

POTASSIUM INFLUENCE THE NUTRACEUTICAL AND ANTIOXIDANT CONTENT OF SERRANO HOT PEPPER (*Capsicum annuum* L.)

INFLUENCIA DEL POTASIO EN EL CONTENIDO NUTRACÉUTICO Y DE ANTIOXIDANTES EN PIMIENTO SERRANO (*Capsicum annuum* L.)

Pablo Preciado-Rangel¹, Alfonso Andrade-Sifuentes¹, Esteban Sánchez-Chávez², Lilia Salas-Pérez³, Manuel Fortis-Hernandez¹, Edgar O. Rueda-Puente⁴, José L. García-Hernández^{5*}

¹División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Torreón, Carretera Torreón-San Pedro, Torreón, Coahuila, México. ²Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Unidad Delicias, Delicias, Chihuahua, México. ³Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Gómez Palacio, Durango, México. ⁴Universidad de Sonora, Hermosillo Sonora, México. ⁵Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango, Gómez Palacio, Durango, México. (luis_garher@hotmail.com).

ABSTRACT

Capsicum annuum includes an important number of cultivars and among them significant variability is observed in physiological or agronomical aspects according to biotic or abiotic factors, including nutrimental availability. The aim of this study was to evaluate the effect of K (3.5, 7, 10.5 and 14 mM) in nutrient solution on nutraceutical traits and antioxidant capacity of Serrano hot pepper (chili) growing in hydroponic system. We hypothesized that K levels may have different responses in the quality of Serrano pepper fresh fruits. The experimental design was completely randomized, ANOVA was used to analyze results and means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.5$). Variables measured were total phenolic content, β -carotene, vitamin C, capsaicinoids and antioxidant activity. The content of total phenols, β -carotene, vitamin C, capsaicin, dihydrocapsaicin and total capsaicinoids increased ($p \leq 0.05$), due to the effect of 14 mM K, as compared to 3.5 mM K. These characteristics are favorable to improve the nutritional quality of Serrano chili; therefore, management of K nutrition in this horticultural crop should be an alternative to improve the nutraceutical quality of the fruit.

Key words: *Capsicum annuum*, Serrano hot pepper, antioxidants, nutraceuticals, potassium fertilization.

INTRODUCTION

Hot peppers from *Capsicum annuum* L., originated in the tropical and subtropical regions of America (Vera-Guzmán *et al.*, 2011), have commercial and therapeutic value in the

RESUMEN

Capsicum annuum incluye un número importante de cultivares y entre ellos se observa variabilidad significativa en aspectos fisiológicos o agronómicos debida a factores bióticos o abióticos, incluida la disponibilidad de nutrientes. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del K (3.5, 7.0, 10.5 y 14.0 mM) en solución nutritiva en las características nutraceuticas y la capacidad antioxidante del chile Serrano cultivado en un sistema hidropónico. Nuestra hipótesis fue que los niveles de K pueden tener diferentes respuestas en la calidad de los frutos frescos de pimiento Serrano. El diseño experimental fue completamente al azar, se usó ANDEVA para analizar los resultados y se compararon las medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.5$). Las variables evaluadas fueron el contenido fenólico total, β -caroteno, vitamina C, capsaicinoides y actividad antioxidante. El contenido de fenoles totales, β -caroteno, vitamina C, capsaicina, dihidrocapsaicina y capsaicinoides totales aumentó ($p \leq 0.05$) por efecto de K 14 mM, comparado con K 3.5 mM. Estas características son favorables para mejorar la calidad nutricional del pimiento Serrano; por lo tanto, el manejo de la nutrición con K en este cultivo hortícola debe ser una alternativa para mejorar la calidad nutraceutica del fruto.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, chile serrano, antioxidantes, nutraceuticos, fertilización con potasio.

INTRODUCCIÓN

Los chiles picantes de *Capsicum annuum* L. son originarios de las regiones tropicales y subtropicales de América (Vera-Guzmán *et al.*, 2011) y tienen valor comercial y terapéutico en el mundo (Patel *et al.*, 2015). En México, el cultivo de pimiento tiene una gran importancia social y económica al producirse

*Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Received: November, 2018. Approved: April, 2019.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 53: 581-591. 2019.

world (Patel *et al.*, 2015). In Mexico, pepper cropping has large social and economic importance by yielding 2 million Mg of green fruit (FAOSTAT, 2009) and, from these, 1 million Mg are for exportation. Hot peppers are the second most consumed vegetables after tomatoes; annual consumption per capita varies from 14 to 16 kg, of which 75 % is consumed fresh and 25 % is used for different dishes and sauces (SIAP, 2015); from the wide variability of hot pepper in Mexico, “Jalapeño” is the most consumed type, followed by “Serrano” (Alvarez-Parrilla *et al.*, 2012).

Nutraceuticals are complex products (secondary metabolites) from vegetables, such as vitamins, carotenoids, phenols, and terpenes. At least, 15 types of nutraceuticals have benefits in human diet (Rahal *et al.*, 2014). Hot peppers are good sources of phytochemicals such as phenolic compounds, flavonoids, carotenoids and vitamin C (Lo Scalzo *et al.*, 2014; Korkutata and Kavaz, 2015). The fruits of this crop produce capsaicinoids, the phytochemical compounds responsible of characteristic hot taste or pungency (González-Zamora *et al.*, 2013), and they are used in food, and pharmaceutical industries (Santos *et al.*, 2015). Bioactive compounds make pepper a functional food (Birute *et al.*, 2009; Bayili *et al.*, 2011) as they exert a beneficial action on health and prevent diseases (Herrera Chalé *et al.*, 2014). Sricharoen *et al.* (2017) found that chili pepper varieties are a rich source of phytochemicals with antioxidant and antidiabetic activities. The concentrations of these compounds depend on cultivar, maturity, growing conditions, fertilization and postharvest manipulation (Lo Scalzo *et al.*, 2014).

Potassium (K) exerts an important influence on organoleptic quality and concentration of phytochemicals (Constán-Aguilar *et al.*, 2014). Potassium is involved in protein synthesis and is an enzymatic activator (Devi *et al.*, 2012), since it is associated with the production of phytonutrients. Therefore, K participates in the synthesis of products of secondary metabolism such as phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, chlorophyll, carotenoids, lycopene and certain vitamins (Ibrahim *et al.*, 2012). We hypothesized that different K levels may induce distinct responses in Serrano pepper fresh fruits quality. For such reasons, the aim of this research was to evaluate the effect of K in nutrient solution on nutraceutical content and antioxidant capacity of a

2 millones de Mg de fruta verde (FAOSTAT, 2009), de ellos 1 millón de Mg para exportación. Los pimientos picantes son la segunda verdura más consumidas después de los tomates; el consumo anual per cápita varía de 14 a 16 kg, de los cuales 75 % se consume fresco y 25 % se usa en platillos y salsas (SIAP, 2015). De la gran variabilidad del chile picante en México, el “Jalapeño” es el tipo más consumido y le sigue el “Serrano” (Alvarez-Parrilla *et al.*, 2012).

Los nutraceuticos son productos complejos de los vegetales (metabolitos secundarios), como las vitaminas, carotenoides, fenoles y terpenos. Al menos, 15 tipos de nutraceuticos benefician la dieta humana (Rahal *et al.*, 2014). Los pimientos picantes son buena fuente de fitoquímicos, como compuestos fenólicos, flavonoides, carotenoides y vitamina C (Lo Scalzo *et al.*, 2014; Korkutata y Kavaz, 2015). Los frutos de este cultivo producen capsaicinoides, compuestos fitoquímicos responsables del sabor o pungencia característicos (González-Zamora *et al.*, 2013), y se utilizan en la industria alimentaria y farmacéutica (Santos *et al.*, 2015). Los compuestos bioactivos hacen de los pimientos un alimento funcional (Birute *et al.*, 2009; Bayili *et al.*, 2011), por su acción beneficiosa en la salud y prevención de enfermedades (Herrera Chalé *et al.*, 2014). Sricharoen *et al.* (2017) documentaron que las variedades de chile son fuente rica de fitoquímicos con actividades antioxidante y antidiabética. Las concentraciones de estos compuestos dependen del cultivar, madurez, condiciones de cultivo, fertilización y manipulación poscosecha (Lo Scalzo *et al.*, 2014).

El potasio (K) ejerce una influencia importante en la calidad organoléptica y la concentración de fitoquímicos (Constán-Aguilar *et al.*, 2014). El K participa en la síntesis de proteínas y es un activador enzimático (Devi *et al.*, 2012), ya que está asociado con la producción de fitonutrientes. Por lo tanto, el K participa en la síntesis de productos del metabolismo secundario, como los ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, clorofila, carotenoides, licopeno y ciertas vitaminas (Ibrahim *et al.*, 2012). Nuestra hipótesis fue que niveles diferentes de K pueden inducir respuestas distintas en la calidad de los frutos frescos del pimiento Serrano. Por ello, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del K en solución nutritiva sobre el contenido nutraceutico y la capacidad antioxidante en un cultivar de pimiento Serrano producido en hidroponía.

cultivar of Serrano pepper produced in a hydroponic system.

MATERIAL AND METHODS

Plant material and growth conditions

The experiment was carried out in a semiautomatic greenhouse, which is circular, covered with a single layer of polyethylene plastic, and equipped with an automatic cooling system. The greenhouse has an area of 144 m² and is located at the Instituto Tecnológico de Torreón, in Torreón, Coahuila, México (24° 30' and 27° N, 102° 00' and 104° 40' W, and 1120 masl), and Serrano pepper cultivar "Criollo Morelos" was grown in this greenhouse. Pepper seedlings were transplanted when they showed five to six current leaves at a height about 15 cm. Seedlings were placed into 20 L black plastic bags as pots containing river sand and vermiculite (80:20) as a hydroponic substrate (one seedling per pot).

River sand was washed and sanitized using a 5 % sodium hypochlorite solution. The pots were placed in a line to double array and "tresbolillo" (*quincunx*) arrangement, with a population density of 12.5 pots m⁻². A drip irrigation system was used to irrigate the plants by spraying three times per day, with 0.5 L pot⁻¹ d⁻¹ from transplant to flowering, and 1.0 L pot⁻¹ d⁻¹ from flowering to harvest.

Experimental design and treatments

The experimental design was completely randomized, treatments were 3.5, 7, 10.5, and 14 mM K, 15 plants were used per treatment, and each plant was a replicate. The K concentrations were formulated based on the nutrient solution according to Steiner (1984). The nutrient solutions were prepared with highly soluble fertilizers, such as MKP, MgNO₃, Ca(NO₃)₂, K₂NO₃, K₂SO₄, NH₄SO₄. The pH and the electrical conductivity (CE) were maintained at 5.5 and 2.0 dS m⁻¹, respectively. Tap water used to prepare the inorganic solutions had a CE: 0.49, pH: 6.97, cations (me L⁻¹): Ca²⁺ 3.63, Mg²⁺ 0.15, K⁺ 0.02, Na⁺ 1.64; anions (me L⁻¹) HCO₃⁻ 1.55, Cl⁻ 2.09 y SO₄²⁻ 1.02, thus classified as C₂S₁ (Ayers and Westcot, 1994).

Preparation of sample

Harvested fresh fruit samples were washed with distilled water for 2 min to remove residues, and it was lyophilized for 10 d. Then, the dry material was grinded manually (using mortar and pestle) and stored in Eppendorf plastic tubes at -18 °C until extracts were obtained.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones de crecimiento

El experimento se realizó en un invernadero semiautomático, circular, cubierto con una capa de polietileno plástico y sistema de enfriamiento automático. El invernadero tiene de una superficie de 144 m² está ubicado en el Instituto Tecnológico de Torreón, Torreón, Coahuila, México (24° 30' y 27° N, 102° 00' y 104° 40' O y 1120 msnm), y el chile Serrano "Criollo Morelos" se cultivó en este invernadero. Las plántulas se trasplantaron cuando tenían entre cinco y seis hojas y altura aproximada de 15 cm. Las plántulas se colocaron en bolsas de plástico negro de 20 L, como macetas, con arena de río y vermiculita (80:20), como sustrato hidropónico (una plántula por maceta).

La arena del río se lavó y desinfectó con solución de hipoclorito de sodio al 5 %. Las macetas se colocaron en una línea para tener un arreglo doble y de "tresbolillo" (*quincunx*), con una densidad 12.5 macetas m⁻². Con un sistema de riego por goteo se irrigó tres veces al día, rociando con 0.5 L por maceta d⁻¹ desde el trasplante hasta la floración, y 1.0 L por maceta d⁻¹ de la floración a la cosecha.

Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue completamente aleatorizado. Los tratamientos fueron K 3.5, 7.0, 10.5 y 14.0 mM. Cada tratamiento incluyó 15 plantas y cada planta fue una réplica. Las concentraciones de K se formularon con base en la solución nutritiva, según Steiner (1984). Las soluciones nutritivas se prepararon con fertilizantes altamente solubles, como MKP, MgNO₃, Ca(NO₃)₂, K₂NO₃, K₂SO₄ y NH₄SO₄. El pH y la conductividad eléctrica (CE) se mantuvieron a 5.5 y 2.0 dS m⁻¹, respectivamente. Agua de grifo se usó para preparar las soluciones inorgánicas, estas tuvieron CE: 0.49, pH: 6.97, cationes (me L⁻¹): Ca²⁺ 3.63, Mg²⁺ 0.15, K⁺ 0.02, Na⁺ 1.64 y aniones (me L⁻¹) HCO₃⁻ 1.55, Cl⁻ 2.09 y SO₄²⁻ 1.02, por tanto se clasificó como C₂S₁ (Ayers y Westcot, 1994).

Preparación de la muestra

Muestras de frutos frescos se lavaron con agua destilada durante 2 min para eliminar residuos y se liofilizaron durante 10 d. Luego, el material seco se trituró manualmente (en mortero) y se almacenaron en tubos de plástico Eppendorf a -18 °C hasta que se obtuvieron los extractos.

Extractos de compuestos fenólicos y capsaicinoides totales

Una muestra seca de 100 mg se mezcló con 5 mL de metanol, en un tubo de plástico con tapón de rosca. Esta se colocó en un

Extracts for phenolic compounds and total capsaicinoids

A sample of 100 mg of dried sample was mixed with 5 mL of methanol into a plastic tube with screw caps, which were placed in a shaker (ATR Inc., EUA) for 24 h (20 rpm) at 5 °C. The tubes were then centrifuged at 30 000 x g for 5 min, and the supernatant was extracted for analytical tests.

Determination of total phenols and β -carotene

Total phenols content was quantified using the spectrophotometric (Spectronic Unicomp, Cambridge, United Kingdom) method with Folin-Ciocalteu's phenol reagent at 750 nm (Singleton *et al.*, 1999). Quantification limits of the analytical method used for total phenols quantification were 1.38 and 4.19 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectively. This analysis was done by triplicate. Linearity was determined between 0.02 and 0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$, using a standard gallic acid (AGE) high purity reagent grade, calibrated by triplicate. Mejia *et al.* (1988) described the methodology used. A HPLC (Varian ProStar 320) system with UV-Vis ProStar 210 detector and a C18-type column (Waters Corp., Milford, MA, USA) of 3.9 mm $\times$ 15 cm was used. The solvent system was of acetonitrile/THF/H₂O (85:12.5:2.5) pumped at a flow rate of 1.0 mL min⁻¹. All runs were at 24 °C and detection at 460 nm. HPLC peaks were identified using retention time comparison with trans- α -carotene (Type V) and β -carotene (Type IV) standards and internal standards. The limits of detection and limit of quantification of the analytical method used for β -carotene quantification were 0.03 and 0.10 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectively.

Determination of vitamin C

Vitamin C content was determined by HPLC as described by Doner and Hicks (1981) and it was performed with fresh fruits. The pepper pulp was cut into small pieces and ground to mash using a kitchen blender and 10 g of pepper were placed in 20 mL of an extraction mixture. Then, it was homogenized and filtered before being analyzed. The sample was injected into a Varian HPLC ProStar 320 equipped with a UV-Vis detector (ProStar 210, Prostar Varian Inc., Walnut Creek, CA, USA). An amine column Varian of 10 cm and a 20 mL injection loop were used and the analysis was done in triplicate.

Determination of capsaicinoids

Total capsaicin content was measured by an adaptation of the method proposed by Cisneros-Pineda *et al.* (2007). The absorbance of the methanolic extracts from the samples was read at 273 nm

agitador (ATR Inc., USA) durante 24 h (20 rpm) a 5 °C. Los tubos se centrifugaron a 30 000 x g durante 5 min, y el sobrenadante se extrajo para las pruebas analíticas.

Determinación de fenoles totales y β -caroteno

El contenido de fenoles totales se cuantificó con método espectrofotométrico (Spectronic Unicomp, Cambridge, Reino Unido) que usa el reactivo de fenol de Folin-Ciocalteu, a 750 nm (Singleton *et al.*, 1999). Los límites de cuantificación para el método analítico para fenoles totales fueron 1.38 y 4.19 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente. Este análisis se realizó por triplicado. La linealidad se determinó entre 0.02 y 0.1 $\mu\text{g L}^{-1}$ con ácido gálico (AGE) estándar, con pureza alta, y calibrado por triplicado. Mejia *et al.* (1988) describieron el método utilizado. Un HPLC (Varian ProStar 320) con detector UV-Vis ProStar 210 y columna tipo C18 (Waters Corp., Milford, MA, USA) de 3.9 mm $\times$ 15 cm fue usado. Como disolvente se utilizó acetonitrilo/THF/H₂O (85: 12.5: 2.5) bombeado a una velocidad de flujo de 1.0 mL min⁻¹. Todas las corridas fueron a 24 °C y la detección a 460 nm. Los picos en el HPLC se identificaron por comparación del tiempo de retención de los estándares y estándares internos trans- α -caroteno (Tipo V) y β -caroteno (Tipo IV). Los límites de detección y el límite de cuantificación del método analítico utilizado para la cuantificar β -caroteno fueron 0.03 y 0.10 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente.

Determinación de vitamina C

El contenido de vitamina C se determinó mediante HPLC, según lo descrito por Doner y Hicks (1981) y se realizó en frutos frescos. La pulpa de 10 g de pimientos se cortó en trozos pequeños y se trituraron en licuadora de cocina con 20 mL de una mezcla de extracción. Luego, se homogeneizó y filtró antes de su análisis. La muestra se inyectó en un HPLC (Varian ProStar 320), con detector UV-Vis (ProStar 210, Prostar Varian Inc., Walnut Creek, CA, USA). Una columna de amina Varian de 10 cm y un serpentín de inyección de 20 L se usaron y el análisis se realizó por triplicado.

Determinación de capsaicinoides

El contenido total de capsaicina se midió mediante una adaptación del método de Cisneros-Pineda *et al.* (2007). La absorbancia de los extractos metanólicos de las muestras se leyó a 273 nm (capsaicina) y 235 nm (dihidrocapsaicina) en un espectrofotómetro (HACH 4000). El contenido total de capsaicina se calculó mediante una curva estándar de capsaicina y dihidrocapsaicina (Sigma, St. Louis, Missouri, USA). Los resultados se reportan en

(capsaicin) and 235 nm (dihydrocapsaicin) on a HACH 4000 spectrophotometer. Total capsaicin content was calculated by a standard curve using capsaicin and dihydrocapsaicin (Sigma, St. Louis, Missouri, USA) as standard, and results are reported in mg of capsaicin or dihydrocapsaicin per g of dry base sample (mg g^{-1} BS). Analyzes were performed in triplicate.

Antioxidant activity

Antioxidant activity of pepper was determined following Zhuang *et al.* (2012). An ethanolic extract was prepared, fresh peppers were ground and triplicate samples (5 g) were taken. The 5 g sample was extracted by stirring with 75 mL 80 % ethanol at room temperature for 24 h, and filtered. The filtrates were concentrated using a rotary vacuum evaporator at 40 °C. The resultant extracts were used to determine the antioxidant activities. An aliquot of 0.4 mL of extract was taken and mixed with 2 mL of 0.1 mM diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) methanol solution. The mixture was kept at room temperature in the dark for 30 min and its absorbance was recorded at 517 nm in a microplate reader. The DPPH radical-scavenging activity was calculated according to equation (1):

$$\% \text{ scavenging activity} = ((A_{\text{control}} - A_{\text{extract}}) / A_{\text{control}}) \times 100 \quad [1]$$

where, A_{control} : absorbance of the control; A_{extract} : absorbance of the extract.

Statistical analysis

Biochemical variables were analyzed as one-way ANOVA with Statistica v. 10.0 for Windows. Data of the evaluated variables were analyzed by ANOVA. Treatments means were compared using the Tukey test ($p \leq 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

Total phenolic content

Concentration of K in the nutrient solution significantly affected the total phenolic content in chili fruits ($p \leq 0.05$; Table 1). The increments in total phenolic content due to the application of K coincide with those reported by Ibrahim *et al.* (2012) and Redovniković *et al.* (2012), who indicated that increments in potassium fertilization doses are associated with higher contents of phenolic compounds. Such a relationship is due to a creation of

mg de capsaicina o dihidrocapsaicina por g de muestra seca (mg g^{-1} BS). Los análisis se realizaron por triplicado.

Actividad antioxidante

La actividad antioxidante del pimiento se determinó con el método descrito por Zhuang *et al.* (2012). Un extracto etanólico se preparó, pimientos frescos se molieron y se tomaron muestras (5 g) por triplicado. La muestra de 5 g se extrajo agitando con 75 mL de etanol al 80 %, a temperatura ambiente, durante 24 h y se filtró. Los filtrados se concentraron en un evaporador rotatorio con vacío, a 40 °C. Los extractos resultantes se usaron para determinar la actividad antioxidante. Una alícuota de 0.4 mL del extracto se mezcló con 2 mL de una solución de metanol de difenilpicrilhidrazilo (DPPH) 0.1 mM. La mezcla se mantuvo a temperatura ambiente, en oscuridad por 30 min y su absorbancia se registró a 517 nm en un lector de microplacas. La actividad de captación de radicales del DPPH se calculó de acuerdo con la ecuación (1):

$$\% \text{ de actividad de eliminación} = ((A_{\text{control}} - A_{\text{extract}}) / A_{\text{control}}) \times 100 \quad [1]$$

donde, A_{control} : absorbancia del control; A_{extract} : absorbancia del extracto.

Análisis estadístico

Las variables bioquímicas se analizaron como ANDEVA de una vía con el software Statistica v. 10.0 para Windows. Los datos de las variables evaluadas se analizaron mediante ANDEVA. Los tratamientos se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido total de fenoles

La concentración de K en la solución nutritiva afectó significativamente el contenido de fenoles totales ($p \leq 0.05$; Cuadro 1). Los incrementos en el contenido de fenoles totales debido a la aplicación de K coinciden con los reportados por Ibrahim *et al.* (2012) y Redovniković *et al.* (2012), quienes indicaron que los aumentos en las dosis de fertilización con K se asocian con contenidos mayores de compuestos fenólicos. Esa relación se debe a la formación de estructuras básicas en el metabolismo de las plantas que están reguladas por K. Este ion propicia equilibrio celular para la absorción y la translocación de carbohidratos, lo que

Table 1. Total phenolic content (TPC), β -carotene, vitamin C (VC) and percentage of antioxidant activity (AA) in fruits of Serrano chili produced with increasing doses of potassium in the nutrient solution.

Cuadro 1. Contenido de fenoles totales (TPC), β -caroteno, vitamina C (VC) y porcentaje de actividad antioxidante (AA) en frutos de chile serrano producidos con dosis crecientes de potasio en la solución nutritiva.

K mM	TPC mg AGE g ⁻¹	β -carotene μ g g ⁻¹ PF	VC mg g ⁻¹ PF	AA %
3.5	24.13 c [†]	590.14 b	0.670 c	55.80 c
7.0	31.37 bc	618.46 b	0.903 b	60.77 c
10.5	50.70 ab	715.64 a	0.903 b	67.17 b
14.0	64.57 a	738.07 a	1.063 a	82.49 a

[†]Values in a column with different letters are statistically different ($p \leq 0.05$). [‡]Los valores en una columna con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

basic structures on plant metabolism that is regulated by K. This ion provides cellular balance for the purpose of absorption and translocation of carbohydrates, indirectly affecting the formation of compounds of the pathway of the phenylpropanoids (Kuum *et al.*, 2015). Phenylpropanoids are phenolic compounds and their main structures are C-glycosylflavones and phenolic acids.

β -carotene

Carotenoids and their derivatives are versatile isoprenoids and play a vital role in plants and animals. The most important aspect of carotenoids in the diet is their function as antioxidants and they also promote the synthesis of provitamin A (González-Zamora *et al.*, 2015). Different levels of K in the nutrient solution significantly affected ($p \leq 0.05$; Table 1) β -carotene concentration. Low doses of K resulted in low concentrations of β -carotene and increasing K levels increased the concentration of carotenoids. These results agree with other studies showing K positively affects the concentration of nutraceutical substances, such as lycopene and β -carotene (Adalid *et al.*, 2010).

The treatments with high levels of K increased β -carotene concentration in the fruit, confirming the effect of K on this compound, due to the stimulation of specific enzymes involved in the biosynthetic pathway of 1-deoxy-D-oxylulose 5-phosphate (DOXP), which is directly involved in the general regulation of carotenoid formation (Bramley, 2002). According to Fanasca *et al.* (2006), K could play a special role in the process of carotenoid biosynthesis by activating several

afecta indirectamente la formación de compuestos de la ruta de los fenilpropanoides (Kuum *et al.*, 2015). Los fenilpropanoides son compuestos fenólicos cuyas estructuras principales son C-glucosilflavonas y ácidos fenólicos.

β -caroteno

Los carotenoides y sus derivados son isoprenoides versátiles y desempeñan una función vital en plantas y animales. El aspecto más importante de los carotenoides en la dieta es su función como antioxidantes y promoción de la síntesis de provitamina A (González-Zamora *et al.*, 2015). Niveles diferentes de K en la solución nutritiva afectaron significativamente ($p \leq 0.05$; Cuadro 1) la concentración de β -caroteno. Dosis bajas de K condujeron a concentraciones bajas de β -caroteno y el aumento de los niveles de K incrementó la concentración de carotenos. Estos resultados concuerdan con los de otros estudios que muestran que el K afecta positivamente la concentración de sustancias nutraceuticas, como el licopeno y el β -caroteno (Adalid *et al.*, 2010).

Los tratamientos con niveles altos de K aumentaron la concentración de β -caroteno en la fruta, lo que confirmó el efecto de K en este compuesto, por estimulación de enzimas específicas involucradas en la ruta biosintética de 1-deoxi-D-oxilulosa 5-fosfato (DOXP), que participa directamente en la regulación general de la síntesis de carotenoides (Bramley, 2002). Según Fanasca *et al.* (2006), el K podría desempeñar una función especial en la biosíntesis de carotenoides, activando varias enzimas que regulan el metabolismo

enzymes that regulate the carbohydrate metabolism, such as pyruvate kinase and phosphofructokinase, as well as pyruvate and glyceraldehyde 3-phosphate, which are precursors of isopentenyl diphosphate (IPP), compound that is the initiator of all isoprenoids.

Vitamin C

The fruit of chili is one of the vegetables with the highest contents of vitamin C (Castellanos *et al.*, 2017). A consumption of 100 g PF of chili provides 100-200 % of recommended ascorbic acid (Cruz-Pérez *et al.*, 2007). Our results show that increasing K in the nutrient solution significantly increases the concentration of vitamin C ($p \leq 0.05$, Table 1) in fruits. Castro-Gómez *et al.* (2013) reported that vitamin C content in fruits depends on agronomic management, growth conditions, fruit maturity and post-harvest handling (García *et al.*, 2011). Yurtseven *et al.* (2005) found improvement in the accumulation of vitamin C in fruits through proper management of K fertilization and indicated that an increment of K doses in the nutrient solution increased vitamin C content, accordingly. Our results agree with this report. Besides, Iqbal *et al.* (2016) indicated that K plays an important role in the transport of compounds essential for the synthesis of ascorbic acid.

Capsaicinoids content

Capsaicinoids were significantly affected ($p \leq 0.05$, Table 2) by the K doses evaluated. The highest concentrations of capsaicin and dihydrocapsaicin and total capsaicinoids were obtained with high levels of K in the nutrient solution. This result is related to an increment in the pungency of chili, improving its quality since this characteristic is highly appreciated by the consumers (Medina-Lara *et al.*, 2008). Capsaicin and dihydrocapsaicin are the most abundant capsaicinoids in hot peppers (Paulus *et al.*, 2015), and are responsible for 90 % of their pungency (Vázquez-Flota *et al.*, 2007), which depends on the growing conditions, cultivation, maturity, pre- and post-harvest conditions (García *et al.*, 2011), as well as the fertilization supplied to the crop.

Results suggest a response between K and the content of capsaicinoids in fruits of Serrano chili, although the mechanism of action in this process is not yet defined. Medina-Lara *et al.* (2008) supplied

de los carbohidratos, como la piruvato quinasa y la fosfofructoquinasa, y también el piruvato y el gliceraldehído 3-fosfato, que son precursores del isopentenil difosfato (IPP), compuesto iniciador de todos los isoprenoides.

Vitamina C

El fruto de chile es una de las verduras con el contenido mayor de vitamina C (Castellanos *et al.*, 2017). El consumo de 100 g PF de chile proporciona 100 a 200 % del ácido ascórbico recomendado (Cruz-Pérez *et al.*, 2007). Nuestros resultados muestran que el aumento de K en la solución nutritiva incrementa significativamente la concentración de vitamina C en los frutos ($p \leq 0.05$; Cuadro 1). Castro Gómez *et al.* (2013) reportaron que el contenido de vitamina C en los frutos depende del manejo agronómico, las condiciones de crecimiento, la madurez del fruto y el manejo después de la cosecha (García *et al.*, 2011). Yurtseven *et al.* (2005) encontraron una mejora en la acumulación de vitamina C en los frutos mediante manejo adecuado de la fertilización con K, e indicaron que un incremento de las dosis de K en la solución nutritiva aumentaba el contenido de vitamina C. Nuestros resultados concuerdan con ese informe. Además, Iqbal *et al.* (2016) indicaron que el K desempeña una función importante en el transporte de compuestos esenciales para la síntesis del ácido ascórbico.

Contenido de capsaicinoides

Los capsaicinoides se afectaron significativamente ($p \leq 0.05$, Cuadro 2) por las dosis de K evaluadas. Las concentraciones mayores de capsaicina y dihidrocapsaicina y capsaicinoides totales se obtuvieron con niveles altos de K en la solución nutritiva. Este resultado se relaciona con el aumento de la pungencia del chile y mejora su calidad, ya que esta característica es apreciada por los consumidores (Medina-Lara *et al.*, 2008). La capsaicina y la dihidrocapsaicina son los capsaicinoides más abundantes en los pimientos (Paulus *et al.*, 2015), son responsables del 90 % de su pungencia (Vázquez-Flota *et al.*, 2007), lo cual depende de las condiciones de crecimiento, cultivo y madurez previa y posterior a la cosecha (García *et al.*, 2011), además de la fertilización aplicada al cultivo.

Los resultados sugieren una respuesta del contenido de capsaicinoides en los frutos de chile serrano al K,

Table 2. Content of capsaicinoids in fruits of Serrano pepper produced with increasing doses of potassium in the nutrient solution.**Cuadro 2.** Contenido de capsaicinoides en frutos de chile Serrano producidos con dosis crecientes de potasio en la solución nutritiva.

K mM	Capsaicin	Dihidrocapsaicin	Total capsaicinoids
mg g ⁻¹ BS			
3.5	2.05 b [†]	1.32 b	3.37 b
7.0	2.11 b	1.46 b	3.57 b
10.5	2.22 ab	2.16 a	4.38 a
14.0	2.50 a	1.99 a	4.44 a

[†]Values in columns with different letters are statistically different ($p \leq 0.05$).❖ [†]Los valores en una columna con letras diferentes son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

N and K fertilization and found that N affected the capsaicin content, whereas K does not significantly interfere in the metabolism of this metabolite; but, Iqbal *et al.* (2016) indicated that K positively affects capsaicin due to its action on its biosynthesis, whereas Estrada *et al.* (1998) reported higher capsaicin contents by increasing N and K in chili, suggesting that both nutrients have interaction on these capsaicinoid compounds. Sánchez-Chávez *et al.* (2006) indicated that K together with N is one of the macro-elements with the most effect on yield and quality, because K improves N metabolism; which suggests that the capsaicin content can be influenced by the action of both nutrients. Nevertheless, the mechanism by which capsaicinoid compounds are increased by fertilization is not known, but it could be related to the chemical structure of capsaicinoid compounds consisting of a phenolic nucleus bound by an amide bond to a fatty acid and (Vázquez-Flota *et al.*, 2007), and by improving the N and K translocation of carbohydrate compounds, which is enhanced by the phenylalanine of compounds in the phenylpropanoid pathway.

Antioxidant activity

Serrano pepper evidences a high potential as a source of bioactive compounds with high antioxidant capacity (Zhuang *et al.*, 2012), which is an important attribute since antioxidants are essential in the nutritional quality of fruits. In our study, K application significantly affected ($p \leq 0.05$; Table 1) the antioxidant activity in chili fruits, which was higher with high K

aunque el mecanismo de acción en este proceso aún no está definido. Medina-Lara *et al.* (2008) suministraron fertilización con N y K y encontraron que el N afectó el contenido de capsaicina, mientras que K no interfirió significativamente en el metabolismo de este metabolito. En contraste, Iqbal *et al.* (2016) indicaron que el K tuvo efecto positivo en la capsaicina debido a su acción sobre su biosíntesis; Estrada *et al.* (1998) informaron contenidos mayores de capsaicina al aumentar el N y K en el chile, y sugirieron que ambos nutrientes interactúan con esos capsaicinoides. Sánchez-Chávez *et al.* (2006) indicaron que el K junto con el N son los macroelementos con mayor efecto en el rendimiento y la calidad, porque el K mejora el metabolismo del N, lo cual sugiere que el contenido de capsaicina puede verse influido por la acción de ambos nutrientes. El mecanismo por el cual los compuestos capsaicinoides aumentan con la fertilización se desconoce, pero podría estar relacionado con la estructura química de los capsaicinoides que consiste en un núcleo fenólico unido por un enlace amida a un ácido graso (Vázquez Flota *et al.*, 2007), y con la mejor translocación de N y K de los compuestos de carbohidratos, que es reforzada por la fenilalanina en la ruta del fenilpropanoide.

Actividad antioxidante

El chile Serrano muestra potencial como fuente de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante (Zhuang *et al.*, 2012), lo cual es un atributo importante ya que los antioxidantes son esenciales en la calidad nutricional de los frutos. En nuestro estudio, el K

levels. Improvement of antioxidant activity in chili fruits is desirable, because the consumption of this type of pepper is associated with a lower risk of cardiovascular disease and certain types of cancer (Jáuregui *et al.*, 2011).

The beneficial effects of K on the synthesis of bioactive compounds was probably the result of a combination of an improved CO₂ assimilation, increased photosynthetic activity and greater translocation of photo-assimilates from leaves to fruits, in addition to enhanced water functions, higher enzyme activity and substrate availability for the biosynthesis of antioxidant compounds (Nguyen *et al.*, 2010; Praveen-Kumar *et al.*, 2010).

CONCLUSIONS

Total phenolic compounds present in the fruits were determined by the variety, soil type, climate, maturation stage, cultivation conditions, post-harvest management and by the nutritional status of the crop. Bioactive compounds increased due to the effect of applied K levels.

These characteristics are favorable to improve the nutritional quality of the Serrano chili. The management of K nutrition in Serrano chili (hot pepper) can be considered an alternative for the improving of the nutraceutical quality of the fruit.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by funds of the Secretaría de Educación Pública and the Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Project SEP-CONACYT CB-2015-257808).

LITERATURE CITED

- Adalid, A. M., S. Roselló, and F. Nuez. 2010. Evaluation and selection of tomato accessions (*Solanum* section *Lycopersicon*) for content of lycopene, β -carotene and ascorbic acid. *J. Food Comp. Anal.* 23: 613-618.
- Alvarez-Parrilla, E., L. A. de la Rosa, R. Amarowicz, and F. Shahidi. 2012. Protective effect of fresh and processed Jalapeño and Serrano peppers against food lipid and human LDH cholesterol oxidation. *Food Chem.* 133: 827-834.
- Ayers, R., and D. Westcot. 1994. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and drainage paper 29 Rev. 1. Food and Agricultural Organization. Rome. 179 p.
- Bayili, R. G., F. Abdoul-Latif, O. H. Kone, M. Diao, I. H. Bassole, and M. H. Dicko. 2011. Phenolic compounds and antioxidant activities in some fruits and vegetables from Burkina Faso. *Afr. J. Biotechnol.* 10: 13543-13547.

aplicado afectó significativamente ($p \leq 0.05$; Cuadro 1) la actividad antioxidante de los frutos de chile, que fue mayor con niveles altos de K. La mejora de la actividad antioxidante en los frutos de chile es deseable, ya que su consumo se asocia con menor riesgo de enfermedad cardiovascular y ciertos tipos de cáncer (Jáuregui *et al.*, 2011).

Los efectos beneficiosos del K en la síntesis de compuestos bioactivos fueron probablemente el resultado de una combinación de asimilación mayor de CO₂, actividad fotosintética mayor y translocación mayor de foto-asimilados de las hojas a los frutos, además de funciones mejoradas del agua, actividad enzimática mayor y disponibilidad de sustratos para la biosíntesis de compuestos antioxidantes (Nguyen *et al.*, 2010; Praveen-Kumar *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Los compuestos fenólicos totales presentes en los frutos se determinaron por la variedad, el tipo de suelo, el clima, la etapa de maduración, las condiciones de cultivo, el manejo posterior a la cosecha y por el estado nutricional del cultivo. Los compuestos bioactivos aumentaron debido al efecto de los niveles de K aplicados.

Estas características son favorables para mejorar la calidad nutricional del chile Serrano. El manejo de la nutrición con K en chile Serrano (pimiento picante) puede considerarse una alternativa para mejorar la calidad nutracéutica del fruto.

—Fin de la versión en Español—



- Biruete, A., E. Juárez, E. Sieiro, R. Romero, y J. Silencio. 2009. Los nutraceuticos. Lo que es conveniente saber. *Rev. Mex. Pediatr.* 76: 136-145.
- Bramley, P. M. 2002. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *J. Exp. Bot.* 53: 2107-2113.
- Castellanos, J. Z., P. Cano, E. M. García-Carrillo, V. Olalde-Portugal, P. Preciado-Rangel, J. L. Ríos-Plaza, and J. L. García-Hernández. 2017. Hot pepper (*Capsicum annuum* L.) growth, fruit yield, and quality using organic sources of nutrients. *Compost Sci. Util.* 25: S70-S77.
- Castro-Gómez, J. C., F. Gutiérrez-Rodríguez, C. Acuña-Amaral, L. A. Cerdeira-Gutiérrez, A. Tapullima-Pacaya, M. Cobos-Ruiz, I. Correa, y A. Sixto. 2013. Variación del contenido de vitamina C y antocianinas en *Myrciaria dubia* "camu camu". *Rev. Soc. Quím. Perú.* 79: 319-330.

- Cisneros-Pineda, O., L. W. Torres-Tapia, L. C. Gutiérrez-Pacheco, F. Contreras-Martín, T. González-Estrada, and S. R. Peraza-Sánchez. 2007. Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatán, Mexico. *Food Chem.* 104: 1755-1760.
- Constán-Aguilar, C., R. Leyva, B. Blasco, E. Sánchez-Rodríguez, T. Soriano, and J. Ruiz. 2014. Biofortification with potassium: antioxidant responses during postharvest of cherry tomato fruits in cold storage. *Acta Physiol. Plant.* 36: 283-293.
- Cruz-Pérez, A. B., V. A. González-Hernández, R. M. Soto-Hernández, M. A. Gutiérrez-Espinosa, A. A. Gardea-Béjar, y M. Pérez Grajales. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia* 41: 627-635.
- Devi, B. S. R., Y. J. Kim, S. K. Selvi, S. Gayathri, K. Altanzul, S. Parvin, D.-U. Yang, O. R. Lee, S. Lee, and D. Yang. 2012. Influence of potassium nitrate on antioxidant level and secondary metabolite genes under cold stress in *Panax ginseng*. *Russ. J. Plant Physiol.* 59: 318-325.
- Doner, L. W., and K. B. Hicks. 1981. High-performance liquid chromatographic separation of ascorbic acid, erythorbic acid, dehydroascorbic acid, dehydroerythorbic acid, diketogulonic acid, and diketogluconic acid. *Anal. Biochem.* 115: 225-230.
- Estrada, B., F. Pomar, J. Díaz, F. Merino, and M. Bernal. 1998. Effects of mineral fertilizer supplementation on fruit development and pungency in "Padron" peppers. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 73: 493-497.
- Fanascia, S., G. Colla, G. Maiani, E. Venneria, Y. Roupheal, E. Azzini, and F. Saccardo. 2006. Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *J. Ag. Food Chem.* 54: 4319-4325.
- FAOSTAT. 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Modulo producción. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. (Consulta: octubre 2018).
- García, J. R., L. De la Rosa, G. Herrera-Duenez, A. González-Barrios, J. López-Díaz, G. González-Aguilar, S. Ruiz-Cruz, y E. Álvarez-Parrilla. 2011. Cuantificación de polifenoles y capacidad antioxidante en duraznos comercializados en Ciudad Juárez, México. *Tecnociencia* 5: 67-75.
- González-Zamora A., E. Sierra, J. G. Luna, R. Pérez, J. C. Rodríguez, and J. L. García-Hernández. 2013. Characterization of different *Capsicum* varieties by evaluation of their capsaicinoids content by high performance liquid chromatography, determination of pungency and effect of high temperature. *Molecules* 18: 13471-13486.
- González-Zamora A., E. Sierra, R. Pérez, C. Vázquez-Vázquez, M. A. Gallegos-Robles, J. D. López, and J. L. García-Hernández. 2015. Measurement of capsaicinoids in chiltepin hot pepper: a comparison study between spectrophotometric method and high performance liquid chromatography analysis. *J. Chem. (e-J. Chem.* 2015.) Article ID 709150, 10 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/709150> (Consulta: octubre 2018).
- Herrera Chale, F., D. Betancur Ancona, S. Campos, y M. Rubi. 2014. Compuestos bioactivos de la dieta con potencial en la prevención de patologías relacionadas con sobrepeso y obesidad: péptidos biológicamente activos. *Nutr. Hosp.* 29: 10-20.
- Ibrahim, M. H., H. Z. Jaafar, E. Karimi, and A. Ghasemzadeh. 2012. Primary, secondary metabolites, photosynthetic capacity and antioxidant activity of the Malaysian Herb Kacip Fatimah (*Labisia pumila* Benth) exposed to potassium fertilization under greenhouse conditions. *Int. J. Mol. Sci.* 13: 15321-15342.
- Iqbal, M. N., S. Ali, A. A. Anjum, K. Muhammad, M. A. Ali, S. Wang, W. A. Kan, I. Khan, A. Muhammad, A. Mahmood, M. Irfan, A. Ahmad, A. Ashraf, and F. Hussain. 2016. Microbiological risk assessment of packed fruit juices and antibacterial activity of preservatives against bacterial isolates. *Pak. J. Zool.* 48: 1695-1703.
- Jáuregui, M. E. C., M. Calvo, and F. P. Romo. 2011. Carotenoids and their antioxidant function: A review. *Arch. Latin. Nutr.* 61: 233-241.
- Korkutata, N. F., and A. Kavaz. 2015. A comparative study of ascorbic acid and capsaicinoid contents in red hot peppers (*Capsicum annum* L.) grown in southeastern Anatolia Region. *Int. J. Food Prop.* 18: 725-734.
- Kuum, M., V. Veksler, and A. Kaasik. 2015. Potassium fluxes across the endoplasmic reticulum and their role in endoplasmic reticulum calcium homeostasis. *Cell Ca.* 58: 79-85.
- Lo Scalzo, R., L. F. Di Cesare, C. A. Migliori, F. Leteo, and G. Campanelli. 2014. Influence of climatic conditions on nutritional and nutraceutical profiles of organic-grown sweet red-peppers (*Capsicum annum* L.). *Progress in Nutrition* 16: 52-56.
- Medina-Lara, F., I. Echevarría-Machado, R. Pacheco-Arjona, N. Ruiz-Lau, A. Guzmán-Antonio, and M. Martínez-Estevéz. 2008. Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *HortScience.* 43: 1549-1554.
- Mejia, L., E. Hudson, E. G. De Mejia, and F. Vazquez. 1988. Carotenoid content and vitamin-a activity of some common cultivars of mexican peppers (*Capsicum annum*) as determined by HPLC. *J. Food Sci.* 53: 1448-1451.
- Nguyen, P. M., E. M. Kwee, and E. D. Niemeyer. 2010. Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chem.* 123: 1235-1241.
- Patel, D. K., B. R. Patel, J. R. Patel, and G. V. Kuchhadiya. 2015. Genetic variability and character association studies for green fruit yield and quality component traits in chilli (*Capsicum annum* var. longum). *Electron. J. Plant Br.* 6: 472-478.
- Paulus, D., R. Valmorbidia, A. Santin, E. Toffoli, and E. Paulus. 2015. Growth, yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annum*) at different spacings. *Hortic. Bras.* 33: 91-100.
- Praveen-Kumar, P., S. Kumaravel, and C. Lalitha. 2010. Screening of antioxidant activity, total phenolics and GC-MS study of *Vitex negundo*. *Afr. J. Biochem. Res.* 4: 191-195.
- Rahal, A., Mahima, A. K. Verma, A. Kumar, R. Tiwari, S. Kapoor, S. Chakraborty, and K. Dhama. 2014. Phytonutrients and nutraceuticals in vegetables and their multi-dimensional medicinal and health benefits for humans and their companion animals: A Review. *J. Biol. Sci.* 14: 1-19. <https://scialert.net/abstract/?doi=jbs.2014.1.19> (Consulta: noviembre 2018).
- Redovniković, I. R., M. Bogović, D. Belko, K. Delonga, S. Fabek, B. Novak, and N. Toth. 2012. Influence of potassium fertilisation on the levels of phenolic compounds in sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) leaves. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 87: 47-51.
- Sánchez-Chávez, E., J. M. Soto Parra, J. M. Ruiz Sáez, y L. Romero Monreal. 2006. Biomasa, actividad enzimática y compuestos

- nitrogenados en plantas de frijol ejotero bajo diferentes dosis de potasio. *Agric. Téc Méx.* 32: 23-37.
- Santos, P., A. C. Aguiar, G. F. Barbero, C. A. Rezende, and J. Martínez. 2015. Supercritical carbon dioxide extraction of capsaicinoids from malagueta pepper (*Capsicum frutescens* L.) assisted by ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* 22: 78-88.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Anuario estadístico de la producción agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Recursos Naturales, Pesca y Alimentación. SIAP-SAGARPA. Gobierno Federal. http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/ (Consulta: abril 2015).
- Singleton, V. L., R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventos. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagents. *Methods Enzymol.* 299: 152-178.
- Sricharoen P., N. Lamaiphan, P. Patthawaro, N. Limchoowong, S. Techawongstien, and S. Chanthai. 2017. Phytochemicals in *Capsicum* oleoresin from different varieties of hot chilli peppers with their antidiabetic and antioxidant activities due to some phenolic compounds. *Ultrason. Sonochem.* 38: 629-639.
- Steiner, A. A. 1984. The Universal Nutrient Solution. Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, The Netherlands. pp: 633-649.
- Vázquez-Flota, F., M. L. Miranda-Ham, M. Monforte-González, G. Gutiérrez-Carbajal, C. Velázquez-García, y Y. Nieto-Pelayo. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Rev. Fitot. Mex.* 30: 353-360.
- Vera-Guzmán, A. M., J. L. Chávez-Servia, J. C. Carrillo-Rodríguez, and M. G. López. 2011. Phytochemical evaluation of wild and cultivated pepper (*Capsicum annuum* L. and *C. pubescens* Ruiz & Pav.) from Oaxaca, Mexico. *Chilean J. Agric. Res.* 71: 578-585.
- Yurtseven, E., G. Kesmez, and A. Ünlükara. 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*). *Agric. Water Manage.* 78: 128-135.
- Zhuang, Y., L. Chen, L. Sun, and J. Cao. 2012. Bioactive characteristics and antioxidant activities of nine peppers. *J. Funct. Foods.* 4: 331-338.

