

La Interacción K:Ca Afecta el Crecimiento, Rendimiento y Calidad del Fruto de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en Sistemas de Cultivo sin Suelo

Obed Isai Hernández Pérez^{1*}, Luis Alonso Valdez Aguilar¹, Iran Alia Tejacal², Rosalinda Mendoza Villarreal¹ y Valentín Robledo Torres¹

¹Departamento de Horticultura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25315 (luisalonso.valdez@uaaan.mx; rosalingdamendoza@hotmail.com; varoto@prodigy.com.mx), ²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad 1001, Colonia Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México, C.P. 62209. (ijac96@yahoo.com.mx). *Autor para correspondencia: isai_iahnarro@hotmail.com

Resumen

En México, el tomate es uno de las especies hortícolas de mayor exportación, lo que estimula la realización de trabajos de investigación relacionados con la calidad del fruto con el objetivo de lograr una mayor competitividad en el mercado. La nutrición con potasio (K) y calcio (Ca) están relacionados con la calidad del fruto y un subministro desbalanceado de estos nutrimentos puede disminuir la calidad y rendimiento. El objetivo del presente estudio fue el comparar diferentes proporciones de K:Ca en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto de tomate. Los tratamientos evaluados consistieron en soluciones nutritivas (SN) con cuatro concentraciones de K (7, 9, 11 y 13 meq L⁻¹) y tres de Ca (9, 11 y 13 meq L⁻¹), utilizando un diseño de bloques completos al azar con un arreglo factorial 4x3. El rendimiento y el peso seco total por planta aumentó con el incremento de la concentración de K en la SN, sin embargo, con una concentración de Ca superior a 9 meq L⁻¹ este disminuyó. La concentración de azúcares totales, tiende a incrementar con el aumento de la concentración de K en la SN, pero disminuyó cuando la concentración de Ca fue mayor a 9 meq L⁻¹; este mismo efecto se registró para la firmeza de fruto, no obstante, la mayor firmeza se presentó con 13 meq L⁻¹ de Ca y 11 meq L⁻¹ de K. La concentración de carotenoides totales decreció con el aumento de la concentración de K a 9 y 11 meq L⁻¹, pero con 13 meq L⁻¹ este aumentó. De acuerdo con los resultados, se sugiere que a mayor concentración de K, aumenta el rendimiento y calidad de los frutos, mientras que el Ca los disminuye, a excepción de la firmeza y carotenoides totales.

Palabras clave: Azúcares totales, carotenoides totales y firmeza.

Introducción

En la actualidad es un reto lograr una excelente calidad en el fruto de tomate para cumplir con las exigencias del mercado internacional, para ello hay que tomar en cuenta factores como temperatura, intensidad de luz, humedad relativa y la nutrición, el cual es un factor muy importante que se debe manejar para lograr este objetivo. Los nutrimentos más relacionados con la calidad del fruto son: potasio (K) y calcio (Ca). Una aplicación desproporcional de estos nutrimentos puede afectar la calidad del fruto: color, sabor, consistencia, tamaño (Jones *et al.*, 1991), ablandamiento y pudrición apical (Ho y Hand, 1997). Por tal motivo un adecuado suministro de Ca a los frutos es esencial para la firmeza, vida de anaquel (Dorais *et al.*, 2001), incidencia del rajado de frutos y pudrición apical (Passam *et al.*, 2007). Un suministro relativamente alto de K aumenta la calidad del fruto, incluyendo acidez titulable, contenido de sólidos solubles totales, mejora el color y sabor (Passam *et al.*, 2007). La interacción de estos nutrimentos puede afectar la absorción entre ellos y de otros iones, por lo

tanto la relación recíproca de K:Ca en las plantas parece ser controlada primeramente por el suministro de K disponible en el sustrato, a medida que el K aumenta la absorción del Ca puede disminuir (Jones *et al.*, 1991). Los cultivos hidropónicos ofrecen la posibilidad de controlar de manera más eficiente la concentración de nutrientes en la solución nutritiva y observar su efecto en las plantas (Jones *et al.*, 1991). Con base a lo anterior este trabajo tuvo como objetivo estudiar el efecto de la interacción de K:Ca en el crecimiento, rendimiento y calidad del fruto en el cultivo de tomate

Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en 2014 en un invernadero del Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila. Se utilizaron semillas de tomate tipo bola cv. Clermon, las cuales fueron sembradas el 11 julio en charolas de 200 cavidades con peat moss y trasplantadas el 21 de agosto en contenedores de polietileno negro de 36 cm por 39 cm. Los contenedores se llenaron con una mezcla de sustrato compuesta de 70 % peat moss y 30 % perlita. La unidad experimental consistió con una planta, para lo cual se plantaron cubriendo totalmente el cepellón; la distancia entre plantas fue de 40 cm y entre hileras de 120 cm. Las soluciones nutritivas estudiadas fueron preparadas con agua potable, misma que se consideró las propiedades químicas para la formulación. Los tratamientos consideraron 12 relaciones de K:Ca (Cuadro 1). El pH de las soluciones se ajustó a 6.0 ± 0.1 con HNO_3 y H_3PO_4 , la conductividad eléctrica varió entre 2.2 a 3.2 dS m^{-1} . Los riegos se efectuaron mediante un sistema de riego según las necesidades hídricas de las plantas aplicando un volumen suficiente de la SN para mantener una fracción de lixiviado de 25 %; la frecuencia de riego fueron diarias. Una semana después del trasplante se aplicaron los riegos con la SN correspondiente a cada tratamiento.

Cuadro 1. Concentración de macronutrientes de las soluciones nutritivas estudiadas obtenida de la relación K:Ca.

Tratamiento	Factor A			Factor B		
	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{--}	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}
	meq L^{-1}					
T1	14	2	4	7	4	9
T2	14	2	6	7	4	11
T3	14	2	8	7	4	13
T4	14	2	6	9	4	9
T5	14	2	8	9	4	11
T6	14	2	10	9	4	13
T7	14	2	8	11	4	9
T8	14	2	10	11	4	11
T9	14	2	12	11	4	13
T10	14	2	10	13	4	9
T11	14	2	12	13	4	11
T12	14	2	14	13	4	13

El experimento finalizó a los 160 días después de trasplante (ddt); la cosecha se realizó en seis plantas por cada tratamiento y se inició a los 83 ddt. La obtención del rendimiento total fue mediante la suma del peso de los diez racimos cosechados en 77 días. Se tomaron las plantas en cada

contendor y fueron sometidos a un lavado de raíces con agua potable para eliminar el exceso de sustrato, para posteriormente separar en raíz, tallo y hojas. Los órganos separados se introdujeron a una estufa de secado por 72 h a 65°C. La determinación de la materia seca total fue obtenida a partir de la suma del peso de los diferentes órganos. Se tomó un fruto por planta para determinar los azúcares totales mediante la metodología propuesta por Witham *et al.* (1971). La cuantificación de azúcares totales se realizó mediante una curva de calibración de glucosa (mg g^{-1} de peso fresco). Los carotenoides totales fueron cuantificados por la metodología descrita por Campos (1985). La firmeza se determinó con un penetrometro (Mc CORMICK), utilizando una puntilla de 8 mm de diámetro. El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con un arreglo factorial 4x3, con seis repeticiones por cada tratamiento. Los datos obtenidos se sometieron en un análisis de varianza y la comparación de medias fue de acuerdo a la prueba de Duncan ($\alpha \leq 0.05$) utilizando el programa Statistical Analysis Systems (SAS) versión 9.2.

Resultados

Los azúcares totales, y carotenoides totales fueron afectados por el K y Ca (Cuadro 2), la interacción de estos factores también influyeron en estas variables (Cuadro 2). Los azúcares totales en el fruto aumentan al elevar el K y disminuir el Ca (Figura 1). La concentración de carotenoides totales en el fruto incrementa al aumentar Ca y disminuir K (Figura 2).

Cuadro 2. Efecto de la interacción K:Ca en la concentración de azúcares totales y carotenoides totales en los frutos de tomate cv. Clermon.

	(meq L ⁻¹)	Azúcares Totales (mg g^{-1} P.F)	Carotenoides totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ P.F)
K	7	21.91c	191.74a
	9	26.66b	160.65b
	11	31.90 ^a	152.85b
	13	30.33 ^a	181.54a
Ca	9	30.60a	165.90b
	11	27.66b	161.58b
	13	24.85c	187.60a
Anova			
K	P	≤ 0.001	≤ 0.001
Ca	P	≤ 0.001	≤ 0.001
Interacción		≤ 0.001	≤ 0.001
CV (%)		5.13	4.88

$P \leq \text{ns}, 0.05, 0.001 =$ no significativo y significativo; Interacción= K x Ca; Las letras a, b y c son las categorías obtenidas de la comparación de media con Duncan ($\alpha \leq 0.05$)

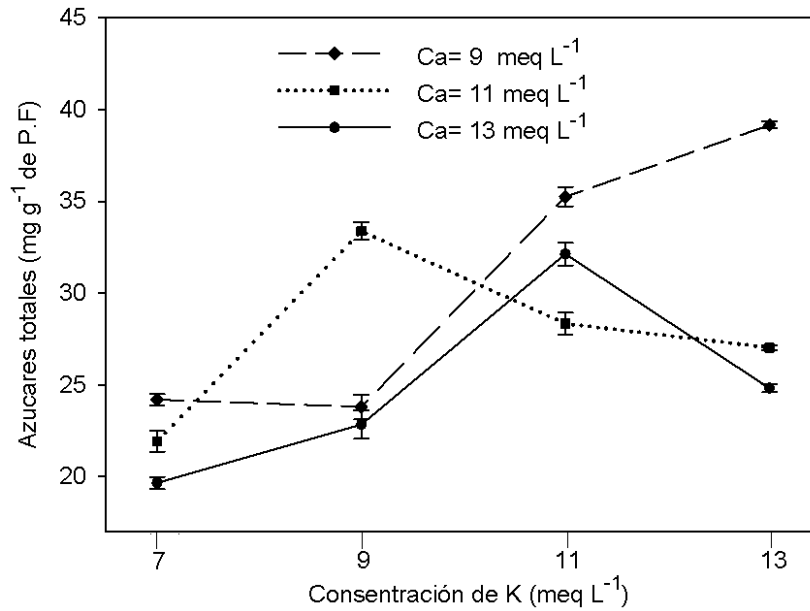


Figura 1. Efecto de la interacción entre K:Ca en el contenido de azúcares totales en frutos de tomate cv. Clermon.

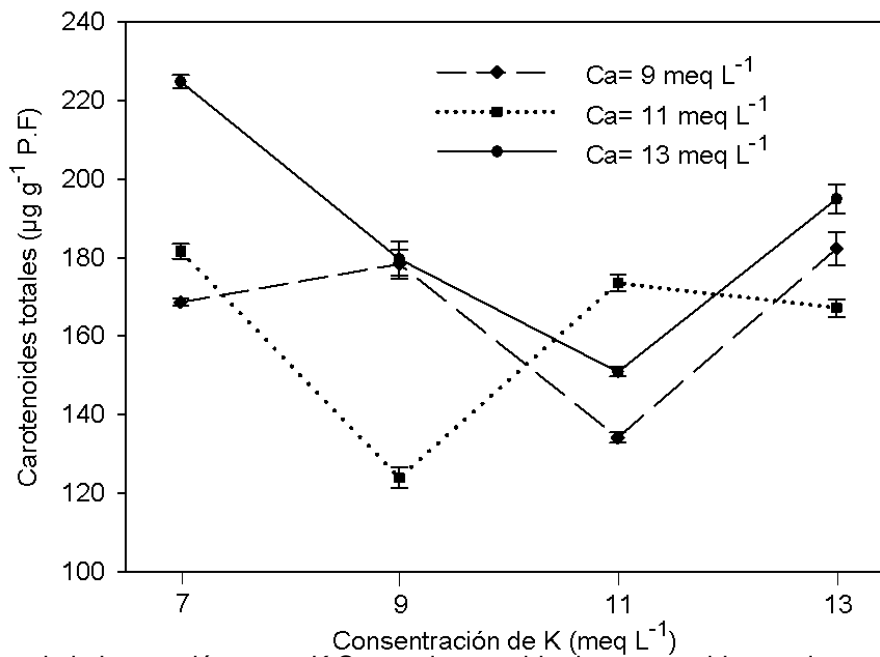


Figura 2. Efecto de la interacción entre K:Ca en el contenido de carotenoides totales en frutos de tomate cv. Clermon.

El rendimiento, la biomasa total y firmeza de fruto fueron afectados por la concentración de K y Ca (Cuadro 3), la interacción de ambos factores también influyeron en el comportamiento de estas (Cuadro 3). El rendimiento por planta aumenta al incrementar la concentración de K a 9 meq L⁻¹ con 11 meq L⁻¹ de Ca, una concentración mayor a esta el rendimiento disminuye (Figura 3A), este mismo comportamiento se presenta para el peso seco total (Figura 3B). La firmeza del fruto aumenta al elevar Ca pero, cuando el K es superior a 11 meq L⁻¹ este disminuye (Figura 4).

Cuadro 3. Efecto de la interacción K:Ca a en el rendimiento, peso seco total y firmeza en frutos de tomate cv. Clermon.

	(meq L ⁻¹)	Rendimiento(kg planta ⁻¹)	P.S. Total(g planta ⁻¹)	Firmeza (kg cm ²)
K	7	6.56d	442.10c	1.87b
	9	7.08b	452.79a	2.29a
	11	7.19a	446.88b	2.42a
	13	6.84c	444.35bc	1.94b
Ca	9	6.96a	443.65b	1.84c
	11	6.98a	449.95a	2.06b
	13	6.82b	445.99b	2.49a
Anova				
K	P	≤0.001	≤0.001	≤0.001
Ca	P	≤0.002	≤0.003	≤0.001
Interacción		≤0.001	≤0.001	≤0.003
CV(%)		1.55	0.7	8.1

P ≤ ns, 0.05, 0.001= no significativo y significativo; Interacción= K x Ca; Las letras a, b y c son las categorías obtenidas de la comparación de media con Duncan (α ≤ 0.05).

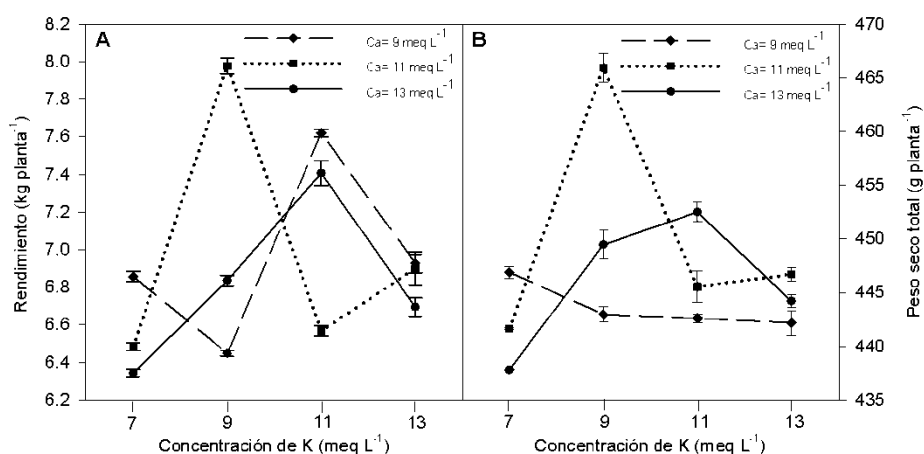


Figura 3. Efecto de la interacción entre K:Ca en el rendimiento y peso seco total de plantas de tomate cv. Clermon.

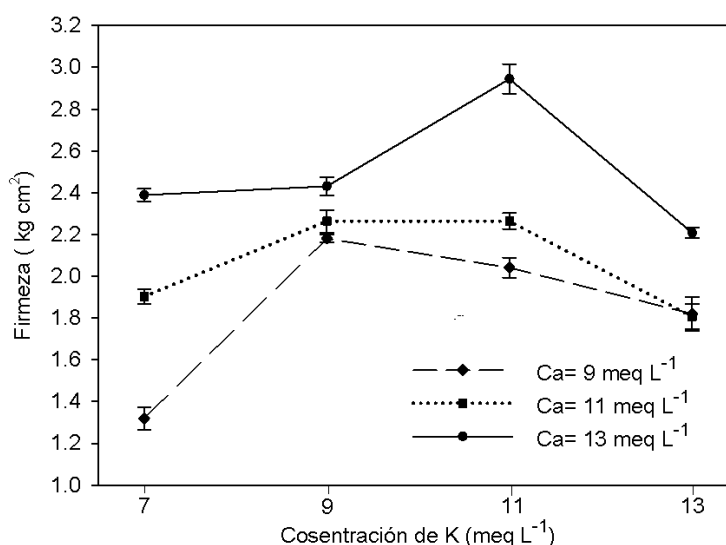


Figura4. Efecto de la interacci3n entre K:Ca en la firmeza del fruto de tomate cv. Clermon.

Discusi3n

Una aplicaci3n elevada de Ca disminuye el contenido de azucares totales en el fruto de tomate, este efecto se debe a una relaci3n elevada sobre Mg y K lo cual provoca una disminuci3n en la absorpci3n de estos cationes (Larcher, 2003), ya que el Mg es la parte central de la mol3cula de la clorofila el cual afecta la actividad fotosint3tica (Mengel y Kirkby, 2000), mientras que el K interviene en la traslocaci3n, s3ntesis de az3car y almid3n (Rodr3guez, 1992). Estas funciones proporcionan un mejor transporte y producci3n de carbohidratos para los sitios de mayor demanda, tal como se observ3 en este trabajo pues al elevar K aumenta la concentraci3n de dicha variable. Los carotenoides totales son pigmentos que est3n relacionadas con el color del fruto. En esta investigaci3n se registra que el contenido de carotenoides totales aumentaron al elevar el Ca provocando un color desuniforme y anaranjado en el fruto; pues las altas concentraciones de Ca regulan la absorpci3n de K evitando el consumo de lujo de este (Le3n, 1994), mismo que provoca un antagonismo con este nutrimento. El rendimiento por planta, el peso seco total y firmeza aumenta con el incremento de la concentraci3n de Ca pero al elevar K se observa una disminuci3n (>11 meq L⁻¹) de estos. Este resultado concuerda con lo reportado por Rubio *et al.* (2010) quienes se3alan que al aumentar el K a 12 mmol L⁻¹ el rendimiento disminuye en plantas de pimiento. Asimismo, el aumento del peso seco total puede estar relacionado a una mayor actividad fotosint3tica, pues esta es mayor en concentraciones adecuadas del Ca y K (Alarc3n, *et al.*, 1999; Rodr3guez, 1992), favoreciendo un mayor crecimiento y consistencia de la planta. Al aumentar el Ca la firmeza es mayor, esto se debe principalmente a la funci3n del Ca, pues Marschner (1986) reporta que una alta proporci3n de Ca en el tejido de las plantas localizada en las paredes celulares (apoplasto) es vital para la estabilidad de estas y de las membranas.



Conclusión

Una aplicación adecuada de K y Ca mejora el rendimiento y peso seco total en la planta de tomate, al elevar la cantidad de Ca se obtiene mejor firmeza pero, provoca una desuniformidad en la coloración del fruto. Incrementar la concentración de K mejora en contenido de azúcares totales pero el rendimiento tiende a disminuir.

Literatura citada

- Alarcón, A.I., Madrid R., Ega C., Guillen I., 1999. Calcium deficiency provoked by the application of different forms and concentrations of Ca to soil-less cultivated muskmelons. *Scientia Horti.*, 81:89-102.
- Campos Hernández, E. 1985. Evaluación de la calidad de los frutos de los árboles de tipo criollo de mamey (*Calocarpum mammosum*) para su mejoramiento selectivo. Tesis profesional. Químico Farmacéutico Biólogo. UNAM. D. F., México.
- Dorais, M., Papadopoulos, A.P. & Gosselin, A. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. *Hort. Rev.* 26: 239-319.
- Ho, L.C., Hand, D.J. 1977. Improvement of fruit quality by calcium nutrition. *Acta Horti.* 481: 463-468.
- Jones, J.B., Wolf, J.R. B., Mills, H. A. 1991. *Plant Analysis Handbook*. Micro-Macro Publishing Inc. Athens, Georgia. 212 p.
- Larcher, W. 2003. *Physiological plant ecology; Ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Fourth edition. Springer. 513 p.
- León, L. A. 1994. Evaluación de la fertilidad del suelo. *In: Silva M., F. (Ed.). Fertilidad de suelos; diagnóstico y control*. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 155-186.
- Marschner, H. 1986. *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition. Academic Press, London. 889 p.
- Megel, K., Kirkby, E. A. 2000. *Principios de nutrición vegetal*. Traducción al español de la 4ª edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p.
- Passam, H.C., Karapanos, I.C., Bebeli, P.J. & Savvas, D. 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1(1): 1-21.
- Rodríguez, S.A. 1992. *Fertilizantes nutrición vegetal*. AGT editor. 2ª reimpresión. México, D.F. 157 p.
- Rubio, J. S., García-Sánchez, F., Flores, P., Navarro, J. M., & Martínez, V. 2010. Yield and fruit quality of sweet pepper in response to fertilisation with Ca²⁺ and K⁺. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1), 170-177.
- Whitman, F.H., Blaydes D.F. and Devlin, R.M. 1971. *Experiments in Plant Physiology*. Van Nostrand Reinhold. New York, USA. 245 p.