

RELACIONES DE NITRATOS Y POTASIO EN FERTIRRIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN, CALIDAD Y ABSORCIÓN NUTRIMENTAL DE TOMATE

A. D. Armenta-Bojórquez¹; G. A. Baca-Castillo²; G. Alcántar-González²; J. Kohashi-Shibata³; J. G. Valenzuela-Ureta⁴; A. Martínez-Garza⁵

¹Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Sinaloa. C.P. 80000. Sinaloa, México.

²Especialidad de Edafología. IRENAT. Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. Montecillo, México.

³Especialidad de Botánica. IRENAT. Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. Montecillo, México.

⁴Campo Experimental Valle de Culiacán. INIFAP. C.P. 80000. Sinaloa, México.

⁵Especialidad de Estadística. ISEL. Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. Montecillo, México.

RESUMEN

Se evaluaron diferentes soluciones nutritivas resultantes de modificaciones a la solución nutritiva universal de Steiner en tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). La investigación se realizó en condiciones de campo con el sistema de riego por goteo. Los tratamientos consistieron en las combinaciones de tres relaciones nitrato:aniones y tres de potasio:cationes, en un diseño factorial con dos factores y tres niveles, más un tratamiento testigo (fertilización utilizada por los productores). La cosecha se realizó en diez cortes, separando la producción en calidades. En el primer corte, la mayor producción y la mejor calidad de los frutos se obtuvieron con la concentración más alta de N; en el cuarto corte, con la concentración intermedia; en el tercer corte, y en la producción total, con la concentración intermedia de K. El tratamiento testigo no presentó diferencias significativas con relación a la media de tratamientos del factorial, lo cual puede permitir una gran reducción de la fertilización, en comparación con la aplicada por los productores. Así se lograría disminuir costos y reducir la contaminación del suelo y mantos acuíferos. Los resultados indican que la concentración de nutrimentos suministrada en la solución nutritiva debe ser de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo. En el último tercio de la cosecha hubo disminución de la calidad de los frutos, asociada con excesiva concentración de K en el fruto.

PALABRAS CLAVE: *Lycopersicon esculentum* Mill., soluciones nutritivas, riego por goteo, fruto de exportación y nacional, savia.

NITRATE AND POTASSIUM RATIOS IN A DRIP FERTIGATION SYSTEM ON PRODUCTION, QUALITY AND NUTRIENT UPTAKE IN TOMATO

SUMMARY

Several nutrient solutions modified from Steiner's were evaluated in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under field conditions with a drip irrigation system. Treatments were combinations of three NO₃:anion and three K⁺:cation ratios in a factorial design with two factors and three levels plus a control treatment (common fertilization used by growers). Harvest was done on ten picking dates. The highest yield and the best fruit quality were obtained on the first picking date with the highest N level and on the fourth picking date with the intermediate concentration as well as on the third picking date, and in total yield, with the intermediate K concentration. The control was not significant different from the mean of the factorial. These results should allow a great reduction in fertilization rate and in costs for growers and a reduction in soil and groundwater pollution. Also, the results show that nutrient concentration should be administered in accordance with phenological stage of the crop. Fruit quality declined in the final third of the harvest period; this was related to an excessive K concentration in the fruit.

KEY WORDS: *Lycopersicon esculentum* Mill., nutrient solutions, drip irrigation, fertigation, domestic and export fruit, sap.

INTRODUCCIÓN

El tomate es la hortaliza más importante del país, tanto por la superficie cultivada como por el volumen de exportación (Crisantes, 1992). Es una importante fuente de divisas y de empleo en el campo mexicano. La utilización del sistema de riego por goteo en este cultivo se ha incrementado, sobre todo en las regiones donde el agua es escasa, como ocurre en el estado de Sinaloa principal productor de tomate a nivel nacional. En estas regiones productoras de tomate se llegan a hacer aplicaciones excesivas de fertilizantes, principalmente de nitrógeno y potasio, aún con este sistema de riego que, de acuerdo con Moya (1994), permite reducir más de 50 % la concentración de fertilizantes, obtener un ahorro económico y un menor deterioro del ambiente, y hacer un uso más eficiente del agua, que se logra reducir en más del 50 % (Lizárraga, 1995). Los nutrimentos más relacionados con la calidad del fruto son el potasio y el calcio. El potasio afecta la calidad del fruto: color, sabor, consistencia y tamaño (Jones *et al.*, 1991; Junta de Extremadura, 1992). El objetivo principal de los productores de tomate es la obtención de frutos con calidad de exportación, razón por la cual aplican potasio en grandes cantidades. La obtención de concentraciones adecuadas de calcio en los frutos también es un objetivo en la producción hortícola. Bajos niveles de calcio se han asociado con una pobre calidad y un mayor grado de ablandamiento en muchas especies de frutas (Ferguson *et al.*, 1995), y también con la pudrición apical del fruto en el caso del tomate (Ho y Hand, 1997). Por otra parte, aún en suelos ricos en calcio, eventualmente el cultivo de tomate muestra deficiencias de dicho nutrimento (León, 1987). Con el cultivo de tomate bajo fertirrigación en el Valle de Culiacán, Sinaloa, también se han confirmado deficiencias de magnesio (Lizárraga, 1995).

En fertigación el uso apropiado de la solución nutritiva se basa en los principios de la hidroponía, mediante ésta se determinan las relaciones adecuadas de nutrimentos, los cuales se ajustan a la condición del suelo y a las condiciones climáticas de la localidad (Cadahia, 1998).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar los efectos de variaciones en las relaciones de nitrato:aniones y de potasio:cationes, tomando como base la solución nutritiva universal de Steiner (Steiner, 1984), en el rendimiento y calidad del fruto del tomate cultivado en campo bajo el sistema de riego por goteo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Campo Experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CAEVACU-INIFAP) ubicado en el Valle de Culiacán, Sinaloa, México, situado a 24°48'30'' de latitud norte y 107°24'30'' de longitud oeste y a una altitud de 30 m (Anónimo, 1985).

El clima es del tipo BS1(h')w(e), de acuerdo con García (1973); descrito como semiárido con lluvias en verano y presencia de lluvias invernales. El suelo de acuerdo con la clasificación de la FAO es del tipo vertisol crómico (Parra, 1995), serie vitaruto (Anónimo, 1970); se caracteriza por tener una estructura columnar, con formación de grietas profundas de hasta 60 cm; su textura es arcillosa; el pH es alcalino; su coloración en seco es gris oscuro, que al humedecerse se vuelve gris; presenta drenaje superficial medianamente eficiente.

Los tratamientos se realizaron a partir de modificaciones a la solución nutritiva universal de Steiner y consistieron en agregar NH_4^+ a expensas de la relación $\text{K}^+:\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$, y en modificar la relación $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$. A partir de esta solución modificada, y de acuerdo con los lineamientos al respecto (Steiner, 1984), se establecieron los tratamientos disminuyendo la concentración del N-NO_3^- con relación al total de aniones ($\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{SO}_4^{2-}$), así como también la concentración de potasio con relación al total de cationes ($\text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{NH}_4^+$).

Los tratamientos consistieron en nueve soluciones nutritivas resultantes de la combinación de tres relaciones NO_3^- : aniones (a expensas del SO_4^{2-}) y tres relaciones K^+ : cationes (a expensas de la relación $\text{Ca}^{2+}:\text{Mg}^{2+}$), en un diseño factorial de 3^2 , más un décimo tratamiento (testigo), que consistió en emplear una solución equivalente a la fertilización que emplean los productores en el Valle de Culiacán, quienes aplican 450 kg de N, 270 kg de P_2O_5 y 600 kg·ha⁻¹ de K_2O en el riego por goteo (Cuadro 1). Las soluciones se prepararon con los siguientes fertilizantes: fosfato monoamónico (11-48-0), sulfato de amonio (20.5-0-0), nitrato de amonio (33.5-0-0), nitrato de potasio (13-0-46), nitrato de calcio (15.5-0-0-26), nitrato de magnesio (11-0-0-0-9.5), sulfato de potasio (0-0-50-0-0-18) y sulfato de magnesio (0-0-0-0-26.7-13).

CUADRO 1. Composición química de los tratamientos (meq·litro⁻¹).

| Trat. | NO_3^- | H_2PO_4^- | SO_4^{2-} | K^+ | Ca^{2+} | Mg^{2+} | NH_4^+ |
|-------|-----------------|---------------------------|--------------------|--------------|------------------|------------------|-----------------|
| 1 | 5.99 | 0.46 | 2.76 | 2.12 | 3.62 | 2.08 | 1.38 |
| 2 | 4.61 | 0.46 | 4.14 | 2.12 | 3.62 | 2.08 | 1.38 |
| 3 | 3.22 | 0.46 | 5.53 | 2.12 | 3.62 | 2.08 | 1.38 |
| 4 | 5.99 | 0.46 | 2.76 | 1.43 | 4.06 | 2.33 | 1.38 |
| 5 | 4.61 | 0.46 | 4.14 | 1.43 | 4.06 | 2.33 | 1.38 |
| 6 | 3.22 | 0.46 | 5.53 | 1.43 | 4.06 | 2.33 | 1.38 |
| 7 | 5.99 | 0.46 | 2.76 | 0.74 | 4.51 | 2.58 | 1.38 |
| 8 | 4.61 | 0.46 | 4.14 | 0.74 | 4.51 | 2.58 | 1.38 |
| 9 | 3.22 | 0.46 | 5.53 | 0.74 | 4.51 | 2.58 | 1.38 |
| 10 | 6.13 | 1.04 | ----- | 3.46 | ----- | ----- | 2.67 |

Estas soluciones nutritivas se ajustaron a un mismo potencial osmótico de -0.034 MPa, (según la concentración

y valencia de los iones), con excepción del testigo que fue de -0.032 MPa. Se utilizó tomate del cultivar Br-284 considerado de alto rendimiento en el Valle de Culiacán. Se sembró en charolas de polietileno de 200 cavidades prismáticas de 30 cm³, utilizando como sustrato "Terra-lite" y una solución nutritiva elaborada con fertilizantes comerciales. Las plántulas presentaron un desarrollo vigoroso y uniforme, a los 32 días cuando tenían 15 cm de altura, se transplantaron al campo "con cepellón", a 0.5 m entre plantas sobre surcos distantes a 1.8 m. La densidad de población fue equivalente a 11,111 plantas·ha⁻¹. El diseño experimental fue un bloque al azar con tres repeticiones. La parcela experimental consistió de tres surcos de 10.5 m de longitud. El surco central constituyó la parcela útil, cuya área fue de 10.8 m² (6 x 1.8 m). Las camas de las parcelas se cubrieron con acolchado plástico de color plateado, calibre 0.125 mm. Se instalaron tuberías de PVC de conducción principal con diámetro de 51 mm y las cintas de riego de flujo turbulento, supertyphon # 8-04916 con separación de 45 cm entre emisores con un gasto de 1.6 litros·ha⁻¹ por emisor a 0.7 kg·cm⁻².

Se evaluó la operación hidráulica del sistema correspondiendo a 98 % la uniformidad de aplicación del agua. Después del transplante, se realizaron los riegos con las soluciones nutritivas de acuerdo con cada tratamiento, en cantidad suficiente para reponer el agua evaporada del suelo y la transpiración del cultivo, manteniendo 52 % de humedad con base en el peso de suelo seco de 0-60 cm de profundidad. Las plantas fueron podadas a dos tallos.

La cosecha de frutos se realizó por un período de 2 1/2 meses. Para su registro, se separó en cortes semanales obteniéndose 10 cortes. La producción de frutos se cuantificó por peso y en bultos por hectárea, clasificándose en bultos de exportación, nacionales y rezaga. Los bultos de exportación correspondieron a los frutos de calidad sin defectos y con los siguientes tamaños (diámetro de fruto): 4 x 4 (9 cm), 4 x 5 (8.5 cm), 5 x 5 (8 cm), 5 x 6 (7.5 cm), 6 x 6 (6.5 cm), 6 x 7 (6 cm) (Anónimo, 1992). Para el análisis estadístico, se consideraron "grandes" a los grupos de 4 x 4 y 4 x 5, "medianos" a los de 5 x 5 y 5 x 6 y "chicos" 6 x 6 y 6 x 7. Los bultos nacionales correspondieron a los frutos del mismo tamaño que de exportación, pero con defectos leves como: carigato (cicatriz floral), deformes, bofos, pared gris, virosos, asoleados y rajados; la rezaga comprendió a la producción no comercializable de frutos, debido a una mayor severidad de los defectos señalados en los bultos nacionales, a la presencia de frutos chicos (menores de 6 x 7) y a frutos con pudrición apical.

Con la finalidad de establecer los efectos de las relaciones de concentración nutrimental de las soluciones nutritivas, en la nutrición de la planta, se realizaron tres determinaciones de NO₃⁻, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ en la savia, durante la floración, al inicio de cosecha y a mediados de cosecha. La savia se extrajo mediante presión de brotes

axilares ubicados en el cuarto o quinto ciclo de crecimiento, a partir del ápice de crecimiento, de treinta órganos, entre 9:00 11:00 h y de acuerdo con la metodología general señalada por Burgueño (1997). El NO₃ y el P se analizaron por colorimetría y, el K, Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica. De forma similar, se determinaron las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en fruto, a los 49, 64, 80, 96 y 138 días después del transplante. El nitrógeno se analizó por el método del microkjeldhal, el fósforo por colorimetría con vanadato molibdato y el potasio, el calcio y el magnesio por absorción atómica (Alcántar y Sandoval, 1999).

El análisis de varianza de las variables de respuesta se realizó mediante la evaluación de los factores principales del diseño factorial: 1) la relación de la concentración de nitratos: total de aniones (NO₃⁻+H₂PO₄⁻+SO₄²⁻) y 2) la relación de la concentración de potasio: total de cationes (K⁺+Ca²⁺+Mg²⁺+NH₄⁺) en las soluciones nutritivas, expresadas en miliequivalentes por litro. También se determinó la interacción de ambos factores y se comparó el efecto del tratamiento testigo con la media de los correspondientes al diseño factorial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción total

La producción total comprende el conjunto de frutos destinados a la exportación y al mercado nacional. En el primero y cuarto cortes se presentó efecto significativo solamente para el factor NO₃⁻. En el primer corte (Cuadro 2) con la concentración de 5.99 meq·litro⁻¹ de NO₃⁻ se obtuvo la mayor producción; en el cuarto corte con la concentración intermedia de 4.61 se obtuvo la mayor producción y en la producción acumulada o total no hubo efecto significativo debido a las concentraciones de NO₃⁻.

En el tercer corte y en la producción acumulada (de los 10 cortes) hubo efecto significativo solamente para el factor K, con la concentración intermedia de 1.43 meq·litro⁻¹ de K se alcanzó la mayor producción.

El testigo no presentó diferencia significativa con relación a la media del factorial, esto implica que el tratamiento que aplican los agricultores en Sinaloa permite obtener altos rendimientos, sin embargo, las cantidades de fertilizante son excesivas: 450, 270 y 600 kg·ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, mientras que la correspondiente a la media del diseño factorial es de 306, 119 y 246 kg·ha⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente, lo que representa 47, 127 y 144 % de fertilizante en exceso, en el orden indicado. Además, debe considerarse que la fertilización por arriba del requerimiento del cultivo demerita paulatinamente la fertilidad del suelo y contamina los mantos freáticos.

CUADRO 2. Efectos principales en la producción total de tomate (exportación y nacional) por cortes y total, con efecto significativo de los factores estudiados.

| Efecto principal | Corte 1 | Corte 3 | Corte 4 | Total |
|---|--------------------|---------|---------|---------|
| | t·ha ⁻¹ | | | |
| 5.99 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 7.8 a ^z | 14.3 a | 15.5 ab | 136.2 a |
| 4.61 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 6.1 ab | 16.2 a | 18.1 a | 141.0 a |
| 3.22 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 5.9 b | 17.5 a | 14.6 b | 136.1 a |
| 2.12 meq·litro ⁻¹ K | 6.8 a | 15.4 ab | 15.1 a | 134.8 b |
| 1.43 meq·litro ⁻¹ K | 6.1 a | 18.6 a | 17.8 a | 145.3 a |
| 0.74 meq·litro ⁻¹ K | 7.0 a | 14.0 b | 15.2 a | 133.2 b |

^zMedias con letras iguales dentro de cada columna y de cada nutrimento son iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

De los resultados presentados en el Cuadro 2, se desprende que la concentración intermedia de K⁺:1.43 meq·litro⁻¹ a todo lo largo del ciclo de la planta, fue la que propició el mayor rendimiento; por otra parte, al inicio del cultivo, la concentración alta de NO₃⁻, posteriormente la concentración intermedia y más adelante la concentración baja (puesto que no hubo diferencias entre las concentraciones de NO₃⁻ para la producción total) favorecieron los mayores rendimientos por las etapas. Por lo anterior, es de esperarse un rendimiento aún mayor, al cambiar sucesivamente la concentración de NO₃⁻ en función de la etapa fenológica; los momentos de realización de estos cambios serían motivo de investigaciones futuras. Lara (1998) con un cultivo hidropónico de tomate en invernadero, demostró que al aumentar la concentración de NO₃⁻ de la solución nutritiva de Steiner (en la misma forma que en este estudio) en la etapa vegetativa y al reducirla en la etapa reproductiva, se aumenta, en ambas etapas, la materia seca, el número de flores y la absorción de algunos nutrimentos y, en la segunda etapa, inclusive el número de frutos, dicho autor además determinó, que el momento apropiado de cambiar la concentración de la solución fue 26 días después del transplante.

Producción de exportación y nacional

En la región, la expresión de la producción en términos de bultos·ha⁻¹ es más común que t·ha⁻¹, porque le refleja directamente al productor el valor de la producción. Un bulto·ha⁻¹ independientemente del tamaño de los frutos se aproxima a 11 kg·ha⁻¹.

El efecto principal de los NO₃⁻ en la producción (en t·ha⁻¹) de exportación por cortes y total (Cuadro 3) fue similar a la producción en conjunto de exportación y nacional (Cuadro 2), inclusive con la producción de exportación en el Corte 1, la concentración mayor de NO₃⁻ produjo mayor rendimiento en términos estadísticos con relación a la concentración intermedia de NO₃⁻. Estos resultados confirman lo señalado en el punto anterior.

CUADRO 3. Efectos principales en la producción de tomate de exportación y nacional por cortes con efecto significativo de los factores estudiados.

| Efecto principal | Exportación t·ha ⁻¹ | | | | Nacional t·ha ⁻¹ | |
|---|-----------------------------------|---------|---------|---------|--------------------------------|--------|
| | Corte 1 | Corte 3 | Corte 4 | Total | Corte 4 | Total |
| 5.99 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 5.3 a ^z | 11.9 a | 12.4ab | 91.6 a | 3.5 b | 48.4 a |
| 4.61 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 4.0 b | 13.4 a | 13.9 a | 95.1 a | 4.6 a | 49.6 a |
| 3.22 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 3.9 b | 13.7 a | 10.8 b | 89.1 a | 4.1 ab | 50.5 a |
| 2.12 meq·litro ⁻¹ K | 4.5 a | 12.4 ab | 11.5 a | 90.1 ab | 3.9 a | 48.3 a |
| 1.43 meq·litro ⁻¹ K | 4.4 a | 15.0 a | 13.7 a | 99.0 a | 4.6 a | 50.0 a |
| 0.74 meq·litro ⁻¹ K | 4.3 a | 11.6 b | 11.9 a | 86.8 b | 3.7 a | 50.1 a |

^zMedias con letras iguales dentro de cada columna y de cada nutrimento son iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Al separar la producción exportable y nacional por tamaños, no se encontraron efectos significativos del efecto principal de NO₃⁻ (Cuadro 4). Si se considera que esta separación evalúa la calidad de los frutos, se infiere que las distintas relaciones de NO₃⁻ de la solución nutritiva, dentro de los niveles de NO₃⁻ del estudio y al aplicarlas constantemente durante todo el ciclo del cultivo, no afectaron la calidad de los frutos.

CUADRO 4. Efectos principales en la producción de tomate de exportación y nacional por tamaño: fruto grande (G), mediano (M) y chico (CH).

| Efecto principal | Exportación (t·ha ⁻¹) | | | Nacional (t·ha ⁻¹) | | |
|---|--------------------------------------|--------|-------|-----------------------------------|--------|-------|
| | G | M | CH | G | M | CH |
| 5.99 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 47.0 a ^z | 38.5 a | 6.1a | 23.8 a | 19.5 a | 5.1 a |
| 4.61 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 49.3 a | 39.9 a | 5.8 a | 23.8 a | 20.0 a | 5.8 a |
| 3.22 meq·litro ⁻¹ NO ₃ ⁻ | 45.5 a | 37.3 a | 6.6 a | 27.6 a | 17.7 a | 5.2 a |
| 2.12 meq·litro ⁻¹ K | 48.0 ab | 36.1 a | 5.9a | 25.1 a | 18.8 a | 4.4 b |
| 1.43 meq·litro ⁻¹ K | 50.2 a | 42.0 a | 6.7 a | 24.5 a | 19.6 a | 5.9 a |
| 0.74 meq·litro ⁻¹ K | 43.5 b | 37.5 a | 5.7 a | 25.5 a | 18.8 a | 5.7 a |

^zMedias con letras iguales dentro de cada columna y de cada nutrimento son iguales, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

El efecto principal del K⁺ en la producción de exportación por cortes y total (Cuadro 3) también fue similar al de la producción en conjunto de exportación y nacional (Cuadro 2). Al separar la producción exportable y nacional por tamaños, Cuadro 4, se encontró que con la concentración intermedia de K⁺:1.43 meq·litro⁻¹ se obtuvo un mayor número de frutos grandes de exportación, los de mayor importancia de la producción en general.

La producción de exportación representó 64.5 % de la producción total. Por otra parte, la producción exportable en los primeros seis cortes fue 71.7 % del total exportable y en los últimos cuatro cortes la producción nacional fue

51.1 % del total nacional. En los primeros seis cortes, los defectos de los frutos calidad nacional fueron: carigatos (cicatriz floral) 69 %, deformes 10 %, asoleados 10 %, bofos 5 % y pared gris 6 %; los frutos carigato predominantes, se asocian con los factores genéticos del cultivar.

En los últimos cuatro cortes los defectos de los frutos calidad nacional fueron deformes y bofos, en conjunto fueron 67 % del total de dichos defectos y se consideran dependientes del suministro de agua y nutrimentos, particularmente del calcio y de las condiciones ambientales. De acuerdo con Ho y Hand (1977), la carencia de calcio provoca el ablandamiento del fruto de tomate. Ferguson *et al.* (1995) indicaron que el fruto de manzana alargado (deforme) tiende a presentar concentraciones bajas de calcio y que una carencia más acentuada de dicho nutrimento causa desórdenes fisiológicos más graves.

Dado que el mayor número de frutos grandes calidad nacional se obtuvo con la relación menor de K^+ en la solución nutritiva: $0.74 \text{ meq-litro}^{-1}$, aunque sin diferencias significativas con las otras relaciones (Cuadro 4); que el mayor número total de frutos calidad nacional mostró un comportamiento similar (Cuadro 3); y los efectos indicados en las producciones separadas de los primeros seis cortes y de los últimos cuatro cortes, en investigaciones futuras sería conveniente probar el uso de soluciones nutritivas sin K^+ , a partir del momento de crecimiento de frutos integrantes del séptimo y subsecuentes cortes, con el fin de aumentar la producción de exportación y reducir la nacional en estos cortes.

En forma consistente, en todos los análisis de varianza realizados de las variables estudiadas (Cuadros 2, 3, 4, 5 y 6), se encontró que la interacción de los factores principales del diseño factorial no fue significativa y tampoco

lo fue la diferencia entre la media de los tratamientos integrantes del diseño factorial y la correspondiente al testigo de todas y cada una de dichas variables.

Producción no comercial (rezaga).

Los frutos de rezaga representaron 9.4 % de la producción total comercializable, estuvieron integrados principalmente por frutos carigatos (3.01 %), frutos chicos (3.01 %) y frutos deformes (1.05 %); se obtuvieron pocos frutos con pudrición apical (0.39 %), de éstos el promedio correspondiente a los tratamientos integrantes del diseño factorial fue 0.37 % y se manifestaron en los últimos dos cortes (noveno y décimo), el testigo produjo 0.61 % y también se presentaron en los últimos dos cortes, pero además en el segundo corte.

El período de invierno 1996-1997 fue relativamente seco, con sólo tres días en enero y uno en febrero con precipitaciones apreciables, nublados totales y alta humedad ambiental (Anónimo, 1997). Estas condiciones ambientales particulares y el hecho de que los tratamientos del factorial contenían calcio, mientras que el testigo carecía del mismo, probablemente explican los frutos con pudrición apical en el segundo corte del testigo. Al respecto, Ehret y Ho (1986), Adams y Hand (1993), y Adams y Ho (1995) indicaron que la humedad ambiental alta disminuye la absorción de calcio. Mengel y Kirkby (1987), Nukaya *et al.* (1995) y Ortiz (1977) señalaron, además, que cuando se proporcionan cantidades de calcio insuficientes a la planta pueden ocurrir síntomas de deficiencia de dicho nutrimento.

En parte, la presencia de pocos frutos con pudrición apical en los últimos dos cortes es explicable por la condición de senescencia de la planta; al respecto, también

CUADRO 5. Concentración de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio en fruto de tomate en cada muestreo.

| Trat. | N (mg·g ⁻¹) | | | K (mg·g ⁻¹) | | | Ca (mg·g ⁻¹) | | | Mg (mg·g ⁻¹) | | |
|----------------|----------------------------|------|------|----------------------------|------|------|-----------------------------|------|------|-----------------------------|------|------|
| | 80 ² | 96 | 138 | 80 | 96 | 138 | 80 | 96 | 138 | 80 | 96 | 138 |
| 1 ^y | 3.25 ^x | 3.35 | 2.98 | 5.14 | 5.24 | 7.08 | 0.26 | 0.31 | 0.27 | 0.50 | 0.39 | 0.51 |
| 2 | 3.23 | 3.00 | 2.66 | 5.91 | 4.73 | 7.20 | 0.28 | 0.36 | 0.26 | 0.55 | 0.52 | 0.40 |
| 3 | 3.05 | 3.04 | 2.79 | 4.89 | 5.26 | 7.01 | 0.25 | 0.42 | 0.30 | 0.67 | 0.45 | 0.40 |
| 4 | 3.47 | 3.08 | 2.80 | 5.50 | 4.92 | 7.27 | 0.33 | 0.31 | 0.33 | 0.55 | 0.49 | 0.47 |
| 5 | 3.22 | 3.31 | 2.66 | 5.14 | 5.48 | 7.67 | 0.33 | 0.34 | 0.27 | 0.64 | 0.46 | 0.41 |
| 6 | 3.05 | 3.07 | 2.53 | 5.25 | 5.37 | 8.01 | 0.30 | 0.34 | 0.24 | 0.55 | 0.47 | 0.42 |
| 7 | 3.07 | 3.36 | 2.58 | 4.84 | 5.41 | 7.43 | 0.29 | 0.29 | 0.28 | 0.46 | 0.41 | 0.44 |
| 8 | 3.27 | 3.29 | 2.64 | 5.14 | 5.15 | 7.31 | 0.30 | 0.39 | 0.28 | 0.58 | 0.57 | 0.58 |
| 9 | 3.40 | 3.01 | 2.48 | 5.09 | 5.96 | 7.44 | 0.33 | 0.40 | 0.29 | 0.51 | 0.56 | 0.57 |
| 10 | 3.34 | 3.44 | 2.68 | 5.28 | 5.45 | 7.19 | 0.28 | 0.29 | 0.27 | 0.55 | 0.58 | 0.40 |
| X ^x | 3.23 | 3.19 | 2.68 | 5.21 | 5.29 | 7.36 | 0.29 | 0.34 | 0.27 | 0.55 | 0.49 | 0.46 |

¹Días después del transplante.

²meq·litro⁻¹ de NO₃⁻ y de K⁺, respectivamente: 1, 5.99 y 2.12; 2, 4.61 y 2.12; 3, 3.22 y 2.12; 4, 5.99 y 1.43; 5, 4.61 y 1.43; 6, 3.22 y 1.43; 7, 5.99 y 0.74; 8, 4.61 y 0.74; 9, 3.22 y 0.74; 10, 6.13 y 3.46.

^xMedia general de los diez tratamientos.

Nonami *et al.* (1995) consideraron que el empleo de fertilizantes con alta concentración de calcio no previene por completo la pudrición apical del fruto de tomate.

Concentración de nutrimentos en el fruto.

No hubo efectos significativos debidos a los factores principales del diseño factorial, ni a su interacción en las concentraciones de N, K, Ca y Mg del fruto determinadas a 80, 96 y 138 días después del transplante. En el Cuadro 5 se presentan dichas concentraciones por tratamiento. Se observan decrementos a 138 días, con relación a las correspondientes a las fechas anteriores, en las concentraciones de N, Ca y Mg, mientras que las de K aumentaron considerablemente; este muestreo (a 138 días) coincidió con la fecha del sexto corte, a partir del cual declinó, en la producción total por corte, la correspondiente a la exportación en 22.6, 27.1, 26.1 y 64.5 % y aumentó la nacional (principalmente debida a frutos deformes y bofos) en 10.8, 107.4, 61.5 y 33.6 %, respectivamente para los cortes séptimo, octavo, noveno y décimo.

Estos resultados indican una disminución de la calidad de los frutos asociada con una concentración alta de K en el fruto, Hobson y Davies (1980) indicaron que el contenido de K en frutos de tomate varía de 1.88 a 5.88 %, el de Ca de 0.10 a 0.24 % y el de Mg de 0.13 a 0.59 %; de aquí que sólo el de K fue alto. Pujos y Morard (1997) señalaron que la suma de cationes (en meq/100 g¹ de materia seca) tiende a ser constante en algunos órganos del tomate, el fruto entre ellos, cuando los desequilibrios nutrimentales no son excesivos. De acuerdo con lo anterior, la fertilización excesiva de K (práctica generalizada en Sinaloa), y particularmente ya avanzada la cosecha, con la finalidad de incrementar la producción exportable es contraproducente.

Análisis de savia

CUADRO 6. Efecto de los tratamientos sobre la concentración de NO₃, K, Ca y Mg en savia de brotes de tomate.

| Trat. | NO ₃ (mg·ml ⁻¹) | | | K (mg·ml ⁻¹) | | | Ca (mg·ml ⁻¹) | | | Mg (mg·ml ⁻¹) | | |
|----------------|---|-----|-----|-----------------------------|------|-----|------------------------------|-----|-----|------------------------------|-----|-----|
| | 45 ² | 79 | 138 | 45 | 79 | 138 | 45 | 79 | 138 | 45 | 79 | 138 |
| 1 ³ | 451 | 704 | 497 | 3373 | 4516 | 430 | 42 | 176 | 118 | 115 | 260 | 69 |
| 2 | 457 | 703 | 557 | 3336 | 4590 | 453 | 53 | 97 | 103 | 124 | 273 | 59 |
| 3 | 467 | 715 | 596 | 3310 | 4580 | 493 | 72 | 103 | 95 | 131 | 263 | 58 |
| 4 | 507 | 759 | 612 | 3623 | 4756 | 481 | 57 | 82 | 93 | 139 | 260 | 55 |
| 5 | 481 | 774 | 604 | 3361 | 4560 | 455 | 43 | 95 | 104 | 128 | 260 | 62 |
| 6 | 427 | 762 | 630 | 3276 | 4483 | 452 | 53 | 102 | 119 | 127 | 233 | 70 |
| 7 | 503 | 773 | 579 | 3676 | 4783 | 446 | 51 | 132 | 130 | 135 | 250 | 73 |
| 8 | 475 | 731 | 597 | 3313 | 4513 | 448 | 49 | 105 | 125 | 131 | 256 | 73 |
| 9 | 484 | 807 | 591 | 3310 | 4497 | 438 | 58 | 109 | 124 | 129 | 263 | 71 |
| 10 | 433 | 743 | 618 | 3393 | 4526 | 460 | 70 | 88 | 102 | 134 | 260 | 62 |

²Días después del transplante.

³meq·litro⁻¹ de NO₃⁻ y de K⁺, respectivamente: 1, 5.99 y 2.12; 2, 4.61 y 2.12; 3, 3.22 y 2.12; 4, 5.99 y 1.43; 5, 4.61 y 1.43; 6, 3.22 y 1.43; 7, 5.99 y 0.74; 8, 4.61 y 0.74; 9, 3.22 y 0.74; 10, 6.13 y 3.46.

Relaciones de nitratos...

No hubo efectos significativos en los factores estudiados o en su interacción en ningún muestreo. Las concentraciones de los nutrimentos (Cuadro 6) coinciden con las determinadas por otros investigadores en tomate (Routchenko, 1975, citado por Morard y Kerhoas, 1987).

En la savia, las concentraciones de NO₃, K, Ca y Mg aumentaron hasta el inicio del primer corte, sin embargo, coincidiendo con el sexto corte (138 días después del transplante), las concentraciones disminuyeron notablemente (Cuadro 6), con excepción de la de calcio debido a su limitada movilidad hacia los frutos. Al respecto, Ho y Adams (1994) indicaron que la baja movilidad del calcio al fruto de tomate puede deberse a que su transporte es principalmente vía xilema y que la tasa de transpiración del fruto es muy baja; Mengel y Kirkby (1987) señalaron que el análisis de calcio en las hojas no es un método confiable para predecir su deficiencia en el fruto.

La concentración de K en la savia disminuyó, mientras que en el fruto aumentó (Cuadro 5), por lo cual se infiere que la determinación de K en la savia no es un método de diagnóstico adecuado para predecir la deficiencia de K en el fruto. Estos resultados coinciden con Bednarz y Oosterhuis (1995), quienes no encontraron correlación entre la concentración de K en la savia y la concentración de K en las bellotas de algodón.

CONCLUSIONES

El empleo en el fertirriego de la solución universal de Steiner a un potencial osmótico de -0.034 MPa, con variaciones entre las concentraciones de NO₃⁻ de 1.4 meq·litro⁻¹ y de 0.7 meq·litro⁻¹ de K⁺ produjo rendimientos de tomate del orden de 145 t·ha⁻¹.

Con la relación intermedia de K^+ en la solución nutritiva ($1.43 \text{ meq-litro}^{-1}$), aplicada en todo el ciclo de cultivo, se obtuvo el mayor rendimiento total. Mientras que con las distintas relaciones de NO_3^- probadas, se obtuvieron los rendimientos más altos por etapas: con la relación alta de NO_3^- ($5.99 \text{ meq-litro}^{-1}$), la producción inicial fue la mayor; con la relación intermedia de NO_3^- ($4.61 \text{ meq-litro}^{-1}$), lo fue la producción intermedia. La producción acumulada final debida a la aplicación constante de cada una de las concentraciones de NO_3^- fue similar.

Los frutos calidad exportación representaron 64.5 % del total comercial (exportación más nacional), dichos frutos se obtuvieron con las mismas condiciones nutrimentales antes indicadas para el rendimiento total. Los frutos de mayor calidad, los grandes de exportación, se obtuvieron con la relación intermedia de K^+ antes indicada.

El demérito de los frutos calidad nacional con relación a los de exportación se debió, principalmente, a frutos bofos y deformes (67 % del total de frutos calidad nacional). En su mayoría los frutos calidad nacional se obtuvieron en los últimos cuatro cortes (51.1 %).

Las concentraciones de N, K, Ca y Mg en el fruto en tres fechas, obtenidas en función de los tratamientos aplicados no presentaron relación entre sí. Sin embargo, se observó que las concentraciones de K determinadas a 138 días después del transplante, fecha en la cual se dio el sexto corte, fueron relativamente altas y aparentemente asociadas con la producción de menor calidad (la nacional).

Las determinaciones de NO_3^- , K, Ca y Mg en la savia de las plantas efectuadas en tres fechas no estuvieron en función de los tratamientos aplicados, tampoco lo estuvieron con las antes indicadas concentraciones en el fruto.

Tanto el rendimiento como la calidad de los frutos obtenidos con el tratamiento testigo (la fertilización que se practica en la región: $450, 270$ y $600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente) fueron similares a los obtenidos con la media correspondiente de los tratamientos integrantes del diseño factorial (representada por $306, 119$ y $146 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 y K_2O en el mismo orden).

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue apoyado por el Proyecto CONACYT G0009-B.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, P.; HAND, D.J. 1993. Effects of humidity and Ca level on dry matter and Ca accumulation by leaves of cucumber. *J. Hort. Sci.* 68(5): 767-774.
- ADAMS, P.; HO, L.C. 1995. Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. *Acta Horticulturae* 401: 357-361.
- ALCÁNTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Publicación Especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- ANÓNIMO. 1970. Clasificación de Suelo del Distrito de Riego 010. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Culiacán, Sinaloa, México. 85 p.
- ANÓNIMO. 1985. Guía para la asistencia técnica del Valle de Culiacán, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, CAEVACU-CIAPAN. Culiacán, Sinaloa, México. 227 p.
- ANÓNIMO. 1997. Registro de observaciones climatológicas diarias. Estación Meteorológica. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Valle de Culiacán, Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. pp. 10-12.
- BEDNARZ, C.W.; OOSTERHUIS, D.M. 1995. Plant potassium partitioning during progression of deficiency symptoms in cotton. *Better Crops* 70(1): 12-14.
- BURGUEÑO, H. 1997. La Fertigación en Cultivos Hortícolas con Acolchado Plástico. Vol. 3. Ed. Bursag, S.C. Culiacán, Sin., México. 86 p.
- CADAHIA L., C. 1998. Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 475 p.
- CRISANTES, T. 1992. Productores de hortalizas: CNPH ¿qué sigue después? Primer número (otoño). D.F., México. pp. 20-21.
- EHRET, D.L.; HO, L.C. 1986. Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *J. Exp. Bot.* 182: 1294-1302.
- FERGUSON, Y.B.; VOLZ, R.K.; HARKER, F.R.; WATKINS, C.B.; BROOKFIELD, P.L. 1995. Regulation of postharvest fruit physiology by calcium. *Acta Horticulturae* 398: 23-30.
- GARCÍA, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. D.F., México. 235 p.
- HO, L.C.; ADAMS, P. 1994. The physiological basis for high fruit yield and susceptibility to calcium deficiency in tomato and cucumber. *J. Hort. Sci.* 69(2): 367-376.
- HO, L.C.; HAND, D.J. 1977. Improvement of fruit quality by calcium nutrition. (Abstracts) *Int. Soc. Hort. Sci. Ontario, Canada*. p. 39.
- HOBSON, G.E.; DAVIES, J.N. 1980. The Biochemistry of Fruits and Their Products. Vol. 2. Academic Press Inc. Ed. A.C. Hulme. London and New York. 788 p.
- JONES, J.B.; WOLF, JR. B.; MILLS, H. A. 1991. Plant Analysis Handbook. Micro-MacroPublishing Inc. Athens, Georgia. 212 p.
- JUNTA DE EXTREMADURA. 1992. Interpretación de Análisis de Suelo, Foliar y Agua de Riego. Consejo de abonado. Edición Mundi-prensa. Madrid, España. 238 p.
- LARA H., A. 1998. Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenológicas del jitomate. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 137 p.
- EÓN G., H.M. 1987. Enfermedades de cultivos en el Estado de Sinaloa. Editado CIAPAN. Culiacán, Sinaloa, México. pp. 28-29.
- LIZÁRRAGA J., R. 1995. Fertilización fosfatada en cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) aplicada con cinta de goteo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 135 p.

- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4th Edition. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 687 p.
- MORAD, P.; KERHOAS, J. 1987. Tomato and cucumber. pp. 677-687. *In: Plant Analysis. As a Guide to the Nutrients Requirements of Temperate and Tropical Crop.* Martin-Prével P., Gagnard J. Gautier P. (eds.) Lavosier Publishing Inc. New York, U.S.A.
- MOYA T., J.A. 1994. Riego localizado y fertirrigación. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 268 p.
- NONAMI, H.; FUKUYAMA, T.; YAMAMOTO, M.; YANG, L.; HASHIMOTO, Y. 1995. Blossom-end rot of tomato plants may not be directly caused by calcium deficiency. *Acta Horticulturae* 396: 107-114.
- NUKAYA, A.; GOTO, K.; JANG, H.; KANO, A.; OHKAWA, K. 1995. Effect of K/Ca ratio in the nutrient solution on incidence of blossom-end rot and gold specks of tomato fruit grown in rockwool. *Acta Horticulturae* 396: 123-130.
- ORTIZ V., B. 1977. Fertilidad de Suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 210 p.
- PARRA T., S. 1995. Efecto de la solarización sobre algunas características químicas y microbiológicas del suelo y el rendimiento del cultivo de tomate. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 131 p.
- PUJOS, A.I.; MORARD, P. 1997. Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. *Plant and Soil* 189: 189-196.
- STEINER, A.A. 1984. The universal nutrient solution. *Proc. of the Sixth Int. Congr. on Soilless Culture. Int. Soc. for Soilless Culture. Lunteren.* pp. 633-649.
- USDA. 1992. Standards for Grades of Fresh Tomatoes. Report No. 2. United States Department of Agriculture. 11 p.