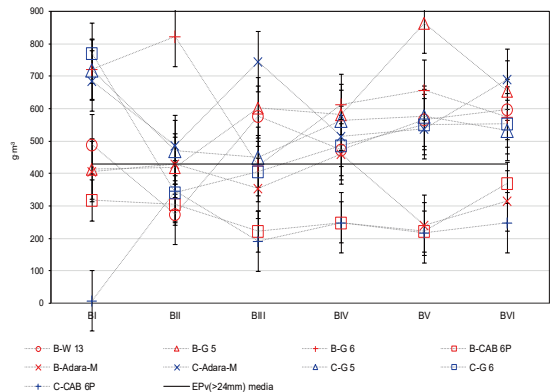


Figura 9. Combinaciones variedad-portainjerto que superaron la $EP_{v(\geq 24)}$ media en los bloques. Test de S&K ($\alpha = 0,05$).

ADI ($p \leq 0,0001$), variedad ($p \leq 0,0001$), portainjerto ($p \leq 0,0001$) y las interacciones portainjerto-variedad ($p \leq 0,0001$), ADI-portainjerto-variedad ($p \leq 0,0001$), bloque-portainjerto-variedad ($p = 0,0295$).

La $EP_{v(\geq 28)}$ se incrementó 10,4 veces entre el quinto y el octavo ADI, con un patrón de comportamiento interanual semejante al de $EP_{v(\geq 24)}$. El quinto ADI registró una $EP_{v(\geq 28)}$ de 18 % de la media. Sin embargo, el octavo ADI mostró un incremento sobre la media de 90%. En el séptimo redujo la media, debido a daños por lluvias (Tabla 1). El efecto bloque no tuvo significancia ($p = 0,3689$).

La variedad Celeste registró 2,9 veces mayor $EP_{v(\geq 28)}$ que Bing. Srivastava et al. (2019) observaron que variedad afectó el volumen de dosel y, en consecuencia, la eficiencia. El portainjerto de mayor $EP_{v(\geq 28)}$ fue Adara-M, que la incrementó un 51 % sobre la media, seguido por SL 64, W 13, G 5 o G 6 con valores medios. MxM 60, MxM 14 o CAB 6P registraron la menor $EP_{v(\geq 28)}$ (Tabla 1). López-Ortega et al. (2016) observaron que Adara-M registró la mayor eficiencia, incluso superó a SL 64, MxM 14 o Adara como portainjerto y el mayor peso medio de fruta debido, probablemente, a una mejor adaptación a las condiciones del ensayo. Bujdosó et al. (2019) encontraron alta eficiencia sobre G 6, pero con alta proporción de fruta pequeña. Asimismo, Robinson et al. (2014) registraron menor tamaño de fruta sobre G 5, con la misma carga frutal que otros portainjertos, estableciendo que portainjerto afectó la relación entre área foliar-producción-tamaño de fruto, cualquiera fuese la carga frutal. Además, se menciona que los portainjertos enanizantes presentan mayor riesgo de producir frutos pequeños.

La mayor frecuencia de frutos pequeños sobre portainjertos enanizantes se debe a causas de diversos orígenes que pueden o no estar combinadas, pero ejercen efectos similares.

Una de las causas es de origen ecofisiológico. Gonçalves et al. (2006) encontraron que las variedades sobre portainjertos vigorosos registran valores más altos de potencial hídrico del tallo al mediodía, de tasa de asimilación neta de CO_2 , de conductancia estomática, de concentración intercelular de CO_2 y de máxima eficiencia fotoquímica del fotosistema II, que sobre portainjertos enanos. Esto indica que portainjertos enanos, como G 5, tienen una mayor regulación de la fotosíntesis que los vigorosos.

Simultáneamente, Olmstead, Lang, Lang et al. (2006) encontraron que el transporte pasivo a través de la unión del injerto en los haces vasculares del

enanizante G 5 fue significativamente menor que el del portainjerto vigoroso Colt. Esto se explica porque la frecuencia y el área de los vasos resulta afectada por el portainjerto, siendo menores sobre G 5. Además, los haces xilemáticos de la variedad sobre G 5 tienden a desarrollarse en ángulo agudo con respecto al eje longitudinal, comparado con un portainjerto vigoroso como F 12.

La combinación de escasez de vasos de menor tamaño en el injerto y la orientación irregular de los haces vasculares contribuye a incrementar la resistencia hidráulica en la unión. Esto resulta en una reducción del crecimiento (Olmstead, Lang y Ewers (2006); Gainza et al., 2015; Steiner et al., 2015). La interfaz estructural entre la variedad y el portainjerto parece ser la clave de las limitaciones en el flujo no solo de agua, sino también de las señales que controlan los cambios de desarrollo, que son esenciales para el éxito del control del crecimiento que se traduce en enanismo (Olmstead, Lang y Ewers (2006).

Morandi et al. (2019) encontraron que los portainjertos enanizantes sin estrés hídrico mantienen una adecuada capacidad fotosintética para sostener el crecimiento de la fruta, debido a que, en tal condición, la conductancia estomática no es limitante. Sin embargo, Steiner et al. (2015) encontraron que los portainjertos regulan la conductancia estomática, incluso con un adecuado suministro hídrico. En cerezos, la máxima conductancia estomática se alcanza con temperaturas foliares de 30 °C a 40 °C, pero entre 40 °C y 45 °C disminuye rápidamente. Este proceso de regulación es más rápido en portainjertos enanizantes que en vigorosos, lo que indica que los restrictivos suministran menos agua a las hojas. Además, la mayor exposición de las hojas a la radiación solar, que se produce por el reducido dosel, contribuye a que entren en el rango crítico de temperatura con mayor rapidez. Según Morandi et al. (2019), los árboles sobre portainjertos enanos son más sensibles a la escasez de agua, especialmente en momentos de alta evapotranspiración.

Morandi et al. (2019) observaron que los pies enanizantes como G 6 alteran la competencia de recursos entre el crecimiento vegetativo y el reproductivo. Pies enanizantes como G 6 inducen a una mayor acumulación osmótica en los frutos que reducen su potencial y, de este modo, aumentan su competitividad con respecto a los brotes. Esto indica que los portainjertos enanizantes sin estrés hídrico tienden a un alto potencial productivo y a un menor crecimiento vegetativo que los vigorosos.

Además, existen otros mecanismos menos

estudiados que contribuyen a un menor tamaño del dosel $F_{ROg(\geq 28)}$ y a una mayor eficiencia productiva. Los portainjertos enanos inducen a mayor precocidad de floración, y a mayor densidad de flores por ramillete y por largo de brindilla (Atkinson y Else, 2001), debido al incremento de la densidad del dosel mediante la reducción de la longitud de los entrenudos (Sansavini y Lugli, 2014). Por otro lado, Prassinis et al. (2009) encontraron que el vigor del portainjerto afecta la expresión génica del injerto, dado que en árboles enanos hay un cese anticipado del crecimiento de los brotes terminales que es, parcialmente, responsable del enanismo. También existe una alteración de las tasas de transporte de auxinas y citoquininas dentro de la planta, con el consecuente efecto hormonal (Prassinis et al., 2009; Gainza et al., 2015).

Según Fajt, Folini et al. (2014) y Sansavini y Lugli (2014), esta información evidencia que los portainjertos enanizantes como Weiroot 158, Gisela 4, G 5 o Tabel Edabriz tienen alta eficiencia de rendimiento, pero una fuerte reducción del dosel que no permite el desarrollo de suficiente área foliar para soportar adecuadamente la fruta, lo que incrementa el riesgo de producir mayor cantidad de frutos pequeños.

La variedad Bing registró $EP_{v(\geq 28)}$ inferior a la media sobre los portainjertos ensayados. Adara-M, G 5 o G 6 se diferenciaron del resto alcanzando valores medios. La variedad Celeste registró la mayor $EP_{v(\geq 28)}$ sobre Adara-M, seguido por W 13 o SL 64 con incrementos sobre la media de 130 %, 83 % y 69 %, respectivamente. El resto registró valores entre 5 % y 45 % de incremento sobre la media (Tabla 1). Magyar y Hrotko (2008) encontraron combinaciones promisorias usando filtros inter-compatibles con elevadas eficiencias productivas. Sansavini y Lugli (2014) mencionaron que determinados portainjertos tienen afinidad productiva por ciertas variedades. En tal sentido, Tersoglio y Setien (2021) encontraron alta afinidad productiva de Celeste sobre Adara-M o de Bing sobre G 5 o G 6.

La Figura 10 muestra que la variedad Celeste sobre SL 64, G 6 o Adara-M superó la $EP_{v(\geq 28)}$ media muy frecuentemente, en tres de los cuatro ADI. La variedad Bing sobre G 5 o Adara-M y Celeste sobre G 5 o W 13 superaron la $EP_{v(\geq 28)}$ media frecuentemente en dos de los cuatro ADI, lo que indica buena adaptación climática.

Las combinaciones con mayor P_{rec} que superaron la media de la $EP_{v(\geq 28)}$ al sexto ADI fueron: la variedad Bing sobre Adara-M o G 5 y la variedad Celeste sobre SL 64, G 6, Adara-M o G 5.

Sin embargo, cuando se compararon los datos

de la $EP_{v(\geq 28)}$ del sexto ADI con la correspondiente media varietal, se observó que Celeste solo sobre SL 64, W 13 o Adara-M superó la media varietal, indicando mayor P_{rec} que el resto. Bing superó la $EP_{v(\geq 28)}$ media al sexto ADI sobre G 5, G 6 o Adara-M.

La Figura 11 muestra que la variedad Celeste sobre SL 64, W 13 o Adara-M superó la $EP_{v(\geq 28)}$ media muy frecuentemente, en todos los bloques, y sobre MxM 60 o G 6 lo hizo frecuentemente, en tres de los seis bloques. Injertada sobre G 5 no superó la media.

Clasificación de los portainjertos según atributos productivos del dosel

La Figura 12 muestra que el análisis de conglomerado (AC) clasificó los doseles de cada portainjerto en cuatro grupos homogéneos según los siguientes atributos de dosel: VD_{ct} , $P_{EX(\geq 24)}$, $P_{EX(\geq 28)}$, $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$. El método de agrupamiento fue encadenamiento promedio y la distancia fue Euclídea con 0,832 de correlación cofenética. La figura muestra cuatro grupos de portainjertos con comportamiento productivo semejante, según la referencia fijada como la mitad de la distancia Euclídea. Los grupos identificados fueron: SL 64-MxM 60, CAB 6P-MxM 14, G 5-G 6 y W 13-Adara-M.

A continuación, se describen las características comunes de cada conglomerado:

Grupo SL 64-MxM 60: registraron alta P_{EX} , pero baja $EP_{v(\geq 24)}$. Aunque la $EP_{v(\geq 28)}$ puede ser alta según la afinidad con la variedad. Con Celeste registraron media a alta $P_{EX(\geq 28)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$, aunque sobre SL 64 midió valores más elevados. Además, registraron alta P_{rec} según $P_{EX(\geq 28)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$. Ambos portainjertos, con ambas variedades, mostraron alta A_{EC} según $P_{EX(\geq 24)}$, pero solo con Celeste mostraron alta A_{EC} según $P_{EX(\geq 28)}$. No se observó A_{EC} según $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$. El VD_{ct} limita el aumento de la densidad de plantación.

Grupo MxM 14-CAB 6P: se caracterizó por la baja a media $P_{EX(\geq 24)}$, $P_{EX(\geq 28)}$ y baja $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$. Requiere de una adecuada selección varietal y, aun así, los atributos del dosel son medios. Sólo Celeste sobre CAB 6P mostró buena A_{EC} , según $P_{EX(\geq 28)}$. No se adaptan a la alta densidad, debido al tamaño del dosel.

Grupo G 5-G 6: ambos doseles se definen por una baja $P_{EX(\geq 24)}$ y $P_{EX(\geq 28)}$, una alta $EP_{v(\geq 24)}$ y media $EP_{v(\geq 28)}$. Las combinaciones tuvieron P_{rec} según $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$, pero no según $P_{EX(\geq 24)}$ o $P_{EX(\geq 28)}$. Según la P_{EX} no mostraron A_{EC} , pero según $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$ alcanzaron buena A_{EC} . Por esto,

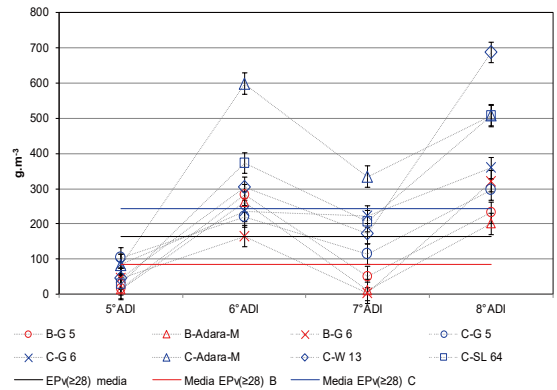


Figura 10. Combinaciones variedad-portainjerto que superaron la $EP_{v(\geq 28)}$ media con mayor frecuencia. Test de S&K ($\alpha = 0,05$).

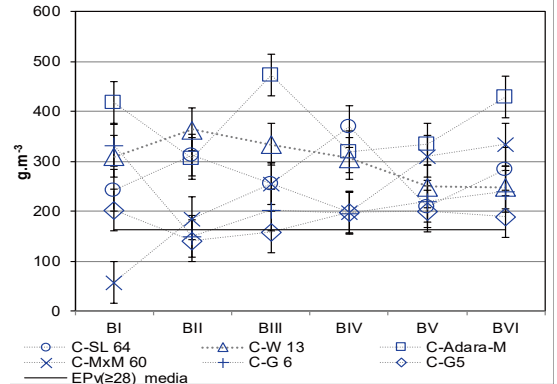


Figura 11. Combinaciones variedad-portainjerto que superaron la media de la $EP_{v(\geq 28)}$ con mayor frecuencia entre bloques. Test de S&K ($\alpha = 0,05$)

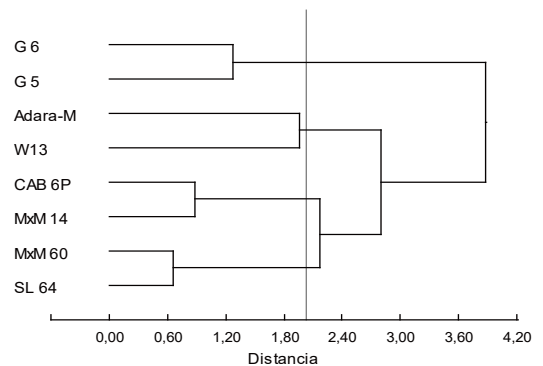


Figura 12. Dendrograma de clasificación de portainjerto según atributos productivos.

y considerando su bajo VD_{ct} , ambos están bien adaptados a la alta densidad de plantación.

Grupo Adara-M-W 13: es el único grupo integrado por portainjertos de diferente vigor, sin embargo, los atributos de dosel son semejantes.

Ambos registran alta $P_{EX(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 24)}$, aunque Adara-M logra la mayor $P_{EX(\geq 28)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$. La variedad Bing tuvo mejor desempeño sobre W 13, registrando alta $P_{EX(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 24)}$. Celeste sobre Adara-M logró alta $P_{EX(\geq 28)}$ y la mayor $EP_{v(\geq 28)}$. El portainjerto Adara-M mostró alta P_{rec} con ambas variedades, según todos los atributos de calidad de dosel. W 13 fue precoz con Bing según $EP_{v(\geq 24)}$ y con Celeste según $EP_{v(\geq 28)}$. Ambos registraron buena A_{EC} , aunque Adara-M registró la mejor con Celeste y W 13 con Bing. El VD_{ct} de Adara-M admite solo densidades de plantación medias, mientras que el VD_{ct} de W 13 admite altas densidades con la consecuente mayor eficiencia de la mano de obra.

CONCLUSIONES

Los efectos ADI, portainjerto, variedad e interacciones influyen sobre los atributos de calidad de los doseles, como la distribución de frecuencias de tamaño de frutos, la producción exportable y la eficiencia productiva exportable.

El VD_{ct} se relaciona con bajo poder explicativo con $P_{EX(\geq 24)}$ o $P_{EX(\geq 28)}$, lo que responde a un predictor impreciso. El VD_{ct} no explica adecuadamente la variabilidad de $EP_{v(\geq 24)}$ o $EP_{v(\geq 28)}$. Sin embargo, la $P_{EX(\geq 24)}$ y la $P_{EX(\geq 28)}$ son buenos estimadores de $EP_{v(\geq 24)}$ y $EP_{v(\geq 28)}$, respectivamente.

Los portainjertos analizados formaron grupos homogéneos con atributos semejantes. El grupo SL 64-MxM 60 se destacó por la alta producción por árbol, baja eficiencia y alta precocidad, pero solo con la variedad adecuada. El grupo MxM 14-CAB 6P se destacó por la baja producción por árbol, eficiencia y precocidad. El grupo G 5-G 6 registró baja producción por árbol, pero alta eficiencia y precocidad. El grupo W 13-Adara-M se destacó por la elevada producción, eficiencia exportable y precocidad.

El desafío futuro implicaría alcanzar la densidad de plantación óptima con los portainjertos de mayor eficiencia productiva, asociados a sistemas de conducción que maximicen la eficiencia de la mano de obra y permitan la mecanización.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias a la valiosa colaboración de los Viveros de Frutales Puertas Hnos., Agroviveros S.A. y Bobafrut S.R.L.

BIBLIOGRAFÍA

- Aglar, E. y Yildiz, K. (2014). Influence of Rootstocks (Gisela 5, Gisela 6, MaxMa, SL 64) on Performance of '0900 Ziraat' Sweet Cherry. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 10, 60-66. <http://dx.doi.org/10.6000/1927-5129.2014.10.09>
- Aloni, B., Cohen, R., Karni, L., Aktas, H. y Edelstein, M. (2010). Hormonal signaling in rootstock–scion interactions. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.003>
- Atkinson, C. y Else, M. (2001). Understanding how rootstocks dwarf fruit tree. *Compact Fruit Tree* 34, 46-49. https://www.researchgate.net/publication/285684959_Understanding_how_rootstocks_dwarf_fruit_trees
- Atkinson, C., Else, M., Taylor, L. y Dover, C. (2003). Root and stem hydraulic conductivity as determinants of growth potential in grafted trees of apple (*Malus pumila* Mill.) *Journal of Experimental Botany*, 54(385), 1221-1229. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/erg132>
- Balmer, M. (2008). Evaluation of semi-dwarfing rootstocks for sweet cherry orchards in the Rhine river valley (Germany). *Acta Horticulturae ISHS*, 795, 203-207. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.27>
- Bujdosó, G., Magyar, L. y Hrotkó, K. (2019). Long term evaluation of growth and cropping of sweet cherry (*Prunus avium* L.) varieties on different rootstocks under Hungarian soil and climatic conditions. *Scientia Horticulturae*, 256, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108613>
- Cantín, C., Pinochet, J., Gorgoncena, Y. y Moreno, M. (2010). Growth, yield and fruit quality of 'Van' and 'Stark Hardy Giant' sweet cherry cultivars as influenced by grafting on different rootstocks. *Scientia Horticulturae ISHS*, 123(3), 329-335. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.09.016>
- Charlot, G., Edin, M., Flochlay, F., Soing, P. y Boland, C. (2005). Tabel Edabriz: a dwarf rootstock for intensive cherry orchards. *Acta Horticulturae*, 667, 217-221. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.667.32>
- Ctifl (2005). *Code du Couleur Cerise (Éventail)*. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes.
- Chiang, A., Schnettler, B., Mora, M. y Aguilera, M. (2018). Perceived quality and satisfaction from sweet cherries (*Prunus avium* L.) in China: Confirming relationships through structural equations. *Ciencia e investigación Agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 45(3), 210-219. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6791736>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C. (2018). InfoStat (versión 2018) [Software]. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>
- Fajt, N., Folini, L., Bassi, G. y Siegler, H. (2014). Lapins on ten cherry rootstocks in the Alpe Adria Region.

- Acta Horticulturae ISHS*, 1020, 371-376. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1020.51>
- Fajt, N., Jug, T., Biško, A., Donik-Purgaj, B., Folini, L., Stainbauer, L. y Usenik, V. (2014). Alpe Adria Trial - Sweet cherry Regina on three dwarf rootstocks and different plant distances. https://www.bordeaux.inra.fr/cherry/docs/dossiers/Activities/Meetings/2014%2010%2013-15_4th%20MC%20and%20all%20WG%20Meeting_Bordeaux/Posters/Fajt_Bordeaux2014.pdf
- Fioravanço, J., Costa, A. y Dias, P. (2016). Yield efficiency for nine apple cultivars grafted on two rootstocks. *Ciência Rural, Santa Maria*, 46(10), 1701-1706. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20141754>
- Franken-Bembenek, S. (2005). Gisela®5 rootstock in Germany. *Acta Horticulturae ISHS*, 667, 167-172. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.667.24>
- Gainza, F., Opazo, I., Guajardo, V., Meza, P., Ortiz, M., Pinochet, J. y Muñoz, C. (2015). Review: Rootstock breeding in *Prunus* species: Ongoing efforts and new challenges. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75(1), 6-16. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000300002>
- Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J., Santos, A., Silva, A., Bacelar E., Correia, C. y Rosa, E. (2006). Scion-rootstock interaction affects the physiology and fruit quality of sweet cherry. *Tree Physiology*, 26(1), 93-104. <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/26.1.93>
- Gonkiewicz, A. (2011). Effect of tree training system on yield and fruit quality of sweet cherry 'Kordia'. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 19(1), 79-83. http://www.inhort.pl/files/journal_pdf/journal_2011_1/full%202011_1.pdf
- Gyeviki, M., Hrotkó, K. y Honfi, P. (2012). Comparison of leaf population of sweet cherry (*Prunus avium* L.) trees on different rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 141, 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.03.015>
- Jiménez, S., Pinochet, J., Gogorcena, Y., Betrán, J. y Moreno, M. (2007). Influence of different vigour cherry rootstocks on leaves and shoots mineral composition. *Scientia Horticulturae*, 112, 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.12.010>
- Jiménez, S., Garín, A., Betrán, J., Gogorcena, Y. y Moreno, M. (2003) Influencia de diferentes patrones para cerezo en la calidad del fruto del cultivar Sunburst. *ITEA*, 99(1), 112-119. https://aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2003/99V-1/99V-1_13.pdf
- Kappel, F. y Lang, G. (2008). Performance of the NC-140 Regional Sweet Cherry Rootstock Trial Planted in 1998 in North America. *Acta Horticulturae ISHS*, 795, 317-320. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.45>
- Kouman, S., Koumanov, K., Staneva, I., Kornov, G. y Germanova, D. (2018). Intensive sweet cherry production on dwarfing rootstocks revisited. *Scientia Horticulturae*, 229, 193-200. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.009>
- Lanauskas, J., Uselis, N., Kviklys, D., Buskien, L. y Kviklien, N. (2012). Rootstock effect on the performance of sweet cherry cv. Lapins. *Horticultural Science (Prague)*, 39(2), 55-60. <https://doi.org/10.17221/50/2011-HORTSCI>
- Long, L. y Kaiser, C. (2010). Sweet cherry rootstocks for the Pacific Northwest. *A Pacific Northwest Extension Publication, PNW619*. Recuperado el 14 de octubre de 2019: https://www.researchgate.net/publication/281572854_Sweet_cherry_rootstocks_for_the_Pacific_Northwest
- López-Ortega, G., García-Montiel, F., Bayo-Canha, A., Frutos-Ruiz, C., López-Ortiz, D., López-Romero, D. y Frutos, D. (2013). Introducción del cultivo del cerezo en la Región de Murcia. *Fruticultura*, 26, 16-29. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4216671>
- López-Ortega, G., García-Montiel, F., Bayo-Canha, A., Frutos-Ruiza, C. y Frutos-Tomás, D. (2016). Rootstock effects on the growth, yield and fruit quality of sweetcherry cv. 'Newstar' in the growing conditions of the Region of Murcia. *Scientia Horticulturae* 198, 326-335. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.11.041>
- Magyar, L. y Hrotko, K. (2008). *Prunus cerasus* and *Prunus fruticosa* as interstocks for sweet cherry tree. *Acta Horticulturae ISHS*, 795, 287-292. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.40>
- Mendenhall, W. y Sincich, T. (1995). *Statistics for engineering and the sciences*. (4a ed). Prentice Hall.
- Milošević, T., Milošević, N. y Mladenović, J. (2018). Role of apple clonal rootstocks on yield, fruit size, nutritional value and antioxidant activity of 'Red Chief® Cam spur' cultivar. *Scientia Horticulturae*, 236, 214-221. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.050>
- Morandi, B., Manfrini, L., Lugli, S., Tugnoli, A., Boini, A., Perulli, G., Bresilla, K., Venturi, M. y Grappadelli L. (2019). Sweet cherry water relations and fruit production efficiency are affected by rootstock vigour. *Journal of Plant Physiology*, 237, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.04.007>
- Moreno, M., Montañés, L., Tabuenca, M. y Cambra, R. (1996). The performance of Adara as a cherry rootstock. *Scientia Horticulturae*, 65, 85-91. https://digital.csic.es/bitstream/10261/17207/3/MorenoM_SciHort_1996.pdf
- Musacchi, S., Gagliardi, F. y Serra, S. (2015). New Training Systems for High-density Planting of Sweet Cherry. *American Society for Agricultural Science*, 501, 59-67. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.1.59>
- Neilsen, G., Neilsen, D., Kappel, F., Toivonen, P. y Herbert, L. (2010). Factors Affecting Establishment of Sweet Cherry on Gisela 6 Rootstock. *HortScience*, 45(6), 939-945. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.6.939>

- Olmstead, M., Lang, N., Lang, G., Ewers, F., Owens, F. y Owens, S. (2006a). Examining the vascular pathway of sweet cherries grafted onto dwarfing rootstocks. *HortScience*, 41, 674-679. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.3.674>
- Olmstead, M., Lang, N. y Ewers, F. (2006b) Xylem vessel anatomy of sweet cherries grafted onto dwarfing and nondwarfing rootstocks. *Journal American Society Horticultural Science*, 131(5), 577-585. <http://dx.doi.org/10.21273/JASHS.131.5.577>
- Pimentel, P., Almada, R., Salvatierra, A., Toro, G., Arismendi, M., Pino, M., Sagredo, B. y Pinto, M. (2014). Physiological and morphological responses of *Prunus* species with different degree of tolerance to long-term root hypoxia. *Scientia Horticulturae*, 180, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.09.055>
- Prassinis, C., Ko, J., Lang, G., Iezzoni, A. y Han, K. (2009). Rootstock induced dwarfing in cherries is caused by differential cessation of terminal meristem growth and is triggered by rootstock specific gene regulation. *Tree Physiology*, 29(7), 927-936. <http://dx.doi.org/10.1093/treephys/tpq027>
- Robinson, T., Andersen, R. y Hoying, S. (2008). Performance of Gisela® Rootstocks in Six High Density Sweet Cherry Training Systems in the Northeastern United States. *Acta Horticulturae ISHS*, 795, 245-254. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.795.33>
- Robinson, T., Bujdosó, G. y Reginato, G. (2014). Influence of Pruning Severity on Fruit Size of 'Sweetheart', 'Lapins' and 'Hedelfingen' Sweet Cherry Grown on Gisela Rootstocks. *Acta Horticulturae ISHS*, 1020, 441-452. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1020.61>
- Rüegg, J., Viret, O. y Raisigl, U. (1999). Adaptation of spray dosage in stone-fruit orchards on the basis of tree row volume. *EPPO Bulletin*, 29(12), 103-110. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2338.1999.tb00803.x>
- Sansavini, S. y Lugli, S. (2014). New rootstocks for intensive sweet cherry plantations. *Acta Horticulturae ISHS*, 1020, 411-434. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1020.59>
- Santos, A., Santos-Ribeiro, R., Cavalheiro, J., Cordeiro, V. y Lousada, J. (2006). Initial growth and fruiting of 'Summit' sweet cherry (*Prunus avium*) on five rootstocks. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34(3), 269-277. <http://dx.doi.org/10.1080/01140671.2006.9514416>
- Seavert, C. y Long, L. (2007). Financial and economic comparison between establishing a standard and high density sweet cherry orchard in Oregon, USA. *Acta Horticulturae ISHS*, 732, 501-504. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.732.76>
- Serradilla, M., Manzano, M., Mateos, J., Pérez, F., Prieto, J., Alarcón, V. y López-Corrales, M. (2008). Influencia de diferentes patrones de cerezo en el comportamiento agronómico y calidad del fruto de las variedades Summit y Sunburst. *Información Técnica económica agraria (ITEA)*, 104, 3-11. https://citarea.cita-aragon.es/bitstream/10532/1229/1/10532-1074_1.pdf
- Simon, G. (2006). Review on rain induced fruit cracking of sweet cherries (*Prunus avium* L.), its causes and the possibilities of prevention. *International Journal of Horticultural Science*, 12(3), 27-35. <https://doi.org/10.31421/IJHS/12/3/654>
- Systat. TableCurve-2D® (versión prueba 2005) [Software]. <http://www.systat.com/downloads/?sec=d002>
- Sitarek, M., Grzyb, Z. y Omiecinska, B. (2005). Performance of sweet cherry trees on Gisela 5 rootstock. *Acta Horticulturae ISHS*, 667, 389-391 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.667.55>
- Srivastava, K., Kumar, D. y Barman, P. (2019). Sweet cherry cultivars influencing the growth and productivity under HDP. *Journal of Horticultural Science*, 14(1), 43-47. <https://doi.org/10.24154/IJHS.2019.v14i01.008>
- Stehr, R. (2001). Experience with dwarfing sweet cherry rootstocks in Northern Germany. *Acta Horticulturae ISHS*, 667, 173-177. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.667.25>
- Stehr, R. (2008). Further Experiences with Dwarfing Sweet Cherry Rootstocks in Northern Germany. *Acta Horticulturae ISHS*, 795, 185-190. <http://dx.doi.org/10.17660/ActaHortic.2005.667.25>
- Steiner, M., Magiar, L., Gyeveki, M. y Hrotkó, K. (2015). Optimization of light interception in intensive sweet cherry orchard. Serie B. *Horticulture*, 59, 105-108. <https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2015/art17.pdf>
- Szot, I. y Meland, M. (2001). Influence of rootstocks on size distribution and fruit quality of sweet cherry cultivars. *International Agrophysics*, 15(3), 207-214. https://www.researchgate.net/publication/26552204_Influence_of_rootstocks_on_size_distribution_and_fruit_quality_of_sweet_cherry_cultivars
- Tersoglio, E. y N. Setien. (2016). Efecto de la combinación Adara-M2624 y otros siete portainjertos sobre las características del dosel de dos variedades de cerezo. *AgriScientia*, 33(2), 113-125. <http://dx.doi.org/10.31047/1668.298x.v33.n2.16578>
- Tersoglio, E. y Setien, N. (2021). Efecto de ocho portainjertos sobre la producción de dos variedades de cerezo. *AgriScientia*, 38(2), 63-73. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v38.n2.27429>
- Usenik, V., Fajt, N. y Štampar, F. (2006). Effects of rootstocks and training system on growth, precocity and productivity of sweet cherry. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(1), 153-157. <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.582>
- West T., Sullivan, R., Seavert, C. y Long, L. (2012). The costs and returns of establishing and producing high-

density sweet cherries in Wasco County. Oregon State University OSU Extension Service. Recuperado el 17 de marzo de 2022: <https://agsci.oregonstate.edu/sites/agscid7/files/oaeb/pdf/AEB0032.pdf>

Whiting, M., Lang, G. y Ophardt, D. (2005). Rootstocks and training system affect sweet cherry growth, yield and fruit quality. *HortScience*, 40, 582-586. <http://dx.doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.582>