

HORTICULTURA

Fertirrigación en cultivo de tomate protegido: I- Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción

M. Alconada^{1,2}; M. Cuellas³; P. Poncetta²; S. Barragán²; E. Inda² y A. Mitidieri²

¹Centro de Investigaciones de Suelo y Agua de Uso Agropecuario (MAA-UNLP) Argentina. Calle 3 N°584 (1900) La Plata. ²Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UN La Plata. ³AER INTA La Plata. margaalconada@yahoo.com.ar

Recibido: 28/1/10

Aceptado: 14/9/11

Resumen

Alconada, M.; Cuellas, M.; Poncetta, P.; Barragán, S.; Inda, E. y Mitidieri, A. 2011. Fertirrigación en cultivo de tomate protegido: I- Nutrición nitrogenada. Efectos en el suelo y en la producción. Horticultura Argentina 30(72): 5-13.

El cultivo de tomate protegido (*Solanum lycopersicum* L.) reduce su rendimiento debido a degradaciones edáficas atribuibles al manejo de la fertilización, suelo y agua. Para revertir dicha situación se hace un uso creciente de enmiendas y fertilizantes, generando hiperfertilización, desequilibrios nutricionales y salinización del suelo. El objetivo del presente trabajo fue estudiar la evolución de los nitratos en suelo y su vinculación con los rendimientos y calidad del fruto, frente a diferentes planes de fertirrigación. Se comparan en un Hapludert típico del Cinturón Hortícola del Gran La Plata, cinco tratamientos con dosis variables en N, P, K, Ca y Mg. Los NO₃⁻ se evaluaron en el suelo y la solución edáfica. Se midió

producción precoz, comercial y total; y tamaño del fruto. En todos los tratamientos hubo un aumento de NO₃⁻ en el suelo hacia el final del cultivo, difiriendo entre sí desde los 48 días del trasplante. En todas las fechas, los tratamientos con mayores dosis difieren significativamente con los de menores dosis. El rendimiento y el tamaño de los frutos no difirieron estadísticamente entre tratamientos. Las altas concentraciones superficiales condujeron a altas concentraciones de NO₃⁻ en la solución edáfica a 100 cm de profundidad. Los márgenes brutos variaron de acuerdo al tratamiento entre 3.861 y 11.580 U\$D. La aplicación de N sin un control de las reales necesidades conduce a una ineficiencia productiva, económica y ambiental.

Palabras clave adicionales: degradación, contaminación, rendimiento.

Abstract

Alconada, M.; Cuellas, M.; Poncetta, P.; Barragán, S.; Inda, E. and Mitidieri, A. 2011. Fertigation tomato protected cultivation: I- Nitrogen nutrition. Effect on soil and production. Horticultura Argentina 30(72): 5-13.

The protected cultivation of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) has drastic reductions in yield due to soil degradation that are linked to the management of fertilization, soil and water. Increase the use of agrochemicals in order to reverse the degradation, generating overfertilization, disequilibria nutritional and soil salinization. The objective was to study the evolution of NO₃⁻ in soil and its relationship to the quality and performance, with different fertigation schemes. In a typical Hapludert of Horticultural Belt of the Great La Plata, five treatments with different doses of N, P,

K, Ca y Mg, are compared. The NO₃⁻ were evaluated in soil and soil solution. Early commercial and total production and fruit size was measured. In all treatments, there was an increase in soil NO₃⁻ toward the end of culture, differing among themselves 48 days from transplanting. Treatments differ significantly higher doses with lower doses of all treatments. Variations in fruit size or yield was not observed. The high surface concentrations led to high concentrations of NO₃⁻ in solution to 100 cm soil depth. The gross profit varied according to treatment among 3,861 y 11,580 U\$D. The application of N without control of the real needs leads to productive inefficiency, economic and environmental.

Additional keywords: degradation, pollution, production.

1. Introducción

La continua expansión de los cultivos protegidos se ha debido a factores socioeconómicos, ambientales y técnicos, destacándose entre estos últimos el desarrollo de una gran cantidad de cultivares con alto potencial de rendimiento y calidad. Se indican capacidades productivas del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de 500 t·ha⁻¹ y producciones medias entre 100 y 200 t·ha⁻¹ (Benton Jones, 2007). Estos últimos son los rendimientos que en general se obtienen

en las principales zonas productivas de tomate protegido en el país, así como en la región del presente estudio, Cinturón Hortícola del Gran La Plata, provincia de Buenos Aires.

En esta región la producción de tomate protegido se realiza principalmente sobre suelos Argiudol vértico (Serie Seguí y Serie Estancia Chica) y Hapludert típico (Serie Gorina) (Hurtado *et al.*, 2006). En estos suelos, el rendimiento inicial es cercano a 200 t·ha⁻¹ siendo algo menor en el suelo Hapludert típico, por mayor contenido de arcillas y drenaje más restringido.

En general en la región, a los pocos años de iniciada la producción protegida, los rendimientos de los cultivos disminuyen debido a degradaciones del suelo vinculados entre sí: salinización, alcalinización, disminución de permeabilidad, encharcamiento, desequilibrios nutritivos y desarrollo de enfermedades. En parte, estas degradaciones tienen su origen en la fertilización excesiva que conduce a una situación de hiperfertilización, con mayores costos productivos y daño ambiental (Alconada & Huergo, 1998; Giuffré *et al.*, 2004).

La aplicación de fertilizantes inorgánicos y abonos orgánicos es continua, y se realiza sin considerar la riqueza y potencialidad productiva del suelo, ni las consecuencias en el ambiente. En general, se aplican dosis de fertilizantes preestablecidas, transfiriendo las recomendaciones desarrolladas para otras condiciones ambientales e incluso sistemas productivos. Así, con frecuencia, se maneja al suelo como un medio inerte, siguiendo curvas de absorción de nutrientes desarrolladas en cultivos sin suelo. Asimismo, es frecuente que se intente revertir la disminución de rendimiento, asociada en parte a la salinización edáfica y el elevado pH, mediante el agregado creciente de fertilizantes. En ocasiones, se produce una respuesta inicial favorable del cultivo a la mayor fertilización, generando la idea equivocada que efectivamente se contribuye a mejorar el medio productivo al aumentar las dosis de fertilizantes. Sin embargo, en tiempos variables se produce la mencionada hiperfertilización, agudizándose los problemas planteados de degradación (Alconada *et al.*, 2000; Giuffré *et al.*, 2004). Esto ha sido también reportado en otros sitios del mundo con consecuencias negativas en el ambiente, productivas y económicas (Moorman, 1998; Karami & Ebrahimi, 2000).

Respecto a los abonos orgánicos, en la región se agregan dosis muy elevadas teniendo como finalidad mejorar el drenaje, sin embargo, su origen es esencialmente animal, siendo la cama del estiércol la que puede generar humus. Esencialmente aportan nutrientes, sales y contaminantes y, en general, tienen alto pH (Labrador Moreno, 1996). Específicamente para abonos de la región de estudio (cama de pollo y caballo) se señalan concentraciones de entre 2,2 y 2,4 % de N, salinidad de entre 4 y 5 dS·m⁻¹, pH entre 7 y 8, niveles excesivamente elevados de B, Zn y elevados contenidos de contaminantes tales como As y Pb (Lavado, Álvarez & Alconada, no publicado).

Consecuentemente, no se consideran los aportes de nutrientes provenientes del suelo, de los abonos, ni las interacciones entre nutrientes que se producen en el suelo, ni su vinculación con la calidad de los productos de cosecha y las consecuencias en la contaminación

del agua subterránea, tal como ha sido reportada en el Gran La Plata (Auge & Navy, 1999).

Un particular efecto tiene el elevado uso de fertilizantes en los desórdenes fisiológicos vinculados a la nutrición cálcica (*Blossom end root*). Según la bibliografía, lo indicado puede deberse a diversos factores, entre ellos, Geraldson (1957) destaca a los excesos de K⁺, Na⁺, Mg⁺⁺ o NH₄⁺; Saure (2001) al estrés por agua debida a la alta salinidad; y Del Amor & Marcellis (2006) destacan la dificultad en la absorción de calcio debido a la alta humedad relativa.

Los suelos de la región en su condición natural, con excepción del fósforo que resulta insuficiente, todos los nutrientes se encuentran en niveles que definen un suelo muy bien provisto químicamente, siendo el drenaje entre moderadamente a imperfectamente drenado, lo que limita la producción. En estas condiciones sólo una fertilización de recuperación de P, y posterior mantenimiento, al igual que con el resto de los nutrientes, sería suficiente, teniendo especial cuidado en evitar una agudización de la problemática de drenaje natural.

Respecto a la nutrición nitrogenada, se aplican en general dosis mayores a 300 kg N·ha⁻¹ y agregados de estiércoles de hasta 40 t·ha⁻¹ (base fresca, representan aproximadamente 900 kg N·ha⁻¹). Recomendaciones que surgen incluso de instituciones nacionales, ya que indican como adecuadas dosis de 250 a 350 kg N·ha⁻¹, sin especificar cuando estas dosis deben ser agregadas. Específicamente para la región de estudio, eran frecuentes recomendaciones de 3,6 a 5 kg N·t⁻¹ de producción (Balcaza, 1995), que en 200 t·ha⁻¹ equivale a 720 a 1.000 kg N·ha⁻¹. En muchos establecimientos esto ha continuado. Así, se reportan en establecimientos del Gran La Plata, aplicaciones próximas a 1.000 kg de N·ha⁻¹ con rendimientos que no difieren de los obtenidos con dosis inferiores a 400 kg N·ha⁻¹, con mayores costos e incremento de la salinidad (Poncetta *et al.*, 2006).

La bibliografía internacional es variable en sus recomendaciones, entre 50 y 600 kg N·ha⁻¹, según las condiciones productivas (Nuez, 1995; Cadahia López, 1998; Letard *et al.*, 1995; Benton Jones, 2007). Algunos autores indican valores máximos de N en el cultivo de tomate por encima de los cuales se producen una ineficiencia en el uso de fertilizantes y efectos negativos generales (Sainju *et al.*, 2003), debido a disminuciones en los rendimientos, incidencia en enfermedades y desórdenes fisiológicos (Hochmuth & Cordasco, 2008). Estos autores recomiendan dosis máximas de 196 kg N·ha⁻¹. Ferreira *et al.* (2003) prueban dosis entre 0 y 880 kg N·ha⁻¹ en suelos tropicales y encuentran también disminuciones de rendimientos con

dosis elevadas o ausencia de una respuesta acorde al incremento de N. Simonne *et al.* (2007) prueban dosis de hasta 392 kg N·ha⁻¹ y encuentran reducción en la calidad de los frutos con las más altas dosis. Sierra *et al.* (2008) indica como dosis óptima entre 140 y 199 kg N·ha⁻¹, y con posible efecto negativo aplicando dosis de 224 kg N·ha⁻¹. Villareal Romero *et al.* (2009) prueban dosis de N en Vertisoles entre 250 y 450 kg N·ha⁻¹, y diferentes proporciones entre NH₄⁺ - NO₃⁻, y no encuentran diferencias en rendimientos ni en calidad de fruta.

Por lo expuesto, se aprecia que en la región del Gran La Plata se aplican y se recomiendan dosis de fertilizantes como si se tratasen de suelos pobres y con cultivares cuyas potencialidades de rendimiento fuesen muy superiores a las que efectivamente poseen. Se constituye entonces en una ineficiencia económica, técnica y ambiental. Tal como indica Benton Jones (2007), es esperable que la expansión vertical de los cultivos intensivos continúe en el futuro si es que se mejoran los métodos de producción. El ajuste de la fertilización resulta esencial en la mejora productiva de la región en particular, y el país en general. En el presente trabajo se parte de la premisa de considerar que sólo con el agregado de N, dada su alta movilidad, podría afectar el rendimiento y calidad del fruto de tomate protegido, debido a que el suelo posee muy alta fertilidad en todos los nutrientes, hasta excesiva en alguno de ellos.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la evolución de los nitratos en el suelo y su vinculación con los rendimientos y calidad del fruto de tomate protegido, frente a diferentes planes de fertirrigación.

2. Materiales y métodos

En la Chacra Experimental de Gorina (Ministerio de Asuntos Agrarios, Buenos Aires), ubicado en el partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina, se comparan cinco planes de fertirriego en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Superman bajo cobertura plástica sobre un suelo Hapludert típico Serie Gorina, en diseño de bloques al azar con tres repeticiones. La densidad de plantas fue de 2,3 plantas·m⁻². La fertilización se efectuó por goteo (cintas con goteros cada 0,2 m, volumen de riego de 5 L·m⁻¹ lineal), cada tres días siguiendo el ciclo fenológico: etapa uno (E1): trasplante a cuaje primera corona (35 días); etapa dos (E2): cuaje primera corona a comienzo cosecha (30 días); etapa tres (E3): inicio cosecha a cosecha quinta corona (40 días) y etapa cuatro (E4): cosecha quinta corona a final cultivo. La distribución porcentual de los nutrientes agregados para las etapas uno a cuatro,

respectivamente, fueron los siguientes: N: 27,5-34-30,2-8,3; P: 20-28-42-10; K: 21-28-39-12; Ca: 33,3-33,3-28,9-4,4; Mg: 26,7-33,3-36,7-3,3; suministrados con ácido fosfórico, ácido nítrico, nitrato de amonio, nitrato de potasio, sulfato de potasio, nitrato de calcio, y sulfato de magnesio. El N se aportó con una relación NO₃⁻ - NH₄⁺: nueve a uno. Se regó todos los días manteniendo el bulbo húmedo en capacidad de campo.

2.1 Tratamientos

T1: sólo N según X, que representa la dosis basal del T3, calculada basándose en rendimientos posibles (100 t·ha⁻¹); T2: (0,5 * X); T3: fertilización base (X), para todo el ciclo de cultivo se agregó las siguientes cantidades totales en kg·ha⁻¹: 265 N - 79 P - 514 K - 90 Ca - 30 Mg - 88 S; T4: (1,5 * X); y T5: (2 * X). La primera fertilización se realizó a las dos semanas de trasplantados los plantines y la última fertilización, a los 147 días desde el trasplante, conforme a las etapas mencionadas precedentemente.

A fin de eliminar diferencias atribuibles a la nutrición con micronutrientes, se aplicó igual dosis en todos los tratamientos por vía foliar. Se efectuó un total de 10 aplicaciones (aproximadamente una aplicación cada 10 días). La fórmula y dosis utilizada fue ajustada a partir de la sugerida por Trejo Tellez (2000), esta fórmula incluye: B, Mn, Fe, Zn, Mo, y urea.

2.2 Muestreos de suelo

Se efectuó un total de ocho muestreos superficiales (0 a 10 cm): F1 previo al inicio de la fertilización (8 días desde el trasplante); F2 próximo a finalizar la E1 a los 28 días del trasplante; F3 en la E2 a los 48 días del trasplante; F4 también en la E2 pero a los 58 días del trasplante; F5 en la E3 a los 86 días del trasplante; F6 también en la E3 pero a 104 días del trasplante; F7 en la E4 a los 120 días del trasplante, y F8, a los 175 días del trasplante, al final del cultivo, luego de 37 días de suspendida la fertilización. En F1, F3, F5, F7 y F8, se muestreó según diseño estadístico (una muestra compuesta por tratamiento para cada uno de los bloques), y en F2, F4 y F6, el muestreo fue parcial, a modo de control, ya que los bloques de cada tratamiento se juntan en una muestra. Al inicio y final del ensayo (F1 y F8) se muestreó además a 10 a 20 cm de profundidad. Cada muestra estuvo compuesta por ocho submuestras.

2.3 Muestreo de solución edáfica

Se instalan en el T3 extractores de solución edáfica de la firma SDEC-France a 0,1, 0,7 y 1 m de profundidad. Estos extractores constan de un tubo de PVC en cuyo extremo inferior presentan una cápsula de

porcelana que se ubica en contacto con el suelo a las profundidades indicadas; a través de esta cápsula porosa penetra la solución edáfica la cual es extraída mediante una bomba de vacío que se conecta en el extremo superior del tubo de PVC. Se muestreó en F2, F3, F4 y F5, en las fechas restantes no hubo cantidad de extracto suficiente.

2.4 Determinaciones químicas

En el suelo húmedo y en el extracto de suelo, nitratos por el método del fenoldisulfónico (Black, 1965). En el suelo seco y tamizado por 2 mm, se midió: Fósforo (P) por Bray y Kurtz I, pH en pasta por potenciometría, y en el extracto de suelo a saturación, conductividad eléctrica por conductimetría (CE, $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$); RAS relación de adsorción sodio a partir de cationes solubles (Page *et al.*, 1982). En este trabajo, estas últimas variables se presentan a fin de caracterizar el suelo. En la solución de fertirriego se determinó pH y CE a la salida del gotero en todos los tratamientos, en tres fechas de cada una de las etapas fenológicas del cultivo (E1, E2, E3 y E4).

2.5 Mediciones de producción

Se evaluó la producción precoz y total, el tamaño medio de fruta, la distribución de la producción por tamaño y descarte.

2.6 Análisis Estadístico

En nitratos, ANOVA para un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, prueba de F test unilateral ($P \leq 0,05$) entre tratamientos y entre fechas de muestreo completos. Comparación de medias por Tukey.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de los suelos

El suelo Hapludert típico estudiado, en su condición natural, presenta muy alta fertilidad química natural, pH ligeramente ácido, sin salinidad ni alcalinidad, ricos en materia orgánica (> 5 %), y P asimilable

inferior a $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Hurtado *et al.*, 2006). Este último, luego de varios años con cultivos protegidos, presenta niveles excesivos, entre 100 y $300 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de P asimilable (Alconada *et al.*, 2000; Giuffré *et al.*, 2004). En promedio, en el sitio del presente estudio, el P asimilable fue de $120 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en la profundidad de muestreo de 0 a 10 cm, y $135 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ a una profundidad de entre 10 y 20 cm. Respecto a los cationes solubles, si bien hubo diferencias significativas entre fechas y tratamientos (datos no presentados), revelan en todos los casos una adecuada nutrición (Ca entre 1,6 y 1,8; Mg entre 1,7 y 2,5; y K entre 0,98 y 2,05 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$). Alconada *et al.* (2000), para iguales suelos, indican valores de cationes solubles próximos a los aquí obtenidos, los cuales se correspondieron con los siguientes valores promedio de cationes intercambiables: Ca 20,8; Mg 5,4 y K 2,85 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Según fecha y tratamiento, el pH varió entre un mínimo de 6,9 y un máximo 7,6; la CE entre $0,7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y $2,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y la RAS entre 5,5 y 9,2. La calidad del agua de riego del sitio se define como bicarbonatada sódica siendo su pH: 7,6; CE $570 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$; y RAS 9,7; lo que define un agua con moderado a elevado riesgo en relación a la salinización-alcalinización (Alconada & Zembo, 2000).

3.2 Evolución de nitratos en suelo

Entre fechas de muestreo hubo una variación significativa en todos los tratamientos ($P \leq 0,05$). Se produjo un incremento significativo de NO_3^- en los sucesivos muestreos, siendo máximo en F7, en etapa E4 a los 120 días del trasplante. En esta fecha, en el T5, el contenido de nitrato tiene un valor máximo de $411 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ representando un incremento de $327 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respecto a F1. En F8, al final del cultivo con la fertilización suspendida desde hace 37 días, se mantiene en este tratamiento muy elevados contenidos de nitratos ($358 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (Tabla 1). Igualmente, en todos los casos se producen aumentos en los contenidos de nitratos en F7 respecto a F1, que con excepción de T2, se vincula con la dosis de N, y condujo a concentraciones de nitratos superiores a las 200 ppm, valor que resulta superior a los niveles de suficiencia indicados en la bibliografía. En las fechas restantes, si bien hubo una tendencia a mayores contenidos de nitratos con mayores dosis, éstas no difieren en forma significativa en todos los casos. En F3, los tratamientos con elevadas dosis, T4 y T5, difieren significativamente del resto de los tratamientos; sin embargo, en F5 solo el T1, resultó sig-

Tabla 1. Valores promedio de NO_3^- en suelo ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en cinco fechas de muestreo.

Fechas	T1 sólo N según X	T2 (0,5*X)	T3 X	T4 (1,5*X)	T5 base (2*X)
F1	142 aA	86 aA	111 aA	127 aA	84 aA
F3	63 bA	84 aA	78 aA	140 aB	144 aB
F5	66 bA	116 abB	149 aB	173 aB	182 aB
F7	208 cA	223 bA	286 bAB	343 bAB	411 bB
F8	110 cA	222 bA	144 aAB	258 bAB	358 bB

Letras minúsculas iguales entre fechas no difieren entre sí ($P \leq 0,05$). Letras mayúsculas iguales entre tratamientos para cada fecha no difieren entre sí ($P \leq 0,05$).

nificativamente menor. En F8, dada la suspensión de la fertilización, disminuye el contenido de nitratos en todos los tratamientos, con excepción del T2. Este último tratamiento, presentó un comportamiento diferente al esperable, ya si bien la dosis fue la más baja, esto no condujo a valores significativamente inferiores. En los T2, T4 y T5 se mantienen en F8 valores superiores a 200 mg·kg⁻¹ de nitratos (Tabla 1).

Entre tratamientos, se dan diferencias estadísticas a partir de F3 hasta el final del ensayo. En el T4 y T5 se miden valores significativamente mayores que los T1 y T2 en todas las fechas. El T3 en general no difiere significativamente de ninguno de los tratamientos, solo lo hace en F3 respecto a los tratamientos con mayor dosis. La ausencia de significancia entre T1 y T3 era previsible ya que tuvieron igual dosis de N, difiriendo en el aporte de otros nutrientes.

El comportamiento del T2, con valores parcialmente diferentes a lo estimado, y la ausencia de significancia entre promedios (Tabla 1), que difieren entre sí en valores que por sí mismos definen una moderada a elevada nutrición (Letard, 1995) puede ser explicada por la alta variabilidad en los valores de NO₃⁻, favorecida por la naturaleza vértica de los suelos, donde es frecuente el flujo de agua diferencial por la presencia de grietas subsuperficiales (Armstrong *et al.* 1999), y a condiciones del medio que favorezcan cambios en la concentración de nitratos que se pierden, tal como pH y CE a la salida del gotero y proporción NH₄⁺ - NO₃⁻ del fertilizante (Cadahia, 1998; Havlin *et al.*, 1999).

Respecto a esto último, si bien en todos los tratamientos se mantuvo la relación NO₃⁻ - NH₄⁺, a fin de cubrir las dosis crecientes de fertilizantes, se modificó la forma en que se aportó el nitrato, así como, el aporte de sales. Esto puede haber incidido en el equilibrio anión-cation que normalmente se produce en la rizósfera a fin de mantener la electroneutralidad de la planta y la solución edáfica (Havlin *et al.* 1999), y consecuentemente, incidir en los valores de NO₃⁻ presentados en Tabla 1.

En relación a las fechas con muestreos parciales, F2, F4 y F6, los contenidos de nitratos siguen, en general, igual tendencia que las mencionadas para las fechas anteriores, aumentan conforme progresa el ciclo y aplicación de fertilizantes. Sin embargo, en ningún caso hubo diferencias significativas entre tratamientos. En F2 y F4 muy posiblemente se deba a la muy elevada variabilidad (CV 50 %), mientras que en F6 en todos los tratamientos los valores fueron próximos entre sí y rondaron los 200 mg·kg⁻¹ (T1 211,4; T2 265; T3 239,6; T4 198,4; T5 263,8 mg·kg⁻¹).

A la profundidad de 10 y 20 cm en F1 no hubo di-

ferencias significativas, los valores estuvieron comprendidos entre 30 y 41 mg·kg⁻¹ de NO₃⁻. Si hubo diferencias significativas en F9, el T5 (65 mg·kg⁻¹) se diferenció de los T1 (28 mg·kg⁻¹) y T2 (38 mg·kg⁻¹) (P ≤ 0,05). Entre profundidades en F8 los valores de nitratos se correlacionan significativamente (r: 0,91), siendo los valores subsuperficiales varias veces inferiores a los de superficie, consecuentemente, los nitratos se acumularon en escasa proporción a esta profundidad.

3.3 Contenido de nitratos en solución edáfica, extractos

En la solución edáfica proveniente de extractores ubicados en el T3 se detectaron concentraciones de nitratos muy elevados (Tabla 2), y explican la contaminación con nitratos detectada en la región en las aguas subterráneas (Auge & Nagy, 1999).

Los nitratos medidos en los extractos de suelo en superficie (0 a 10 cm) variaron entre 2,1 y 129 mg·kg⁻¹ de NO₃⁻, siendo aún más variables que los medidos en el suelo, y explica la ausencia de correlación entre sí. Igualmente en la región de estudio, Alconada *et al.* (2002) encuentran una variabilidad muy elevada en los contenidos de nutrientes presentes en los extractos de suelo (Argiudol vértico). Esta variabilidad, si bien puede deberse a lo indicado precedentemente para los NO₃⁻ medidos en suelo, puede también considerarse el momento en que se efectúa el fertirriego y la dinámica de extracción de las plantas. Por lo expuesto, no pareciera adecuado utilizar los extractos para definir los resultados de la fertirrigación del cultivo, tal como se realiza con frecuencia en la región del presente estudio. Letard (1995) indica la necesidad de ajustar el método analítico, momento del muestreo, así como su interpretación, la cual difiere de la que se efectúa en suelos.

3.4 Estimación del consumo de nitrógeno

A fin de estimar el consumo de N, se comparó su contenido en el suelo como NO₃⁻ mg·kg⁻¹ al final del ensayo (F8) respecto al contenido inicial (F1). Estos

Tabla 2. Concentración de NO₃⁻ (mg·kg⁻¹) en el tratamiento 5, en extractos de suelo a 70 y 100 cm de profundidad.

Fecha	Profundidad (cm)	
	70	100
F2	58,9	183,4
F3	98,9	276,1
F4	181,8	58,3
F5	Nd	35,2

Nd, no determinado.

valores se los expresan en N - NO₃⁻ kg·ha⁻¹ para una profundidad de 20 cm (mayor desarrollo radicular) a fin de establecer cual fue el consumo respecto a la dosis de N aplicado en cada tratamiento (Tabla 3). Tal como se aprecia en esta tabla, el contenido de N al final del ensayo resulta acorde a la dosis aplicada. Así, los T1 y T3 con igual dosis de N aplicado, calculado sobre la base del consumo posible para un rendimiento esperable de 100 t·ha⁻¹ (265 kg·ha⁻¹), y con un contenido de N inicial semejante, presenta al final del ensayo un contenido de N que no difiere significativamente del valor inicial. Así, como se aprecia en Tabla 3, varía en el T1 de 63 a 49,3 kg·ha⁻¹ N - NO₃⁻ en F1 y F8, respectivamente, y en el T3 de 50 a 65 kg·ha⁻¹ N-NO₃⁻. El consumo de N se corresponde con los valores que se indican en la bibliografía para el cultivo de tomate protegido (Nuez, 1995; Cadahia, 1998; Letard, 1995; Ferreira *et al.*, 2003; Benton Jones, 2007).

El N-NO₃⁻ presente al final del ensayo (F8) en el T4 y T5, revela que se aplicó una dosis de N innecesaria, lo cual se corresponde con los elevados contenidos de nitratos medidos en los extractos (Tabla 2). Dada la movilidad de los nitratos, los excesos llegarán al agua subterránea y podrán conducir a situaciones de contaminación. En estos suelos, resulta suficiente aplicar la dosis que se estima será consumida por el cultivo, tal como señala Sierra *et al.* (2008). Este autor no encuentra correlación entre diferentes fracciones extraídas de N en suelo con rendimientos y crecimiento de hortalizas. Estos autores recomiendan para planificar la fertilización nitrogenada basarse en los requerimientos del cultivo.

3.5 Solución fertilizante a la salida del gotero de riego

El pH y CE en la solución fertilizante a la salida del gotero se presenta en la Tabla 4, se observan diferencias entre tratamientos y fechas que podrían afectar la movilidad de los nutrientes. Así, el pH inicial en todos los tratamientos varía entre 7 y 7,8; y desciende al final del ensayo a valores entre 6,6 y 7. Sin embargo, si bien las mayores dosis se corresponden con menor pH, con excepción del T4 donde hubo una diferencia de 0,8 unidades de pH entre el valor inicial y

Tabla 3. Nitrógeno al inicio (F1) y final (F8) del ensayo (kg·ha⁻¹).

	T1	T2	T3	T4	T5
N kg·ha ⁻¹ aportado fertilizante	265	132	265	397	530
N-NO ₃ ⁻ inicial (F1)	63,1	38,8	50,1	57,4	37,9
N-NO ₃ ⁻ final (F8)	49,7	100,3	65,0	116,5	161,7

final, en general, dicha diferencia no resulta superior a 0,4-0,5. Es de destacar que el pH en algunas fechas resulta en una unidad mayor al óptimo que se recomienda para la solución nutritiva a la salida del gotero (Cadahia, 1998). Las pérdidas por desnitrificación podrían resultar importantes con valores de pH entre 7 y 8, e incluso en este rango de pH, podría favorecerse la volatilización (Havlin *et al.*, 1999). Respecto a la CE, esta resultó mayor en los tratamientos con mayor dosis de fertilizante. Si bien se produjo una variabilidad importante entre fechas y tratamientos, los valores promedio son próximos a la unidad, y tiene una variación máxima de 0,5 unidades entre el T1 y el T5 (Tabla 4).

3.6 Salinidad edáfica

No obstante, los evidentes excesos en la aplicación de N que resultan con las dosis ensayadas, en ninguna fecha la salinidad alcanzada es la que habitualmente se reportan en la zona con manejos tradicionales, y donde con frecuencia se aplican dosis mayores a las del T5 (530 kg·ha⁻¹). Así Alconada *et al.* (2000) indican valores de 20 dS·m⁻¹ a 2 cm de profundidad, y de 7,5 dS·m⁻¹ a 10 cm. Los mayores niveles de NO₃⁻ en F7 se corresponden con la más elevada CE, 2,2 y 2,6 dS·m⁻¹, T5 y T4, respectivamente. En el resto de fechas los valores fueron próximos a 1 dS·m⁻¹.

El cultivo se mantuvo libre de eflorescencias salinas y moho en superficie en el invernadero del presente estudio, y no se produjo el desorden fisiológico vinculado al Ca⁺⁺ (*Blossom end root*), muy posiblemente por haberse mantenido relaciones adecuadas en los nutrientes aplicados según su ciclo, y consecuen-

Tabla 4. Valores promedio de pH y CE dS·m⁻¹, a la salida del gotero (agua más fertilizantes) en las cuatro etapas fenológicas (E) y cinco tratamientos (T).

	T1	T2	T3	T4	T5
pH (pasta)					
E1	7,4	7,8	7,4	7,3	7
E2	7,5	6,9	7,3	6,8	6,5
E3	6,7	6,8	6,8	6,5	6,6
E4	6	7,1	6,9	6,7	6,4
Promedio	6,9	7,1	7,1	6,8	6,6
CE (dS·m ⁻¹)					
E1	0,5	0,7	0,8	1	1,2
E2	0,9	1,1	0,9	1,4	1,6
E3	0,7	1,2	0,9	1,2	1,1
E4	1,1	0,8	1	1,3	1,5
Promedio	0,8	0,9	0,9	1,2	1,3

temente no se favorecieron las condiciones para que ocurra dicho desequilibrio cálcico (Geraldson, 1957; Saure, 2001; Del Amor & Marcelis, 2006). Por el contrario, en el invernadero vecino al presente estudio, donde se mantuvo el manejo tradicional de fertirriego del establecimiento, visualmente se apreció el clásico proceso degradativo secuencial: salinización, encharcamiento, moho, enfermedades, y algo de *Blossom end root*.

3.7 Estado del cultivo y rendimiento

No se observaron efectos negativos en el crecimiento vegetativo ni en la producción de fruto con dosis que superan lo indicado en la bibliografía como dosis máximas a partir de las cuales se produce disminución de rendimientos (Tei *et al.*, 2002; Ferreira *et al.*, 2003; Simonne *et al.*, 2007; Hochmuth & Cordasco, 2008). Respecto al efecto de las sales se destaca, que si bien en el cultivo de tomate se indica como favorable cierta salinidad en la solución edáfica, a fin de mejorar la calidad de los frutos y reducir la longitud de los entrenudos de manera de tener un mayor número de racimos de frutos (Nuez, 1995; Cadahia, 1998; Letard, 1995), en el presente estudio, las variaciones observadas no afectaron tamaño de fruto ni rendimientos (Tabla 5). Sólo hubo ligeras diferencias en el crecimiento vegetativo, vigor, precocidad, en la etapa E1, atribuibles sólo a la variedad. Las diferencias observadas podrían tener su origen en una mayor influencia de la nutrición nitrogenada inicial sobre el crecimiento vegetativo. En las fechas restantes, no se observó ninguna diferencia en el aspecto de las plantas.

El estado sanitario resultó muy bueno en todos los tratamientos, sólo entre el final de la etapa uno e inicio de etapa dos, se produjo un ataque generalizado de oidio (*Oidium* sp). Sin embargo, en la producción total y comercial se igualan los tratamientos, siendo en promedio de 116,5 t·ha⁻¹ y 98 t·ha⁻¹, respectivamente (Tabla 5). En el peso medio del fruto sólo hubo una diferencia en el comercial, el T1 se diferenció del T5, sin embargo, no se diferenció del T3 de igual dosis, debido muy posiblemente a que además recibió otros nutrientes. Estos resultados se corresponden con lo indicado por Villarreal Romero *et al.* (2009) para suelos arcillosos respecto a la ausencia de efectos en los rendimientos y calidad con dosis crecientes de N (entre 250 y 450 kg N·ha⁻¹). Asimismo, es coincidente con lo indicado por Muñoz *et al.* (2005), quienes en cultivo de tomate sin suelo

no encuentran diferencias en calidad de fruto ni en rendimiento tanto de fruto comercial como total con dosis variables e inferiores a las recomendadas de N.

3.8 Márgenes

En función de la dosis utilizada los márgenes brutos variaron entre 3.861 y 11.580 U\$S (calculados para 2009) para los T5 y T1, respectivamente. En los tratamientos restantes los márgenes fueron T2 10.521 U\$S; T3 9.103 U\$S; y T4 6.366 U\$S. Se destaca que el T1 y T3 no obstante tener igual dosis de N a fin de asegurar la relación NO₃⁻ - NH₄⁺ se aplicaron fertilizantes con mayor costo en el T3 de allí el menor margen bruto. Se aprecia entonces, que el uso de fertilizantes en dosis crecientes no conduce a mayores rendimientos y consecuentemente disminuye el beneficio económico.

4. Conclusiones

El agregado de N en dosis próximas o mayores a 400 kg·ha⁻¹, se tradujo en una pérdida de N en profundidad. El contenido de NO₃⁻ en superficie al final del ensayo se mantuvo en valores superior a los considerados suficientes para el normal desarrollo de los cultivos, y explica el elevado contenido de nitratos medidos en extractos de suelo a un metro de profundidad.

La ausencia de diferencias en rendimientos y en calidad del fruto, con dosis crecientes de N, se atribuye a la riqueza de los suelos, condiciones productivas y variedad de tomate utilizado.

Los márgenes brutos aumentan conforme disminuyen las dosis de fertilizantes. Para las condiciones del medio, deberían ensayarse dosis aún menores. Las dosis de N utilizadas en ningún caso condujeron a niveles elevados de salinidad. La baja salinidad, no afectó la calidad del fruto.

5. Agradecimientos

Al personal de campo y técnico de la Chacra Experimental de Gorina, Ministerio Asuntos Agrarios, Buenos Aires, por su colaboración y ejecución de tareas en el manejo del cultivo a campo.

Tabla 5. Producción comercial y total acumulada (kg·planta⁻¹), y peso medio de fruto comercial y total (g) de todo el período productivo en todos los tratamientos (T).

	T1	T2	T3	T4	T5
Producción comercial (kg·planta ⁻¹)	4,3 a	4,2 a	4,3 a	4,3 a	4,4 a
Producción total (kg·planta ⁻¹)	5,1 a	5,1 a	5,0 a	5,1 a	5,2 a
Peso medio fruto comercial(g)	177 a	181 ab	183 ab	184 ab	185 b
Peso medio fruto total(g)	180 a	181 a	182 a	183 a	186 a

Letras iguales minúsculas entre tratamientos no difieren entre sí (P ≤ 0,05).

6. Bibliografía

- Alconada, M. & Huergo, L. 1998. Degradación de suelos con cultivos protegidos: Tomate. Influencia de la calidad de agua de riego. I Reunión de Producción Vegetal, NOA, Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Alconada, M. & Zembo, J.C. 2000. Influencia cualitativa del riego con aguas subterráneas en suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo. 1er. Joint World Congress on Groundwater. Fortaleza, Ceará, Brasil.
- Alconada, M.; Giuffrè, L.; Huergo, L. & Pascale, C. 2000. Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. Avances en Ingeniería Agrícola 1998-2000. Editorial, Facultad de Agronomía: 343-347.
- Alconada, M.; Mitidieri, A.; Poncetta, P.; Barragán, S.; Cuellas, M.; Inda, E. & Melión, D. 2002. Diagnóstico de la nutrición edáfica de un cultivo de frutilla (*Fragaria x ananassa* Duch.) utilizando extractos de campo en reemplazo del muestreo tradicional de suelo. Nitrógeno y Fósforo disponibles. XXIV Congreso Argentino y XI Latinoamericano de Horticultura.
- Armstrong, AC.; Leeds Harrison, P.B.; Harris, GL.; & Catt, JA. 1999. Measurement of solute fluxes in macroporous soils: techniques, problems and precision. Soil Use and Management, V 15(4): 240-246.
- Auge, M. & Nagy, M.I. 1999. Estado del agua subterránea respecto a la contaminación con agroquímicos en La Plata, Provincia de Buenos Aires. Hidrología Subterránea. Serie de correlación Geológica. V 13: 203-211.
- Balcaza, L. 1995. Fertirrigación en Tomate. Boletín Horticola, FCA, UNLP- INTA, Gran Bs.As. Año 3 Nro. 6.
- Benton Jones, J. 2007. Tomato plant culture. In the field, Greenhouse, and Home Garden. CRC Press LLC. 2° Edición. 399 p.
- Black, C.A. 1965. Methods of soil analysis. Agronomy N°9 Part 1. 770p.
- Cadahia López, C. 1998. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi Prensa. 475 p.
- Del Amor, F.M. & Marcelis, L.F.M. 2006. Differential effect of transpiration and Ca supply on growth and Ca concentration of tomato plants. Scientia Horticulturae V 111 (1): 17-23.
- Ferreira, M.M.; Ferreira, G.B.; Fontes, P.C. & Dantas, J.P. 2003. Tomato plants production in relation to nitrogen doses and organic fertilization for two sowing times. Horticultura Brasileira V 21 (3): 468-473.
- Geraldson, C.M. 1957. Factors Affecting Calcium Nutrition of Celery, Tomato, and Pepper. Soil Sci. Soc. Am. J. 21:621-625.
- Giuffrè, L.; Alconada, M.; Pascale, C. & Ratto, S. 2004. Environmental impact of phosphorus overfertilization in tomato greenhouse production. Journal Applied Horticulture V6(1):58-61.
- Havlin, J.L.; Beaton, J.S.; Tisdale, S.L.; & Nelson, W.L. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management. Ed. Prentice Hall. 499p.
- Hochmuth, G. & Cordasco, K. 2008. A Summary of N, P, and K Research with Tomato in Florida. Series, Horticultural Sciences Department, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. HS 759. <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Hurtado, M.; Gimenez, J.E.; & Cabral, M.G. 2006. Análisis ambiental del partido de La Plata. Aportes al ordenamiento territorial. 1ra. Ed. Consejo Federal de Inversiones. 124p.
- Karami, E. & Ebrahimi, H. 2000. Overfertilization with Phosphorus in Iran: A Sustainability Problem. Journal of Extension Systems 16:100-120.
- Labrador Moreno, J. 1996. La Materia orgánica en los Agrosistemas. Ed. Mundi Prensa 174 p.
- Letard, M.; Erard, P. & Jeannequin, B. 1995. Maitrise de l'irrigation fertilisante. Tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Ctifl.
- Muñoz, P.; Antón, A. & Montero, J.J. 2005. Fertilización nitrogenada en el cultivo de tomate bajo invernadero. www.horticom.com/pd/imagenes/62/557/62557.pdf
- Moorman, G. 1998. Overfertilization. The Pennsylvania State University. www.cas.psu.edu/docs/CASDEPT/PLANT/ext/overfert
- Nuez, F. 1995. El Cultivo del tomate. Ed. Mundi Prensa, España, Madrid. 793p.
- Page, A.; Miller, A.H. & Keeney, D.R. 1982. Methods of Soils Analysis. Amer. Soc. Agron. Soil Sci. Soc. Am. Madison, Wisconsin.
- Poncetta, P.; Alconada, M. & Lavado, R. 2006. Producción de tomate protegido en suelos decapitados con diferentes planes de fertirrigación. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Salta. Nro. 481.
- Saure, M.C. 2001. Review Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) -a calcium- or a stress-related disorder? Scientia Horticulturae V 90 (3-4): 93-208.
- Sainju, U.M.; Dris, R. & Singh, B. 2003. Mineral nu-

- trition of tomato. International Journal of Food, Agriculture and Environment (JFAE). V3 (1): 176-183.
- Simonne, A.H.; Fuzere, J.M.; Simonne, E.H.; Hochmuth, R.C. & Marshall, M.R. 2007. Effects of nitrogen rates on chemical composition of yellow grape tomatoes grown in a sub-tropical climate. Journal of Plant Nutrition 30(6): 927-935.
- Sierra, A.; Simonne, E. & Treadwell, D. 2008. Principios y prácticas para el manejo de nutrientes en la producción de Hortalizas Series, Horticultural Sciences Department, Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.
- Tei, F.; Benincasa, P. & Guiducci, M. 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. European Journal of Agronomy V18 (1-2): 45-55.
- Trejo Tellez, L.I. 2000. Uso de fertilizantes foliares específicos en la corrección de deficiencias nutricionales en tres tipos de suelo. Tesis Doctoral, Colegio Postgraduados, Instituto de Recursos Naturales, Edafología. Texcoco, México.
- Villarreal Romero, M.; Parra Terraza, S.; Sánchez Peña, P.; Hernández Verdugo, S.; Osuna Enciso, T.; Corrales Madrid, J. & Armenta Bojorquez, A. 2009. Fertirrigación con diferentes formas de nitrógeno en el cultivo de tomate en un suelo arcilloso. Interciencia V (34): 2.