

Eficiencia del uso de portainjerto sobre el rendimiento y dinámica nutricional foliar de macronutrientes en pimiento morrón*

Efficiency of rootstock use on yield and leaf nutritional dynamics of macronutrients in bell pepper

Jonathan Acevedo-Chávez¹ y Esteban Sánchez-Chávez^{1§}

¹Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Delicias. Av. Cuarta Sur 3820, Fracc. Vencedores del Desierto, Cd. Delicias, Chihuahua, México. CP. 33089. [§]Autor para correspondencia: esteban@ciad.mx.

Resumen

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la eficiencia del uso de portainjerto sobre el rendimiento y dinámica nutricional foliar de macronutrientes en pimiento morrón. Se utilizaron las variedades comerciales de pimiento morrón Fascinato y Janette y el portainjerto comercial Terrano. El experimento se desarrolló en un sistema de malla sombra en Delicias, Chihuahua, México durante el ciclo de producción 2012. Los resultados indican que la combinación variedad-portainjerto Fascinato- Terrano y Janette- Terrano produjeron altos rendimientos en fruto, registrándose incrementos de 53.47% y 49.4% respectivamente en relación a las mismas variedades sin injertar. Asimismo, Fascinato injertado con Terrano, mostró el mejor estado nutricional y tuvo el máximo rendimiento, asumiéndose que el uso de portainjertos sería una técnica viable en la horticultura sustentable del futuro.

Palabras clave: *Capsicum annuum* L., pimiento morrón, portainjerto, productividad.

Abstract

The objective of this paper was to study the efficiency of rootstock use on yield and nutritional dynamics of macronutrients in bell pepper. Fascinato and Janette commercial varieties of bell pepper were used and a commercial Terrano rootstock. The experiment was carried out in a shade mesh system in Delicias, Chihuahua, Mexico during the production cycle of 2012. The results indicate that the variety-rootstock Fascinato-Terrano and Janette-Terrano produced the highest fruit yields, 53.47% and 49.40%, respectively, in relation to the same ungrafted varieties. Also, Fascinato grafted with Terrano, showed the best nutritional status that contributed to the maximum yield, assuming that the use of rootstocks could be a viable technique in the sustainable horticulture of the future.

Keywords: *Capsicum annuum* L., bell pepper, productivity, rootstock.

Antecedentes

En la actualidad, la producción de hortalizas es una actividad muy importante en el sector agrícola, siendo el pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) el séptimo de los principales cultivos hortícolas a nivel mundial, tanto por su valor económico como nutricional (FAO, 2015). En México, se cultiva una superficie de 2 641.43 ha de pimiento morrón con un rendimiento promedio de 42.08 t ha⁻¹, lo cual representa un valor económico de 519 321.21 millones de pesos (SIAP-SAGARPA, 2015). Sin embargo, para que la producción de pimiento sea más eficiente, se están implementando tecnologías innovadoras como la producción con malla sombra y el uso de portainjertos.

La tecnología del portainjerto se ha utilizado para enfrentar diferentes tipos de estreses entre los que se destacan evadir las enfermedades causadas por patógenos del suelo como nematodos (*Meloidogyne* spp.), tobamovirus y marchitez del chile (*Phytophthora capsici*), siendo este último uno de los principales motivos de su uso (Louws *et al.*, 2010). Además, se han empleado los portainjertos para mejorar del contenido nutricional en la parte aérea, reducir la absorción de contaminantes orgánicos persistentes de los suelos agrícolas, elevar la tolerancia a sales y a las inundaciones, limitar el efecto negativo de la toxicidad de Boro y Cobre, reducir las aplicaciones químicas o fertilizantes, incrementar la calidad de los frutos y mejorar la absorción de nutrientes y la nutrición mineral (Pulgar *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2010).

Por lo tanto, el conocer el comportamiento nutricional que tienen las variedades al ser injertadas puede ayudar en la elaboración de un programa de fertilización óptimo, también para mejorar la calidad del fruto, evitar un crecimiento excesivo de la planta y ser más eficiente en el aporte nutrimental. Por lo que, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la eficiencia del uso de portainjertos sobre el rendimiento y la dinámica nutricional foliar de macronutrientes en pimiento morrón (*Capsicum annum* L.).

Metodología

En el presente estudio, las hojas y el fruto de pimiento morrón injertado y no injertado fueron analizados para determinar el contenido nutricional de las plantas. Las muestras de pimiento fueron obtenidos de un cultivo comercial perteneciente a la

Background

Nowadays, vegetable production is a very important activity in the agricultural sector, with bell pepper (*Capsicum annum* L.) being the seventh of the world's major horticultural crops, both for its economic and nutritional value (FAO, 2015). In Mexico, an area of 2 641.43 ha of bell pepper is cultivated with an average yield of 42.08 t ha⁻¹, which represents an economic value of 519 321.21 million pesos (SIAP-SAGARPA, 2015). However, in order to make bell pepper production more efficient, innovative technologies such as shade mesh production and the use of rootstocks are being implemented.

Rootstock technology has been used to deal with different types of stresses, such as nematodes (*Meloidogyne* spp.), tobamovirus, and chylous wilt (*Phytophthora capsici*), the last one is the main reason for its use (Louws *et al.*, 2010). In addition, rootstocks have been used to improve nutrient content in the aerial part, to reduce the absorption of persistent organic pollutants from agricultural soils, to increase tolerance to salts and floods, to limit the negative effect of Boron and Copper toxicity, to reduce chemical applications or fertilizers, to increase fruit quality and improve nutrient uptake and mineral nutrition (Pulgar *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2010).

Therefore, knowing the nutritional behavior of the varieties whe being grafted can help in the development of an optimal fertilization program, also to improve the quality of the fruit, to avoid an excessive growth of the plant and to have a more efficient nutrimental contribution. Therefore, the objective of this paper was to evaluate the efficiency of the use of rootstocks on yield and nutritional dynamics of macronutrients in bell pepper (*Capsicum annum* L.).

Methodology

In this paper, the leaves and the fruit of grafted and ungrafted bell pepper were analyzed to determine the nutritional content of the plants. Pepper samples were obtained from a commercial crop belonging to the "Los Alamos" Agricultural Company developed under shade mesh during the 2012 production cycle in Delicias, Chihuahua, Mexico.

In this experiment, the commercial varieties of pepper (Syngenta Seed, Houston, TX, USA) were used, Fascinate (red fruits) and Janette (yellow fruits) grafted with the

Empresa Agrícola “Los Álamos” desarrollado bajo malla sombra, durante el ciclo de producción 2012 en Delicias, Chihuahua México.

En este experimento, se utilizaron las variedades comerciales de pimiento (Syngenta Seed, Houston, TX, USA) Fascinato (frutos rojos) y Janette (frutos amarillos) injertados con el patrón comercial Terrano (Syngenta Seeds) debido a su resistencia a la marchitez causada por el oomiceto *Phytophthora capsici*. Las semillas fueron sembradas en enero de 2012 y las variedades comerciales fueron injertadas 31 días después de la siembra. Cinco semanas después del injerto, las plantas fueron trasplantadas en casa sombra. En este estudio, el suelo usado tenía una textura arcillo-arenosa (29.84% de arcillas, 12.08% de limo y 57.36% de arena), N inorgánico de 50.17 ppm, P de 64.14 ppm, CIC de 32.5 meq 100 g⁻¹, CE de 0.84 dS m⁻¹, MO de 1.68% y pH de 7.72.

El programa de fertilización para un ciclo de 220 días consistió de la siguientes formas y tasas de aplicación: NH₄NO₃ (50.4 g m⁻²), UAN32 (37.7 g m⁻²), 5-30-00 (N-P-K) (56 g m⁻²), KNO₃ (44.8 g m⁻²), Ca (NO₃)₂ (162.3 g m⁻²), K₂SO₄ (201.3 g m⁻²) y MgSO₄ (107.5 g m⁻²) abasteciendo la fertilización con productos comerciales.

El diseño experimental fue en bloques al azar con cuatro tratamientos: (1) Fascinato injertado (Fascinato-Terrano); (2) Janette injertado (Janette-Terrano); (3) Fascinato no injertado; (4) Janette no injertado, estos dos últimos tratamientos fueron usados como control. Durante el ciclo de producción 2012 se realizaron siete muestreos: 29 de junio, 09 de julio, 06 de agosto, 20 de agosto, 03 de septiembre, 08 de octubre y 29 de octubre respectivamente.

Los frutos cosechados fueron clasificados como calidad comercial de acuerdo a la norma México Calidad Suprema (SAGARPA, 2012). Los nutrientes minerales analizados fueron: N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu, Zn y Ni. Los elementos fueron mineralizados por medio de una digestión triácida. Posteriormente se realizaron las lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica para todos los nutrientes minerales (Uvalle-Bueno, 1995).

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza. Para la diferencia entre las medias de los tratamientos se utilizó la prueba de LSD al 95% (SAS, 1987).

Terrano commercial pattern (Syngenta Seeds) due to its resistance to wilting caused by the *Phytophthora capsici* oomycete. Seeds were sown in January 2012 and commercial varieties were grafted 31 days after sowing. 5 weeks after grafting, the plants were transplanted into the shade house. In this study, the soil used had a clay-sandy texture (29.84% clays, 12.08% silt and 57.36% sand), inorganic N of 50.17 ppm, P of 64.14 ppm, CIC of 32.5 meq 100 g⁻¹, CE of 0.84 dS m⁻¹, MO of 1.68% and pH of 7.72.

The fertilization program for a 220-day cycle consisted of the following forms and application rates: NH₄NO₃ (50.4 g m⁻²), UAN32 (37.7 g m⁻²), 5-30-00 (N-P-K) (56 g m⁻²), KNO₃ (44.8 g m⁻²), Ca (NO₃)₂ (162.3 g m⁻²), K₂SO₄ (201.3 g m⁻²) and MgSO₄ (107.5 g m⁻²) providing fertilization with commercial products.

The experimental design was in randomized blocks with four treatments: (1) Fascinato grafted (Fascinato-Terrano); (2) Janette grafted (Janette-Terrano); (3) ungrafted Fascinato; (4) Janette ungrafted, these last two treatments were used as control. During the production cycle 2012, seven samples were taken: June 29th, July 09th, August 06th, August 20th, September 03th, October 08th and October 29th, respectively.

The harvested fruits were classified as commercial quality according to the Mexican Supreme Quality standard (SAGARPA, 2012). The mineral nutrients analyzed were: N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu, Zn and Ni. The elements were mineralized by means of a triacid digestion. Subsequently, the readings were made in the atomic absorption spectrophotometer for all mineral nutrients (Uvalle-Bueno, 1995).

The data obtained were subjected to an analysis of variance. For the difference between the means of the treatments, the LSD at 95% test was used (SAS, 1987).

Achievements

Yield

Agricultural yield is the main agronomic parameter indicating productivity in crops (Schroeder *et al.*, 1997). In this paper, significant yield differences were obtained between evaluated varieties, mainly between grafted and

Logros obtenidos

Rendimiento

El rendimiento agrícola es el principal parámetro agronómico que indica la productividad en los cultivos (Schroeder *et al.*, 1997). En nuestro estudio, se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento entre las variedades evaluadas, principalmente entre plantas injertadas y no injertadas (Figura 1). Las variedades con mayor producción fueron Fascinato injertado con Terrano y Janette injertado con Terrano, obteniendo un aumento de 53.47% y 49.40% respectivamente en relación a las mismas variedades sin injertar, lo cual coincide con Godoy (2007), quien describe que en resultados obtenidos en tomate “Seokwang” injertado con dos patrones distintos, el incremento en el rendimiento fue de 54 y 51% respectivamente. Ruiz *et al.* (1997), encontraron diferencias significativas en el rendimiento entre las variedades de melón Yuma y Gallicum injertadas y no injertadas sobre tres diferentes portainjertos, donde el portainjerto Kamel dio el mayor rendimiento con ambas variedades. En nuestro estudio, el rendimiento fue influenciado significativamente por la interacción entre injertos y portainjertos, coincidiendo con Zijlstra *et al.* (1994), quienes mencionan que el portainjerto determina el rendimiento en las plantas injertadas.

Dinámica nutricional de nitrógeno (N)

El nitrógeno es el elemento mineral que las plantas requieren en grandes cantidades y es considerado el nutriente limitante para el crecimiento y rendimiento de los cultivos, además de ser el fertilizante más estudiado (Marschner, 1995). En este estudio, la concentración de nitrógeno de las variedades no injertadas superaron a los valores obtenidos en las mismas variedades injertadas durante las primeras etapas fenológicas del cultivo, sin embargo, se observó que las variedades injertadas aumentaron la concentración respecto a las no injertadas a partir de la cosecha (Figura 2A), coincidiendo con Ruiz *et al.* (1997), quienes encontraron que el uso del portainjerto Kamel con la variedad Yuma en plantas de melón, reduce la absorción de nitrógeno en menos de 25%, al igual que la variedad Gallicum sobre el portainjerto RS-841.

Además que, el uso de diferentes genotipos de portainjerto causaron poco cambio en el contenido foliar de macronutrientes, principalmente en N. Por otro lado, se observó que los valores obtenidos de N con respecto a los

non-grafted plants (Figure 1). The varieties with the highest production were Fascinato grafted with Terrano and Janette grafted with Terrano, obtaining an increase of 53.47% and 49.40% respectively in relation to the same ungrafted varieties, which coincides with Godoy (2007), who describes that in results obtained in Seokwang tomato grafted with two different patterns, the increase in yield was 54 and 51%, respectively. Ruiz *et al.* (1997) found significant differences in yield between the grafted and ungrafted Yuma and Gallicum melon varieties on three different rootstocks where the Kamel rootstock showed the highest yield with both varieties. In our study, yield was significantly influenced by the interaction between grafts and rootstock, coinciding with Zijlstra *et al.* (1994), who mention that the rootstock determines the yield in the grafted plants.

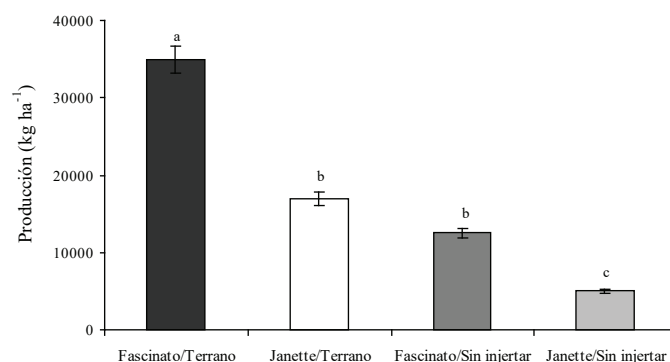


Figura 1. Efecto de la combinación variedad-portainjerto sobre la producción total en pimienta morrón. Las líneas verticales en cada barra corresponden a la desviación estándar. Promedios con letras iguales en cada barra no son estadísticamente diferentes (LSD, 0.05).

Figure 1. Effect of the variety-rootstock combination on the total production of bell pepper. The vertical lines in each bar correspond to the standard deviation. Averages with equal letters in each bar are not statistically different (LSD, 0.05).

Nitrogen nutritional dynamics (N)

Nitrogen is the mineral element that plants require in large quantities and is considered the limiting nutrient for crop growth and yield, in addition to being the most studied fertilizer (Marschner, 1995). In this study, the nitrogen concentration of the non-grafted varieties exceeded the values obtained in the same grafted varieties during the first phenological stages of the crop, however, it was observed that

valores de referencia por Mills y Jones (1991), indican que se encuentran abajo del rango de suficiencia (3.5-5%). Esto probablemente se deba a que las variedades injertadas son más productivas y por lo tanto demandan más N, siendo este elemento que se asocia al desarrollo y rendimiento en los cultivos.

the grafted varieties increased the concentration with respect to those not grafted (Figure 2A), coinciding with Ruiz *et al.* (1997), who found that the use of the Kamel rootstock with the Yuma variety in melon plants reduced nitrogen uptake by less than 25%, as did the Gallicum variety on the RS-841 rootstock.

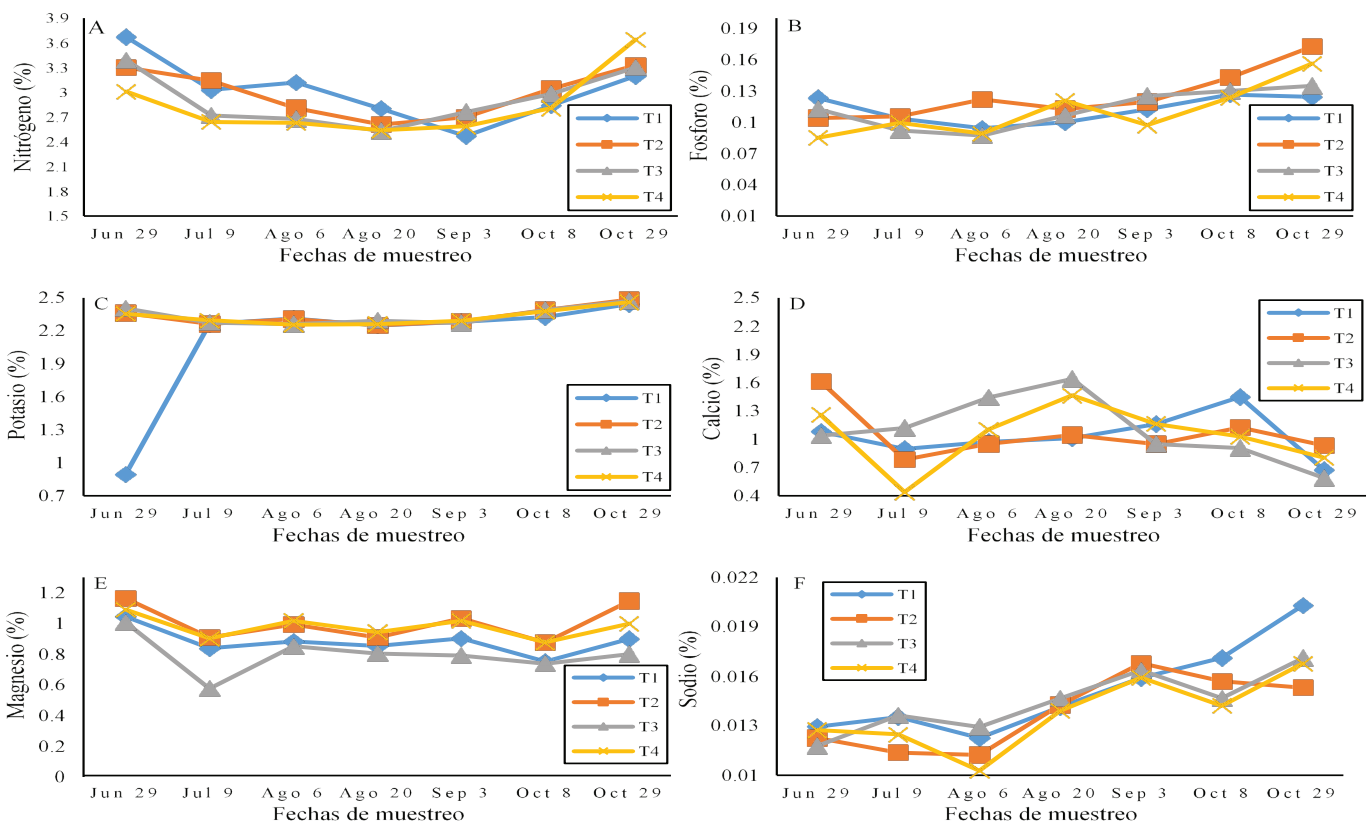


Figura 2. Efecto del uso de portainjerto sobre la dinámica nutricional de macronutrientes en pimiento morrón: A) nitrógeno; B) fósforo; C) potasio; D) calcio; E) magnesio; y F) sodio. T₁= Janette sin injerto; T₂= Janette injertado con Terrano; T₃= Fascinato sin injerto; T₄= Fascinato injertado con Terrano.

Figure 2. Effect of rootstock use on the nutritional dynamics of macronutrients in bell pepper: A) nitrogen; B) phosphorus; C) potassium; D) calcium; E) magnesium; and F) sodium. T₁= Janette without graft; T₂= Janette grafted with Terrano; T₃= Fascinato without graft; T₄= Fascinato grafted with Terrano.

Dinámica nutricional del fósforo (P)

El fósforo es un elemento esencial para las plantas superiores, se requiere en concentraciones mayores en los tejidos y es particularmente indispensable durante el crecimiento vegetativo (Mengel y Kirkby, 2001). En nuestro estudio, la dinámica nutricional de P, mostró diferencias en la concentración de este elemento entre las variedades Janette y Fascinato injertadas y sin injertar, sobresaliendo la

In addition, the use of different rootstock genotypes caused little change in the macronutrient foliar content, mainly in N. On the other hand, it was observed that the obtained values of N with respect to the reference values by Mills and Jones (1991), indicate that they are below the sufficiency range (3.5-5%). This is probably due to the fact that the grafted varieties are more productive and therefore demand more N, being this element associated to crops' development and yield.

variedad Janette-Terrano, la cual obtuvo un incremento de 10.81% en su concentración por influencia del portainjerto, principalmente después de la cosecha (Figura 2B), coincidiendo con Ruiz *et al.* (1996), quienes mencionan que el uso de portainjertos en plantas de melón puede mejorar algunas características morfológicas y fisiológicas para aumentar la absorción de P del suelo y su translocación hacia las hojas del injerto. Caso similar reportaron Ruiz *et al.* (1997), quienes describen que independientemente del patrón utilizado, las concentraciones de P en plantas de melón injertadas fueron más altas que en las variedades no injertadas, coincidiendo con Contreras (2014), quien encontró diferencias significativas a favor de plantas de tomate injertadas, presentando un incremento de 6.83% en la concentración de P en relación a las plantas sin injertar.

Por otro lado, Mills y Jones (1991), mencionan que el rango de suficiencia de P en pimiento morrón es de 0.22-0.7%. En nuestro estudio, las variedades Janette y Fascinato injertado y sin injertar estuvieron por debajo del rango de suficiencia. Sin embargo, los niveles de P no fueron limitantes en la producción de pimiento morrón, ya que la variedad Fascinato injertada con Terrano fue la más productiva, seguida por la variedad Janette injertada con Terrano.

Dinámica nutricional del potasio (K)

El K es un macronutriente esencial requerido en grandes cantidades para el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos. Algunas de las principales funciones de las plantas donde el K está comprometido son: la osmoregulación, la síntesis de los almidones, la activación de enzimas, la síntesis de proteínas, el movimiento estomático y el balance de cargas iónicas (Marschner, 1995). Para un buen crecimiento y desarrollo del pimiento morrón, el rango de suficiencia de K, se sitúa de 3.5-4.5% (Mills y Jones, 1991), lo cual indica que en nuestro estudio se obtuvieron valores por debajo del rango de suficiencia tanto en variedades injertadas y no injertadas (Figura 2C). No obstante, la dinámica que presentó K fue estable para todas las variedades de pimiento morrón evaluadas. Godoy *et al.* (2008), observaron una mayor concentración de K en plantas de tomate injertadas (35%), al igual que Ruiz *et al.* (1997) mencionan que los niveles de K en plantas de melón injertadas, disminuyen con respecto a las no injertadas hasta en 52%. Sin embargo, en nuestro estudio el efecto del portainjerto y el bajo nivel de K respecto a los valores de referencia no fueron limitantes en el rendimiento del pimiento morrón.

Nutritional dynamics of phosphorus (P)

Phosphorus is an essential element for higher plants, is required in higher concentrations in tissues and is particularly indispensable during vegetative growth (Mengel and Kirkby, 2001). In this paper, the nutritional dynamics of P showed differences in the concentration of this element between the grafted and ungrafted Janette and Fascinato varieties, standing out in the Janette-Terrano variety, which showed an increase of 10.81% in its concentration due to the influence of rootstock, mainly after harvest (Figure 2B), coinciding with Ruiz *et al.* (1996), who mention that the use of rootstocks in melon plants can improve some morphological and physiological characteristics to increase the soil P uptake and its translocation towards the leaves of the graft. Similar case reported Ruiz *et al.* (1997), who describe that regardless of the pattern used, P concentrations in grafted melon plants were higher than in non-grafted varieties, coinciding with Contreras (2014), who found significant differences in favor of grafted tomato plants, showing a 6.83% increase in P concentration in relation to ungrafted plants.

On the other hand, Mills and Jones (1991), mention that the sufficiency range of P in bell pepper is 0.22-0.7%. In this paper, the grafted and ungrafted Janette and Fascinato varieties were below the sufficiency range. However, P levels were not limiting in the production of bell pepper, since the variety Fascinato grafted with Terrano was the most productive, followed by the variety Janette grafted with Terrano.

Nutritional dynamics of potassium (K)

K is an essential macronutrient required in large quantities for normal growth and development of crops. Some of the main functions of plants where K is involved are: osmoregulation, starch synthesis, enzyme activation, protein synthesis, stomatal movement and ionic balance (Marschner, 1995). For a good growth and development of bell pepper, the sufficiency range of K stands for 3.5-4.5% (Mills and Jones, 1991), which indicates that in this paper values were obtained below the sufficiency range in both grafted and non-grafted varieties (Figure 2C). However, the dynamics presented by K were stable for all varieties of evaluated bell pepper. Godoy *et al.* (2008), observed a higher concentration of K in grafted tomato plants (35%), as did Ruiz *et al.* (1997) reported that K levels in grafted melon plants decreased from

Dinámica nutricional de calcio (Ca)

El Ca es un nutriente esencial para las plantas. Como catión divalente, es requerido para las funciones estructurales de la pared celular y las membranas, como un contra-catión de aniones inorgánicos y orgánicos en la vacuola (Mengel y Kirkby, 2001). En el análisis foliar para Ca, se observaron diferencias significativas entre las variedades evaluadas por efecto del portainjerto. La variedad Fascinato-Terrano mostró una influencia positiva en la concentración de Ca a partir de la cosecha (20 agosto), mientras que la variedad Janette-Terrano disminuyó su concentración con respecto a la misma variedad no injertada. Es importante resaltar que en todas las variedades se presentó un descenso en la concentración foliar al final del ciclo (Figura 2D), contrario a lo descrito por Noh-Medina *et al.* (2010), quienes mencionan que la concentración de Ca en chile habanero no injertado, disminuye respecto a la madurez de las plantas. Godoy *et al.* (2008), encontraron que la variedad Gironda injertada con Maxifort en plantas de tomate, mostraron mayor concentración de Ca respecto a la misma variedad no injertada, sin embargo, Contreras (2014) reportaron que no se encontraron diferencias significativas por efecto del injerto en la concentración de Ca en plantas de tomate.

Por otro lado, Mills y Jones (1991) reportan que los valores de suficiencia óptimo para Ca en pimiento morrón es de 1.3 - 2.8%, alcanzando las variedades Fascinato injertado con Terrano y no injertado, un punto óptimo para Ca en la etapa de cosecha.

Dinámica nutricional de magnesio (Mg)

El papel más conocido del magnesio (Mg) en las plantas es su presencia en el centro de la molécula de clorofila y por esto es esencial para la fotosíntesis, también está involucrado en el metabolismo de proteínas (Marschner, 1995). En nuestro estudio, el análisis nutricional de Mg mostró una dinámica constante para todas las variedades evaluadas, con un aumento en la concentración al final del ciclo de producción, destacando las variedades Janette y Fascinato injertadas. Ruiz *et al.* (1997) observaron que en plantas de melón injertadas, la concentración de Mg disminuyó con respecto a las no injertadas, coincidiendo con Godoy *et al.* (2008), quienes observaron que la concentración de Mg fue significativamente menor en plantas de tomate injertadas. En nuestro estudio, se determinó que el uso de portainjerto Terrano influye positivamente en la concentración de Mg en las variedades Fascinato y Janette.

non-grafted plants by as much as 52%. However, in this paper the effect of rootstock and low K level on reference values were not limiting on the yield of bell pepper.

Nutritional dynamics of calcium (Ca)

Ca is an essential nutrient for plants. As a divalent cation, it is required for the structural functions of the cell wall and membranes, as a counter-cation of inorganic and organic anions in the vacuole (Mengel and Kirkby, 2001). In the leaf analysis for Ca, significant differences were observed among the varieties evaluated by effect of the rootstock. The Fascinato-Terrano variety showed a positive influence on the concentration of Ca from the harvest (August 20th), while the Janette-Terrano variety decreased its concentration with respect to the same ungrafted variety. It is important to emphasize that in all varieties a decrease in the foliar concentration at the end of the cycle was shown (Figure 2D), contrary to the one described by Noh-Medina *et al.* (2010), who mention that the concentration of Ca in ungrafted habanero chile, decreases with respect to the maturity of the plants. Godoy *et al.* (2008), found that the Gironde variety grafted with Maxifort on tomato plants, showed higher concentration of Ca with respect to the same ungrafted variety, however, Contreras (2014) reported that no significant differences were found due to the grafting effect in the Ca concentration in tomato plants.

On the other hand, Mills and Jones (1991) report that the optimal sufficiency values for Ca in bell pepper is 1.3-2.8%, reaching the Terrano grafted and ungrafted Fascinato varieties, an optimum point for Ca in the harvest stage.

Nutritional dynamics of magnesium (Mg)

The most known role of magnesium (Mg) in plants is their presence in the center of the chlorophyll molecule and for this reason is essential for photosynthesis, it is also involved in protein metabolism (Marschner, 1995). In this paper, the nutritional analysis of Mg showed constant dynamics for all the evaluated varieties, with an increase in the concentration at the end of the production cycle, emphasizing in the grafted Janette and Fascinato varieties. Ruiz *et al.* (1997) observed that in grafted melon plants, the concentration of Mg decreased with respect to the non-grafted, coinciding with Godoy *et al.* (2008), who observed that the concentration of Mg was significantly lower in grafted tomato plants. In this paper, it was determined that the use of Terrano rootstock positively influences the concentration of Mg in the Fascinato and Janette varieties.

Por otra parte, los valores obtenidos de concentración de Mg en las variedades evaluadas, fueron consideradas dentro del rango de suficiencia según Mills y Jones (1991), quienes describen que para pimiento morrón el rango es de 0.3-2.8%.

Dinámica nutricional de sodio (Na)

El sodio estimula el crecimiento a través del alargamiento celular y puede sustituir al potasio como un soluto osmóticamente activo (Mengel y Kirkby, 2001). En nuestro estudio, los valores obtenidos demuestran que las variedades Janette y Fascinato injertadas, presentan menor nivel de Na respecto a las no injertadas (Figura 2F). La mayor demanda de Na se presentó en la etapa de cosecha, destacando las variedades Fascinato y Janette injertadas.

Según Mills y Jones (1991), el Na es considerado un elemento no esencial, por lo tanto no presentan datos de su rango de suficiencia en pimiento morrón.

Conclusiones

El nutriente magnesio presentó valores dentro del rango de suficiencia, mientras que el nitrógeno, fósforo, potasio y calcio reflejaron valores por debajo del rango de suficiencia. Sin embargo, el crecimiento, desarrollo del cultivo y producción de pimiento morrón, no fueron limitados por estos elementos. La combinación Fascinato-Terrano y Janette-Terrano produjeron los más altos rendimientos en fruto, con incrementos de 53.47% y 49.4% respectivamente en relación a las mismas variedades sin injertar. El uso del portainjerto permitió aumentar la producción y el estado nutricional del pimiento morrón de las variedades Fascinato y Janette, por tanto se asume que el uso de portainjertos podría ser una técnica viable en la horticultura sustentable del futuro.

Agradecimientos

Al programa de estímulos a la innovación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento de este proyecto. Asimismo, a las Empresas Agrícolas “Los Álamos” e Insumos y Servicios Agrícolas Delicias S. A. de C. V.

On the other hand, the obtained values of Mg concentration in the evaluated varieties were considered within the sufficiency range according to Mills and Jones (1991), who describe it for bell pepper the range is of 0.3-2.8%.

Nutritional dynamics of sodium (Na)

Sodium stimulates growth through cell elongation and can replace potassium as an osmotically active solute (Mengel and Kirkby, 2001). In this study, the values obtained show that the Janette and Fascinato grafted varieties have a lower level of Na than the ungrafted ones (Figure 2F). The highest demand for Na was shown at the harvest stage, with the grafted Fascinato and Janette varieties standing out.

According to Mills and Jones (1991), the Na is considered a nonessential element, therefore they do not present data of its sufficiency range in bell pepper.

Conclusions

The magnesium nutrient showed values within the sufficiency range, while nitrogen, phosphorus, potassium and calcium showed values below the sufficiency range. However, growth, development of the crop and production of bell pepper were not limited by these elements. The combination of Fascinato-Terrano and Janette-Terrano produced the highest fruit yield, with increases of 53.47% and 49.4%, respectively, in relation to the same ungrafted varieties. The use of the rootstock allowed to increase the production and the nutritional status of the red pepper of the varieties Fascinato and Janette, therefore it is assumed that the use of rootstocks could be a viable technique in the sustainable horticulture of the future.

End of the English version



Literatura citada

Contreras, E. A. 2014. Efecto del injerto sobre la nutrición y fotosíntesis del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero. Facultad de Agronomía-Universidad Autónoma de Nuevo León. 1:6-7.

- FAO. 2015. Estadísticas agrícolas anuales. faostat/servlet/.
- Godoy, H. 2007. Influencia del injerto y nutrición en tomate sobre el rendimiento, materia seca, extracción y diagnóstico de nutrientes en planta y suelo, en invernadero. Colegio de Postgraduados. 9-32 pp.
- Godoy, H.; Castellanos, J.; Alcántar, G.; Sandoval, M. y Muñoz, J. 2008. Efectos del injerto y nutrición de tomate sobre rendimiento, materia seca y extracción de nutrimentos. *Terra Latinoam.* 27:1-45.
- Lee, J. M.; Kubota, C.; Tsao, S. J.; Bie, Z.; Hoyos, E. P.; Morra, L. and Oda, M. 2010. Current status of vegetable grafting: diffusion, grafting techniques, automation. *Sci. Hortic.* 127:93-105.
- Louws, F. J.; Rivard, C. L. and Kubota, C. 2010. Grafting fruiting vegetables to manage soilborne pathogens, foliar pathogens, arthropods and weeds. *Sci. Hortic.* 127:127-146.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second Ed. London. Academic Press. 889 p.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 849 p.
- Mills, H. A. and Jones, B. J. 1991. Plant analysis handbook II. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro-Macro Pub. 257 p.
- Noh, M. J.; Borges, G. L. and Soria, F. M. 2010. Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Trop. Subtrop. Agroecosys.* 12:221-223.
- Pulgar, G.; Villora, G.; Moreno, D. and Romero, L. 2000. Improving the mineral nutrition in grafted watermelon. *Nitrogen Metabolism. Biol. Plant.* 43:607-609.
- Ruiz, J. M.; Belakbir, A.; López, C. I.; and Romero, L. 1997. Leaf-macronutrient content and yield in grafted melón plants. A model to evaluate the influence of rootstock genotype. *Sci. Hortic.* 71:227-234.
- Ruiz, J. M.; Belakbir, A. and Romero, L. 1996. Foliar level of phosphorus and its bioindicators in *Cucumis melo* grafted plants. A possible effect of rootstocks. *J. Plant. Physiol.* 149:400-404.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2012. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial, México calidad suprema en pimiento morrón. http://www.normich.com.mx/archivos/oc/mes/pliegos%20de%20condiciones%2012/pc_022_2005_pimiento.pdf.
- Schroeder, P.; Brown, S.; Mo, J.; Birdsey, R. and Cieszewsky, C. 1997. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the united stated using inventory data. *Forest Sci.* 43(3):424-434.
- SIAP-SAGARPA. 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- SAS (Statistical Analysis System). 1987. SAS user's guide. Statistics. Version 8. SAS Inst., Cary, NC. USA. 1028-1056.
- Uvalle-Bueno, J. X. 1995. Fundamento fisiológico del diagnóstico diferencial integrado (DDI). Memorias del XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. 55 p.
- Zijlstra, S.; Groot, S. P. C. and Jansen, J. 1994. Genotypic variation of rootstocks for growth and production in cucumber; possibilities for improving the root system by plant breeding. *Sci. Hort.* 56:185-196.