

Influence of rootstock on postharvest watermelon quality

Influencia del portainjerto en la calidad poscosecha de sandía

Ángel Manuel Suárez-Hernández¹; Onécimo Grimaldo-Juárez^{1*}; Alejandro Manelik García-López¹; Daniel González-Mendoza¹; María Victoria Huitrón-Ramírez²

¹Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas. Carretera a Delta s/n, Ejido Nuevo León, Baja California, C. P. 21705, MÉXICO.

onecimo.grimaldo@uabc.edu.mx, tel.: (686) 523 00 79 (*Corresponding author)

²Instituto Tecnológico de Colima. Av. Tecnológico 1, Villa de Álvarez, Colima, C. P. 28976, MÉXICO.

Abstract

The cultivation of grafted watermelon has spread to different parts of the world in order to improve production under adverse conditions; however, this technique may alter the quality of the fruit. Therefore, the aim of this work was to evaluate the effect of eight rootstocks, six native *Lagenaria siceraria* varieties (L43, L46, L48, L50, L54 and L56) and two commercial squash varieties (Super shintosa and TZ 148), in addition to the control plant (without grafting), on the postharvest quality of watermelon variety Tri-X 313. The experimental design was completely randomized with a factorial arrangement and three replicates per treatment. The evaluated variables were fruit weight, firmness, total soluble solids and pulp color. The post-harvest quality of the fruits was not modified by grafting; however, it increased fruit weight by 44 %, except for L50. Pulp firmness was favored 29 % with *Super shintosa*. The °Brix increased 7 % with L54 and L56. Pulp color was slightly affected with *Lagenaria* by presenting a lower-intensity red color. The quality of the fruits, during the 14 days of storage, changed in firmness, °Brix and pulp color. The L43, L46 and L48 rootstocks were identified as the most promising to reduce weight loss, retain firmness and maintain pulp color. On the other hand, L54 and L56 promoted °Brix content, but slightly diminished pulp color.

Keywords:

Citrullus lanatus, *Lagenaria siceraria*, grafting, storage.

Resumen

El cultivo de sandía injertada se ha difundido en diferentes partes del mundo con el fin de mejorar la producción en condiciones adversas; sin embargo, esta técnica puede alterar la calidad del fruto. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de ocho portainjertos, seis criollos de *Lagenaria siceraria* (L43, L46, L48, L50, L54 y L56) y dos comerciales de calabaza (Super shintosa y TZ 148), además de la planta testigo (sin injerto), en la calidad poscosecha de sandía Tri-X 313. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial y tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron peso de fruto, firmeza, sólidos solubles totales y color de pulpa. La calidad poscosecha de los frutos no se modificó por el injerto; sin embargo, incrementó 44 % el peso en fruto, con excepción de L50. La firmeza de la pulpa se favoreció 29 % con Super shintosa. Los °Brix incrementaron 7 % con L54 y L56. La coloración de la pulpa fue ligeramente afectada con *Lagenaria* al presentar color rojo de intensidad menor. La calidad de los frutos, durante los 14 días de almacenamiento, cambió en firmeza, °Brix y coloración de la pulpa. Los portainjertos L43, L46 y L48 se identificaron como los más promisorios para reducir la pérdida de peso, conservar la firmeza y mantener el color de la pulpa. Por su parte, L54 y L56 favorecieron el contenido de °Brix, pero disminuyeron ligeramente el color de la pulpa.

Palabras clave: *Citrullus lanatus*, *Lagenaria siceraria*, injerto, almacenamiento.



Introduction

In recent years, grafted watermelon production has become widespread in several regions of the world. The progressive increase of this technology is due to the desirable characteristics of rootstocks, such as tolerance to soil diseases, low and high temperatures, and salinity (Boughalleb, Tarchoun, El Mbarki, & El Mahjoub, 2007; Schwarz, Roupshael, Colla, & Venema, 2010; Yetisir & Uygur, 2010), and the efficient use of water and nutrients (Roupshael, Cardarelli, Colla, & Rea, 2008; Colla, Roupshael, Marabelli, & Cardarelli, 2011). The rootstocks commonly used are interspecific hybrids (*Cucurbita maxima* × *Cucurbita moschata*) and *Lagenaria siceraria* (Myung-Lee et al., 2010), which favor fruit growth and yield (Yetisir, Kurt, Sari, & Tok, 2007; Yetisir & Uygur, 2009; Islam, Bashar, Howlader, Sarker, & Al-Mamun, 2013).

Internal fruit quality is a determining factor for the commercialization of watermelon. Physico-chemical characteristics such as soluble solids, firmness and color components vary depending on the variety (Pardo, Gómez, Tardáguila, Amo, & Varón, 1997). In grafted plants, quality has been found to be related to rootstock and variety (Petropoulos, Khah, & Passam, 2012; Petropoulos et al., 2014). Other researchers argue that there are no significant effects on the expression of internal quality attributes in watermelon; rather, the differences are given by the variety and sequence in fruit cutting (Camacho & Fernández, 2000). Also, the postharvest quality of watermelon varies according to handling procedures, temperature conditions and relative humidity during storage (Perkins-Veazie & Collins, 2006; Yau, Rosnah, Noraziah, Chin, & Osman, 2010). In general, the storage conditions are: 10 to 15 °C and relative humidity of 85 to 90 % (Risse et al., 1990). Some adverse effects on postharvest watermelon quality are accelerated ripening, reduced firmness, fruit discoloration, and reduced soluble solids content (Davis & Perkins-Veazie, 2005).

The use of *Lagenaria* and squash as rootstocks in watermelon production has been widely documented in several studies (Myung-Lee et al., 2010; Yetisir & Uygur, 2010); however, in terms of post-harvest quality, it is necessary to generate more information, especially on germplasm in Mexico since it has been little studied. The present work was carried out with the objective of evaluating the effect of eight rootstocks, six native *Lagenaria siceraria* varieties (L43, L46, L48, L50, L54 and L56) and two commercial squash varieties (Super shintosa and TZ 148), in addition to the plant (without grafting), on the post-harvest quality of watermelon variety Tri-X 313.

Materials and methods

This research was carried out in the Institute of Agricultural Sciences' Experimental Field at the

Introducción

En los últimos años, la producción de sandía injertada se ha generalizado en varias regiones del mundo. El aumento progresivo de esta tecnología se debe a las características deseables de los portainjertos, como tolerancia a enfermedades del suelo, temperaturas bajas y altas, y salinidad (Boughalleb, Tarchoun, El Mbarki, & El Mahjoub, 2007; Schwarz, Roupshael, Colla, & Venema, 2010; Yetisir & Uygur, 2010), así como el uso eficiente de agua y nutrientes (Roupshael, Cardarelli, Colla, & Rea, 2008; Colla, Roupshael, Marabelli, & Cardarelli, 2011). Los portainjertos empleados comúnmente son híbridos interespecíficos (*Cucurbita maxima* × *Cucurbita moschata*) y *Lagenaria siceraria* (Myung-Lee et al., 2010), los cuales favorecen el crecimiento y rendimiento de fruto (Yetisir, Kurt, Sari, & Tok, 2007; Yetisir & Uygur, 2009; Islam, Bashar, Howlader, Sarker, & Al-Mamun, 2013).

La calidad interna de los frutos es un factor determinante para la comercialización de la sandía. Las características fisicoquímicas como sólidos solubles, firmeza y componentes de color varían dependiendo de la variedad (Pardo, Gómez, Tardáguila, Amo, & Varón, 1997). En plantas injertadas se ha encontrado que la calidad está relacionada con el portainjerto y la variedad (Petropoulos, Khah, & Passam, 2012; Petropoulos et al., 2014). Otros investigadores argumentan que no existen efectos significativos sobre la expresión de los atributos internos de calidad en la sandía; más bien, las diferencias están dadas por la variedad y secuencia en el corte de los frutos (Camacho & Fernández, 2000). También, la calidad de la sandía después de cosechada varía según el manejo, condiciones de temperatura y humedad relativa durante el almacenamiento (Perkins-Veazie & Collins, 2006; Yau, Rosnah, Noraziah, Chin, & Osman, 2010). En general, las condiciones de almacenamiento son: de 10 a 15 °C y humedad relativa de 85 a 90 % (Risse et al., 1990). Algunos efectos adversos en la calidad de las sandías durante la poscosecha son maduración acelerada, reducción de firmeza, decoloración de la fruta y reducción del contenido de sólidos solubles (Davis & Perkins-Veazie, 2005).

El uso de *Lagenaria* y calabaza como portainjertos en la producción de sandía se ha documentado ampliamente en varias investigaciones (Myung-Lee et al., 2010; Yetisir & Uygur, 2010); sin embargo, en lo referente a calidad poscosecha es necesario generar más información, sobre todo de germoplasma en México ya que ha sido poco estudiado. El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de evaluar el efecto de ocho portainjertos, seis criollos de *Lagenaria siceraria* (L43, L46, L48, L50, L54 y L56) y dos comerciales de calabaza (Super shintosa y TZ 148), además de la planta (sin injerto), en la calidad poscosecha de sandía Tri-X 313.

Autonomous University of Baja California (ICA-UABC), Mexico, during the 2014 spring-summer growing season. Planting was made in an open field in clay soil with a pH of 7. Water and fertilization were supplied via drip irrigation. Fertilizer doses were applied according to the recommendations of Fernández-Cara (1998), 95-73-106 NPK, supplemented with 33 kg of CaO and 11 kg of MgO.

Watermelon (*Citrullus lanatus* [Thunb.] Matsum. & Nakai) seedlings of the hybrid Tri-X 313 were grafted onto native *Lagenaria siceraria* materials (L43, L46, L48, L50, L54 and L56), collected in different regions of Mexico (Table 1), and two commercial squash rootstocks (TZ 148 and Super shintosa). The cleft grafting technique was used (Maroto, Borrego, Miguel-Gómez, & Pomares-García, 2002). Ungrafted watermelon plants were used as the control. Watermelon variety 2800 was used as the pollinator of Tri-X 313, at a 3:1 ratio. Two bee (*Apis mellifera*) hives were established from the beginning of flowering to promote flower pollination. The harvest was based on maturity indicators: dried stipule and tendril near the fruit peduncle (Miguel et al., 2004). Twelve fruits were randomly taken per experimental unit for each treatment.

In the post-harvest fruit quality analysis, a completely randomized design with a factorial arrangement was used, considering the factors rootstocks and storage time. Eighteen treatments (Table 2) resulting from 8 rootstocks, one control and two storage periods (0 and 14 days) were evaluated. Each treatment was established in triplicate, considering three fruits per replicate. Storage conditions were 15 to 17 °C and relative humidity of 80 %. The evaluated variables were fruit weight and color, pulp firmness and color, and total soluble solids.

Firmness (Newton) was quantified with a Chatillon DFE-100 digital force gauge (AMETEK Inc., USA). The content of total soluble solids (°Brix) was determined

Materiales y métodos

La presente investigación se realizó en el Campo Experimental del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), México, durante el ciclo primavera-verano de 2014. La plantación se realizó en campo abierto en suelo arcilloso y pH de 7. El agua y fertilización se suministraron en riego por goteo. Las dosis de fertilizante se aplicaron de acuerdo con las recomendaciones de Fernández-Cara (1998), 95-73-106 NPK, complementada con 33 kg de CaO y 11 kg de MgO.

Se injertaron plántulas de sandía (*Citrullus lanatus* [Thunb.] Matsum. & Nakai) del híbrido Tri-X 313 sobre materiales criollos de *Lagenaria siceraria* (L43, L46, L48, L50, L54 y L56), colectados en diferentes regiones de México (Cuadro 1), y en dos portainjertos comerciales de calabaza (TZ 148 y Super shintosa). La técnica de injerto empleada fue de púa (Maroto, Borrego, Miguel-Gómez, & Pomares-García, 2002). Se utilizaron plantas de sandía sin injerto como control. Se empleó la variedad de sandía 2800 como polinizador de la Tri-X 313, en una relación 3:1. Para favorecer la polinización de las flores se establecieron dos colmenas de abejas (*Apis mellifera*) desde el inicio de la floración. La cosecha se realizó con base en indicadores de madurez: secado de estipula y zarcillo próximo al pedúnculo del fruto (Miguel et al., 2004). Se tomaron doce frutos al azar por cada unidad experimental para cada tratamiento.

En el análisis de calidad poscosecha de frutos, se utilizó el diseño completamente al azar con arreglo factorial, considerando los factores portainjertos y tiempo de almacenamiento. Se evaluaron 18 tratamientos (Cuadro 2) que resultaron de 8 portainjertos, un testigo y dos periodos de almacenamiento (0 y 14 días). Cada tratamiento se estableció por triplicado, considerando tres frutos por repetición. Las condiciones de almacenamiento fueron de 15 a 17 °C y humedad relativa de 80 %. Las variables evaluadas fueron peso

Table 1. Provenance and geographical location of *L. siceraria* collections.

Cuadro 1. Procedencia y localización geográfica de colectas de *L. siceraria*.

Rootstock/ Portainjerto	Provenance/ Procedencia	Coordinates/Coordenadas		Elevation (masl)/ Altitud (msnm)
		North latitude/ Latitud norte	West longitude/ Longitud oeste	
L43	Poblado Díaz Ordaz, Ensenada, Baja California	30° 30' 22.20"	115° 56' 09.11"	13
L46	Silacayoapan, Oaxaca	17° 30' 08.47"	98° 08' 18.40"	1661
L48	Camalu, Baja California	30° 50' 22.76"	116° 03' 53.39"	27
L50	Camalu, Baja California	30° 03' 20.48"	116° 03' 53.57"	26
L54	Río Verde, San Luis Potosí	21° 53' 40.34"	100° 02' 48.86"	1011
L56	Cuatla, Morelos	18° 48' 46.07"	98° 57' 55.40"	1289

Table 2. Relationship of treatments obtained from the rootstock combination and storage days of watermelon fruits. Cuadro 2. Relación de tratamientos obtenidos de la combinación portainjertos y días de almacenamiento de frutos de sandía.

Rootstock/ Portainjerto	Storage days/Días de almacenamiento	
	0 days/0 días	14 days/14 días
Control	T1*	T10
Tz-148	T2	T11
Super shintosa	T3	T12
L 43	T4	T13
L 46	T5	T14
L 48	T6	T15
L 50	T7	T16
L 54	T8	T17
L56	T9	T18

*Rootstock combination and storage day.

*Combinación portainjerto y día de almacenamiento.

with a Digital Reichert AR200 refractometer (Reichert Inc., New York, USA). Color was obtained using an X-Rite SP62 sphere spectrophotometer (X-Rite Inc., USA), which expresses values as L*, C* and °h, where: L* (lightness) defines color clarity, C* (chroma) indicates color saturation and °h (hue) indicates hue angle (X-Rite, 2002). The data were subjected to analysis of variance and comparison of means in the Statistical Analysis System program (2009), using the Tukey test ($P \leq 0.05$) for the comparison of means.

Results and discussion

The postharvest quality of watermelons evaluated at the beginning and end of the period (14 days) was not altered by the storage time and grafted plant condition interaction ($P \leq 0.05$). However, when independently considering the species of rootstocks employed and the storage time in relation to the control plant, different behaviors were observed (Table 3).

Fruit weight increased by 44 % (Table 4); this variation is associated with grafting ($P \leq 0.001$). The superiority of the grafted plant was mostly expressed with *Cucurbita* rootstocks, where the increase was 55 % ($P \leq 0.001$), while when using *Lagenaria* the increases were 40 % ($P \leq 0.001$). However, the fruit weight response in both rootstock species was not significant ($P = 0.053$). Regarding the specific behavior of the rootstocks, the ones with the greatest increase in fruit weight were Super shintosa, L54 and L56 (Table 5). Fruit weight was a parameter that did not vary significantly ($P \leq 0.05$) due to the storage effect, although the tendency was to fall by up to 1.2 % (Table 5).

y color de fruto, firmeza y color de pulpa, y sólidos solubles totales.

La firmeza (Newton) se cuantificó con un medidor de fuerza digital Chatillon DFE-100 (AMETEK Inc., USA). El contenido de sólidos solubles totales (°Brix) se determinó con un refractómetro Digital Reichert AR200 (Reichert Inc., New York, USA). El color se obtuvo utilizando un espectrofotómetro de esfera X-Rite SP62 (X-Rite Inc., USA), el cual expresa los valores como L*, C* y °h, donde: L* (luminosidad) define la claridad del color, C* (cromaticidad) indica la saturación del color y °h (hue) indica el ángulo de tono (X-Rite, 2002). Los datos se sometieron a un análisis de varianza y comparación de medias en el programa *Statistical Analysis System* (2009), empleando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la comparación de medias.

Resultados y discusión

La calidad poscosecha de la sandía evaluada al inicio y al final del periodo (14 días), no se alteró por la interacción tiempo de almacenamiento y condición de planta injertada ($P \leq 0.05$). Sin embargo, al considerar de manera independiente las especies de portainjertos empleadas y el tiempo de almacenamiento en relación con la planta testigo, se tuvieron diferentes comportamientos (Cuadro 3).

El peso de fruto presentó un incremento de 44 % (Cuadro 4), dicha variación está asociada al injerto ($P \leq 0.001$). La superioridad de la planta injertada se expresó mayormente con portainjertos de *Cucurbita*, donde el aumento fue de 55 % ($P \leq 0.001$); mientras

Table 3. Analysis of variance of pulp quality parameters in watermelon variety Tri-X 313 under normal and grafted condition.

Cuadro 3. Análisis de varianza de parámetros de calidad de pulpa en sandía variedad Tri-X 313 bajo condición normal e injertada.

Source of variation/ Fuente de variación	Fruit weight/ Peso de fruto	Firmness/ Firmeza	Soluble solids/ Sólidos solubles	Color Attributes/Atributos de Color		
				Lightness/ Luminosidad	Chroma/ Cromaticidad	Hue
Rootstock (P)/ Portainjerto (P)	***	***	*	**	ns	*
Storage (A)/ Almacenamiento (A)	ns	***	ns	**	***	***
P x A	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns = not significant, * = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, *** = $P \leq 0.001$

ns = no significativo, * = $P \leq 0.05$, ** = $P \leq 0.01$, *** = $P \leq 0.001$

Table 4. Average and orthogonal contrast of pulp quality parameters in watermelon variety Tri-X 313 under normal and grafted condition.

Cuadro 4. Promedio y contraste ortogonal de parámetros de calidad de pulpa en sandía variedad Tri-X 313 en condición normal e injertada.

Variables	Treatments/Tratamientos				Contrast (P value)/ Contraste (Valor de P)			
	Control/ Testigo	GP*/ PI*	GP	GP	C1	C2	C3	C4
			Cucurbita/ PI	Lagenaria/ GP				
Fruit weight (kg)/ Peso de fruto (kg)	4.50	6.48	6.96	6.32	<0.001	<0.001	<0.001	0.053
Firmness (N)/Firmeza (N)	13.86	13.90	16.54	13.03	0.954	0.010	0.345	<0.001
Soluble solids (°Brix)/ Sólidos solubles (°Brix)	11.63	12.10	11.77	12.21	0.093	0.671	0.043	0.040
Lightness (L*)/Luminosidad (L*)	49.08	49.15	47.28	49.77	0.944	0.100	0.469	0.001
Chroma (C*)/Cromaticidad (C*)	27.68	27.34	27.43	27.31	0.701	0.810	0.680	0.854
Hue (°h)	46.39	49.05	46.95	49.74	0.043	0.702	0.014	0.007

*GP = grafted plant, C1 = normal plant vs. grafted plant, C2 = normal plant vs. grafted *Cucurbita* plant, C3 = normal plant vs. grafted *Lagenaria* plant, C4 = grafted *Cucurbita* plant vs. grafted *Lagenaria* plant.

*PI = planta injertada, C1 = planta normal vs. planta injertada, C2 = planta normal vs. planta injertada *Cucurbita*, C3 = planta normal vs. planta injertada *Lagenaria*, C4 = planta injertada *Cucurbita* vs. planta injertada *Lagenaria*.

These results show that grafting is an alternative to increase fruit weight, but it depends on the rootstock used. Similar results were reported by Alan, Ozdemir, and Gunen (2007), who recorded higher fruit weight in plants grafted onto *Lagenaria* and *Cucurbita* hybrids under microtunnel conditions. Perkins-Veazie and Collins (2006) and Yau et al. (2010) documented 1-2 % weight loss in watermelon fruit due to the effect of the storage period. The weight reduction is attributed to moisture loss by evaporation through the fruit epidermis (Yau et al., 2010), which is related to the presence of a wax layer (n-paraffin) in the fruit epicarp that acts as a moisture barrier (Panchev, Pashova, Radev, Petrov, & Kovacheva, 2014).

que al emplear *Lagenaria*, los incrementos fueron de 40 % ($P \leq 0.001$). No obstante, la respuesta en peso de fruto en entre ambas especies de portainjertos no fue significativa ($P = 0.053$). En cuanto al comportamiento específico de los portainjertos, los de mayor incremento en el peso de fruto fueron Super shintosa, L54 y L56 (Cuadro 5). El peso del fruto fue un parámetro que no varió significativamente ($P \leq 0.05$) por efecto del almacenamiento, aunque la tendencia fue reducir hasta 1.2 % (Cuadro 5).

Con estos resultados se demuestra que el injerto es una alternativa para incrementar el peso de los frutos; sin embargo, depende del portainjerto utilizado.

Table 5. Quality parameters of grafted and ungrafted watermelon fruits stored at 0 and 14 days (15 to 17 °C).

Cuadro 5. Parámetros de calidad de frutos de sandía injertada y sin injertar almacenados a los 0 y 14 días (de 15 a 17 °C).

Rootstock/ Portainjerto	Fruit weight (kg)/ Peso de fruto (kg)			Firmness (N)/ Firmeza (N)			Total soluble solids (°Brix)/ Sólidos solubles totales (°Brix)		
	0	14	Mean/ Media	0	14	Mean/ Media	0	14	Mean/ Media
Control	4.53	4.47	4.50 c ^z	14.34	13.37	13.86 bc	11.73	11.53	11.63 bc
Tz-148	6.40	6.32	6.36 b	17.52	12.89	15.20 b	12.15	12.44	12.30 ab
Super shintosa	7.59	7.51	7.55 a	19.54	16.20	17.87 a	11.29	11.18	11.24 c
L 43	6.32	6.26	6.29 b	14.08	11.87	12.98 bc	11.78	12.62	12.20 ab
L 46	6.10	6.03	6.06 b	15.23	13.85	14.54 b	11.79	11.89	11.84 abc
L 48	6.46	6.36	6.41 b	14.38	12.70	13.54 bc	11.86	11.92	11.89 abc
L 50	4.73	4.68	4.70 c	12.66	11.33	12.00 c	12.18	12.54	12.36 ab
L 54	7.83	7.75	7.79 a	13.72	12.70	13.21 bc	12.50	12.60	12.55 a
L56	6.72	6.64	6.68 ab	13.09	10.71	11.90 c	12.46	12.41	12.44 a
Mean/Media	6.30	6.22		14.95 A [§]	12.85 B		12.13	11.97	

^zMeans with the same letters in the same column do not differ statistically ($P \leq 0.05$).

[§]Means with the same letters in the same row do not differ statistically ($P \leq 0.05$).

^zMedias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$).

[§]Medias con letras iguales en la misma fila no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$).

Pulp firmness showed significant statistical differences ($P \leq 0.001$) due to grafting and storage time (Table 3). The combination of watermelon plus *Cucurbita* rootstock generated greater firmness compared to the control ($P = 0.001$), while the *Lagenaria* rootstocks did not show significant variations ($P = 0.345$) (Table 4). This behavior was also evident when comparing both species, where *Cucurbita* was 30 % firmer than *Lagenaria* ($P \leq 0.001$). The rootstock with the greatest increase in firmness was Super shintosa (Table 5), which surpassed the control plant by 29 %.

As for the storage effect, in general, firmness losses of 14 % ($P \leq 0.05$) were obtained, with TZ 148 fruits having the greatest deterioration. Similar results were highlighted by Huitrón-Ramírez, Ricárdez-Salinas, and Camacho-Ferre (2009), who recorded increases of up to 23 % in pulp firmness when using the Shintosa Camelforce (*Cucurbita* hybrid) rootstock with the Tri-X 313 variety. Álvarez-Hernández, Castellanos-Ramos, Aguirre-Mancilla, Huitrón-Ramírez, and Camacho-Ferre (2015) found increases of 4.3 to 18.8 % in pulp firmness in triploid watermelon variety Crunchy Red grafted onto Super shintosa. Likewise, it has been determined that *Lagenaria* rootstocks do not alter the consistency of watermelon pulp (Yetisir, Sari, & Yucel, 2003). Bruton, Fish, Roberts, and Popham (2009) agree in pointing out that fruit firmness in triploid watermelon grafted onto *Lagenaria* "RS1332" is not significantly modified.

The content of total soluble solids was modified with the rootstocks ($P \leq 0.05$), while the storage period had

Resultados similares fueron reportados por Alan, Ozdemir, y Gunen (2007), quienes registraron mayor peso de fruto en plantas injertadas en *Lagenaria* e híbridos de *Cucurbita* bajo condiciones de microtúnel. Perkins-Veazie y Collins (2006) y Yau et al. (2010) documentaron la pérdida de peso de 1 a 2 % en frutos de sandía por efecto del periodo de almacenamiento. La reducción de peso se atribuye a la pérdida de humedad por evaporación a través de la epidermis de la fruta (Yau et al., 2010), lo cual se relaciona con la presencia de una capa de cera (n-parafina) en el epicarpio de la fruta que actúa como barrera de la humedad (Panchev, Pashova, Radev, Petrov, & Kovacheva, 2014).

La firmeza de la pulpa presentó diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.001$) por el injerto y el tiempo de almacenamiento (Cuadro 3). La combinación de sandía más portainjerto de *Cucurbita* generó mayor firmeza en comparación con el testigo ($P = 0.001$); en tanto, los portainjertos de *Lagenaria* no mostraron variaciones significativas ($P = 0.345$) (Cuadro 4). Este comportamiento también fue evidente al comparar ambas especies, donde *Cucurbita* fue 30 % más firme con respecto de *Lagenaria* ($P \leq 0.001$). El portainjerto con mayor incremento en firmeza fue Super shintosa (Cuadro 5), el cual superó en 29 % a la planta control.

En cuanto al efecto del almacenamiento, en general, se tuvieron pérdidas de 14 % de firmeza ($P \leq 0.05$), identificándose a TZ 148 con los frutos con deterioro mayor. Resultados similares fueron destacados por Huitrón-Ramírez, Ricárdez-Salinas, y Camacho-Ferre

no significant effect ($P \geq 0.05$) (Table 3). The grafted condition with *Lagenaria* rootstocks (Table 4) was 4 and 5 % higher in °Brix compared to *Cucurbita* ($P = 0.040$) and ungrafted plants ($P = 0.043$). The L54 and L56 rootstocks had a greater content of total soluble solids (12.55 and 12.44 °Brix, respectively), while Super shintosa and the control showed values of 11.24 and 11.63 °Brix, respectively (Table 5).

Consistent with these results, Karaca et al. (2012) and Candir, Yetisir, Karaka, and Ustun (2013) showed that there are *Lagenaria* genotypes that can favor °Brix content in watermelon. Yetisir and Sari (2003) and Yetisir et al. (2003) recorded statistically similar values in commercial hybrid rootstocks of *Lagenaria* and the normal condition. Other studies agree that the soluble solids content is not affected in triploid watermelons on hybrid rootstocks of *Cucurbita* in the combinations “Reina de Corazones/Shintosa”, “Tri-X 313/Shintosa Camelforce” and “Crunchy Red/Super Shintosa” (Miguel et al., 2004; Huitrón-Ramírez et al., 2009; Álvarez-Hernández et al., 2015).

Watermelon pulp color varied with the rootstock and storage period (Table 3). Among the components that make up this parameter, pulp hue angle varied between grafted and ungrafted plants ($P = 0.043$), with the fruits of plants grafted with *Lagenaria* exhibiting a less-intense red color ($P = 0.014$), while with *Cucurbita* (Super shintosa and TZ 148) there were no significant statistical differences ($P = 0.701$) in pulp hue. The species *Lagenaria siceraria* was identified as having the lowest

(2009), quienes registraron aumentos de hasta 23 % en firmeza de pulpa al utilizar el portainjerto Shintosa Camelforce (híbrido de *Cucurbita*) en la variedad Tri-X 313. Por su parte, Álvarez-Hernández, Castellanos-Ramos, Aguirre-Mancilla, Huitrón-Ramírez, y Camacho-Ferre (2015) encontraron incrementos de 4.3 a 18.8 % en firmeza de pulpa en sandía triploide variedad Crunchy Red injertada sobre Super shintosa. Igualmente, se ha evidenciado que portainjertos de *Lagenaria* no alteran la consistencia de la pulpa de sandía (Yetisir, Sari, & Yucel, 2003). Bruton, Fish, Roberts, y Popham (2009) coinciden en señalar que al evaluar la firmeza de los frutos en sandía triploide injertada sobre *Lagenaria* “RS1332” esta característica no se modifica de manera significativa.

El contenido de sólidos solubles totales se modificó con los portainjertos ($P \leq 0.05$); mientras que el periodo de almacenamiento no influyó de manera significativa ($P \geq 0.05$) (Cuadro 3). La condición injertada con portainjertos de *Lagenaria* favoreció de 4 a 5 % los °Brix con respecto a los de *Cucurbita* ($P = 0.040$) y testigo ($P = 0.043$), respectivamente (Cuadro 4). Los portainjertos L54 y L56 presentaron contenido mayor de sólidos solubles totales (12.55 y 12.44 °Brix, respectivamente); mientras que el Super shintosa y el testigo exhibieron valores de 11.24 y 11.63 °Brix, respectivamente (Cuadro 5).

En concordancia con estos resultados, Karaca et al. (2012) y Candir, Yetisir, Karaka, y Ustun (2013) demostraron que existen genotipos de *Lagenaria* que pueden favorecer el contenido de °Brix en sandía. Yetisir y Sari (2003) y Yetisir et al. (2003) registraron

Table 6. Pulp color parameters in grafted and ungrafted watermelon fruits stored at 0 and 14 days (15 to 17 °C).

Cuadro 6. Parámetros de coloración de pulpa en frutos de sandía injertada y sin injertar almacenados a los 0 y 14 días (de 15 a 17 °C).

Rootstock/ Portainjerto	Lightness (L*)/Luminosidad (L*)			Chroma (C*)/Cromaticidad (C*)			Hue (°h)		
	0	14	Mean/ Media	0	14	Mean/ Media	0	14	Mean/ Media
Control	47.14	51.03	49.08 bcd ^z	30.20	25.15	27.68	43.12	49.65	46.39 c
Tz-148	45.37	48.83	47.10 d	28.70	26.49	27.60	42.22	51.31	46.76 bc
Super shintosa	46.10	48.80	47.45 cd	27.92	26.62	27.27	44.98	49.31	47.14 bc
L 43	50.64	48.87	49.76 abc	26.63	25.86	26.25	45.73	49.90	47.81 bc
L 46	47.07	49.68	48.37 cd	27.00	25.51	26.26	47.23	52.45	49.84 ab
L 48	48.35	54.36	51.36 ab	30.88	24.90	27.89	48.16	50.52	49.34 abc
L 50	48.00	48.76	48.38 cd	28.59	27.05	27.82	48.73	50.76	49.75 abc
L 54	48.85	48.26	48.56 cd	29.91	27.35	28.63	49.82	53.47	51.65 a
L56	51.98	52.45	52.22 a	27.94	26.05	27.00	48.92	51.23	50.08 ab
Mean/Media	48.17 B ^s	50.12 A		28.64 A	26.11 B		46.55 A	50.95 B	

^zMeans with the same letters in the same column do not differ statistically ($P \leq 0.05$).

^sMeans with the same letters in the same row do not differ statistically ($P \leq 0.05$).

^zMedias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$).

^sMedias con letras iguales en la misma fila no difieren estadísticamente ($P \leq 0.05$).

hue ($P = 0.007$) and greatest lightness ($P = 0.001$) in pulp compared to *Cucurbita* (Table 4). However, when comparing the different rootstocks, *Lagenaria* L43 was identified with similar characteristics in pulp color to the ungrafted plant (Table 6).

Fruits under storage conditions presented a pulp color transition from bright red to orange-red, opaque and clear. This variation was not related to the normal and grafted condition of the plants. The changes observed in hue ($\Delta^{\circ}h = 4.40$), lightness ($\Delta L^* = 1.95$) and chroma ($\Delta C^* = -2.53$) resulted from the storage days (15 to 17 °C, Table 6). These results coincide with those reported by Karaca et al. (2012), who found a change in color from bright red to orange-red, arguing that this change is associated with the progressive level of senescence as a result of the days spent during storage, in addition to the temperature conditions present (Gil, Aguayo, & Kader, 2006; Perkins-Veazie & Collins, 2006).

Conclusion

The postharvest quality of the watermelon fruits was not modified by the grafted condition. Grafting induces greater fruit weight, pulp firmness and °Brix. Pulp color was slightly affected by the *Lagenaria* rootstocks by presenting pulp with a less-intense red color in relation to the control plant fruits. Fruit quality due to the effect of storage (14 days, 15 to 17 °C) varied in firmness, °Brix and pulp color. The L43, L46 and L48 rootstocks of *Lagenaria* were identified as the most promising ones to reduce weight loss, retain firmness and maintain pulp color. For their part, L54 and L56 favor °Brix content, but they slightly diminish pulp color. The native *L. siceraria* variety rootstocks represent a potential genetic resource that can be integrated into breeding programs for the commercial production of grafted watermelon.

Acknowledgments

The authors are grateful to the Autonomous University of Baja California for the support granted through the "17th Internal Call for Research Projects."

End of English version

References / Referencias

- Alan, O., Ozdemir, N., & Gunen, Y. (2007). Effect of grafting on watermelon plant growth, yield and quality. *Journal of Agronomy*, 6(2), 362-365. doi: 10.3923/ja.2007.362.365
- Álvarez-Hernández, J. C., Castellanos-Ramos, J. Z., Aguirre-Mancilla, C. L., Huitrón-Ramírez, M. V., & Camacho-Ferre, F. (2015). Influence of rootstocks on fusarium wilt, nematode infestation, yield and fruit quality in

valores estadísticamente similares en portainjertos híbridos comerciales de *Lagenaria* y la condición normal. Otras investigaciones concuerdan en que, el contenido de sólidos solubles no es afectado en sandías triploides sobre portainjertos híbridos de *Cucurbita*, en las combinaciones "Reina de Corazones/Shintosa", "Tri-X 313/Shintosa Camelforce" y "Crunchy Red/Super Shintosa" (Miguel et al., 2004; Huitrón-Ramírez et al., 2009; Álvarez-Hernández et al., 2015).

La coloración de la pulpa de sandía varió con el portainjerto y periodo de almacenamiento (Cuadro 3). Entre los componentes que integran este parámetro, el tono de la pulpa (ángulo hue) varió entre planta injertada y sin injerto ($P = 0.043$), exhibiéndose menor color rojo en frutos de planta injertada con *Lagenaria* ($P = 0.014$); en tanto que con *Cucurbita* (Super shintosa y TZ 148) no se tuvieron diferencias estadísticas significativas ($P = 0.701$) en matiz de la pulpa. La especie *Lagenaria siceraria* se identificó como la de menor tonalidad ($P = 0.007$) y mayor luminosidad ($P = 0.001$) en la pulpa en comparación con *Cucurbita* (Cuadro 4). Sin embargo, al comparar los diferentes portainjertos, se identificó a *Lagenaria* L43 con características similares en el color de la pulpa a la planta sin injerto (Cuadro 6).

Los frutos en condiciones de almacenamiento presentaron una transición de color de pulpa de rojo brillante a rojo anaranjado, opaco y claro. Esta variación no se relacionó con la condición normal e injertada de las plantas. Los cambios observados en el tono ($\Delta^{\circ}h = 4.40$), luminosidad ($\Delta L^* = 1.95$) y cromaticidad ($\Delta C^* = -2.53$) fue producto de los días de almacenamiento (de 15 a 17 °C, Cuadro 6). Estos resultados coinciden con los reportados por Karaca et al. (2012), quienes encontraron cambio de coloración rojo brillante a rojo anaranjado argumentando que este cambio está asociado al nivel progresivo de senescencia como resultado de los días transcurridos durante el almacenamiento, además de las condiciones de temperatura presentes (Gil, Aguayo, & Kader, 2006; Perkins-Veazie & Collins, 2006).

Conclusión

La calidad poscosecha de los frutos de sandía no se modificó por la condición injertada. El injerto induce mayor peso de fruto, firmeza de pulpa y °Brix. La coloración de la pulpa fue afectada ligeramente por portainjertos de *Lagenaria* al presentar pulpa de color menos rojo en relación con los frutos de plantas testigo. La calidad de los frutos por efecto del almacenamiento (14 días, 15 a 17 °C) varió en firmeza, °Brix y coloración de la pulpa. Los portainjertos L43, L46 y L48 de *Lagenaria*, se identificaron como los más promisorios para reducir la pérdida de peso, conservar la firmeza y mantener el color de la pulpa. Por su parte, L54 y L56 favorecen el contenido de °Brix, pero disminuyen ligeramente el

- watermelon production. *Ciência e Agrotecnologia Journal*, 39(4), 323-330. doi: 10.1590/S1413-70542015000400002
- Boughalleb, N., Tarchoun, N., El Mbarki, A., & El Mahjoub, M. (2007). Resistance evaluation of nine cucurbit rootstocks and grafted watermelon (*Citrullus lanatus* L.) varieties against Fusarium wilt and Fusarium crown and root rot. *Journal of Plant Sciences*, 2(1), 102-107. doi: 10.3923/jps.2007.102.107
- Bruton, B. D., Fish, W. W., Roberts, W., & Popham, T. W. (2009). The influence of rootstock selection on fruit quality attributes of watermelon. *The Open Food Science Journal*, 3, 15-34. doi: 10.2174/1874256400903010015
- Camacho, F., & Fernández, E. J. (2000). *El cultivo de sandía apirena injertada, bajo invernadero, en el litoral mediterráneo español*. España: Mundi-prensa. Retrieved from <http://www.publicacionescajamar.es/pdf/series-tematicas/agricultura/el-cultivo-de-sandia-apirena-injertada.pdf>
- Candir, E., Yetisir, H., Karaka, F., & Ustun, D. (2013). Phytochemical characteristics of grafted watermelon on different bottle gourds (*Lagenaria siceraria*) collected from the Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37, 443-456. doi: 10.3906/tar-1207-21
- Colla, G., Roupshael, Y., Marabelli, C., & Cardarelli, M. (2011). Nitrogen-use efficiency traits of mini-watermelon in response to grafting and nitrogen-fertilization doses. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174, 933-941. doi: 10.1002/jpln.201000325
- Davis, A. R., & Perkins-Veazie, P. (2005). Rootstock effects on plant vigor and watermelon fruit quality. *Cucurbit Genetics Cooperative Report*, 28, 39-42. Retrieved from <http://cuke.hort.ncsu.edu/cgc/cgc2829/cgc2829-11.pdf>
- Fernández-Cara, C. (1998). *Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos del Sureste Español*. Almería: Caja Rural de Almería.
- Gil, M. I., Aguayo, E., & Kader, A. A. (2006). Quality changes and nutrient retention in fresh-cut versus whole fruits during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4284-4296. doi: 10.1021/jf060303y
- Huitrón-Ramírez, M. V., Ricárdez-Salinas, M., & Camacho-Ferre, F. (2009). Influence of grafted watermelon plant density on yield and quality in soil infested with melon necrotic spot virus. *Hortscience*, 44(7), 1838-1841. doi: 10.17660/ActaHortic.2011.917.36
- Islam, M. S., Bashir, H. M. K., Howlader, M. I. A., Sarker, J. U., & Al-Mamun, M. H. (2013). Effect of grafting on watermelon growth and yield. *Khon Kaen Agriculture Journal*, 41(1), 284-289. Retrieved from <http://anchan.lib.ku.ac.th/agnet/bitstream/001/5793/1/KAJ-41-Sup1-2556-p284-289.pdf>
- Karaca, F., Yetisir, H., Solmaz, I., Candir, E., Kurt, S., & Sari, N. (2012). Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, yield and quality. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 36(2), 167-177. doi: 10.3906/tar-1101-1716
- Maroto, J. V., Borrego, I., Miguel-Gómez, A., & Pomares-García, F. (2002). *El cultivo de la sandía*. México: Mundi-Prensa.
- color de la pulpa. Los portainjertos criollos de *L. siceraria* representan un recurso genético potencial que puede ser integrado a programas de mejoramiento para la producción comercial de sandía injertada.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo otorgado a través de la "17ª Convocatoria Interna de Proyectos de Investigación".

Fin de la versión en español

- Miguel, A., Maroto, J. V., San Bautista, A., Baixauli, C., Cebolla, V., Pascual, B., López, S., & Guardiola, J. L. (2004). The grafting of triploid watermelon is an advantageous alternative to soil fumigation by methyl bromide for control of *Fusarium* wilt. *Scientia Horticulturae*, 103(1), 9-17. doi: 10.1016/j.scienta.2004.04.007
- Myung-Lee, J., Kubota, C., Tsao, S. J., Bie, Z., Hoyos-Echevarria, P., Morra, L., & Oda, M. (2010). Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 93-105. doi: 10.1016/j.scienta.2010.08.003
- Panchev, I. N., Pashova, S. D., Radev, R. S., Petrov, D. N., & Kovacheva, D. G. (2014). Physical studies of plant wax from watermelon. *Bulgarian Chemical Communications*, 46(B), 20-24. Retrieved from http://bcc.bas.bg/BCC_Volumes/Volume_46_Special_B_2014/BCC-46-B-20-24-2.pdf
- Pardo, J. E., Gómez, R., Tardáguila, J., Amo, M., & Varón, R. (1997). Quality evaluation of watermelon varieties (*Citrullus vulgaris* S.). *Journal of Food Quality*, 20(6), 547-557. doi: 10.1111/j.1745-4557.1997.tb00495.x
- Perkins-Veazie, P., & Collins, J. K. (2006). Carotenoid changes of intact watermelons after storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(16), 5868-5874. doi: 10.1021/jf0532664
- Petropoulos, S. A., Khah, E. M., & Passam, H. C. (2012). Evaluation of rootstocks for watermelon grafting with reference to plant development, yield and fruit quality. *International Journal of Plant Production*, 6(4), 481-492. Retrieved from http://www.sid.ir/en/VEWSSID/J_pdf/124220120406.pdf
- Petropoulos, S. A., Olympios, C., Ropokis, A., Vlachou, G., Ntatsi, G., Paraskevopoulos, A., & Passam, H. C. (2014). Fruit volatiles, quality, and yield of watermelon as affected by grafting. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(4), 873-885. Retrieved from http://journals.modares.ac.ir/article_10893_5044.html
- Risse, L. A., Brecht, J. K., Sargent, S. A., Locascio, S. J., Crall, J. M., Elmstrom, G. W., & Maynard, D. N. (1990). Storage characteristics of small watermelon cultivars. *American Society for Horticultural Science*, 115(3), 440-443. Retrieved from <http://journal.ashspublications.org/content/115/3/440.full.pdf>

- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Colla, G., & Rea, E. (2008). Yield, mineral composition, water relations, and water use efficiency of grafted mini-watermelon plants under deficit irrigation. *Hortscience*, 43(3), 730-736. Retrieved from <http://hortsci.ashspublications.org/content/43/3/730.full.pdf>
- Schwarz, D., Rouphael, Y., Colla, G., & Venema, J. H. (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 162-171. doi: 10.1016/j.scienta.2010.09.016
- Statistical Analysis System (SAS Institute). (2009). *SAS User's Guide, version 9.1*. Cary, N.C., USA: Author.
- X-Rite, Incorporated (2002). *Guía para entender la comunicación del color*. Michigan, USA: Author. Retrieved from http://www.mcolorcontrol.com/archivos/L10-001_Understand_Color_es.pdf
- Yau, E. W., Rosnah, S., Noraziah, M., Chin, N. L., & Osman, H. (2010). Physico-chemical compositions of the red seedless watermelons (*Citrullus Lanatus*). *International Food Research Journal*, 17, 327-334. Retrieved from [http://www.ifrj.upm.edu.my/17%20\(02\)%202010/IFRJ-2010-327-334_Rosnah_UPM\[1\].pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/17%20(02)%202010/IFRJ-2010-327-334_Rosnah_UPM[1].pdf)
- Yetisir, H., & Sari, N. (2003). Effect of different rootstock on plant growth, yield and quality of watermelon. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(10), 1269-1274. doi: 10.1071/EA02095
- Yetisir, H., & Uygur, V. (2009). Plant growth and mineral element content of different gourd species and watermelon under salinity stress. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33, 65-77. doi: 10.3906/tar-0805-23
- Yetisir, H., & Uygur, V. (2010). Responses of grafted watermelon onto different gourd species to salinity stress. *Journal of Plant Nutrition*, 33(3), 315-327. doi: 10.1080/01904160903470372
- Yetisir, H., Kurt, F., Sari, N., & Tok, F. M. (2007). Rootstock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, graft compatibility, and resistance to *Fusarium*. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31(6), 381-388. Retrieved from <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/tbtkagriculture/article/viewFile/5000026461/5000026698>
- Yetisir, H., Sari, N., & Yucel, S. (2003). Rootstock resistance to fusarium wilt and effect on watermelon fruit yield and quality. *Phytoparasitica*, 31(2), 163-169. doi: 10.1007/BF02980786.