

# ADICIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA PARA TOMATE EN UN SUELO CALCÁREO

## Addition of Citric Acid to Nutrient Solution of Tomato Cultivated in Calcareous Soil

Fabián Pérez Labrada<sup>1</sup>, Adalberto Benavides Mendoza<sup>1‡</sup>,  
Mario Ernesto Vázquez Badillo<sup>2</sup> y Homero Ramírez<sup>1</sup>

### RESUMEN

Los ácidos orgánicos, principalmente el ácido cítrico, pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes para las plantas, de igual manera mejoran la calidad de la planta y del fruto. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la adición de ácido cítrico (AC), aplicado en la solución nutritiva, sobre el impacto en el crecimiento, producción y calidad de fruta de tomate en un suelo calcáreo. La adición del AC propició modificaciones positivas en el diámetro del tallo, el peso fresco y biomasa seca de la planta. Respecto al testigo la producción de fruto aumentó en 69% con el tratamiento 10<sup>-6</sup> M de ácido cítrico. El potencial antioxidante, la conductividad eléctrica, la acidez titulable y la vitamina C en el fruto respondieron también favorablemente a la adición de ácido cítrico en la concentración de 10<sup>-6</sup> y 10<sup>-4</sup> M. Los resultados del estudio indicaron que es factible utilizar el AC como una herramienta de manejo agronómico para mejorar la nutrición de los cultivos.

**Palabras clave:** ácidos orgánicos, potencial de óxido-reducción, antioxidantes.

### SUMMARY

Organic acids, especially citric acid, may improve the availability of nutrients for plants, and likewise improve plant and fruit quality. The aim of this study was to determine the effect of adding citric acid to the nutrient solution on the growth, yield and fruit quality of tomato grown in a calcareous soil. The addition of citric acid (CA) on tomato plants grown in calcareous soil

generated positive changes in stem diameter, plant fresh weight and dry biomass. Relative to the control treatment, production of fruit increased 69% with application of 10<sup>-6</sup> M CA. The antioxidant potential, electrical conductivity, titratable acidity and vitamin C in the fruit responded favorably to the addition of citric acid in concentrations of 10<sup>-6</sup> and 10<sup>-4</sup> M. Results of the study indicate that it is feasible to use the CA as an agricultural management tool for improving crop nutrition.

**Index words:** organic acids, oxidation-reduction potential, antioxidants.

### INTRODUCCIÓN

El ácido cítrico (AC) es uno de los ácidos orgánicos más importantes en las plantas (Campbell, 2010); su exudación como anión citrato se presenta en respuesta al daño causado por Al (aluminio) o bien frente a la deficiencia de Fe (hierro) o P (fósforo) (Hu *et al.*, 2005; Shlizerman *et al.*, 2007), siendo proveídos los esqueletos de carbono necesarios por la PEP-carboxilasa de las raíces (Peñaloza *et al.*, 2000). Por lo mencionado anteriormente se considera conveniente elevar la concentración de ácidos orgánicos presentes tanto en los tejidos vegetales como en la solución del suelo (López-Bucio *et al.*, 2000).

Al respecto Hu *et al.* (2005) citan un aumento en la disponibilidad y absorción de P aplicando ácido cítrico en suelos calcáreos. De igual manera las aplicaciones exógenas de AC aumentaron la conductividad eléctrica, contenido de materia orgánica, pH y disponibilidad de Ca, Mg, HCO<sub>3</sub>, Cl, K, Fe, Mn, Cu y Zn en un suelo calcáreo (Ferreya *et al.*, 1998). Por su parte Yong-Hua y Hong-Yan (1998) mencionan un aumento en la altura y peso fresco de las plántulas, peso seco de la raíz de frijol, como respuesta a aplicaciones de AC. Finalmente Benavides *et al.* (2003) reportaron que la aplicación de este ácido, en la solución nutritiva, disminuyó el pH y elevó la concentración de P en fruto de tomate,

<sup>1</sup> Depto. de Horticultura, <sup>2</sup> Depto. de Fitomejoramiento, UAAAN. Calzada Antonio Narro 1923. 25315 Saltillo, Coahuila, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (abenmen@gmail.com)

mejorando el rendimiento así como el número de frutos. El objetivo del presente trabajo fue verificar el efecto de la adición de ácido cítrico en el suelo sobre el crecimiento, producción y calidad del fruto en el cultivo de tomate.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila (25° 22' N y 101° 00' O, a 1760 m de altitud). Como material biológico se utilizó tomate (*Lycopersicon esculentum*) cv. Río Grande (FAX DE OCCIDENTE S.A. de C.V.). El trasplante fue realizado en macetas de polietileno color negro con 17 kg de suelo calcáreo cribado de tipo franco-arcilloso calizo, no salino, con un pH = 8.7, 1.44% de materia orgánica y concentraciones bajas de elementos: N (14.63 mg kg<sup>-1</sup>), P (3.04 mg kg<sup>-1</sup>), K (41.70 mg kg<sup>-1</sup>), S (1.87 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (5.30 mg kg<sup>-1</sup>), B (0.88 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (2.66 mg kg<sup>-1</sup>) y Cu (0.41 mg kg<sup>-1</sup>), exceptuando a los elementos Ca (2,755 mg kg<sup>-1</sup>), Mg (494.0 mg kg<sup>-1</sup>) y el Zn (18.0 mg kg<sup>-1</sup>). Las macetas fueron colocadas en un invernadero con 70% de la irradiancia fotosintéticamente activa natural, que alcanzó valores máximos de 1900 μM m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, con un rango de temperatura de 20 a 30 °C y humedad relativa de 50 a 60%, sobre un suelo nivelado cubierto con polietileno negro, lo cual evitó malezas y el crecimiento de raíces fuera del volumen de la maceta. La distancia entre plantas fue de 30 cm, conduciéndose a un solo tallo. El manejo de plagas y enfermedades consistió en aplicaciones semanales de fungicidas (Benomil 50 WP y Tecto 60) e insecticidas (Imidacloprid y Evisect® S). La fertilización de las plantas fue por medio del sistema de riego utilizando una solución nutritiva Steiner (Steiner, 1961). Se contó con veinte plantas por tratamiento, realizándose tres muestreos a los 71, 83 y 119 días después del trasplante, correspondientes a las etapas fenológicas de floración, cuajado de fruto y primer corte.

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. La unidad experimental correspondió a una maceta con una planta. Los tratamientos consistieron en adicionar a la solución Steiner el ácido cítrico (AC) (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>\*H<sub>2</sub>O) grado alimenticio en distintas concentraciones: 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-4</sup> y 10<sup>-6</sup> M (1.92, 0.0192 y 0.000192 g L<sup>-1</sup>) resultando un pH de 3.06, 6.35 y 6.39, respectivamente. Mientras que el tratamiento testigo

correspondió a la solución nutritiva Steiner con pH 6.30. Los tratamientos se aplicaron después del trasplante, mediante el sistema de riego, continuándose de manera constante a lo largo del ciclo del cultivo.

Se determinó el diámetro del tallo, el número de hojas, la longitud de la planta y la biomasa (fresca y seca) a los 71, 83 y 119 días después del trasplante (ddt). La producción de fruto por planta se calculó mediante la suma del peso total de frutos por planta, obtenida en los tres cortes realizados (119, 121 y 125 ddt). Se contabilizó el número, peso y diámetro de los frutos cosechados.

A los 121 ddt se tomaron cuatro frutos por cada tratamiento, macerándose el mismo día, y determinándose inmediatamente en la pulpa el índice refractométrico (% sólidos solubles), con un refractómetro manual de 0 a 32%, marca Atago modelo ATC1E, la conductividad eléctrica (CE) con un potenciómetro HI 98130 de Hanna Instruments, en tanto que el pH y potencial de óxido-reducción se determinaron con un potenciómetro pH/mV/ISE HI 98185 de Hanna Instruments. De igual manera se determinó la acidez titulable, tomando 10 ml de pulpa, a la cual se añadieron 2 gotas de fenolftaleína al 1% y se tituló con NaOH (0.1 N).

El contenido de vitamina C en el fruto, se determinó por el método de titulación con 2,6-diclorofenolindofenol (Padayatt *et al.*, 2001). Finalmente el contenido de licopeno se determinó mediante la metodología citada por Fish *et al.* (2002).

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza y una prueba de medias según la prueba LSD de Fisher con el programa SAS (Statistical Analysis System, 2002).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Variables Morfológicas

Las diferentes concentraciones de AC aplicadas indujeron cambios solo en tres de las variables morfológicas de las plantas, el diámetro del tallo, el peso fresco y la biomasa seca (Cuadro 1).

Las aplicaciones de AC indujeron un aumento en el diámetro de tallo, lo cual pudiera reflejar una mayor acumulación de fotosintatos (Preciado *et al.*, 2002) en respuesta a este ácido orgánico. De igual manera las aplicaciones de AC indujeron cambios en el peso fresco, tal vez modificando la acumulación de agua en las plantas, ya que ésta constituye en mayor medida el peso fresco (Ludlow y Muchow, 1990).

**Cuadro 1. Variables morfológicas de plantas de tomate cultivadas sobre suelo calcáreo que mostraron respuesta a la adición de ácido cítrico en diferentes concentraciones en la solución nutritiva.**

Variable	Muestreo		Tratamientos		
	ddt	Testigo	10 <sup>-6</sup> M AC	10 <sup>-4</sup> M AC	10 <sup>-2</sup> M AC
Diámetro de tallo (cm)	71	0.65 b <sup>†</sup>	0.81 a	0.65 b	0.63 b
	83	0.72 a	0.85 a	0.65 b	0.67 ab
	119	0.83 b	1.05 a	0.90 b	1.13 a
Peso fresco de planta (g)	71	32.03 b	51.44 a	23.39 b	20.49 b
	83	62.19 b	105.21 a	54.00 b	39.38 b
	119	124.75 a	106.87 a	123.20 a	84.85 a
Biomasa seca de planta (g)	71	5.37 b	8.40 a	3.62 b	3.52 b
	83	9.89 b	16.54 a	7.51 b	6.46 b
	119	21.14 a	19.13 a	21.81 a	12.13 b

<sup>†</sup> Medias con la misma letra son estadísticamente iguales entre tratamientos (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ). ddt = días después del trasplante.

En cuanto a la biomasa seca de las plantas, durante los dos primeros muestreos fue posible ver diferencias entre el testigo y el tratamiento de AC de 10<sup>-6</sup> M, sin embargo en el último muestreo dicha diferencia ya no se observó y se encontró por el contrario un menor peso seco en las plantas con aplicación de AC 10<sup>-2</sup> M (Cuadro 1). A pesar de ello, las plantas de este tratamiento 10<sup>-2</sup> M no mostraron diferencias en la producción de fruto con el testigo (Cuadro 2). Las diferencias encontradas en el peso seco pueden deberse a modificaciones en el contenido nutrimental de la planta (Loomis y Connor, 1992) inducido por la adición del AC.

### Producción de Fruto

El número de frutos por planta así como el peso seco del fruto presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en respuesta a la adición de AC. De acuerdo a la prueba de medias (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ) la concentración 10<sup>-6</sup> M de AC indujo mayor producción de fruto por planta, pero con menor peso seco, debido posiblemente a un desbalance en la relación fuente/demanda, la cual pudo manifestarse con una menor

acumulación de biomasa en los frutos (Peil y Galvez, 2005).

La producción de fruto obtenida en este trabajo se encuentra dentro del rango de valores reportados por Benavides-Mendoza *et al.* (2007) quienes aplicaron otro ácido orgánico, el ácido benzoico, en tomate cultivado en suelo calcáreo. En lo que respecta al peso seco del fruto las diferencias encontradas pudieran explicarse a que el AC indujo una mayor cantidad de fotoasimilados producidos por la planta, los cuales son almacenados en los frutos (Peil y Galvez, 2005), tal acumulación pudiera derivarse de una mayor absorción de minerales complejados con la aplicación del AC (Maqsood *et al.*, 2011).

### Calidad del Fruto

Las variables que presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $P \leq 0.05$ ) en respuesta a la adición de AC al suelo calcáreo se muestran en el Cuadro 3. Los tratamientos 10<sup>-6</sup> y 10<sup>-4</sup> M de AC elevaron la CE del fruto respecto al testigo, lo cual pudo deberse a un aumento en la disponibilidad o transporte de

**Cuadro 2. Producción de frutos (g planta<sup>-1</sup>) y peso seco promedio por fruto de tomate cultivado en suelo calcáreo, en donde se adicionó ácido cítrico en diferentes concentraciones en la solución nutritiva.**

Variable	Tratamientos			
	Testigo	10 <sup>-6</sup> M AC	10 <sup>-4</sup> M AC	10 <sup>-2</sup> M AC
Producción de fruto (g planta <sup>-1</sup> )	559.5 b <sup>†</sup>	945.7 a	690.6 ab	556.6 b
Peso seco promedio por fruto (g)	6.71 a	3.77 b	8.53 a	6.47 ab

<sup>†</sup> Medias con la misma letra son estadísticamente iguales entre tratamientos (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ).

**Cuadro 3. Calidad de frutos de plantas de tomate cultivadas sobre suelo calcáreo en donde se adicionó ácido cítrico en diferentes concentraciones en la solución nutritiva. La conductividad eléctrica (CE) y el potencial de óxido-reducción se determinaron en el extracto fresco del fruto.**

Variable	Tratamientos			
	Testigo	10 <sup>-6</sup> M AC	10 <sup>-4</sup> M AC	10 <sup>-2</sup> M AC
Potencial de óxido-reducción (mV)	135.3 a <sup>†</sup>	124.3 ab	127.0 ab	115.0 b
Conductividad eléctrica (μS·cm <sup>-1</sup> )	3360.0 b	3861.7 a	3872.0 a	3643.0 ab
Acidez titulable (% ácido cítrico)	0.397 b	0.580 a	0.530 ab	0.443 ab
Vitamina C (mg/100 g peso fresco)	11.66 b	15.62 a	16.06 a	14.08 ab

<sup>†</sup> Medias con la misma letra son estadísticamente iguales entre tratamientos (LSD,  $\alpha \leq 0.05$ ).

nutrimentos minerales ya que el ácido cítrico tiene un papel importante en el intercambio de iones en la raíz (Lobit *et al.*, 2003) así como en el transporte interno de los mismos (Durrett *et al.*, 2007).

La adición de AC redujo los valores de potencial de óxido-reducción, valores bajos de esta variable indican calidad adecuada en el fruto porque indican un mayor potencial antioxidante (Benavides *et al.*, 1999). También la acidez titulable aumentó con las aplicaciones de AC, este resultado posiblemente derive de una mejora en el balance de cationes/aniones en el citoplasma, generando menor gasto metabólico del fruto y mayor acumulación de ácido cítrico en el mismo (Lobit *et al.*, 2003), como respuesta a la aplicación exógena de este ácido. Del mismo modo, se encontró mayor concentración de vitamina C en los tratamientos con AC, es posible que esta respuesta sea dependiente de una mayor disponibilidad de fotosintatos en la planta (Arrigoni y De Tullio, 2002).

## CONCLUSIONES

- Las variables agronómicas longitud de tallo, peso fresco y biomasa seca de planta fueron modificadas favorablemente con las aplicaciones de ácido cítrico 10<sup>-6</sup> M.
- El tratamiento 10<sup>-6</sup> M de ácido cítrico dio lugar a un aumento del 69% de la producción de fruto por planta en comparación con el testigo.
- La calidad del fruto de tomate, en términos del potencial de óxido-reducción, la conductividad eléctrica, la acidez titulable y el contenido de vitamina C fueron modificados positivamente en respuesta a la adición de ácido cítrico en concentraciones de 10<sup>-6</sup> y 10<sup>-4</sup> M.

## LITERATURA CITADA

- Arrigoni, O. and M. C De Tullio. 2002. Ascorbic acid: Much more than just an antioxidant. *Biochim. Biophys. Acta.* 1569: 1-9.
- Benavides, A., R. Foroughbakhch y M. J. Verde. 1999. Alta correlación de la productividad con los sólidos solubles y redox de peciolos en espinacas. *Ciencia UANL* 2: 373-378.
- Benavides-Mendoza, A., D. Burgos-Limón, H. Ortega-Ortiz y H. Ramírez. 2007. El ácido benzoico y el poliácido acrílico-quitosán en la calidad y el rendimiento del tomate cultivado en suelo calcáreo. *Terra Latinoamericana* 25: 261-268.
- Benavides-Mendoza, A., C. García-Pacheco, L. O. Fuentes-Lara, A. F. Aguilera-Carbó, H. Ramírez, J. Hernández-Dávila y V. Robledo-Torres. 2003. Efecto del ácido cítrico aplicado en soluciones fertilizantes de diferente conductividad eléctrica en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Agrofaz* 3: 321-329.
- Campbell, B. 2010. Organic matter application can reduce copper toxicity in tomato plants. *J. Nat. Resour. Life Sci. Educ.* 39: 45-48. (DOI:10.4195/jnrlse.2010.0002se).
- Durrett, T. P., W. Gassmann, and E. E. Rogers. 2007. The FRD3-mediated efflux of citrate into the root vasculature is necessary for efficient iron translocation. *Plant Physiol.* 144: 197-205.
- Ferreira, R., J. Peralta, A. Sadzawka, J. Valenzuela y C. Muñoz. 1998. Efecto de la aplicación de ácido sobre características químicas de un suelo calcáreo. *Agric. Téc. (Chile)* 58: 163-169.
- Fish, W. W., P. Perkins-Veazie, and J. K. Collins. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *J. Food Composit. Ann.* 15: 309-317.
- Hu, H., C. Tang, and Z. Rengel. 2005. Role of phenolics and organic acids in phosphorus mobilization in calcareous and acidic soils. *J. Plant Nutr.* 28: 1427-1439. (DOI: 10.1081/PLN-200067506).
- Lobit, P., M. Génard, B. H. Wu, P. Soing, and R. Habib. 2003. Modelling citrate metabolism in fruits: responses to growth and temperature. *J. Exp. Bot.* 54: 2489-2501. (DOI: 10.1093/jxb/erg264).
- Loomis, R. S. and D. J. Connor. 1992. *Crop ecology: Productivity and management in agricultural systems.* Cambridge University Pres. UK.
- López-Bucio, J., M. F. Nieto-Jacobo, V. Ramírez-Rodríguez, and L. Herrera-Estrella. 2000. Organic acid metabolism in plants: From adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Sci.* 160: 1-13

- Ludlow, M. M. and R. C. Muchow. 1990. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. *Adv. Agron.* 43: 107-153.
- Maqsood, M. A., S. Hussain, T. Aziz, and M. Ashraf. 2011. Wheat-exuded organic acids influence zinc release from calcareous soils. *Pedosphere* 21: 657-665.
- Padayatt, S. J., R. Daruwala, Y. Wang, P. K. Eck, J. Song, W. S. Koh, and M. Levine. 2001. Vitamin C: from molecular actions to optimum intake. pp. 117-145. *In*: E. Cadenas and L. Packer (eds.). *Handbook of antioxidants*. CRC Press. Washington, DC, USA.
- Peil, M. R. and J. Galvez. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Rev. Bras. Agrociência* 11: 05-11.
- Peñaloza, E., N. Carvajal, L. J. Corcuera y J. Martínez. 2000. Exudación de citrato y actividad de la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa en raíces de Lupino blanco en respuesta a variaciones en la disponibilidad de fósforo. *Agric. Téc. (Chile)* 60: 89-98.
- Preciado-Rangel, P., G. A. Baca-Castillo, J. L. Tirado-Torres, J. Kohashi-Shibata, L. Tijerina-Chávez y A. Martínez-Garza. 2002. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra* 20: 267-276.
- SAS Institute. 2002. SAS versión 9.0.0. 380. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shlizerman, L., K. Marsh, E. Blumwald, and A. Sadka. 2007. Iron-shortage-induced increase in citric acid content and reduction of cytosolic aconitase activity in Citrus fruit vesicles and calli. *Physiol. Plant.* 131: 72-79. (DOI: 10.1111/j.1399-3054.2007.00935.x).
- Steiner, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil.* 15: 134-154.
- Yong-Hua, Y. and Z. Hong-Yan. 1998. Effect of citric acid on aluminum toxicity in the growth of mungbean seedlings. *J. Plant Nutr.* 21: 1037-1044 (DOI: 10.1080/01904169809365462).