

## **Influencia de la fertirrigación nitrogenada en la concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo, el rendimiento y la calidad de tomate de invernadero**

### **Nitrogen fertigation influence on nitrate concentration of nitrates on extract cellular of petiolo, yield and quality of greenhouse tomato**

Fidel Núñez-Ramírez <sup>1</sup>, Raúl Leonel Grijalva-Contreras <sup>2</sup>, Fabián Robles-Contreras <sup>2</sup>, Rubén Macías-Duarte <sup>2</sup>, María Isabel Escobosa-García <sup>1</sup>, Jesús Santillano Cázares <sup>1</sup>

Originales: *Recepción:* 30/04/2015 - *Aceptación:* 21/04/2016

#### **RESUMEN**

El nitrógeno es el macronutriente que más afecta el rendimiento y la calidad de los productos hortícolas cosechados. Sin embargo, es importante conocer la respuesta de cada cultivo y ambiente en particular a fin de obtener el mayor uso eficiente del nutriente aplicado. El cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) "Beatrice" fue cultivado bajo condiciones de invernadero con cubierta plástica sobre un suelo árido del desierto sonoreense en el noroeste de México. Se evaluó la concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo (ECP), el rendimiento de fruta (total y comercial), así como parámetros de calidad (sólidos solubles totales: TSS, acidez titulable: AT, relación TSS/AT) en relación con cuatro dosis de fertilización nitrogenada (250, 500, 750 y 1000 kg N ha<sup>-1</sup>). Durante nueve fechas, se midió la concentración de nitratos en el ECP y los valores obtenidos se relacionaron con el rendimiento comercial. Las dosis de nitrógeno tuvieron efecto positivo en el rendimiento ( $P < 0,05$ ) mientras que la calidad y el tamaño de la fruta no resultaron afectadas por ninguno de los tratamientos aplicados ( $P > 0,05$ ). De la misma manera, la concentraciones de nitratos en ECP estuvieron asociadas al rendimiento de la fruta en ocho de las nueve fechas evaluadas ( $P < 0,05$ ). De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que bajo las condiciones de suelo y clima en que se desarrolló el experimento, el cultivo de tomate responde a altas dosis de nitrógeno (750 kg ha<sup>-1</sup>) sin afectar su calidad. Así mismo, debido a la relación encontrada entre la concentración de nitratos en ECP y el rendimiento de fruta, podría ser posible utilizar los rangos de suficiencia en nitratos en ECP obtenidos en este estudio.

#### **Palabras clave**

nitrógeno • extracto celular de peciolo • nutrición mineral • rendimiento • invernadero

- 
- 1 Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México. fidel.nunez@uabc.edu.mx
  - 2 Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Costa de Hermosillo. Sitio Experimental Caborca. Apartado Postal 125. H. Caborca, Sonora, México.

## ABSTRACT

Nitrogen is the macronutrient that most affect the yield and quality of harvested horticultural products. However it is important to know the response of each environment and horticultural crop in order to get a most efficient use of nutrient applied. Tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill.) "Beatrice" was cultivated under plastic greenhouse conditions on arid soil of Sonoran desert of Mexico Northwest. Nitrates in extract cellular of petiole, fruit yield (total and marketable) and quality parameters (total soluble solids: TSS, titratable acidity: AT and soluble solids titratable acidity ratio: TSS/AT) were evaluated in relation of four nitrogen fertilization rates (250, 500, 750 and 1000 kg N ha<sup>-1</sup>). During nine dates, nitrate concentrations in extract cellular of petiole (ECP) were determined and the relationship with marketable yield was considered. Significant differences were found in total and marketable yield ( $P < 0.05$ ) but not with quality attributes by any nitrogen rates applied at crop ( $P > 0.05$ ). Size fruit resulted not affected by any nitrogen rates. On the other hand, when nitrate concentrations on ECP were related at nitrogen rates applied, a significantly response was found ( $P < 0.05$ ). Similarly, nitrate in ECP concentrations were associated with marketable yield on eight of nine dates tested ( $P < 0.05$ ). Under this environment soil and climate conditions, greenhouse tomato respond at high nitrogen rates with high yields, with none effect on quality. On the other hand, because nitrate concentrations in ECP were in relation with fruit yield, it could be possible to identify preliminary sufficiency nitrates ranges.

### Keywords

nitrogen • extract cellular of petiole • mineral nutrition • yield • greenhouse

## INTRODUCCIÓN

México es líder en la industria de la producción de hortalizas bajo agricultura protegida en América del norte, con una superficie cercana a las 20.000 hectáreas (SIAP, 2014). Los prototipos de las estructuras para producción consisten en invernaderos de cristal, de plástico incluso mallas-sombra; algunas de ellas incluyen la utilización de acolchado plástico, riego por goteo, ventilación pasiva, sustratos hidropónicos e incluso ambientes climatizados (control de temperatura e inyección de CO<sub>2</sub>). El cultivo de tomate en invernadero es el más importante y cubre una superficie de más de 7.000 hectáreas producidas anualmente (14).

En años recientes, este tipo de tecnología ha revolucionado la producción y ha incrementado las expectativas de rendimiento de fruta; de tal forma que algunos productores alcanzan rendimientos promedio de 55 kg m<sup>2</sup> de tomate, considerando el nivel de tecnología empleada en los diversos tipos de invernaderos (8).

El noroeste de México, con un total del 50% de la superficie nacional (GAIN, 2010), es común la utilización de invernaderos plásticos sin control de temperatura y empleando el suelo como sustrato. En este sentido, el conocimiento de la fertilidad intrínseca

del suelo en respuesta al crecimiento de cada cultivo es importante (9); con ello es posible evitar realizar aplicaciones excesivas de nutrientes o manejar posibles interacciones y deficiencias nutrimentales, las cuales podrían afectar la productividad y los rendimientos.

Dentro de los elementos esenciales el N es el que tiene mayor respuesta. El crecimiento de las plantas dependen principalmente de la nutrición nitrogenada, debido a que representa cerca del 80% del total de los elementos absorbidos (22).

El nitrógeno es un componente básico de la clorofila, el compuesto por el cual las plantas usan la energía solar para producir azúcares durante el proceso de la fotosíntesis.

En las plantas está directamente relacionado con los rendimientos y por esta razón, las concentraciones en los tejidos y en el extracto celular, son utilizadas como indicadores del estado nutrimental de las plantas (1). Bajo esta perspectiva, han sido realizados diversos estudios con el objetivo de identificar rangos de suficiencia que permitan monitorear la nutrición nitrogenada durante la estación de crecimiento en diversos cultivos hortícolas (1, 7, 34).

El análisis de nitratos en tejido fresco y seco ha sido extensivamente utilizado, sin embargo la ventaja del primero es debido a que se realiza de forma rápida y fácil (17).

La nutrición nitrogenada en cultivos hortícolas como papa (36), berenjena (18), brócoli (20), coliflor (18) y tomate de campo (31), son extensivamente manejados con el análisis de ECP, pero para el caso del tomate de invernadero son pocos las investigaciones que existen además de que reportan valores muy variables (29, 35). Lo mencionado anteriormente, sugiere la necesidad de evaluar los requerimientos minerales para este cultivo en particular y sobre todo para determinadas condiciones de suelo y clima.

## Objetivo

Evaluar el efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre la concentración de nitratos en ECP, el rendimiento y la calidad de tomate de invernadero crecido en un suelo árido del desierto de Sonora en el Noroeste de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue realizado en un invernadero localizado en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, campo experimental localizado en Caborca Sonora, México (30°42'55" N, 112°21'18" W), durante el período de invierno a primavera (sept. 2008-mayo 2009).

Plántulas de tomate "Beatrice" de cinco semanas de edad fueron trasplantadas en parcelas dentro de un invernadero plástico sin calefacción.

El sistema de cultivo incluyó la utilización de acolchado plástico color negro y una línea central de riego por goteo.

El suelo utilizado tenía alrededor de 25 años sin haberse cultivado y presentó una textura areno (22%) limosa (78%), un pH moderadamente alcalino (7,96) y una conductividad eléctrica de 1,22 dS/m, bajo en materia orgánica (0,2%) y bajo en capacidad de intercambio catiónico (14,62  $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) (6), medida sobre el perfil de los primeros 20 cm de suelo.

La calidad del agua utilizada en este experimento tuvo un pH de 7,74; una conductividad eléctrica de 0,81 dS/m; 65,9; 16,4; 75,6 y 4,5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de calcio, magnesio, sodio y potasio respectivamente.

El manejo de los riegos se realizó de acuerdo con el monitoreo de la tensión de humedad del suelo obtenidas de tensiómetros insertados en el centro del surco y a lecturas de 20-25 kPa.

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con cuatro repeticiones por tratamiento.

Las dosis evaluadas fueron 250, 500, 750 y 1000 kg N ha<sup>-1</sup>, y se utilizó como fuente nitrogenada el UAN 32 (32-00-00) y nitrato de calcio (16-00-00-26).

Las dosis fueron fraccionadas a lo largo de la estación de crecimiento del cultivo siguiendo la recomendación de Papadopoulos (1991).

Antes del trasplante, se aplicó una dosis de 150 kg de fósforo en forma de fosfato monoamónico, mientras que durante el experimento se aplicaron 800, 100 y 100 kg ha<sup>-1</sup> de potasio, calcio y magnesio utilizando como fuentes sulfato de potasio, nitrato de calcio y sulfato de magnesio.

Las plantas fueron crecidas y conducidas a un solo tallo (33), los racimos fueron podados a cuatro frutos.

La cosecha comenzó a los 110 días después del trasplante (DDT), cuando las frutas estuvieron a madurez fisiológica.

Los datos de rendimiento incluyeron el tamaño, el peso de fruta comercial y fruta descartada.

La categoría de fruta comercial fue graduada en cuatro categorías: extragrande (>74 mm), grande (73-65 mm), mediana (64-59 mm) y chica (58-54 mm) (19).

La fruta descartada comprendió aquella menor de 54 mm o con defectos por pudrición apical o defectos de reventado y cicatrices. En dos fechas durante el experimento (febrero 15 y marzo 21) se midió la calidad bioquímica de la fruta y comprendió los parámetros de sólidos solubles totales (TSS), acidez titulable (AT) y la relación sólidos solubles totales/acidez titulable (TSS/AT).

Los TSS fueron determinados con un refractómetro digital y se expresaron con °Brix, mientras que la acidez titulable se

determinó con 0,1 N de NaOH a pH de 8,2 y se expresó como g 100 g<sup>-1</sup> de ácido cítrico.

Justo después de la floración (40 DDT), y a intervalos de 14-30 días, se identificó la concentración de nitratos en el ECP de la hoja más recientemente madura.

La determinación se realizó con un sensor manual (Cardy meter) siguiendo las recomendaciones de Hochmuth (1994).

Con los datos de rendimiento y calidad, se realizó análisis de varianza y comparación múltiple de medias de Tukey ( $P \leq 0,05$ ), así como análisis de regresión utilizando MINITAB® Release 14 Statistical Software. Las concentraciones de nitrato en ECP fueron relacionadas al máximo rendimiento relativo y a los valores encontrados entre el 95 y 100%, fueron identificados como rangos nutricionales (11).

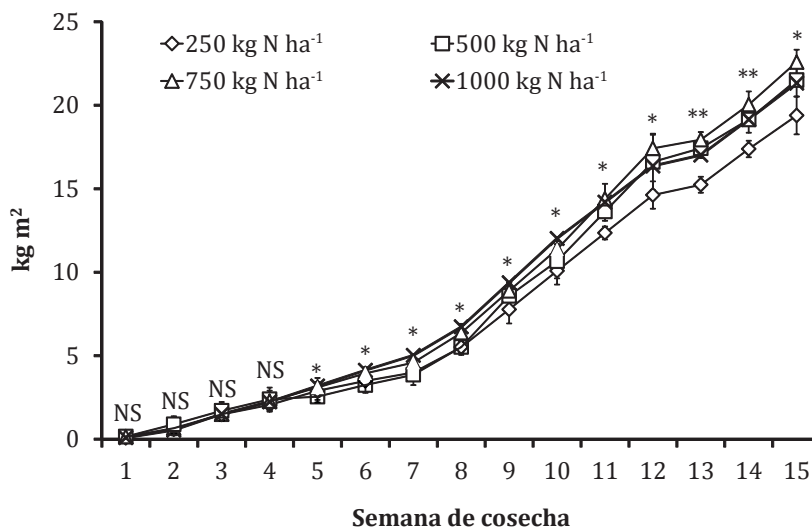
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Rendimiento

La figura 1 (pág. 97) muestra los rendimientos de las cosechas realizadas durante el experimento. Se aprecia que durante los primeros cuatro cortes, no se encontró diferencia significativa entre los rendimientos obtenidos por las dosis de nitrógeno aplicadas ( $P > 0,05$ ).

Sin embargo, desde la cosecha cinco hasta la doce y de la trece a la quince, los rendimientos fueron significantes y altamente significativamente afectados por la fertilización nitrogenada ( $P < 0,05$  y  $P < 0,01$ , respectivamente). Al fin del período de cosecha, los rendimientos fluctuaron entre los 19,3 y 22,3 kg m<sup>2</sup> de fruta.

Los mayores rendimientos se obtuvieron con las dosis de 500 y 750 kg N ha<sup>-1</sup>, y los más bajos rendimientos con las dosis de 250 y 1000 kg N ha<sup>-1</sup> (tabla 1, pág. 97).



Barras representan la desviación estándar: n = 4; NS: no significativo ( $P > 0,05$ ); \*: significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*: significativo ( $P < 0,01$ ).

Bars represent standard deviation of n=4; NS: not significance ( $P > 0.05$ ); \*: significance ( $P < 0.05$ ) and \*\*: significance ( $P < 0.01$ ).

**Figura 1.** Efecto de cuatro dosis de nitrógeno sobre la dinámica de rendimiento de fruta en tomate de invernadero.

**Figure 1.** Effect of four nitrogen fertilization rates on the dynamics of fruit yield in greenhouse tomato.

**Tabla 1.** Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el rendimiento de fruta comercial, descartada y rendimiento total en tomate de invernadero.

**Table 1.** Nitrogen fertigation effect on marketable, cull and total fruit yield of greenhouse tomato.

N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento (kg m <sup>2</sup> )		
	comercial	descartada	total
250	17,0 a	2,3 a	19,3 a
500	20,6 b	1,7 b	22,3 b
750	20,6 b	1,4 b	22,0 b
1000	18,4 a	2,8 a	21,2 ab
	*	*	*

\*: Significante a  $P < 0,05$ .

\*: Significant:  $P < 0.05$ .

Por otro lado, los rendimientos máximos de fruta comercial, estuvieron en el orden de los 17 y 20,6 kg m<sup>2</sup>, con respuesta a las mismas dosis de nitrógeno estudiadas.

Por otra parte, el rendimiento de fruta descartada mostró diferencia entre los tratamientos evaluados, indicando que a dosis bajas y altas, la cantidad de este tipo de fruta aumenta. Lo anterior permitiría inferir que las plantas crecidas bajo dosis mayores a 500 kg N ha<sup>-1</sup> invirtieron la energía producida, en el crecimiento vegetativo y no en el reproductivo afectando los rendimientos (3).

Montemurro *et al.* (2007), identificó que el cultivo de tomate crecido bajo altas dosis de nitrógeno, inducían a la planta al retraso en la aparición de racimos florales y por consecuencia el rendimiento se reducía al final de la estación de crecimiento.

Por otra parte, las bajas dosis de nitrógeno aplicadas al tratamiento 250 kg N ha<sup>-1</sup>, sacrificaron el crecimiento vegetativo y este a su vez no permitió una mayor aparición y desarrollo de órganos reproductivos, lo que explicaría también la reducción del rendimiento.

La hipótesis anterior es reforzada por los resultados encontrados por Bernard *et al.* (2009), quienes encontraron una reducción en el crecimiento expresado como materia seca en hojas, pedúnculos y tallos de plantas crecidas bajo condiciones de estrés por nitrógeno.

Así mismo, Frias-Moreno *et al.* (2014) encontraron una reducción en el crecimiento de las láminas foliares en plantas de tomate sometidas a bajas dosis de nitrógeno.

### Tamaño y distribución porcentual de la fruta

Cuando el número y la proporción de fruta cosechada fueron evaluadas con respecto a las dosis de nitrógeno, solamente las frutas de tamaño chico mostraron diferencia significativa ( $P < 0,05$ ; tabla 2).

Se encontró que a mayor dosis de nitrógeno, mayor cantidad de fruta de tamaño chico. Así mismo, el número de frutas chicas, medianas grandes y extra-grandes estuvieron en el orden de los 23,6 a 28,3; 27,9 a 32,3; 36,7 a 46,7 y 30,2 a 39,0 frutas por m<sup>2</sup> (tabla 2).

**Tabla 2.** Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre el número y proporción de fruta en tomate de invernadero.

**Table 2.** Nitrogen fertigation effect on number and proportion fruit of greenhouse tomato.

N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	Número (m <sup>2</sup> )					Proporción (%)				
	Chico	Mediano	Grande	Extra-grande	Total	Chico	Mediano	Grande	Extra-grande	Total
250	23,6	27,9	36,7	30,2	118,4	20	24	31	25	100
500	24,1	31,4	41,8	39,0	136,2	18	23	31	28	100
750	28,1	32,3	46,7	33,1	140,2	20	23	33	24	100
1000	28,3	28,1	36,9	32,9	126,2	23	22	29	26	100
Significancia	*	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	

\*: Significante:  $P < 0,05$ ; NS: no significativo:  $P > 0,05$ .

\*: Significant:  $P < 0.05$ ; NS: no significant:  $P > 0.05$ .

Lo anterior indica que los rendimientos expresados como la suma de las frutas de tamaño mediano, largo y extralargo dependen de la dosis de nitrógeno aplicado pero no, la distribución del tamaño de la fruta, la cual resulta ser una variable independiente de los tratamientos evaluados (23).

Si se toma en cuenta los rendimientos encontrados en este estudio bajo condiciones de suelo árido y clima cálido y debido a la gran diversidad de altitudes y ambientes prevalecientes en México, son considerados aceptables. Grijalva *et al.* (2011) obtuvo rendimientos similares al evaluar el comportamiento de algunos híbridos bajo las mismas condiciones ambientales y de suelo que en este experimento.

### Calidad química de la fruta

La aplicación de nitrógeno puede afectar los parámetros de calidad en tomate. Una revisión realizada por Dorais *et al.* (2001), explica que altas dosis de fertilización nitrogenada tiene influencia negativa sobre el color, tiempo a

maduración, uniformidad de maduración y reduce el contenido de sólidos solubles en la fruta. Sin embargo, bajo las condiciones de este experimento, las dosis de nitrógeno evaluadas no afectaron la calidad de la fruta expresada como TSS en ninguna de las dos fechas evaluadas ( $P > 0,05$ ; tabla 3).

Los valores identificados en TSS durante el mes de febrero fueron más bajos que aquellos presentados en el mes de marzo.

Los valores fluctuaron entre los 3,17 a 3,65°Brix en la primera fecha y de 4,3 a 4,46°Brix en la segunda. Resultados similares han sido encontrados por Hartz *et al.* (2005), cuando estudió el efecto de las dosis de potasio en tomate para uso industrial cultivado en suelos de California U.S.A. Ellos encontraron valores de 4,69 a 4,84°Brix.

Por otro lado, al evaluar la AT y la relación TSS/AT, no se encontró respuesta significativa a las dosis de nitrógeno aplicadas en ninguna de las fechas evaluadas ( $P > 0,05$ ; tabla 3).

**Tabla 3.** Efecto de la fertirrigación nitrogenada sobre los sólidos solubles totales (TSS), acidez titulable (AT) y la relación sólidos solubles totales/acidez titulable (TSS/AT) en tomate de invernadero.

**Table 3.** Effect of nitrogen fertigation on total soluble solids (TSS), Titratable acidity (AT), and total soluble solid/titratable acidity ratio (TSS/TA) in greenhouse tomato.

N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	TSS (°Brix)		AT (g 100 g <sup>-1</sup> )		TSS/AT (g 100 g <sup>-1</sup> )	
	Febrero	Marzo	Febrero	Marzo	Febrero	Marzo
250	3,44 (0,58)	4,30 (0,34)	0,28 (0,06)	0,32 (0,07)	12,37(2,66)	13,60 (2,93)
500	3,65 (0,33)	4,15 (0,23)	0,34 (0,03)	0,33 (0,04)	10,92(1,09)	12,73 (1,90)
750	3,28 (0,33)	4,39 (0,19)	0,36 (0,05)	0,35 (0,05)	9,26 (2,23)	12,64 (1,69)
1000	3,17 (0,27)	4,46 (0,17)	0,33 (0,07)	0,32 (0,05)	10,10(1,52)	14,07 (1,82)
Significancia	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS: no significant:  $P > 0,05$ .

NS: no significant:  $P > 0.05$ .

Para los valores de AT, los valores estuvieron en el orden de los 0,28 a 0,36 para el mes de febrero y 0,32 a 0,35 g 100 g<sup>-1</sup> de ácido cítrico, mientras que los valores para TSS/AT fueron de 9,26 a 12,37 en febrero y de 12,64 a 14,07 para el mes de marzo.

Toor *et al.* (2006), indicaron que muchos de los parámetros bioquímicos de la fruta en tomate pueden verse afectados por factores como temperatura, humedad relativa o radiación solar prevalientes dentro del invernadero. En su estudio, encontraron incrementos en la concentración de TSS e incrementos en la concentración de fenólicos totales durante el transcurso de la estación de crecimiento del cultivo de tomate.

Otros investigadores han demostrado que la AT y TSS puede incrementarse cuando se utiliza agua de riego salina (5) o cuando las plantas cultivadas son sometidas a estrés moderado de agua (26).

#### Nitratos en el extracto celular de peciolo

La concentración de nitratos en el ECP mostró los menores valores durante

la estación de crecimiento del cultivo de tomate (tabla 4), comenzando con un valor promedio de 2530 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub> y finalizando con una cantidad de 940 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub>.

Una excepción de esta tendencia en el decremento de la concentración de NO<sub>3</sub> resultó a los 68 DDT cuando se presentaron valores entre los 1737 y 2725 mg L<sup>-1</sup> NO<sub>3</sub>. Posiblemente pudo deberse a descensos en temperatura ocurrida dentro del invernadero.

En un estudio realizado bajo condiciones similares al presente, Núñez *et al.* (2012) encontraron un decremento del área de la hoja más recientemente madura por efecto del descenso de temperaturas, situación que pudo haber originado un aumento en la concentración de NO<sub>3</sub> en este tejido.

En todas las fechas de muestreo evaluadas la concentración de NO<sub>3</sub> mostró relación significativa con las dosis de nitrógeno aplicadas encontrando valores de R<sup>2</sup> en el orden de 0,743 a 0,992 (significante a P ≤ 0,05; tabla 4).

**Tabla 4.** Efecto del a fertirrigación nitrogenada sobre la concentraciones de nitratos en extracto celular de peciolo en tomate de invernadero.

**Table 4.** Nitrogen fertigation effect on nitrate concentrations in extract cellular of petiole on greenhouse tomato.

N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	Fecha de muestro (días después del trasplante)								
	Nov 14 (40)	Nov 28 (54)	Dic 12 (68)	Dic 26 (82)	Ene 9 (96)	Ene 23 (110)	Feb 6 (124)	Mar 5 (151)	Abr 21 (198)
<b>Concentración de nitratos en el extracto celular de peciolo (mg·L<sup>-1</sup>)</b>									
250	1900	1650	1587	1737	1375	1256	1232	957	833
500	2225	1707	2075	2100	1612	1460	0962	974	863
750	2837	1750	1750	2725	1670	1562	1437	1065	998
1000	3156	2325	2075	2062	1400	1350	1202	1098	1013
Significancia	**	**	*	**	**	**	NS	**	**
R <sup>2</sup>	0,983	0,992	0,743	0,789	0,970	0,965	-0,519	0,779	0,987

NS: no significante: P > 0,05; \* Significante a P < 0,05; \*\*: Significante a P < 0,01.

NS: no significant: P > 0.05; \*: Significant: P < 0.05; \*\*: Significant: P < 0.01.



Una excepción fue relacionar las concentraciones con el rendimiento a los 124 DDT. Los rangos críticos para  $\text{NO}_3$  y  $\text{N-NO}_3$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ), en ECP para tomate de invernadero son presentados en la tabla 5.

Los valores identificados resultaron ser más bajos que aquellos publicados por Hochmuth (1994). Este investigador reportó valores de  $\text{N-NO}_3$  de  $1000\text{-}1200 \text{ mg L}^{-1}$  desde el trasplante del cultivo hasta la aparición del segundo racimo floral, de  $800\text{-}1000 \text{ mg L}^{-1}$  desde la aparición del segundo al quinto racimo floral, y de  $700\text{-}900 \text{ mg L}^{-1}$  para el comienzo de la cosecha hasta finalización del cultivo (diciembre a junio).

Más recientemente, Ojodeagua *et al.* (2008) cultivando tomates en invernadero en el centro de México, donde prevalecen inviernos suaves, reportó valores de  $588\text{-}787 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$  para el desarrollo vegetativo (17-45 DDT), de

$595\text{-}926 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$  en estado reproductivo (59-101 DDT) y de  $542\text{-}548 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$  desde la cosecha al final del cultivo (120-195 DDT).

La diversidad de valores encontrados en la literatura con los obtenidos en esta investigación fortalece la necesidad e importancia de desarrollar este tipo de tecnologías de diagnóstico nutricional para cada agroambiente en particular (2).

### CONCLUSIONES

Para alcanzar máximos rendimientos totales y comerciales en tomate de invernadero crecido en suelos áridos del desierto de Sonora en el noroeste de México, se requirió aplicar  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrógeno.

Las cantidades de nitrógeno evaluadas en este estudio, no afectaron la distribución de tamaño de fruta ni la calidad química de la misma expresada como sólidos solubles totales, acidez titulable y la relación entre ambos.

Las concentraciones de nitratos en el extracto celular de peciolo estuvieron relacionadas con la aplicación de nitrógeno al cultivo y pueden ser utilizados como una herramienta para monitorear la nutrición nitrogenada en tomate de invernadero cultivado bajo estos ambientes.

**Tabla 5.** Rangos críticos para  $\text{NO}_3$  y  $\text{N-NO}_3$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) en ECP en tomate de invernadero.

**Table 5.** Critical ranges for  $\text{NO}_3$  and  $\text{N-NO}_3$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) in ECP for greenhouse tomato.

DDT <sup>§</sup>	$\text{NO}_3$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$\text{N-NO}_3$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )
40	2250-2150	508-485
54	1990-1870	450-422
68	1860-1740	420-393
82	2240-2075	506-469
96	1570-1470	354-332
110	1560-1420	352-320
152	1025-990	232-224
198	925-890	209-201

<sup>§</sup>DDT: días después del trasplante; <sup>‡</sup>Para convertir los valores de  $\text{NO}_3$  a valores  $\text{N-NO}_3$ , multiplicar  $\text{mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$  por 0,226.

<sup>§</sup>DDT: days after transplant; <sup>‡</sup>To convert values of  $\text{NO}_3$  to values of  $\text{N-NO}_3$ , multiply  $\text{mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3$  by 0.226.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Alcantar, G.; Sandoval, M.; Castellanos, J. Z.; Mendez, F.; Sánchez, P.; Rodríguez, M. N. 2002. Diagnostic methods to evaluate nutrient status of garlic, onion, and broccoli. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 2585-2598.
2. Apáez Barrios, P.; Escalante Estrada, J. A. S.; Sosa Montes, E.; Apáez Barrios, M.; Rodríguez González, M. T.; Raya Montaña, Y. A. 2016. Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L.) Walp, en función de arreglo topológico y tipo de fertilización. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 48(2): 31-42.
3. Bar-Tal, A.; Feigin, A.; Sheinfeld, S.; Rosenberg, R.; Sternbaum, B.; Rylski, I.; Pressman, E. 1995. Root restriction and N-NO<sub>3</sub> solution concentration effects on nutrient uptake, transpiration and dry matter production of tomato. *Scientia Horticulturae.* 63:195-208.
4. Bernard, C.; Gautier, H.; Bourgaud, F.; Grasselly, D.; Navez, B.; Caris-Veyrat, C.; Weiss, M.; Nard, M. 2009. Effects of low nitrogen supply on tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit yield and quality with special emphasis on sugars, acids, ascorbate, carotenoids, and phenolic compounds. *J. Agric. Food Chem.* 57: 4112-4123.
5. Brasiliano, C. C. A.; Fernández, P. D.; Gheyi, H. R.; Blanco, F. F.; Gonçalves, C. B.; Campos, S. A. F. 2006. Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.).* 63: 146-152.
6. Castellanos, J. Z.; Uvalle-Bueno, J. X.; Aguilar-Santelises, A. 2000a. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. INTAGRI, México.
7. Castellanos, J. Z.; Lazcano, F. I.; Sosa, A. B.; Badillo, V.; Villalobos, S. 2000b. Monitoreo Nutrimental y fertilización nitrogenada: bases para altos rendimientos y calidad en brócoli cultivado en vertisoles ricos en potasio de la parte central de México. *Informaciones Agronómicas.* 4: 11-14.
8. Costa, P.; Giacomelli, G. 2005. Protected horticulture for tomato production in Mexico productivity based on technology alternative. VII Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas. Mexicali, B. C. México. p. 89-93.
9. Delgado Martínez, R.; Escalante Estrada, J. A. S.; Morales Rosales, E. J.; López Santillan, J. A.; Rocandio Rodríguez, M. 2015. Producción y rentabilidad del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 47(2): 15-25.
10. Dorais, M.; Papadopoulos, P.; Gosselin, A. 2001. Greenhouse tomato fruit quality. *Horticultural reviews.* 26: 239-284.
11. Dow, A. I.; Roberts, S. 1982. Proposal: critical nutrient ranges for crop diagnosis. *Agronomy Journal.* 74: 401-403.
12. Frias-Moreno, N.; Nuñez-Barrios, A.; Perez-Leal, R.; Gonzalez-Franco, A.; Hernández-Rodríguez, A.; Robles-Hernandez, L. 2014. Effect of nitrogen deficiency and toxicity in two varieties of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.). *Agricultural Sciences.* 5: 1361-1368.
13. GAIN (Global Agricultural Information Network). 2010. Mexico: Greenhouse and Shade House Production to Continue Increasing. Global Agricultural Information Network Report Number. MX0024. Available at: [http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Greenhouse%20and%20Shade%20House%20Production%20to%20Continue%20Increasing\\_Mexico\\_Mexico\\_4-22-2010.pdf](http://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Greenhouse%20and%20Shade%20House%20Production%20to%20Continue%20Increasing_Mexico_Mexico_4-22-2010.pdf) (Accessed: 25 September 2012).
14. González, N. J. F. 2009. La Agricultura Protegida. *Horticultivos.* Editorial Agro Síntesis S. A. de C. V. México, D. F. p. 6.
15. Grijalva, C. R. L.; Duarte, R. M.; Contreras, F. R. 2011. Comportamiento de híbridos de tomate bola en invernadero bajo condiciones desérticas del noroeste de Sonora. *Tropical and Subtropical Agroecosystems.* 14: 675-682.
16. Hartz, T. K.; Johnstone, P. R.; Francis, D. M.; Miyao E. M. 2005. Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertigation. *Hortscience.* 40: 1862-1867.
17. Hochmuth, G. J. 1994. Plant petiole sap-testing guide for vegetable crops. Florida Cooperative Extension Service. Special Series. Circular 1144. p 21.

18. Hochmuth, G. J.; Hochmuth, R. C.; Donley, M. E.; Hanlon, E. A. 1993. Eggplant yield in response potassium fertilization on sandy soil. *Hortscience*. 28: 1002-1005.
19. Jones, J. B. 1998. Tomato Plant Culture. In the field, greenhouse, and home garden. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton - London - New York 2008.
20. Kubota, A.; Thompson, T. L.; Doerge, T. A.; Godin, R. E. 1996a. A petiole sap nitrate test for broccoli. *Journal of Plant Nutrition*. 20: 669-682.
21. Kubota, A.; Thompson, T. L.; Doerge, T. A.; Godin, R. E. 1996b. A petiole sap nitrate test for cauliflower. *Hortscience*. 31: 934-937.
22. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London. 889 p.
23. Montagu, K. D.; Goh, K. M. 1990. Effects of forms and rates of organic and inorganic nitrogen fertilizers on the yield and some quality indices of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Miller). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 18: 31-37.
24. Montemurro, F.; Maiorana, M.; Lacertosa, G. 2007. Plant and soil nitrogen indicators and performance of tomato grown at different nitrogen fertilization levels. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2: 143-148.
25. Núñez-Ramírez, F.; Grijalva-Contreras, R. L.; Macías-Duarte, R.; Robles-Contreras, F.; Ceceña-Duran, C. 2012. Crecimiento, acumulación y distribución de materia seca en tomate de invernadero. *Biotecnia*. 14(3): 25-31.
26. Nuruddin, M. M.; Madramootoo, C. A.; Doods, G. T. 2003. Effects of water stress at different growth stages on greenhouse tomato yield and quality. *Hortscience*. 38: 1389-1393.
27. Ojodeagua-Arredondo, J. L.; Castellanos-Ramos, J. Z.; Muñoz-Ramos, J. J.; Alcántara-González, G.; Tijerina-Chávez, L.; Vargas-Tapia, P.; Enríquez-Reyes, S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Revista Fitotécnica Mexicana*. 31(4): 367-374.
28. Papadopoulos, A. P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Agriculture and Agri-Food Canada 1865/E Communications Branch, Agriculture Canada. Ottawa, Ontario Canada, K1A 0C7.
29. Rezende, F. P. C.; Pagotto, C. R. 2002. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. *Pesq. Agropec. Bras.* 37: 1421-1429.
30. SIAP. 2014. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>.
31. Taber, H. G. 2006. Potassium application and leaf sufficiency level for fresh-market tomatoes grown on a Midwestern United States fine textured soil. *Horttechnology*. 16: 47-52.
32. Toor, R. K.; Savagea, G. P.; Lister, C. E. 2006. Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 1-10.
33. Van de Vooren, J. G.; Welles, W. H.; Hayman, G. 1986. Glasshouse crop production. In: *The tomato crop*. Chapman and Hall. London, England. p. 581-623.
34. Waterer, D. 1997. Petiole sap NO<sub>3</sub>-N testing as a method for monitoring nitrogen nutrition of potato crops. *Canadian Journal of Plant Science*. 77: 273-278.
35. Yamamoto, F.; Matsumaru, T. 2006. Nitrogen application rates for greenhouse tomato based on real-time diagnosis of petiole sap: effects of soil nitrate contents before cultivation. *Soil Science and Plant Nutrition*. 19: 1405-1412.
36. Zhang, H.; Smeal, D.; Arnold, R. N.; Gregory, E. J. 1996. Potato nitrogen management by monitoring petiole nitrate level. *Journal of Plant Nutrition*. 19: 1405-1412.

### AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, CIRNO-Caborca por las facilidades otorgadas durante la investigación, así mismo al Sr. Javier Gonzales de la Riva y Sr. Bernabé Zavala Aragón por la asistencia técnica recibida en el manejo del riego dentro del invernadero durante el experimento.