

Performance of european pear 'Shahmiveh' grafted onto different rootstocks

Rendimiento de la pera europea 'Shahmiveh' injertada sobre diferentes portainjertos

Mohammad Mehdi Hadad; Mehrdad Jafarpour*; Omid Askari-Khorasgani

Islamic Azad University, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, IRAN.

Email: jafarpour@khuisf.ac.ir, mobile number: (+98) 913 130 170 (*Corresponding author)

Abstract

Scion-rootstock selection plays an important role in determining orchard performance. *Pyrus communis* and *Cydonia oblonga* are the most widely cultivated rootstocks for European pear cultivars. The lack of rootstocks adapted to different edaphoclimatic conditions and scion cultivars is widely acknowledged in pear culture. Hence, this study was designed to investigate the growth characteristics and performance of the 'Shahmiveh' pear grafted onto six rootstocks including Quince A, B, C, BA29, 'Konjoni', and generative seedling. The experiment was conducted during two consecutive years, 2013-2014, at the Agricultural Research Center of Kabutarabad, Isfahan, Iran. The experimental design was based on a randomized complete block design including three replications of six trees each. The assessed variables were trunk diameter, current season shoot length, tree height, leaf dimensions, the number of flowers and abscised flowers, and also the number and percentage of fruit set. Cumulative data from a 7- to 8-year-old pear orchard showed that rootstock selection markedly influenced trunk diameters, current season shoot growth, leaf length, and fruit set of the endemic 'Shahmiveh' pear. The largest trunk diameters were obtained from the 'Konjoni' rootstock, whereas the highest current season shoot length was observed on the generative seedling. PQBA29 exhibited the largest leaf length, number of fruits per current season shoot, and percentage of fruit set, whereas Q. A rootstock had the second highest cropping efficiency. This experiment demonstrates the significantly higher performance and compatibility of PQBA29 as a rootstock for endemic 'Shahmiveh' pear in the arid condition of Iran.

Keywords: arid, endemic pear, yield efficiency, 'Shahmiveh', rootstock

Resumen

La selección de vástago-portainjerto juega un papel importante en la determinación del rendimiento de la huerta. *Pyrus communis* y *Cydonia oblonga* son los portainjertos más empleados para cultivares de pera europeos. La carencia de portainjertos adaptados a diferentes condiciones edafoclimáticas y de cultivares de vástagos es ampliamente conocida en el cultivo de pera. Por ello, el presente estudio se diseñó para investigar las características de crecimiento y rendimiento de peras 'Shahmiveh' injertadas en seis portainjertos, incluyendo Quince (A, B, C y BA29), 'Konjoni' y plántula generativa. El experimento se realizó durante dos años consecutivos, 2013 y 2014, en Isfahán, Irán. El diseño experimental se basó en un diseño de bloques completamente al azar incluyendo tres repeticiones de seis árboles cada una. Las variables evaluadas fueron diámetro de tronco, longitud de brote de temporada actual, altura de árbol, dimensiones de hoja, número de flores en árbol y número de flores caídas, número y porcentaje de amarre de frutos. Los datos acumulativos de una huerta de perales de 7 a 8 años de edad mostraron que la selección del portainjerto influyó marcadamente en el diámetro de los troncos, el crecimiento de brotes de la temporada presente, la longitud foliar y el amarre de fruto de la pera endémica 'Shahmiveh'. Los diámetros de tronco más grandes fueron obtenidos del portainjerto 'Konjoni', mientras que la longitud más alta de brote de la temporada actual fue observada en la plántula generativa. El PQBA29 presentó la longitud de hoja, el número de frutos por brote de temporada actual, y el porcentaje de amarre de fruto, más altos; seguido por Q. A. Este experimento demostró el rendimiento y la compatibilidad significativamente más altos del PQBA29 como portainjerto para la pera endémica 'Shahmiveh', en las condiciones áridas de Irán.

Palabras clave: árido, pera endémica, eficiencia de rendimiento, 'Shahmiveh', portainjerto.



Introduction

After grape and apple, pear is the world's third most important temperate fruit with a world production of 23.5 million metric tons (FAO, 2012). European pear (*Pyrus communis* L.) is cultivated commercially throughout the temperate zones of the world and in Iran, and even in the tropical highlands of Guatemala (Cruz-Castillo, Rodríguez-Bracamontes, Vásquez-Samtizo, & Torres-Lima, 2006) and Mexico (Sánchez-Cervantes, Cruz-Castillo, & Inurreta-Aguirre, 2013).

The proper choice of scion-rootstock can influence vegetative growth, quality and quantity of fruit production, plant bearing habit, precocity, and plant tolerance to pest and diseases in unfavorable conditions. Dwarfing rootstocks of pear are widely cultivated in orchards because they have superior advantages over seedling rootstocks such as a high tolerance level to a calcareous soil in semi-arid conditions, high-density planting capacity as well as yield performance and fruit quality (Ikinci, Bolat, Ercisli, & Kodad, 2014). The interaction effects of scion-rootstock and their adaptability to the soil and climatic condition are the key elements of successful commercial production in a new orchard. However, there is insufficient information about the behavior of rootstocks in different environmental conditions. Especially in Brazil, researchers aspire to investigate the behavior of European pear cultivars and Quince rootstocks (Machado, Rufato, Bogo, Kretzschmar, & Mario, 2013).

Iran is a vast country with various climatic conditions and a wide range of temperature. Pear orchards are located over a large area in Iran, including the north to northwest, west, and south central regions. Since seed-based propagation in most traditional Iranian orchards was very common in the past and pears have widespread gametophytic self-incompatibility, there is a high genetic diversity in *Pyrus communis* and the opportunity for finding commercial cultivars with superior traits (Najafzadeh & Arzani, 2015; Sanzol, 2010; Gharehaghaji et al., 2014). There are some local pears (*Pyrus communis* L.) in Iran, including 'Shahmiveh', 'Peyghambary', 'Sardrood', 'Dargazy', 'Natanzy' and 'Domkaj' (Arzani, 2002). 'Shahmiveh' is the dominant pear cultivar in Iran. This cultivar is similar to the 'Williams' and 'Bartlett' pear in terms of size and shape (Hedrick, 1995 as cited by Kalbasi-Ashtari, 2004), with a crisp texture, very good taste and slight aroma (Kalbasi-Ashtari, 2004). 'Sebri' pear is one of the latest maturing pear cultivars and is grown mainly in Esfahan and Mashhad. Owing to their high fruit quality and long storage life, 'Natanzy' (originated from *Pyrus communis* L.) and 'Sebri' (originated from *Pyrus serotina* Rehd) are the most precious local cultivars in Iran with

Introducción

Después de la uva y manzana, la pera es la tercera fruta de zona templada más importante en el mundo, con una producción de 23.5 millones de toneladas métricas (Food and Agriculture Organization, por sus siglas en inglés FAO, 2012). La pera europea (*Pyrus communis* L.) es cultivada comercialmente en las proximidades de las zonas templadas del mundo y en Irán, e incluso en las zonas altas tropicales de Guatemala (Cruz-Castillo, Rodríguez-Bracamontes, Vásquez-Samtizo, & Torres-Lima, 2006) y de México (Sánchez-Cervantes, Cruz-Castillo, & Inurreta-Aguirre, 2013).

La elección adecuada de vástago-portainjerto puede influir en el crecimiento vegetativo, calidad y cantidad de producción de fruto, hábito de soporte, precocidad, y tolerancia de la planta a plagas y enfermedades en condiciones desfavorables. Los dobles portainjertos de pera son ampliamente cultivados en huertas porque tienen ventajas superiores sobre las plántulas generativas, tales como alto nivel de tolerancia a suelos calcáreos en condiciones semi-áridas, capacidad de siembra de alta densidad, así como desempeño en rendimiento y calidad de fruto (Ikinci, Bolat, Ercisli, & Kodad, 2014). Los efectos de la interacción vástago-portainjerto, su adaptabilidad al suelo y condición climática, son los elementos clave de producción comercial exitosa en una huerta nueva. Sin embargo, la información referente al comportamiento de los portainjertos en diferentes condiciones ambientales es insuficiente. Especialmente en Brasil, los investigadores aspiran a indagar el comportamiento de cultivares de peras europeas y portainjertos Quince (Machado, Rufato, Bogo, Kretzschmar, & Mario, 2013).

Irán es un país extenso con diversas condiciones climáticas y amplio rango de temperatura. Las huertas de peras están localizadas en un área grande, desde el norte al noroeste, oeste, sur y regiones centrales. Debido a que la propagación basada en semillas en la mayoría de las huertas iraníes es muy común y las peras tienen auto-incompatibilidad gametofítica generalizada, existe una alta diversidad genética en *Pyrus communis* y la oportunidad de encontrar cultivares comerciales con características superiores (Najafzadeh & Arzani, 2015; Sanzol, 2010; Gharehaghaji et al., 2014).

Pese a que existen algunas peras (*Pyrus communis* L.) locales en Irán, incluyendo 'Shahmiveh', 'Peyghambary', 'Sardrood', 'Dargazy', 'Natanzy' y 'Domkaj' (Arzani, 2002), el cultivar dominante es 'Shahmiveh'; el cual es similar a 'Williams' y 'Bartlett' en términos de tamaño y forma (Hedrick, 1995 citado por Kalbasi-Ashtari, 2004), con una textura crujiente, muy buen sabor y aroma ligero (Kalbasi-Ashtari, 2004). La pera 'Sebri' es uno de los cultivares de maduración más tardía y es

a high market price of about 7 times more than other pear cultivars (Davarynejad and Davarynejad, 2004).

Due to the self-incompatibility of most pear cultivars (Davarynejad and Davarynejad, 2004), cross-pollination is necessary for Iranian orchards (Davarynejad et al., 1996). Accordingly, choosing the endemic pear cultivars with high compatibility to the rootstock and environmental condition would exert a great positive impact on the commercial production of pear orchards. Therefore, this study was conducted to scrutinize the behavior of Iranian 7- and 8-year-old endemic pear 'Shahmiveh' as a scion on different rootstocks. Experimental rootstocks include clonal Quince (Q. A, Q. B, Q. C, and PQBA29), local pear 'Konjuni', and also wild generative seedling in the arid region of Isfahan. The vigor, vegetative growth, and the main production traits (e.g., flowering and cropping indices) were examined to find the proper combination.

Materials and methods

The experiment was conducted in 2008 in East-West rows at a spacing of 4 × 3 m with three replications at the Agricultural Research Center of Kabutarabad, Isfahan, Iran, geographically located at 32° 31' N, 51° 51' E and 1545 m above sea level. According to the Köppen-Geiger system, Isfahan is classified as an arid or desert-like climate with an average annual temperature of 15.6 °C and average annual precipitation of 125 mm. Despite its altitude, Isfahan has hot summer days and moderate nights. In the winter, days are mild while nights can be very cold.

Iranian local pear 'Shahmiveh' (European pear: *P. communis*) seedlings were used as the scion and grafted onto six different one-year-old rootstocks, which were cultivated in late winter 2008 and grafted in late summer of the same year. The examined rootstocks were clonal Quince A (Q. A), Quince B (Q. B), Quince C (Q. C) and PQBA29 as dwarfing rootstocks, in addition to the local pear cv. 'Konjuni', and local wild *P. communis* seedling obtained by sexual propagation method (generative seedling).

Most pear cultivars have self-incompatibility and self-pollinating species produce more fruits near a compatible pollinizer. Therefore, we used 'Natanze' and 'Sebri' cultivars as the pollinizers for 'Shahmiveh' pear cultivar. Trees were pruned and trained based on the espalier system.

The orchard had a clay loam soil with a pH of 7.5. Experimental trees were furrow irrigated at 7- to 10-day intervals in response to the plant's water needs. Potassium sulphate and urea (each 50 g per year age of each pear tree) were applied as the soil fertilizers.

cultivado principalmente en Isfahán y Mashhad. Por otro lado, debido a la alta calidad de fruto y larga vida de almacenamiento, 'Natanzy' (originado a partir de *Pyrus communis* L.) y 'Sebri' (originado a partir de *Pyrus serotina* Rehd) son los cultivares locales más apreciados en Irán con alto precio en el mercado, alrededor de siete veces más que otros cultivares de pera (Davarynejad & Davarynejad, 2004).

Considerando la auto-incompatibilidad de la mayoría de los perales (Davarynejad & Davarynejad, 2004), la polinización cruzada es necesaria para las huertas iraníes (Davarynejad, Toosi, & Ghavam, 1996). Por consiguiente, elegir los cultivares de pera endémicos con alta compatibilidad al portainjerto y a la condición ambiental resultaría en un gran impacto positivo en la producción comercial. Por lo tanto, el presente estudio se realizó para escrutar el comportamiento de peras endémicas 'Shahmiveh' de 7 y 8 años de edad como vástagos sobre diferentes portainjertos; los cuales incluyen Quince clonados (A, B, C y BA29), pera local 'Konjuni' y plántulas generativas silvestres en la región árida de Isfahán. Se examinó el vigor, crecimiento vegetativo y características principales de producción (es decir, índices de floración y cultivo), para encontrar la combinación apropiada.

Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo a finales de 2008 en hileras de este a oeste, con separación de 4 × 3 m con tres repeticiones, en el Centro de Investigación Agrícola de Kabutarabad, Isfahán, Irán, ubicado geográficamente a los 32° 31' LN, 51° 51' LE y 1,545 msnm. De acuerdo con el sistema Köppen-Geiger, Isfahán está clasificado con clima árido o desértico, con temperatura media anual de 15.6 °C y precipitación anual promedio de 125 mm. A pesar de su altitud, Isfahán tiene días cálidos en verano y noches con clima moderado. En invierno, los días son templados mientras que las noches pueden ser muy frías.

Se emplearon plántulas de pera 'Shahmiveh' (*P. communis* L.) como vástago e injertos en seis portainjertos diferentes de un año de edad; los cuales se cultivaron a finales del invierno e injertaron a finales del verano, ambos en 2008. Los portainjertos examinados fueron: Quince A (Q. A), Quince B (Q. B), Quince C (Q. C) y portainjerto Quince BA29 (PQBA29) como doble portainjerto, además de pera local cv. 'Konjuni' y plántulas silvestres locales de *P. communis* obtenidas empleando el método de propagación sexual (plántula generativa).

La mayoría de los cultivares de pera tienen auto-incompatibilidad y las especies autopolinizadoras producen más frutos cerca de un polinizador compatible. Por lo tanto, se emplearon 'Natanzy' y 'Sebri' como polinizadores para el cultivar 'Shahmiveh'.

Growth habit

After leaf abscission in December, trunk growth was measured to estimate vigor, water uptake efficacy of rootstocks (Goldhamer & Fereres, 2004), and graft-compatibility. Using a digital caliper, we measured the trunk diameters (Visser, 1964) at 3 points, including 20 cm above, 5 cm under, and on the graft union. Then, they were reported as the mean trunk diameters of 7- and 8-year-old pears.

Tree height (TH) and current season shoot length (CSHL) were also recorded at the end of the growing season (of dormant plants) and reported as the mean growth rate of 7- and 8-year-old pears. Tree height increment was measured as the distance from the ground up to the plant apex.

Leaf area

Leaf length (LL) and width (LW) were measured using a 20 cm ruler.

Flowering characteristics

The flowering season was in late March. Before the full bloom, the number of flowers per inflorescence and the number per current season shoot were randomly recorded. After 14 days of full bloom, the number of fruit set was noted to estimate the number of abscised flowers on the current season shoots. Finally, they were reported as the mean flowering rate and abscission rate of two years.

Fruiting and yield

Fruit set occurred approximately after April 9 and harvesting time was in September. After one month of fruit set, the number of fruits on current season shoots was estimated. The percentage of fruit set was also calculated based on the following formula (Westwood, 1988):

$$\text{Fruit set (\%)} = \frac{\text{Number of fruit set on the current season shoot during the maturing period}}{\text{Number of total flowers grown on the same shoot}}$$

For each tree, the number of fruits was counted. Using a precision balance, we weighed all of the fruits and calculated the mean fruit weight based on yield per tree ($\text{kg} \cdot \text{tree}^{-1}$) and yield per plot ($\text{kg} \cdot 36\text{m}^2$). Ultimately, they were reported as the mean cropping rate of two growing seasons.

Statistical analysis

The experiment used a randomized complete block design (RCBD) with three replications. Each replication (block) included 6 plots (one treatment in each plot)

Los árboles se podaron y tutoraron con base en el sistema de espalderas.

La huerta presentaba suelo limo arcilloso con un pH de 7.5; por lo que, los árboles bajo estudio se irrigaron mediante surcos en intervalos de entre 7 y 10 días, en función de las necesidades hídricas de la planta. Se aplicaron sulfato de potasio y urea (50 g de cada uno por año de edad de cada peral) como fertilizantes.

Hábito de crecimiento

Después de la abscisión foliar en diciembre, se midió el crecimiento del tronco para estimar el vigor, la eficiencia de captación de agua de los portainjertos (Goldhamer & Fereres, 2004) y la compatibilidad de injerto. Mediante el uso de un vernier digital, se midieron los diámetros del tronco (Visser, 1964) en tres puntos, 20 cm sobre, 5 cm debajo y en la unión, todos en relación con el injerto. Posteriormente, esos datos se reportaron como los diámetros medios de troncos de perales de 7 y 8 años de edad.

También se registró la altura de árbol (AA) y la longitud de brote de temporada actual (LBTA), al final de la temporada de crecimiento (de plantas latentes), y se reportaron como la tasa de crecimiento medio de perales de 7 y 8 años de edad. El incremento de la AA se determinó mediante la distancia entre el suelo hasta el ápice de la planta.

Área foliar

Con ayuda de una regla de 20 cm se midió la longitud (L) y el ancho de hoja (AH).

Características de floración

La temporada de floración fue a finales de marzo, pero antes de completar esta etapa se registraron aleatoriamente el número de flores, por inflorescencia y por brote de temporada actual. Después de 14 días de plena floración, se observó el número de frutos para estimar la cantidad de flores caídas de brotes de temporada actual; finalmente, se reportaron como la tasa media de floración y tasa de abscisión de 2 años.

Fructificación y rendimiento

El amarre de frutos ocurrió, aproximadamente, después del 9 de abril, el cual se estimó un mes después, y la cosecha se realizó en septiembre. El porcentaje de amarre de fruto se calculó con base en la siguiente fórmula (Westwood, 1988):

$$\text{Amarre de fruto (\%)} = \frac{\text{Número de amarre de frutos en el brote de temporada actual durante el periodo de maduración}}{\text{Número de flores totales generadas en el mismo brote}}$$

with 6 trees in each plot. After having been checked for normality, the data were analyzed for statistical significance, using Statistical Analysis System software (2013). Duncan's multiple range test ($P < 0.01$) was used for mean separation.

Results and discussion

Graft viability and compatibility

PQBA29 and Q. A rootstocks showed a better status in graft viability percentage compared to Q. C and Q. B rootstocks. Apart from Q. B and Q. C, results showed a high rate of grafting success in the first growing season (data not shown). Among different rootstocks, 'Shahmiveh' pear cultivar on Q. B had the lowest leaf dimensions, number of flowers per current season shoot, number of fruits per current season shoot, percentage of fruit set and the highest incompatibility symptoms, which reduced leaf size and productivity (Table 2 and 4).

Growth habit

The aging process had a significant influence on trunk diameter, current season shoot length (CSSL), and leaf width (LW). Similarly, rootstock selection had a substantial effect on trunk diameter, CSSL, and leaf length (LL) (Table 1).

Se cuantificó el número de frutos de cada árbol; para lo cual se utilizó una báscula de precisión. Se pesaron todos los frutos y se calculó el peso medio de fruto basado en el rendimiento por árbol ($\text{kg}\cdot\text{árbol}^{-1}$) y rendimiento por parcela ($\text{kg}\cdot 36\text{ m}^2$). Por último, esos datos se reportaron como la tasa media de cultivo de dos temporadas de crecimiento.

Análisis estadístico

El experimento se estableció con base en el diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres repeticiones. Cada repetición (bloque) incluyó seis parcelas (un tratamiento por cada parcela) con seis árboles en cada una. Después de haber verificado la normalidad, los datos se analizaron para significancia estadística, utilizando *Statistical Analysis System*, ver. 9.4 (SAS, 2013). Se utilizó la prueba de amplitud múltiple de Duncan ($P < 0.01$) para la separación de medias.

Resultados y discusión

Viabilidad y compatibilidad de injerto

Los portainjertos PQBA29 y Q. A mostraron mejor estatus en el porcentaje de viabilidad en comparación con Q. C y Q. B. Salvo para Q. B y Q. C, los resultados mostraron tasa alta de éxito de injerto en la primera temporada de crecimiento (datos no mostrados).

Table 1. Variance analyzes of growth of 'Shahmiveh' pear grafted onto different rootstocks during two years (2013 and 2014).

Cuadro 1. Análisis de varianza del crecimiento de pera 'Shahmiveh' injertada en diferentes portainjertos durante dos años (2013 y 2014).

Source of variation/ Fuente de variación	Degree of freedom/ Grados de libertad	Mean squares /Cuadrados medios						
		Trunk diameter/Diámetro de tronco			Current season shoot length (cm)/ Longitud de brote de temporada actual (cm)	Tree height (cm)/Altura de árbol (cm)	Leaf length (cm)/ Longitud de hoja (cm)	Leaf width (cm)/ Ancho de hoja (cm)
		Rootstock diameter (cm)/ Diámetro del portainjerto (cm)	Graft union diameter (cm)/ Diámetro del portainjerto (cm)	Scion diameter (cm)/ Diámetro del vástago (cm)				
Year/Año	1	19.80**	17.500**	21.934**	309.936*	359.734 ^{ns}	0.007 ^{ns}	0.284*
Rootstock/ Portainjerto	5	4.05**	2.435*	4.605**	167.287*	589.700 ^{ns}	0.896**	0.068 ^{ns}
Rootstock Year/ Portainjerto Año	5	0.094 ^{ns}	0.0103 ^{ns}	0.0316 ^{ns}	133.867 ^{ns}	815.828 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.046 ^{ns}
Error	20							

*Significant difference at 0.05 probability level, **Significant difference at 0.01 probability level, ^{ns}Non-significant.

*Diferencia significativa ($P < 0.05$). **Diferencia significativa a nivel de probabilidad (Duncan, $P < 0.01$). ^{ns}No significativo.

Table 2. 'Shahmiveh' pear growth data, average of two years of rootstock selections.

Cuadro 2. Datos de crecimiento de pera 'Shahmiveh', promedio de dos años de selecciones de portainjerto.

Rootstock/ Portainjerto	Trunk diameter / Diámetro de tronco			Current season shoot length (cm) / Longitud de brote de temporada actual (cm)	Tree height (cm) / Altura de árbol (cm)	Leaf length (cm) / Longitud de hoja (cm)	Leaf width (cm) / Ancho de hoja (cm)
	Rootstock diameter (cm) / Diámetro del portainjerto (cm)	Graft union diameter (cm) / Diámetro del punto de injerto (cm)	Scion diameter (cm) / Diámetro del vástago (cm)				
Generative seedling / Plántula generativa	9.88ab*	10.2b	11.03b	65.29a	198.37ab	7.13a	4.73bc
Konjuni	10.65a	11.3a	11.97a	63.15a	206.97a	7.02ab	4.97a
PQBA29	8.57c	9.78b	9.52d	58.65ab	203.08a	7.25a	4.95a
Q. A	9.37b	10.45b	10.38c	50.67 c	204.13a	6.83b	4.80b
Q. B	8.97c	9.67bc	10.03cd	58.07b	209.67a	6.18c	4.72bc
Q. C	8.55cd	9.65bc	10.07cd	55.32b	198.88ab	6.67b	4.80b

*All values are means. Mean values in each column followed by the same lower-case letters are not significantly different (Duncan, $P < 0.01$).

*Todos los valores son medias. Los valores medios en cada columna seguidos por las mismas letras en subíndice no difieren estadísticamente (Duncan, $P < 0.01$).

Trees on dwarfing rootstocks had significantly ($P \leq 0.001$) lower scion and rootstock diameters; however, in the grafting point they had no significant differences in relation to the generative seedling. While all recorded trunk diameters of 'Konjuni' were at the highest point, the lowest scion diameter was obtained by grafting on PQBA29 (Table 2). The use of Q. A as a rootstock highly reduced CSSL (Table 2). Although generative seedling had the longest CSSL, it had the lowest number of fruit per current season shoot (Table 2 and 4).

With subtle changes among rootstocks, grafting on Q. C provided trees with the lowest height (Table 2). Results showed that vigor and vegetative growth were highly affected by the rootstock selection. The scion and rootstock growth were markedly affected by year and type of rootstock (Table 1). The effect of rootstocks on LW dimension was insignificant, whereas the LL was markedly enhanced by the PQBA29 rootstock. Seemingly, the highest leaf dimension of PQBA29 is an indicator of its compatibility with the climatic and environmental condition of this arid region (Table 2).

Flowering characteristic

While having the lowest current season shoot length and scion diameter, PQBA29 had the highest number

Entre los diferentes portainjertos, el cultivar de pera 'Shahmiveh' sobre el Q. B tuvo las dimensiones de hoja, el número de flores y frutos por brote de temporada actual y porcentaje de amarre de fruto, más bajos; así como los síntomas de incompatibilidad más altos, lo que redujo el tamaño de hoja y la productividad (Cuadros 2 y 4).

Hábito de crecimiento

El proceso de envejecimiento tuvo influencia significativa sobre el diámetro del tronco, la LBTA y el AH. De manera similar, la selección del portainjerto presentó efecto sustancial sobre el diámetro del tronco, LBTA, y la longitud de hoja (LH) (Cuadro 1).

Los árboles en doble portainjertos tuvieron diámetros de vástago y de portainjerto significativamente más bajos ($P \leq 0.001$); sin embargo, en el punto de injerto no tuvieron diferencias significativas comparados con la plántula generativa; lo cual presentó la LBTA más larga, pero el número más bajo de frutos por brote de temporada actual (Cuadros 2 y 4). Por otro lado, los diámetros registrados de 'Konjuni' estuvieron en el punto más alto y el diámetro de vástago más bajo fue obtenido al injertar sobre el PQBA29 (Cuadro 2). El uso de Q. A, como portainjerto, redujo de manera importante la LBTA (Cuadro 2). Mientras que injertar

of flowers and fruits per current season shoot length (Table 2 and 4). After PQBA29, the highest number of fruits per current season shoot length and fruit percentage were observed on Q. A rootstock (Table 4). Although in PQBA29 the number of flowers per current season shoot was similar to Q. A and Q. C and its number of flowers per inflorescence was even lower than other rootstocks, PQBA29 flowers exhibited higher fruit formation rate and lower abortion rates (Table 4).

Cropping efficiency

A previous study of 'Santa Maria' pear cultivar revealed that pear seedling and PQBA29 had a better mineral uptake in highly calcareous soil in semi-arid condition. İkinci et al. (2014) showed that the highest cumulative yield efficiency ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) was observed on Q. C and PQBA29, respectively. Nonetheless, the highest cumulative yield ($\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) was recorded on PQBA29 and followed by Q. C at a density of $800\text{ trees}\cdot\text{ha}^{-1}$ for both rootstocks (Ikinci et al., 2014). The highest number of fruits per current season shoot was obtained from PQBA29 followed by Q. A and Q. C, respectively (Table 4). Year and rootstock had a significant influence on the number of fruits per current season shoot and fruit set percentage (Table 3). The cropping efficiency markedly improved in the second year of the experiment (data

sobre Q. C provee árboles con la altura más baja (Cuadro 2).

Los resultados de esta investigación mostraron que el vigor y el crecimiento vegetativo se vieron afectados de manera importante por la selección del portainjertos. Por un lado, el crecimiento de vástago y portainjerto fue marcadamente influenciado por el año y el tipo de portainjerto (Cuadro 1), y por otro, el efecto de los portainjertos en la dimensión de AH no fue significativo, mientras que la LH fue incrementada considerablemente por PQBA29. De manera similar, la dimensión de hoja más alta del PQBA29 es un indicador de su compatibilidad con las condiciones climáticas y ambientales de esta región árida (Cuadro 2).

Característica de floración

El PQBA29 presentó la LBTA y el diámetro de vástago más bajos; al mismo tiempo tuvo el número más alto de flores y frutos por longitud de brote de temporada actual (Cuadros 2 y 4). Después del PQBA29, el número más alto de frutos por longitud de brote de temporada actual y el porcentaje más alto de frutos se observó en Q. A (Cuadro 4). A pesar de que en PQBA29 el número de flores por brote de temporada actual fue similar al de Q. A y Q. C, y el número de flores por inflorescencia fue incluso más bajo que otros portainjertos, sus flores

Table 3. Variance analyzes of flowering and fruit set of 'Shahmiveh' pear grafted onto different rootstocks during two years (2013 and 2014).

Cuadro 3. Análisis de varianza de la floración y el amarre de fruto de pera 'Shahmiveh' injertada sobre diferentes portainjertos, durante dos años (2013 y 2014).

Source of variation / Fuente de variación	Degree of freedom / Grados de libertad	Mean squares / Cuadrados medios				
		No. of flowers per current season shoot / Núm. de flores por brote de temporada actual	No. of flowers per inflorescence / Núm. de flores por inflorescencia	No. of fruits per current season shoot / Núm. de frutos por brote de temporada actual	Fruit set (%) / Amarre de fruto (%)	No. of abscised flowers per current season shoot / Núm. de flores caídas por brote de temporada actual
Year / Año	1	16.00 ^{ns}	0.00 ^{ns}	4.00 ^{**}	5.68 ^{**}	96.69 ^{ns}
Rootstock / Portainjerto	5	104.57 ^{ns}	1.04 ^{ns}	8.20 ^{**}	5.08 ^{**}	83.89 ^{ns}
Rootstock Year / Portainjerto Año	5	5.60 ^{ns}	0.93 ^{ns}	0.60 ^{ns}	0.64 ^{ns}	10.56 ^{ns}
Error	20					

*Significant difference at 0.05 probability level, **Significant difference at 0.01 probability level, ^{ns}Non-significant.

*Diferencia significativa ($P < 0.05$). **Diferencia significativa a nivel de probabilidad (Duncan, $P < 0.01$). ^{ns}No significativo.

Table 4. 'Shahmiveh' pear fruiting and flowering data, average of two years collected data of different rootstock selections.**Cuadro 4. Datos de fructificación y floración de pera 'Shahmiveh', datos promedio colectados de dos años de diferentes selecciones de portainjertos.**

Rootstock/ Portainjerto	No. of flowers per current season shoot/Núm. de flores por brote de temporada actual	No. of flowers per inflorescence/ Núm. de flores por inflorescencia	No. of fruits per current season shoot/Núm. de frutos por brote de temporada actual	Fruit set (%)/ Amarre de fruto (%)	No. of abscised flowers per current season shoot/Núm. de flores caídas por brote de temporada actual
Generative seedling/ Plántula generativa	95.50b [*]	6.50a	5.67c	5.92c	86.67c
Konjuni	98.33ab	6.17ab	7.00b	7.17ab	91.17b
PQBA29	103.83a	5.67c	8.17a	7.87a	95.67a
Q. A	101.67a	6.83a	8.00a	7.82a	95.00a
Q. B	95.17b	6.00b	5.50c	5.77c	89.67bc
Q. C	104.83a	6.50a	7.67ab	7.32ab	95.67a

*All values are means. Mean values in each column followed by the same lower-case letters are not significantly different (Duncan $P < 0.01$).

*Todos los valores son medias. Los valores medios en cada columna seguidos por las mismas letras en subíndice no difieren estadísticamente (Duncan, $P < 0.01$).

not shown). Considering the productivity, PQBA29 exhibited the highest fruit set followed by Q. A, Q. C, and 'Konjuni', respectively. In comparison to generative seedling, PQBA29, Q. A, and Q. C had a significantly higher number of flowers per current season shoot, number of fruits per current season shoot, and fruit set percentage (Table 4).

Results were consistent with those obtained by Rahmati, Arzani, Yadollahi, and Abdollahi (2015), who showed that *P. communis* 'Williams Duchess' and Asian pear cultivar 'KS'₁₀ produced the highest number of fruits on Q. A rootstock. The highest productivity of the PQBA29 and Q. A indicate that at a high density their performance would be strikingly better. By analyzing flowers and leaves in 2010-2012, it was found that PQBA29 samples had the highest nitrogen concentration compared to other rootstocks (Akbari, Ghasemi, Ebrahimpour, & Branch, 2014). Ikinci et al. (2014) showed that PQBA29 and Q. A on 'Santa Maria' had the highest nutrient uptake efficacy in highly calcareous soil in semi-arid climatic conditions. Similar to our results, PQBA29 presented the highest cumulative yield (Ikinci et al., 2014). It has been documented that there is a close relationship between leaf nitrogen concentration, canopy size, fruit development, crop sink strength, leaf age, and leaf distance from fruits with photosynthetic capacity (Kriedemann & Canterford, 1971; Reich, Walters, Kloeppel, & Ellsworth, 1995; Jackson, 2003). Hence, the higher N availability, leaf size, fruit size, and productivity of PQBA29 might correspond to its higher photosynthesis

presentaron una tasa de formación de fruto más alta y tasas de aborto más bajas (Cuadro 4).

Eficiencia de cultivo

Un estudio previo del cultivar 'Santa María' reveló que las plántulas de pera y el PQBA29 tuvieron mejor absorción de minerales en suelos altamente calcáreos en condiciones semiáridas. Ikinci et al. (2014) mostraron que la eficiencia del rendimiento acumulativo más alta ($\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$) se observó en Q. C y PQBA29, respectivamente. Sin embargo, el rendimiento acumulativo más alto ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) se registró en PQBA29, seguido por Q. C con densidad de población de 800 árboles $\cdot \text{ha}^{-1}$ para ambos portainjertos (Ikinci et al., 2014). El número más alto de frutos por brote de temporada actual se obtuvo del PQBA29, sucedido por Q. A y Q. C, respectivamente (Cuadro 4).

Tanto el año como el portainjerto tuvieron influencia significativa sobre el número de frutos por brote de temporada actual y el porcentaje de amarre de fruto (Cuadro 3). La eficiencia de cultivo incrementó marcadamente en el segundo año del experimento (datos no mostrados). Por lo que respecta a la productividad, el PQBA29 mostró el amarre de fruto más alto, seguido por Q. A, Q. C y 'Konjuni', en este orden. En comparación con la plántula generativa, PQBA29, Q. A y Q. C tuvieron el número de flores por brote de temporada actual, número de frutos por brote de temporada actual y porcentaje de amarre de fruto, significativamente más altos (Cuadro 4).

rate and adaptability to the environmental condition of this arid region.

Conclusions

In summary, PQBA29 grafted onto 'Shahmiveh' pear cultivar exhibited comparatively high productivity and compatibility symptoms, e.g., large leaf dimensions in addition to cropping efficiency or fruit formation rate, in the arid climatic condition of Isfahan in Iran. In a high-intensity orchard, the beneficiary effect of PQBA29 would be even more promising. Owing to its high nutrient uptake efficacy and adaptability in arid regions and calcareous soils, results suggest that this combination would be the best substitute for the pear seedling in Iran's traditional orchards.

End of English version

References / Referencias

- Akbari, H., Ghasemi, A., Ebrahimpour, H., & Branch, S. (2014). Investigations and comparisons of potential efficiency of Quince and local rootstocks on nutrient uptake and control vigor of *Esfahan Shahmiveh* pear cultivar. *International Journal of Advanced Life Sciences*, 7(4), 603-609.
- Arzani, K., (2002). The position of pear breeding and culture in Iran: Introduction of some Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.) cultivars. *Acta Horticulture*, 578(587), 167-173. doi: 10.17660/ActaHortic.2002.587.18
- Cruz-Castillo, J. G., Rodríguez-Bracamontes, F., Vásquez-Samtizo, J., & Torres-Lima, P. (2006). Temperate fruit production in Guatemala. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 34(4), 341-348. doi: 10.1080/01140671.2006.9514424
- Davarynejad, G., & Davarynejad, E. (2004). Comparative performance of graft incompatibility in pear/quince (*Pyrus communis*/*Cydonia oblonga*) combinations (pp. 221-225). VIII International Symposium on Canopy, Rootstocks and Environmental Physiology in Orchard Systems. *Acta Horticulturae* 732. doi: 10.17660/ActaHortic.2007.732.31
- Davarynejad, G., Toosi, A., & Ghavam, F. (1996). Effects of artificial pollination on fruit set of some pear cultivars (pp. 359-362). V Temperate Zone Fruit in the Tropics and Subtropics. *Acta Horticulturae* 441. doi: 10.17660/ActaHortic.1997.441.52
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2012). *FAO Statistical Yearbook 2012: World Food and Agriculture*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. Recuperado de <http://faostat.fao.org/site/342/default.aspx>. (Accessed 27 July 2015).
- Gharehaghaji, A. N., Arzani, K., Abdollahi, H., Shojaeiyan, A., Dondini, L., & de Franceschi, P. (2014). Genomic characterization of self-incompatibility ribonucleases
- Rahmati, Arzani, Yadollahi, y Abdollahi (2015) mostraron que *P. communis* cv. 'Williams Duchess' y el cultivar asiático 'KS'₁₀ produjeron el número más alto de frutos sobre el portainjerto Q. A; lo que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación, ya que la productividad más alta del PQBA29 y Q. A indica que a una densidad alta su rendimiento sería extremadamente mayor.
- Analizando flores y hojas de 2010-2012, se encontró que muestras del PQBA29 tuvieron la concentración de nitrógeno más alta comparada con otros portainjertos (Akbari, Ghasemi, Ebrahimpour, & Branch, 2014). En el mismo sentido, İkinci et al. (2014) mostraron que PQBA29 y Q. A sobre 'Santa María' tuvieron la eficiencia de absorción de nutrientes más alta en suelo altamente calcáreo en condiciones climáticas semiáridas, y semejante a lo encontrado en este trabajo, el PQBA29 presentó el rendimiento acumulativo más alto. Se ha documentado que existe relación estrecha entre la concentración de nitrógeno foliar, tamaño de dosel, desarrollo de fruto, resiliencia del cultivo, edad de la hoja y distancia de la hoja desde los frutos, con la capacidad fotosintética (Kriedemann & Canterford, 1971; Reich, Walters, Kloeppel, & Ellsworth, 1995; Jackson, 2003). Así, la mayor disponibilidad de N, tamaño de hoja, tamaño de fruto y productividad del PQBA29, podría corresponder a su tasa de fotosíntesis más alta y a su adaptabilidad a las condiciones ambientales de esta región árida.

Conclusiones

El PQBA29 injertado en el cultivar de pera 'Shahmiveh' mostró, comparativamente, alta productividad y síntomas de compatibilidad; por ejemplo, dimensiones grandes de hoja, además de eficiencia de cultivo o tasa de formación de fruto, en las condiciones climáticas áridas de Isfahán, en Irán. En la huerta de alta densidad, el efecto benéfico del PQBA29 sería incluso más promisorio, debido a su alta eficacia de absorción de nutrientes y a su alta adaptabilidad en regiones áridas y suelos calcáreos; por ello, los resultados del presente trabajo sugieren que esta combinación sería el mejor sustituto para la plántula de pera en las huertas tradicionales de Irán.

Fin de la versión en español

- in the Central Asian pear germplasm and introgression of new alleles from other species of the genus *Pyrus*. *Tree Genetics & Genomes*, 10(2), 411-428. doi: 10.1007/s11295-013-0696-7
- Goldhamer, D., & Fereres, E. (2004). Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science*, 23(1), 11-19. doi: 10.1007/s00271-003-0088-0
- Kalbasi-Ashtari, A., (2004). Effects of post-harvest pre-cooling processes and cyclical heat treatment on the physico-chemical properties of "Red Haven Peaches" and "Shahmiveh Pears" during cold storage. *Agricultural Engineering*.
- Ikinici, A., Bolat, I., Ercisli, S., & Kodad, O. (2014). Influence of rootstocks on growth, yield, fruit quality and leaf mineral element contents of pear cv. 'Santa Maria' in semi-arid conditions. *Biological Research*, 47(71), 1-8. doi: 10.1186/0717-6287-47-71
- Jackson, J. E. (2003). The biology of apples and pears. Reino Unido: Cambridge University Press.
- Kriedemann, P., & Canterford, R., (1971). The photosynthetic activity of pear leaves (*Pyrus communis* L.). *Australian Journal of Biological Sciences*, 42(2), 197-206.
- Machado, B. D., Rufato, L., Bogo, A., Kretzschmar, A. A., & Mario, A. E. (2013). Cultivars and rootstocks on plants vigor of European pear. *Ciência Rural*, 43(9), 1542-1545. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000105>
- Najafzadeh, R., & Arzani, K. (2015). Superior growth characteristics, yield, and fruit quality in promising european pear (*Pyrus communis* L.) chance seedlings in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(2), 427-442. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/272482926_Superior_Growth_Characteristics_Yield_and_Fruit_Quality_in_Promising_European_Pear_Pyrus_communis_L_Chance_Seedlings_in_Iran
- Rahmati, M., Arzani, K., Yadollahi, A., & Abdollahi, H. (2015). Influence of rootstock on vegetative growth and graft incompatibility in some pear (*Pyrus* spp.) cultivars. *Indo-American Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 3(1), 25-32. doi: 10.1186/0717-6287-47-71
- Reich, P., Walters, M., Kloeppel, B., & Ellsworth, D. (1995). Different photosynthesis-nitrogen relations in deciduous hardwood and evergreen coniferous tree species. *Oecologia*, 104(1), 24-30.
- Sánchez-Cervantes, M., Cruz-Castillo, J. G., & Inurreta-Aguirre, H. D. (2013). Agronomía y ambiente de la pera (*Pyrus communis* L.) en la región central de Veracruz. *Revista de Geografía Agrícola*, 50(51), 55-63.
- Sanzol, J. (2010). Two neutral variants segregating at the gametophytic self-incompatibility locus of European pear (*Pyrus communis* L.) (Rosaceae, Pyrinae). *Plant Biology*, 12(5), 800-805. doi: 10.1111/j.1438-8677.2009.00277.x
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2013). SAS/ETS User's Guide, versión 9.4. Cary, NC, USA: Author.
- Visser, T. (1964). Juvenile phase and growth of apple and pear seedlings. *Euphytica*, 13(2), 119-129.
- Westwood, M. N. (Segunda edición). (1988). *Temperate-zone pomology*. Portland, Oregon: Timber press.