

FERTIRRIGACIÓN CON DIFERENTES FORMAS DE NITRÓGENO EN EL CULTIVO DE TOMATE EN UN SUELO ARCILLOSO

Manuel Villarreal Romero, Saúl Parra Terraza, Pedro Sánchez Peña, Sergio Hernández Verdugo, Tomás Osuna Enciso, José Luís Corrales Madrid y Adolfo D. Armenta Bojorquez

RESUMEN

Se estudió el efecto de nitrógeno nítrico, amoniacal y ureico, suministrados en distintas etapas de desarrollo del cultivo de tomate, sobre el rendimiento y la calidad de fruto. El trabajo se realizó en campo bajo riego por goteo, en un suelo vertisol pélico y clima cálido y semiárido. Tres tratamientos de fertilización (T1, T2 y testigo) fueron distribuidos en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. T1 y T2 se fertilizaron con 250-50-190kg-ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente; en estos el N se suministró en diferentes proporciones de N-ureico, N-amoniacal y N-nítrico, en distintas etapas de desarrollo del cultivo; el T3 se aplicó como los productores del Valle de Culiacán, Sinaloa, México (450-118-413kg-ha⁻¹ de N-P-K), con 75% del N

como nitrato. La concentración de N-NO₃ en el extracto celular de peciolas en los T1 y T2 fluctuó de 500 a 1360ppm, y en T3 fue de 300-1175ppm. Estos valores estuvieron relacionados con la dosis de N total suministrado pero no con la proporción de NH₄/NO₃ aplicada, y tampoco influyeron en la producción de fruto de exportación. La producción de fruto fue estadísticamente igual en las dosis de fertilización alta y moderada, con un ahorro del 75% de N-nítrico. En calidad poscosecha de frutos, la fertilización reducida y la aplicación de N-ureico y N-amoniacal en altas proporciones no afectó la firmeza, °Brix ni la pérdida de peso de los frutos.

Introducción

El tomate es un cultivo ampliamente distribuido alrededor del mundo y ocupa el segundo lugar en importancia mundial, solamente superado por la papa (FAOSTAT, 2007); sin embargo, desde el punto de vista económico es considerada la hortaliza más importante en el mundo (Nuez *et al.*, 2004), aunado a que es un cultivo que demanda mucha mano de obra y activa la economía de las regiones donde se lo produce (Sánchez-Peña, 2005). En México, el estado de Sinaloa es el principal productor de tomate, dado que allí se cosecha el 37,64% de los tomates que se producen en el país (SAGARPA, 2007).

En el centro y norte de Sinaloa se siembran, por temporada, ~20000ha de tomate para consumo fresco con fines de exportación. Muchos problemas son los que enfrenta la producción de tomate; sin embargo, la fertilización es uno de los más críticos de este cultivo en Sinaloa. Las dosis de fertilizantes se aplican, por lo general, por encima de los requerimientos del cultivo, como es el caso del nitrógeno, que fluctúa entre 350 y 400kg-ha⁻¹ (Villarreal *et al.*, 2006). Dichas aplicaciones de nutrientes pueden, en determinadas circunstancias, no ser perjudiciales para el rendimiento y calidad de los frutos, pero inciden en los costos de producción y, además, son un desperdicio de fertilizante

y fuente de contaminación del suelo y mantos acuíferos subterráneos (Armenta, 1998). En la práctica de fertirrigación bajo riego por goteo de cultivos, es importante el uso adecuado de las fuentes de fertilizante nitrogenado (nitrícas, amoniacales y ureicas), ya que el empleo inapropiado de la relación N-NH₄/N-NO₃, puede causar problemas nutricionales en las plantas (Imas *et al.*, 1997). Sin embargo, cuando las condiciones del suelo y el clima lo permiten, es posible emplear cantidades relativamente altas de N-Urea y N-NH₄ respecto a N-NO₃ (Marsh *et al.*, 2005) ya que las fuentes amoniacales, incluyendo la urea, son más económicas que las nitrícas y también se logra reducir la

lixiviación de N-NO₃ hacia los mantos acuíferos, situación que ha sido detectada en el Valle de Culiacán (Burgueño *et al.*, 1995; Páez *et al.*, 2007), donde se emplea principalmente fuentes nitrícas de N en el cultivo de tomate; además, con esto se evita la indeseable acumulación de nitrato en los frutos (Luo *et al.*, 1993).

Aunque no se disponen de normas acerca del nivel máximo de nitratos en los frutos de tomate para consumo fresco en el mercado entre los países miembros del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, al cual pertenece México, en el futuro los niveles excesivos de dicho ión pudieran ser una barrera para su comercialización, ar-

PALABRAS CLAVE / Calidad Poscosecha / Fuente de Nitrógeno / Riego por Goteo / Vertisol /

Recibido: 08/01/2008. Modificado: 07/01/2009. Aceptado: 12/01/2009.

Manuel Villarreal Romero. Doctor en Ciencias en Edafología, Colegio de Postgraduados (COLPOS) México. Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), México. Dirección: Calle Ceboruco No. 3067, Col. Rincón del Humaya, Culiacán, Sinaloa, México. C.P. 80148. e-mail: virm5212@yahoo.com.mx

Saúl Parra Terrazas. Doctor en Ciencias en Edafología, COLPOS, México. Profesor-Investigador; Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), México.

Pedro Sánchez Peña. Doctor en Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México. Profesor-Investigador, UAS, México.

Sergio Hernández Verdugo. Doctor en Ciencias en Ecología, UNAM, México. Profesor-Investigador, UAS, México.

Tomás Osuna Enciso. Doctor en Ciencias en Fisiología Vegetal, COLPOS, México. Investigador, CIAD, Culiacán, México.

José Luís Corrales Madrid. Doctor en Ciencias en Entomología, COLPOS, México.

Profesor-Investigador, UAS, México.

Adolfo D. Armenta Bojorquez. Doctor en Ciencias en Edafología, COLPOS, México. Investigador, CIIDIR-IPN, Sinaloa, México.

TOMATO CROP FERTIGATION WITH DIFFERENT NITROGEN FORM IN CLAYED SOIL

Manuel Villarreal Romero, Saúl Parra Terraza, Pedro Sánchez Peña, Sergio Hernández Verdugo, Tomás Osuna Enciso, José Luís Corrales Madrid and Adolfo D. Armenta Bojorquez

SUMMARY

The effect of nitrogen form (urea, nitrate and ammonium) provided at various stages of development of the tomato crop on the yield and quality of fruit was studied. The work was conducted under field conditions in a pellustert soil, drip irrigation and a warm and semi-arid climate. Three fertilization treatments (T1, T2 and control) were arranged in a randomized complete-block design with three replicates. T1 and T2 were fertilized with 250-50-190kg·ha⁻¹ N, P and K, respectively; which N was supplied in different ratios of ureic-N, ammonium-N and nitric-N along growing tomato plants; T3 was provided in a similar way as is generally employed by the tomato producers in the Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico

(450-118-413kg·ha⁻¹ N-P-K), with 75% of N in nitrate form. The concentration of N-NO₃ in the petiole cell extract in T1 and T2 ranged from 500 to 1360ppm, and in the control it was 300-1175ppm. These values were related with the total N doses supplied but not with the ratio of NH₄/NO₃ provided, neither influenced on the total amount of exportation fruit. The fruit production was statistically similar in the high and moderated fertilizer doses with a fertilizer savings of 75% of nitrate N. With respect to the post-harvest quality in the tomato fruit, moderated fertilization associated with high application of ureic-N and ammonium-N did not affect the fruit firmness, °Brix or the weight loss in the fruit.

FERTIRRIGAÇÃO COM DIFERENTES FORMAS DE NITROGÊNIO NO CULTIVO DE TOMATE EM UM SOLO ARGILOSO

Manuel Villarreal Romero, Saúl Parra Terraza, Pedro Sánchez Peña, Sergio Hernández Verdugo, Tomás Osuna Enciso, José Luís Corrales Madrid e Adolfo D. Armenta Bojorquez

RESUMO

Estudou-se o efeito do nitrogênio nítrico, amoniacal e uréico, subministrados em distintas etapas de desenvolvimento do cultivo de tomate, sobre o rendimento e a qualidade do fruto. O trabalho se realizou no campo sob irrigação por gotejamento, em um solo vertisol pélico e clima cálido e semi-árido. Três tratamentos de fertilização (T1, T2 e testemunho) foram distribuídos em um desenho de blocos completos aleatório com três repetições. T1 e T2 se fertilizaram com 250-50-190kg·ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente; em estes o N se subministrou em diferentes proporções de N-uréico, N-amoniacal e N-nítrico, em distintas etapas de desenvolvimento do cultivo; o T3 se aplicou como os produtores do Vale de Culiacán, Sinaloa, México

(450-118-413kg·ha⁻¹ de N-P-K), com 75% do N como nitrato. A concentração de N-NO₃ no extrato celular de pecíolos nos T1 e T2 flutuou de 500 a 1360ppm, e em T3 foi de 300-1175ppm. Estes valores estiveram relacionados com a dose de N total subministrado, mas não com a proporção de NH₄/NO₃ aplicada, e tampouco influíram na produção do fruto de exportação. A produção do fruto foi estatisticamente igual nas doses de fertilização alta e moderada, poupando 75% de N-nítrico. Em qualidade de pos-colheita de frutos, a fertilização reduzida e a aplicação de N-uréico e N-amoniacal em altas proporções não afetou a firmeza, oBrix nem a perda de peso dos frutos.

gumentando la inocuidad de este fruto. El amonio puede ser tóxico para las plantas (Kafkafi y Ganmore-Newman, 1997); sin embargo, es posible que en el suelo no se presente el riesgo de toxicidad por amonio debido, por un lado, a la nitrificación de este ión por las bacterias nitrificantes del suelo (Marsh *et al.*, 2005) y, por el otro, al amortiguamiento del pH del suelo por parte del carbonato de calcio (Wild, 1993; Sandoval *et al.*, 1994) presente en este tipo de suelos en los Valles de Sinaloa.

El presente trabajo tiene como objetivo conocer la influencia de una dosis de nitrógeno reducida, respecto a la tradicional, y su aplicación en diferentes cantidades de N-amoniacal y N-nitrato, por

etapas de desarrollo del cultivo de tomate bola en el rendimiento y la calidad del fruto.

Materiales y Métodos

Sitio experimental

El trabajo se realizó en el Campo Agrícola Experimental del Valle de Culiacán del INIFAP, en Sinaloa, México. El suelo es de textura arcillosa, pH 7,5-7,6 y pobre en materia orgánica. El clima es cálido y semiárido. Se sembró el híbrido de tomate bola EF99, tipo determinado, en camas de 1,80m de separación y distancia entre plantas de 0,30m. La aplicación de fertilizantes fue mediante fertirriego con una lámina de riego total aplicada de 193,5mm que se determinó

con base a lecturas de tanque evaporímetro tipo "A", utilizando coeficiente de tanque de 0,70 y coeficientes de desarrollo del cultivo previamente empleados en el mismo sitio experimental (Villarreal *et al.*, 1999).

Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos estudiados (T1, T2 y testigo) se muestran en la Tabla I. T1 y T2 equivalen a 250-50-190kg·ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente, aplicándose el N en diferentes proporciones de N nítrico, amoniacal y ureico, en distintas etapas del desarrollo del cultivo. La diferencia entre los tratamientos es que en la etapa B de desarrollo del

cultivo, T1 recibió el N en forma de NO₃ y en T2 el N se aplicó el 25% como NO₃ y el restante 75% en forma de NH₄, del cual 50% fue ureico. La forma como se dosificó el N se indica en la misma Tabla I. El tratamiento testigo es similar al que generalmente emplean los productores de la región, 450, 118 y 413kg·ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con tres repeticiones.

Variables de respuesta

Concentración de N-NO₃ en el extracto celular de pecíolos (ECP) de las plantas. Para realizar esta determinación, en cada repetición de tratamiento se analizaron los pecíolos de

las hojas más jóvenes completamente desarrolladas de 20 plantas, en las épocas de inicio de crecimiento de frutos y al inicio de la cosecha. Estos análisis se efectuaron *in situ* mediante el ionómetro específico portátil Cardy-Horiba® (Leyva *et al.*, 2005).

Rendimiento y calidad de fruto

Se cosecharon los frutos maduros, libres de defectos. Para determinar el rendimiento fueron clasificados por tamaño con base en los estándares del USDA (1992). Los frutos de calidad de exportación fueron los que no presentaban defectos y de tamaños 4×4, 4×5, 5×5, 5×6, 6×6 y 6×7 (para 32, 40, 50, 60, 108 y 126 frutos por caja de empaque, respectivamente), siendo el peso promedio por caja de empaque de 11kg. Los frutos para el mercado nacional tienen iguales tamaños pero con defectos leves, y los frutos con defectos acentuados (carigato, deformes, bofos, pared gris, virosos, soleados o agrietados) y de tamaño menor de 6×7 fueron considerados como no comercializables o rezaga. Para realizar el estudio poscosecha de los frutos, se tomaron muestras de 15 frutos por repetición de tratamiento en el estado de madurez rompiente (*braker*), los cuales se mantuvieron en condiciones de simulación de mercadeo, en cámaras de almacenamiento a 20°C y 70% de humedad relativa, para medir, a diferentes tiempos de poscosecha, su pérdida de peso en una balanza, la firmeza (Newtons) en un penetrómetro Chantillon DGF-50 y los sólidos solubles totales (°Brix) en un refractómetro Abbe Leica Mark-2, según técnicas de la AOAC (1998).

Resultados y Discusión

Contenido de N-NO₃ en savia de pecíolos (ECP)

La concentración de N-NO₃ en extracto celular (savia) de pecíolos (ECP) de hojas re-

cientemente maduras en el tratamiento de alta fertilización (testigo), fluctuó entre 500 y 1360ppm, y en los tratamientos T1 y T2, de menor dosis de fertilización, la concentración de este nutriente varió entre 300 y 1175ppm (Figura 1). Lo anterior muestra que las cantidades de N-NO₃ en el ECP de las hojas estuvieron más relacionadas con la dosis de N total suministrada que con la proporción de NH₄/NO₃ aplicada en las etapas de desarrollo del cultivo (Tabla I). Con base en las cantidades de NO₃ detectadas en el ECP de las plantas de los tratamientos con alta aplicación de N amoniacal y ureico, es factible afirmar que en el suelo hubo condiciones propicias para la hidrólisis de urea y la nitrificación rápida del N amoniacal aplicado (Williams *et al.*, 2004). Hartz y Hochmuth (1996) mencionan que un nivel alto de nitratos en pecíolos de hojas de tomate es de 1300ppm y que 1000ppm de nitratos es un nivel óptimo. Por su parte, Hochmuth (1994) encontró en tomate de campo concentraciones de N-NO₃ en el ECP entre 1000 y 1200ppm en etapa previa a floración y de 400 a 600ppm en etapa de crecimiento. Así mismo, Leyva *et al.* (2005) en un experimento con tomate bola bajo fertirriego en campo abierto del valle de Culiacán, Sinaloa, México, donde aplicaron 454kg·ha⁻¹ de N, encontraron concentraciones de N-NO₃ de 1300-2090ppm entre la etapa vegetativa e inicio de floración, y >1500ppm desde etapa vegetativa hasta fin de cosecha de fruto. Por otro lado, está documentado que cantidades relativamente altas de N-NH₄ aplicadas en distintas etapas de desarrollo del cultivo puede que no afecten la absorción de Ca, Mg o K por las plantas (Mengel, 1994), lo cual indica que si el suelo tiene condiciones idóneas para que se lleve a cabo la nitrificación del N-NH₄ no se afecta la absorción de dichos cationes. Además, la variación que se observa en la concentración de N-NO₃ en las hojas de las

TABLA I
TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN DE NITRÓGENO, EMPLEANDO DIFERENTES RELACIONES NH₄*/NO₃ EN DISTINTAS ETAPAS FENOLÓGICAS DE LAS PLANTAS

Tratamiento	Relación NH ₄ /NO ₃ (%) en etapas **			Dosis de N (kg·ha ⁻¹)
	A	B	C	
T1	25/75	0/100	25/75	250
T2	25/75	75/25	25/75	250
Testigo	25/75	25/75	25/75	450

* La cantidad de N-NH₄ en T1 y T2 incluye el 50% de N-uréico. En el testigo no se incluyó N-uréico.

** Las etapas son A: desarrollo vegetativo a cuaje de frutos del primer racimo floral (52kg·ha⁻¹ de N), B: desarrollo de primeros frutos a inicio de su madurez (153kg·ha⁻¹ de N) y C: durante la cosecha (45kg·ha⁻¹ de N).

plantas puede deberse a que las condiciones de temperatura, intensidad y duración de la luminosidad, son factores que modifican la composición química del extracto celular (Marschner, 1995).

Rendimiento de fruto

La producción total de fruto comercializable y de exportación fue estadísticamente igual (P>0,05) en las dosis de fertilización alta y reducida (Tabla II). No obstante que el rendimiento de fruto de

exportación y el total comercializable es numéricamente mayor en el tratamiento con alta fertilización, es estadísticamente igual al tratamiento de reducida fertilización y se logra un ahorro de fertilizante de 200, 66 y 203kg·ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente. De estas cantidades de fertilizante, 75% del nitrogenado y el total del potásico son en forma de nitratos de K y de Ca, los cuales son importados. Las cantidades de N-NO₃ detectadas en el ECP de hojas en los tratamientos con la dosis infe-

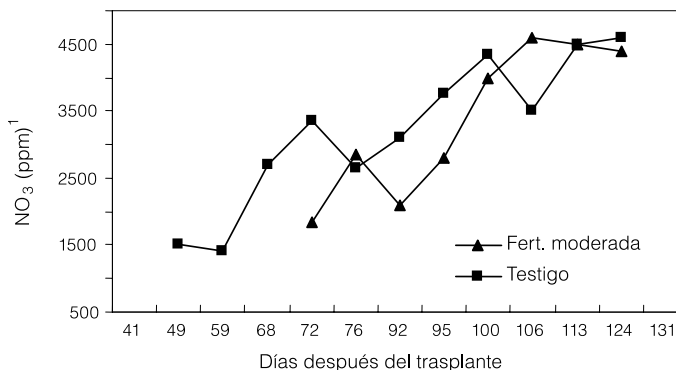


Figura 1. Concentración de NO₃ en el extracto celular de pecíolos de hojas, en el tratamiento de fertilización moderada y en el testigo, por edad del cultivo. ¹ Para convertir NO₃ a N-NO₃, dividir entre 4,4.

TABLA II
RENDIMIENTO DE FRUTO DE TOMATE DE EXPORTACIÓN Y TOTAL COMERCIALIZABLE, POR DOSIS DE FERTILIZACIÓN DE N, P Y K (t·ha⁻¹)

Tratamiento ¹	Exportación	Total comercializable
T1	61, 896 a	77, 280 a
T2	63, 444 a	80, 881 a
Testigo	68, 832 a	86, 160 a

¹ T1 y T2: fertirrigados con 250, 50 y 190kg·ha⁻¹ de N, P y K; Testigo: fertirrigación con 450, 118 y 413kg·ha⁻¹ de N, P y K. Los valores son medias de cuatro repeticiones; aquellos con la misma letra en una columna son estadísticamente iguales (Tukey, α=0,05).

rior de N y en el tratamiento testigo de alta fertilización, no influyeron significativamente en la producción de fruto de exportación ni en la total.

Calidad de fruto

Firmeza. La firmeza promedio de frutos (verde maduro) fue de 38,71; 24,30; 12,15 y 9,90 Newtons, a los 0, 7, 15 y 22 días, respectivamente, en las condiciones de simulación de mercadeo estudiadas. Al comparar los tratamientos de dosis reducida de N (T1 y T2), con el Testigo (alta dosis de N), este último presentó en general menor firmeza, aunque no significativa estadísticamente, en todos los muestreos del estudio poscosecha (Tabla III). Por otra parte, la aplicación de N-uréico y N-amoniaco en altas proporciones en T2 en las etapas de desarrollo de frutos (50-96 días después del trasplante; ddt) y en cosecha (97-138 ddt) no afectó la firmeza de los frutos cosechados. En relación con este resultado, Macklon y Sim (2006) mencionan que la presencia de N-NH₄ afecta la absorción de cationes divalentes como el Ca, y también la de K, elementos que influyen en gran medida en la firmeza de los frutos de tomate, lo cual no sucedió en este estudio con la aplicación de N-NH₄ y de N-urea, que forma iones NH₄ en su hidrólisis. En este estudio, contrario a lo reportado por Marti y Mills (1991), quienes indican que el amonio puede afectar la absorción de Ca y K, incidiendo en la firmeza del fruto, el Ca mejora la rigidez de las paredes celulares (Marschner, 1995) y el K favorece la acumulación de sólidos totales en los frutos (Doran *et al.*, 1999).

Concentración de sólidos solubles totales. La concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en los frutos se muestra en la Tabla IV. Este atributo de calidad no fue afectado por la dosis reducida de fertilización en T1 y T2, ni por la alta proporción de N-amonio y de N-ureico empleada en T2,

ya que los valores de °Brix tanto en los tratamientos de baja fertilización como en el de alta dosis de N-amonio y N-ureico fueron mayores o similares al testigo de alta fertilización y baja proporción de N-amonio. La concentración de sólidos solubles totales promedio fue de 3,95; 3,47 y 4,23°Brix al momento de la cosecha y a los 15 y 20 días de simulación de mercadeo, respectivamente.

Pérdida de peso. Durante el tiempo de simulación de mercadeo de frutos, en la mayoría de los muestreos, excepto en el último, el tratamiento testigo exhibió mayor pérdida de peso que T1 y T2 (Tabla V). Sin embargo, esta diferencia entre tratamientos no fue significativa (Tukey, $\alpha=0,05$). Por otro lado, no se observó efecto adverso en pérdida de peso de fruto por la aplicación de altas dosis de N-amonio y N-ureico del T2 en todo el estudio poscosecha, ya que la aplicación de N-NH₄ y el N-ureico al transformarse a iones NH₄⁺ pudo afectar la absorción de Ca por las plantas de tomate (Macklon y Sim, 2006), elemento que prolonga la vida de anaquel de los frutos y por ende la pérdida de peso de los mismos. Villareal *et al.* (1999) reportaron valores de 5-7% de pérdida de peso, en un híbrido de tomate bola y Araiza *et al.* (1997) detectó 2,24-2,40% de pérdida en otros 3 híbridos tipo bola de larga vida de anaquel y en tiempos comparables de poscosecha, cultivados en condiciones similares de suelo y clima del Valle de Culiacán.

Conclusiones

El rendimiento de fruto total comercializable y el de exportación, así como la calidad poscosecha (firmeza, °Brix y pérdida de peso) de los frutos de tomate bola, crecimiento tipo determinado, no son afectados por la aplicación de dosis moderada de fertilización (250 vs 450kg-ha⁻¹ de N) ni tampoco por el uso de alta proporción de N en forma de amonio y urea en las etapas

TABLA III
FIRMEZA DE FRUTOS DE TOMATE POR TRATAMIENTO DE FERTILIZACIÓN DE N, P Y K, Y POR TIEMPO DE ALMACENAMIENTO POSCOSECHA

Tratamiento	Días de almacenamiento a 20°C y HR= 70%			
	0	7	15	22
T1	38 a	22 ab	10 ab	9 ab
T2	40 a	31 a	13 a	12 a
Testigo	36 a	18 ab	10 ab	8 ab

Ver pie de Tabla II. HR: humedad relativa.

TABLA IV
CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES TOTALES (°Brix) EN FRUTOS DE TOMATE, POR TRATAMIENTO DE FERTILIZACIÓN DE N, P Y K, Y POR TIEMPO DE ALMACENAMIENTO POSCOSECHA

Tratamiento	Días de almacenamiento a 20°C y HR= 70%		
	0	15	22
T1	4,20 a	3,50 a	3,70 b
T2	3,70 b	3,60 a	4,80 a
Testigo	3,70 b	3,30 a	4,20 ab

Ver pie de Tabla II. HR: humedad relativa.

TABLA V
PÉRDIDA DE PESO (%) DE LOS FRUTOS POR EFECTO DE TRATAMIENTO Y TIEMPO DE ALMACENAMIENTO POSCOSECHA

Tratamiento	Días de almacenamiento a 20°C y HR= 70%				
	3	6	9	12	20
T1	1,85 a	2,95 a	4,5 a	5,2 a	9,8 a
T2	1,90 a	3,10 a	4,95 a	5,8 a	8,8 ab
Testigo	2,10 a	3,40 a	5,0 a	5,9 a	8,1 b

Ver pie de Tabla II. HR: humedad relativa.

de desarrollo de frutos (75%), y durante la cosecha (25%). Los resultados muestran también que es posible reducir el uso de fertilizantes nitrogenados en forma de nitratos (de K y de Ca), que son importados, lo que representa un ahorro considerable en costos de producción. Además, el hecho de reducir la dosis de N, en forma de nitrato en particular, implica menor contaminación de acuíferos subterráneos y superficiales, así como de la atmósfera.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Jorge Luí Armenta Soto y Jorge Arellano Saldaña, director y encargado del programa de hortalizas, respectivamente, del Campo Experimental del Valle de Culiacán, Sinaloa, del INIFAP, por su valioso apoyo en proporcionar el lote experi-

mental, las facilidades para el riego por goteo y disposición de maquinaria agrícola.

REFERENCIAS

- AOAC (1998) *Official Methods of Analysis*. 16ª ed. Association of Official Analytic Chemists. Washington, DC, USA.
- Araiza E, Siller CJ, Muy RD, Heredia B, Sánchez E (1997) Maduración en frutos de tomate de larga vida de anaquel. *Mem. XXVII Cong. Nac. de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 32. Mazatlán, México. p. 37.
- Armenta BAD (1998) *Relaciones Óptimas de Aniones y de Cationes en la Solución Nutritiva en Riego por Goteo para la Producción de Tomate*. Tesis. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 127 pp.
- Burgueño CH, Gómez RJ, Montoya MI (1995) *La Fertilización en Cultivos Hortícolas con Acolchado Plástico*. Folleto Técnico. Vol. 2. Culiacán, México. 72 pp.

- Doran I, Kesici S, Aydin A, Nizamoglu A (1999) Effect of mineral fertilizers on leaf nutrients, yield, and quality properties of F₁ hybrid tomatoes grown in a plastic house. En Anac D, Martin-Prevel P (Eds.) *Improved Crop Quality by Nutrient Management*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. pp. 35-38.
- FAOSTAT (2007) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es>
- Hartz TK, Hochmuth GJ (1996) Fertility management of drip-irrigated vegetables. *HortTechnology* 6: 186-172.
- Hochmuth GJ (1994) *Plant Petiole Sap-testing*. Coop. Ext. Serv. University of Florida. Cic. 1144. 6 pp.
- Imas P, Bar-Yosef B, Kafkafi U, Ganmore-Neumann R (1997) Release of carboxylic anions and protons by tomato roots in response to ammonium nitrate ratio and pH in nutrient solution. *Plant Soil* 191: 27-34.
- Kafkafi U, Ganmore-Newman V (1997) Ammonium in plant tissue: real or artifact? *J. Plant Nutr.* 20: 107-118.
- Leyva Ruelas G, Sánchez García P, Alcántar González G, Valenzuela Ureta JG, Gavi Reyes F, Martínez Garza A (2005) Contenido de nitratos en extractos celulares de pecíolos y frutos de tomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 28: 145-150.
- Luo J, Lion Z, Yan X (1993) Urea transformation and the adaptability of three leafy vegetables to urea as a source of nitrogen in hydroponic culture. *J. Plant Nutr.* 16: 797-812.
- Macklon AES, Sim A (2006) Electrophysiological factors in the influence of nitrate and ammonium ions on calcium uptake and translocation in tomato plants. *Physiol. Plant.* 49: 449-454.
- Marsh KL, Sims GK, Mulvaney RL (2005) Availability of urea to autotrophic ammonia-oxidizing bacteria as related to the fate of ¹⁴C- and ¹⁵N- labeled urea added to soil. *Biol. Fert. Soils* 42: 137-145.
- Marschner H (1995) *Mineral Nutrition in Higher Plants*. Academic Press. Londres, RU. pp. 243-253.
- Marti HR, Mills HA (1991) Nutrient uptake and yield of sweet pepper as affected by stage of development and N form. *J. Plant Nutr.* 14: 1165-1175.
- Mengel K (1994) Iron availability in plant tissues-iron chlorosis in calcareous soil. *Plant Soil* 165: 275-283.
- Nuez F, Prohens J, Blanca JM (2004) Relationship, origin, and implications of Galapagos tomatoes: implications for the conservation of natural populations. *Am. J. Bot.* 9: 86-99
- Páes OF, Ramírez RG, Ruiz FAC, Soto JMA (2007) *La Contaminación por Nitrógeno y Fósforo en Sinaloa: Flujo, Fuentes, Efectos y Opciones de Manejo*. 1ª ed. Universidad Nacional Autónoma de México. 304 pp.
- SAGARPA (2007) <http://www.Siea.Sagarpa.Gob.Mx/>
- Sánchez-Peña P (2005) *Estructura Genética y Selección de la Resistencia a la Mosquita Blanca (Bemisia tabaci) en Poblaciones de Tomate Silvestre (Solanum lycopersicum var. cerasiforme)*. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México. 140 pp.
- Sandoval Villa M, Tirado Torres JL, Baca Castillo GA, Santizo Rincón JA (1994) Ammonium and calcium carbonate to partial substitution of nitrate under hydroponic conditions in wheat. *Terra* 2: 282-288.
- USDA (1992) *Standards for Grades of Fresh Tomatoes*. United States Department of Agriculture. 11 pp.
- Villarreal-Romero M, Pérez-Rubio V, Siller-Cepeda JH (1999) Fertilización nitrogenada y potásica, y su efecto en la producción y calidad de tomate, en valle de Culiacán, Sinaloa. *Horticult. Mex.* 7: 358-367.
- Villarreal-Romero M, Hernández-Verdugo S, Sánchez-Peña P, García-Estrada RS, Osuna-Enciso T, Parra-Terrazas S, Armenta-Bojorquez AD (2006) Efecto de cobertura del suelo con leguminosas en rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoam.* 24: 549-556.
- Wild A (1993) *Soils and the Environment: An Introduction*. Cambridge University Press. Londres, RU. 281 pp.
- Williams P, Tregurtha RJ, Francis GS (2004) Fate of urea applied to winter spinach in New Zealand. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 63: 245-254.