



RELACIONES NITRÓGENO-POTASIO EN FERTIRRIEGO PARA EL CULTIVO PROTEGIDO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN LA ÉPOCA DE PRIMAVERA-VERANO

Nitrogen-potassium ratios in fertirrigation for protected cultivation of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Ferralitic Red Soil during the spring-summer period

María I. Hernández Díaz[✉], Marisa Chailloux Laffita, Víctor Moreno Placeres, Modesto Mojena Graverán y Julia M. Salgado Pulido

ABSTRACT. The present study had as objective to evaluate nutritious solutions with different relations between nitrogen and potassium in the productivity and fruits of tomato quality (hybrid HA 3019) in typical Red Ferralitic soil. The experience was developed in the “Liliana Dimitrova” Horticultural Research during the spring-summer period of years 2006, 2008 and 2009. Four relations N:K₂O (N:K) studied: (1:1.5, 1:2.0, 1:2.5 or variant of production and 1:3.0) distributed in a design of randomized blocks with four replicas. During the 2006 were not significant differences between relations N:K 1:2.0 and 1:2.5 as far as yield, nevertheless, during 2008 relation N: K 1:2.0 increased the extra + first and total yield in 19.50 and 18.47 % respectively in relation to the control treatment. In the validation experiment (2009) it was confirmed that a relation N:K of 1:2.0 allow to guarantee an appropriate yield formation during the spring - summer time, as well as to reduce the doses of K₂O, CaO and MgO, with relationship to the control treatment (N:K 1:2.5) in a 19,11, 17,90 and 16,50 %, respectively. The relationship N:K 1:2.0 also allow to coordinate the best commercial and total yield with an appropriate external quality and life in shelf of the tomato fruits, expressed in a bigger hardness and endocarpio diameter, smaller percentage of fruits outside norm and inferior values of losses postharvest to the 7 and 17 days.

RESUMEN. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar soluciones nutritivas con diferentes relaciones nitrógeno-potasio en la productividad y calidad de los frutos de tomate (híbrido HA 3019) en suelo Ferralítico Rojo típico. La experiencia se desarrolló en el Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova” durante la época de primavera-verano de los años 2006, 2008 y 2009. Se estudiaron cuatro relaciones N:K₂O (N:K) (1:1.5, 1:2.0, 1:2.5 o testigo de producción y 1:3.0), distribuidas en un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas. Durante el 2006 no se encontraron diferencias significativas entre las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5 en cuanto a rendimiento extra, primera, extra+primera y total; sin embargo, durante el 2008 la relación N:K 1:2.0 incrementó el rendimiento extra+primera y total en un 19,50 y 18,47 % respectivamente con relación al tratamiento testigo. En la campaña de validación (2009) se confirmó que la relación N:K 1:2.0 permite garantizar una adecuada formación del rendimiento durante la época de primavera-verano, así como reducir las dosis de K₂O, CaO y MgO, con relación al tratamiento testigo (N:K 1:2.5) en un 19,11, 17,90 y 16,50 %, respectivamente. La relación N:K 1:2.0 permite además compatibilizar el mejor rendimiento comercial y total con una adecuada calidad externa y vida en anaquel de los frutos, expresadas en una mayor firmeza y diámetro del endocarpio, menor porcentaje de frutos fuera de norma y valores inferiores de pérdidas postcosecha a los 7 y 17 días de conservación.

Key words: internutrients relationships, horticulture, quality, crops

Palabras clave: relaciones internutrientes, horticultura, calidad, cultivos

Dra.C. María I. Hernández Díaz, Investigador Auxiliar, Dra.C. Marisa Chailloux Laffita, Investigador Titular y Ms.C. Julia M. Salgado Pulido, Investigador Auxiliar, Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, km 33½, carretera Bejucal-Quivicán, Quivicán, Mayabeque, CP 33500; Víctor Moreno Placeres, Grupo Empresarial Frutícola, avenida Independencia, entre Tulipán y Conill, Cerro, La Habana; Dr.C. Modesto Mojena Graverán, Comercial Caimán Internacional SA, Centro de Negocios Zona Franca, ave. Los Desamparados, # 166, entre Habana y Compostela, Habana Vieja, La Habana, Cuba.

[✉] nutricion1@liliana.co.cu

INTRODUCCIÓN

La agroplasticultura y todas las tecnologías a ella asociadas, marcan una línea de desarrollo agrícola indispensable para incrementar los rendimientos por superficie cultivada, al propiciar un ambiente que facilita el crecimiento y desarrollo de especies hortícolas (1, 2). Los invernaderos en países fríos y templados y las casas de cultivo en la región tropical, como modalidades de la agricultura bajo plástico, permiten convertir zonas con alguna limitación agroproductiva en modernos sistemas agrícolas, así como extender los calendarios de cosecha de muchas especies hortícolas como solución a los múltiples factores de clima que limitan su potencial productivo en una gran parte del año (3, 4).

El sistema de cultivo protegido, como modalidad de la horticultura intensiva en Cuba, ha cobrado notable auge y difusión desde la década del noventa. Actualmente existen en el país 150 ha de cultivo protegido que permiten el suministro estable de hortalizas frescas al mercado turístico, principalmente tomate en la época de primavera-verano, al que se le dedica el 70 % de la superficie instalada y el 30 % restante en el invierno (5). El 58,18 % de las casas de cultivo se encuentran ubicadas en suelos Ferralíticos Rojos^A.

En Cuba, desde el punto de vista tecnológico, la fertilización constituye una de las principales limitantes del sistema de cultivo protegido. La información disponible en el país sobre fertilización mineral en casas de cultivo es escasa o prácticamente nula, pues la implementación de la transferencia tecnológica antecedió a la disponibilidad de resultados de investigación nacionales que pudieran servir de sólida base científica para el ajuste de los programas actuales de fertilización.

Estos programas se sustentan en recomendaciones de la bibliografía internacional, proveniente en su mayoría de países fríos o templados y se ajustan en la práctica productiva teniendo en cuenta los rendimientos alcanzados y la experiencia acumulada por los productores en el manejo del fertirriego. Esto impide afirmar que en todos los casos, las altas dosis de fertilizantes estén debidamente justificadas desde el punto de vista técnico y económico (6).

El establecimiento de relaciones N:K idóneas por fases del cultivo se identifica como uno de los problemas fundamentales que afecta el comportamiento productivo del tomate en casas de cultivo para las condiciones del trópico cubano (6). Esta relación determina el equilibrio entre los procesos vegetativos y reproductivos, garantiza además una adecuada

formación del rendimiento, regula la aparición de determinados desordenes fisiológicos que inciden en la apariencia interna y externa de los frutos, fundamentalmente en el color y constituye un aspecto de manejo agronómico que incide la durabilidad de la cosecha (7).

A nivel internacional se recomienda utilizar en la etapa vegetativa del tomate, relaciones N:K que varían entre 1:1.0 y 1:1.5, las cuales aumentarán desde 1:2.0 hasta 1:4.0 durante el período de plena producción (8, 9). Estos autores coinciden en plantear que las relaciones N:K a utilizar en el cultivo protegido del tomate, no solo dependen de la fases fenológicas en las que se encuentre la plantación, sino también del cultivar, de los rendimientos a alcanzar, de las condiciones edafoclimáticas y de las técnicas de manejo climático que contribuyen a la máxima expresión del potencial de rendimiento de las plantas.

En Cuba se han realizado investigaciones de relaciones N:K en la época de invierno donde se encontró que la mejor combinación entre estructura del rendimiento y calidad de los frutos se obtiene con la relación N:K 1:2.5 (10), mientras que se hace necesario profundizar en estudios similares en la época de primavera-verano, definida para el cultivo protegido de las hortalizas entre los meses de marzo a agosto. Con base en lo anterior, el objetivo del presente estudio fue evaluar, en época de primavera-verano, soluciones nutritivas para el fertirriego con diferentes relaciones N:K en la productividad y calidad de los frutos en el cultivo protegido del tomate en condiciones de suelo Ferralítico Rojo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se desarrolló en el Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", en el municipio de Quivicán, al sur de la provincia de Mayabeque, a 22° 52' N y 82° 23' W y a una altura sobre el nivel del mar de 68 m. La investigación se realizó durante los meses de marzo a julio de los años 2006, 2008 y 2009. Se utilizó el híbrido de tomate Israelí HAZERA 3019 (HA 3019) de crecimiento determinado, con un ciclo entre 100 y 120 días y un rendimiento promedio entre 60 y 80 t ha⁻¹; posee además resistencia al virus del encrespamiento amarillo de la hoja de tomate o TYCLV.

La experiencia se realizó en una casa de cultivo de 540 m², con una altura de 4 m, rafia plastificada en la parte superior y malla sombreadora (35 %) por los laterales y el frente. El trasplante se efectuó en canchales planos de 1,80 m de ancho y el esquema de plantación utilizado fue el de doble hilera, separadas a 0,60 m con una distancia entre plantas de 0,50 m, para una densidad de población de 2 plantas m² (11)

^AHernández, M. I. Manejo de la nutrición mineral mediante el fertirriego en el cultivo protegido del tomate en condiciones de suelo Ferralítico Rojo (Informe Final de Proyecto, Código 0815). Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", La Habana, 2010. 75 pp.

El suelo fue Ferralítico Rojo típico (12), de textura arcillosa, con pH ligeramente alcalino (7,51 en H₂O por Potenciometría), altos contenidos de fósforo (66,44 mg 100 g⁻¹ por Oniani) y potasio (62,87 mg 100 g⁻¹ por Oniani) y medio de materia orgánica (2,30 % por Walkey-Black).

Durante las campañas 2006 y 2008 se estudiaron cuatro soluciones nutritivas, que se diferenciaron en su relación N:K₂O (N:K) en términos de mg L⁻¹ (Tabla I). Los tratamientos se diseñaron a partir de un testigo de producción (N:K 1:2.5) y fueron los siguientes: T1. Relación N:K 1:1.5; T2. Relación N:K 1:2.0; T3. Relación N:K 1:2.5 y T4. Relación N:K 1:3.0. En el año 2009 (campaña de validación) solo se evaluaron las soluciones que presentaron el mejor comportamiento en cuanto a los indicadores evaluados (T1. Relación N:K 1:2.0 y T2. Relación N:K 1:2.5). Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con cuatro réplicas. La parcela evaluable fue de 20 m² (canteros a doble hilera de 2 m de ancho y 10 m de longitud) con un total de 40 plantas/parcela.

En las fases I y II se aplicó la fertilización recomendada para el cultivo (11) y los tratamientos se aplicaron a partir del inicio de la fase III y hasta el final de la plantación. La concentración de N fue igual en todos los tratamientos y para evitar efectos antagónicos entre los cationes se varió la concentración de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ en función de la del K⁺, manteniendo una relación K₂O/CaO + MgO de 1,36. Las necesidades nutritivas de la plantación se cubrieron con los siguientes portadores: H₃PO₄, HNO₃, NH₄NO₃, KNO₃, Ca(NO₃)₂, K₂SO₄ y MgSO₄.

Para la determinación de la conductividad eléctrica (CE) y el pH en la solución fertilizante (SF) se colocó un recipiente debajo del gotero con el objetivo de coleccionar la solución nutriente emitida durante el fertirriego. Para la caracterización de la solución del suelo (SS) se ubicaron dos sondas de succión por tratamiento a 10 cm de la planta y a 20 cm de profundidad, se efectuó un vacío dos horas después

del riego con un vacuómetro a una presión de 75 centibares y la muestra se extrajo al día siguiente. La CE y el pH se determinaron con un conductímetro y un pHmetro digital modelo HANNA, respectivamente.

Se utilizó un sistema de riego por goteo, con mangueras de PVC negro de 16 mm de espesor, goteros a 0,45 cm y con una entrega de 2,50 L hora⁻¹. Para la programación del riego se ubicó un tensiómetro (medidor del potencial matricial del suelo en un rango de 0 a 100 kPa modelo IROMETER) en cada tratamiento, a una profundidad de 20 cm y a una distancia de 10 cm de la planta y del emisor. El riego se efectuó cuando la lectura se encontraba entre 15 y 20 Kpa. En la Tabla II aparecen los valores promedio de tensión de humedad (promedio de las lecturas realizadas diariamente a las 10.00 am), así como la tensión de humedad promedio en el momento de efectuar el fertirriego. El agua de riego se clasifica como C₂S₁ (salinidad media, bajo contenido de Na⁺ y apta para el riego), además de neutra a levemente alcalina (pH entre 7,00 y 7,50) y dura por su alto contenido de HCO₃⁻ (>152,50 mg L⁻¹), Ca⁺⁺ (>42,89 mg L⁻¹) y Mg⁺⁺ (>18,23 mg L⁻¹) (4).

Tabla II. Valores promedio de tensión de humedad en el cultivo protegido del tomate

Campañas	Tensión de humedad promedio diaria (kPa)	Tensión de humedad antes del fertirriego (kPa)
2006	11,32 b	17,13 b
2008	12,70 a	19,05 a
2009 (validación)	12,62 a	18,95 a

Se registraron en el interior de la instalación las temperaturas máxima, mínima y media diaria (°C), con un termómetro ubicado en una caseta meteorológica a una altura del suelo de 1,50 m, así como la humedad relativa (%) con un termohigrógrafo digital modelo EM-913 (Tabla III).

Tabla I. Concentración de nutrientes por tratamientos en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019

Fases	Tratamientos (N:K)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O (mg L ⁻¹)	CaO	MgO	CE SF (dS m ⁻¹)	CE SS	pH SF	pH SS
I	-	0	152	0	0	0	-	-	-	-
II	-	90	95	90	111	26	1,21	1,32	6,30	7,21
III y V	T1. 1:1.5	134	95	200	119	28	1,62	1,20	6,30	7,16
	T2. 1:2.0	134	95	267	159	38	1,76	1,82	6,25	7,23
	T3. 1:2.5	134	95	334	199	47	1,93	2,34	6,32	7,20
	T4. 1:3.0	134	95	400	238	57	2,15	3,03	6,20	7,30
IV	T1. 1:1.5	155	95	235	140	33	1,63	1,41	6,15	7,01
	T2. 1:2.0	155	95	313	187	44	1,94	2,43	6,17	7,20
	T3. 1:2.5	155	95	392	234	56	2,17	2,90	6,25	7,23
	T4. 1:3.0	155	95	470	279	66	2,52	3,15	6,30	7,20

Conductividad eléctrica (CE), solución fertilizante (SF) y solución del suelo (SS)

Tabla III. Variables climáticas evaluadas en el interior de la casa de cultivo

Campañas	Temperaturas (°C)			Humedad relativa (%)	Radiación solar (J/m ² /s)
	Máxima	Mínima	Media		
2006	34,13	21,75	27,94	72,41	119,68
2008	36,13	23,26	29,41	72,06	131,76
2009 (validación)	35,63	22,14	28,88	70,59	-

La radiación solar (J/m²/s) se determinó solamente en las campañas 2006 y 2008 con un luxómetro digital modelo Faithful FT-710. La lectura de la humedad relativa y de la radiación solar se efectuó tres veces a la semana, entre las 12.00 m. y 1.30 p.m.

Durante el desarrollo del cultivo se cuantificó el rendimiento individual en las categorías de calidad extra (diámetro ecuatorial del fruto > 75 mm con una tolerancia de defectos totales de 5 %), primera (entre 65-74 mm y 5 %), extra + primera (E + P) y segunda (entre 55-64 mm y 10 %), mientras que el rendimiento total (t ha⁻¹) se calculó sobre la base de la masa de todos los frutos por parcela. En los defectos totales se incluyó una tolerancia de diámetro de 3 % en los frutos extra y primera y de 5 % en los de segunda, el resto corresponde a otros defectos como deformación, defectos de la epidermis y daños cicatrizados de 10-30 mm de longitud (13).

Para el análisis de la calidad externa se tomó una muestra 16 frutos por réplica en la quinta y séptima cosecha, coincidiendo con el período de plena producción. Se determinó la firmeza con un penetrómetro modelo BERTUZZI, de puntal cilíndrico, con penetración de 10 mm, la cual se realizó en la zona ecuatorial del fruto. Se evaluó el color de la epidermis, utilizando una carta de colores de la Empresa Española Western Seeds y con una escala de 1 a 12 y posteriormente se realizó un corte longitudinal del fruto para la determinación del grosor del mesocarpio (mm) y del endocarpio (mm). Se cuantificó el porcentaje de frutos que no cumplieran con las especificaciones de calidad correspondientes (porcentaje de frutos fuera de norma).

Se determinaron las siguientes variables de calidad bromatológica: materia seca (%) por diferencia de peso, sólidos solubles totales por refractometría (°Brix.), acidez titulable por valoración (% de ácido cítrico), pH a través del método potenciométrico directamente a la pulpa macerada, vitamina C (mg 100 g⁻¹) (extracción con ácido clorhídrico al 1 % y reducción del ácido ascórbico con 2.6 diclorofenol indofenol) y contenidos de nitrógeno (Nessler y lectura en el espectrofotocolorímetro a 415 nm), fósforo (desarrollo del color con el vanadato-molibdato y lectura en el espectrofotocolorímetro a 400 nm) y potasio en frutos (absorción atómica y lectura en el fotómetro de llama, directamente a la muestra digerida y diluida).

Para la conservación postcosecha se tomaron muestras de frutos de calidad extra en la cuarta y sexta cosecha con un grado de madurez breaker, escala 4 en la carta de colores de la Western Seeds que indica un cambio definitivo de color de verde o amarillo bronceado a rosado o rojo en no más del 10 % de la superficie del fruto. Se lavaron con agua corriente, se secaron con papel de filtro y se introdujeron en envases de cartón aireados (utilizados en la comercialización nacional). Cada envase representó una réplica formada por 12 frutos y los tratamientos constaron de tres réplicas. Se almacenaron a 23 °C de temperatura y 68 % de humedad relativa. Se determinaron los porcentajes de pérdidas de masa por actividad fisiológica (PMAF) a los 7, 12, 17 y 22 días postcosecha, mediante la siguiente ecuación:

$$PMAF = [(Mi - Mf) / Mi] \times 100$$

donde:

Mi: masa inicial del fruto en el momento de la cosecha (g) y Mf: masa del fruto en cada evaluación realizada (g) (14).

Para el procesamiento estadístico de la información se realizaron análisis de varianza de clasificación doble sin interacción. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad en los casos que fue necesario. Se comprobó la normalidad mediante los estadígrafos de asimetría y de curtosis estandarizados y la homogeneidad de varianza con la docima de Bartlett. Se transformaron las variables porcentaje de frutos fuera de norma (\sqrt{x}), PMAF a los 17 y 22 días postcosecha (1/y) y color de la epidermis (\sqrt{x}). Para las transformaciones de los datos se utilizaron las ecuaciones recomendadas en el programa estadístico Statgraphics 5.0.

Se realizó un Análisis Factorial Discriminante para conocer si el conjunto de las variables de calidad externa y postcosecha contribuyeron a la diferenciación de los tratamientos estudiados (15), para ello se utilizó el programa SPSS versión 11.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento en las calidades extra, primera y extra + primera y el rendimiento total para la campaña 2006, mostraron los mayores valores en las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5; en ellas se logró además un menor

rendimiento de segunda (Figura 1). La relación N:K 1:3.0 provocó una disminución significativa de la producción. En cambio, en la campaña 2008 (Figura 2), se obtuvieron rendimientos de calidad extra, extra + primera y total superiores solo en la relación N:K 1:2.0, mientras que la depresión de la producción comenzó a manifestarse en las plantas que recibieron la relación N:K 1:2.5 o variante de producción. En este experimento la relación N:K 1:2.0 incrementó significativamente el rendimiento extra + primera y total en un 19,50 y 18,47 % respectivamente con relación al tratamiento testigo.

Este comportamiento diferenciado entre campañas para una misma época de estudio pudo deberse a las diferencias encontradas en los valores promedio de

temperatura y de tensión de humedad del suelo que caracterizaron cada ensayo efectuado. Durante el 2006 se presentaron en el interior de la instalación temperaturas inferiores al resto de las campañas, así como una menor radiación solar. Este comportamiento pudo incidir en que los valores de tensión de humedad del suelo fueran también diferentes, tanto en el promedio de todas las lecturas, como en la tensión de humedad obtenida antes de efectuar el fertirriego, con valores superiores en el 2008. Un aumento de la temperatura en el segundo año de estudio, combinado con un incremento de la tensión de humedad del suelo, pudo intensificar el efecto negativo de una mayor concentración de nutrientes en la solución nutritiva.

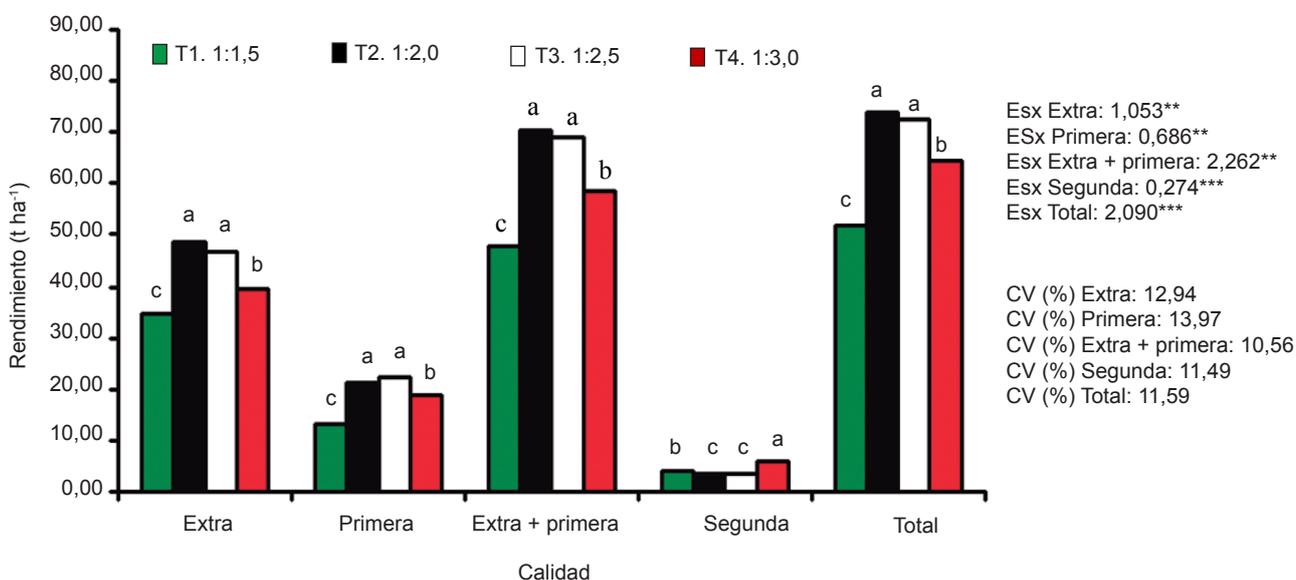


Figura 1. Efecto de las relaciones N:K estudiadas en el rendimiento por calidades y total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, durante la época de primavera-verano (campaña 2006)

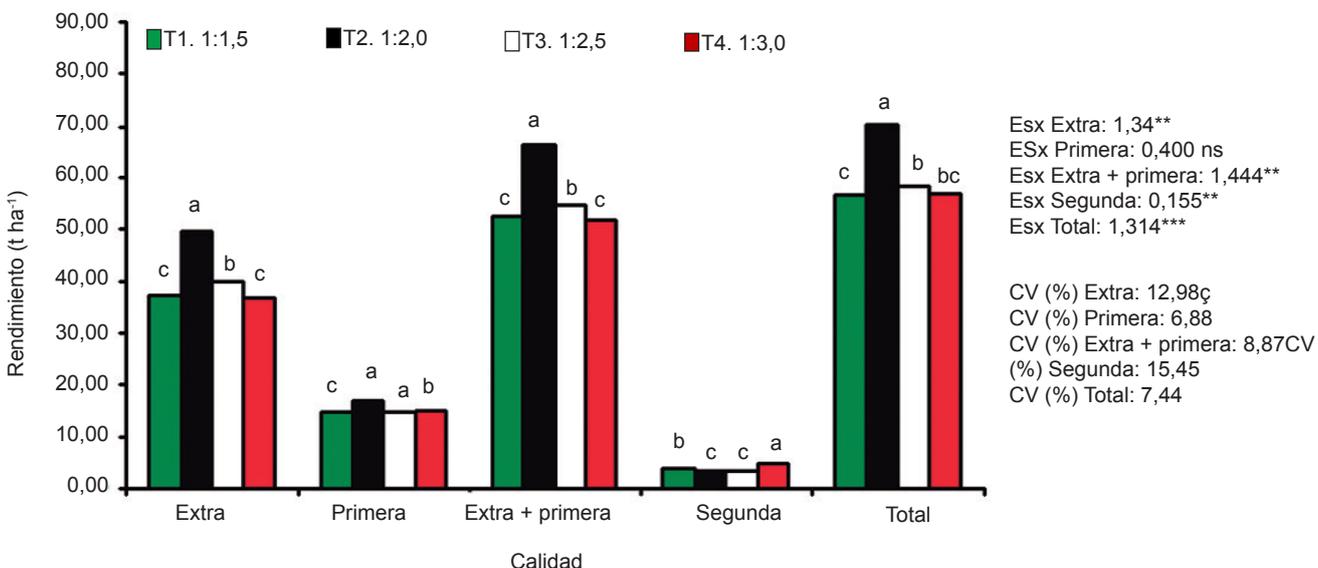


Figura 2. Efecto de las relaciones N:K estudiadas en el rendimiento por calidades y total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, durante la época de primavera-verano (campaña 2008)

Las altas temperaturas y el incremento de la evapotranspiración en el interior de una instalación de cultivo protegido puede traer consigo desórdenes nutricionales, entre ellos deficiencias de calcio (16) y acumulación de sales (17), esta última expresada como incremento de la CE. En condiciones de fuerte demanda evapotranspirativa es común encontrarse cambios temporales de conductividad eléctrica en el suelo, en momentos puntuales donde la demanda hídrica del cultivo y del ambiente se incrementan, afectando en gran medida la productividad del cultivo. El principal efecto de la CE se relaciona con el factor osmótico y una mayor dificultad de la planta para absorber agua, con un gasto de energía que puede ser en detrimento de la energía metabólica y de los compuestos orgánicos que se destinan a los diferentes órganos de la planta en crecimiento. Esto puede traer aparejado afectaciones en el proceso de floración, un menor peso y número de frutos por planta y una reducción en el rendimiento del cultivo (18).

Para delimitar tendencias en cuanto a la respuesta del tomate a las relaciones N:K estudiadas se evaluaron, en una campaña de validación, las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5. Los resultados (Tabla IV) muestran que una relación N:K de 1:2.0 es suficiente para garantizar una adecuada formación del rendimiento del tomate durante la época de primavera-verano y contrarrestar las pérdidas de energía que supone el incremento de la respiración y la transpiración de las plantas a temperaturas elevadas. Estos resultados no se encuentran en correspondencia con el concepto generalizado que existe entre los diferentes actores del sistema de cultivo protegido de que siempre un aumento de la relación N:K trae efectos positivos en el rendimiento del tomate, sobre todo en condiciones de clima desfavorables^B. La fertirrigación potásica y la relación N:K pueden incrementar significativamente el rendimiento y la calidad del fruto; sin embargo, este comportamiento se mantiene hasta un límite, donde un suministro excesivo de K trae aparejado desórdenes fisiológicos relacionados con la maduración del tomate, un porcentaje superior de frutos no exportables y una disminución del rendimiento del tomate (19).

Los resultados demuestran que en la época de primavera-verano es posible variar la relación N:K recomendada en el Instructivo Técnico vigente (11), con una mayor eficiencia de la fertilización debido a la utilización de menores dosis de nutrientes, principalmente de K₂O, CaO y MgO, las cuales fueron inferiores al testigo de producción (relación N:K 1:2.5) en un 19,11, 17,90 y 16,50 % respectivamente.

Tabla IV. Efecto de las relaciones N:K estudiadas en el rendimiento por calidades y total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, durante la época de primavera-verano (campaña 2009)

Rendimiento (t ha ⁻¹)	T1. 1:2.0	T2. 1:2.5	Esx y significación
Calidad extra (E)	43,33	34,76	1,680 **
Calidad primera (P)	16,61	22,06	1,089 **
Calidad E + P	59,94	56,82	0,764 ns
Calidad segunda	6,16	6,12	0,105 ns
Total	66,09	62,94	1,072 ns

La optimización de la fertirrigación en casas de cultivo permite contrarrestar los efectos negativos que traen consigo una fertilización irracional en la salud pública y los recursos naturales. Entre ellos se encuentran la contaminación de las aguas subterráneas, la compactación, el incremento del pH de los suelos, la pérdida de materia orgánica y la acumulación de NO₃⁻ y metales pesados en frutos por encima de los límites permisibles (20, 21, 22).

La relación N:K 1:2.0 permite obtener rendimientos comerciales (extra + primera) y totales entre 59.94-70,28 t ha⁻¹ y 66,09-73,83 t ha⁻¹, respectivamente, lo cual se corresponde con las metas de rendimiento planificadas en el sistema de cultivo protegido para la época de estudio (50-60 t ha⁻¹) y con las características del cultivar utilizado (23).

Es necesario señalar que se observó desde el punto de vista productivo, una respuesta significativa del cultivo a las relaciones N:K estudiadas, aún cuando en el suelo se presentaron altos contenidos de K. Al parecer, la disponibilidad de este nutriente en el suelo o su concentración en la zona radicular no fue suficiente para sustentar el rendimiento obtenido y su adición estimuló la producción del cultivo. En este sentido se plantea que en sistemas intensivos, el K⁺ no puede ser remplazado con la rapidez requerida en períodos de fuerte demanda nutricional, de ahí la ventaja de aplicarlo con sistemas de fertirrigación en dosis que pueden ser fraccionadas según la demanda de los cultivos (24). En relación con este comportamiento, se determinó en estudios de diagnóstico, que la reserva nutricional de los suelos Ferralíticos Rojos satisface plenamente las demandas de P₂O₅, K₂O y CaO en el cultivo protegido del tomate. Sin embargo, se plantea que a pesar de esta particularidad y de que las aplicaciones vía fertirriego en condiciones de producción superan los 800 kg ha⁻¹ de K₂O, se encuentran contenidos bajos de K⁺ soluble al utilizar instrumentos de medición y kits para el diagnóstico nutricional *in situ*, siendo preciso aplicar fertilizantes sistemáticamente para obtener un incremento significativo en el rendimiento y la calidad de los frutos^C.

^BHernández, M. I. Diagnóstico de la nutrición y el fertirriego en el cultivo protegido del tomate para suelos Ferralíticos Rojos. Informe parcial de Proyecto, Código 0815. La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". 2010. 33 pp.

^CAlfonso, C. A. Estudio integral de los suelos del Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova" (Informe parcial de Investigación, Código 0833). La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". 2007. 50 pp.

La respuesta del cultivo en este tipo de suelo a las relaciones N:K estudiadas pudo estar determinada por varios factores y particularidades que condicionan la nutrición en el sistema, entre ellos la utilización de híbridos de rápido crecimiento, con una alta producción de biomasa vegetal, absorción diaria de nutrientes y elevados rendimientos y el desarrollo de un sistema radical superficial, limitado en un bulbo húmedo, que se agudiza por la existencia de una zona compacta entre los 14-20 cm del perfil de suelo, de aspecto muy denso y apretado de los agregados del suelo, que limita el movimiento vertical de las raíces, características del suelo estudiado. La alta concentración de raíces de tomate en un volumen limitado de suelo puede provocar el agotamiento de los nutrientes disponibles en el bulbo húmedo, lo que obliga a su reposición con elevada frecuencia, aún cuando el análisis del suelo indique elevados contenidos de nutrientes^D.

En la Tabla V se presentan los valores promedio de las variables de calidad bromatológica en frutos de tomate. Las relaciones N:K estudiadas no ejercieron un efecto significativo en los atributos de calidad bromatológica de los frutos para ninguno de los experimentos ejecutados, esta respuesta es consecuente con la estabilidad genética que caracteriza a los genotipos que se utilizan comúnmente en la tecnología.

En relación con este comportamiento, en un estudio sobre el efecto de diferentes niveles de K⁺ vía fertirriego en la calidad bromatológica de tres cultivares de tomate, se encontró, que el efecto varietal se superpuso al efecto nutricional, demostrando que es

más importante la selección de cultivares con buenas características de calidad en frutos que la fertilización utilizada (25). En igual sentido se señala que muchas de estas variables se encuentran bajo control genético y que las diferencias entre cultivares se utilizan como atributos de calidad deseables en los programas de mejoramiento genético (3, 23, 26).

No obstante, varios autores coinciden en plantear que la fertilización constituye uno de los factores de manejo agronómico que influye positivamente en la calidad bromatológica del fruto, dentro de ella la potásica (7), la fertilización con Ca y el aumento de la CE en la solución nutritiva para incrementar los sólidos solubles totales, la acidez titulable y el contenido de licopeno en frutos (27, 28).

Los estadísticos que definen el poder discriminante de las funciones canónicas obtenidas (Tabla VI), derivadas del Análisis Factorial Discriminante, muestran diferencias estadísticas entre las relaciones N:K estudiadas en cuanto a las variables de calidad externa y postcosecha sólo en la dirección definida para la primera función. La función 1 extrae un 90,70 % de la variabilidad total, con una alta correlación canónica (0,932). No se tuvo en cuenta en este análisis las pérdidas de masa por actividad fisiológica a los 22 días de vida en anaquel, teniendo en cuenta que los frutos ya habían perdido su valor comercial, al cuantificarse pérdidas superiores al 7 %, límite de aceptación comercial en frutos de tomate (14).

A partir del análisis de los coeficientes estandarizados (Tabla VII) se concluye que la función 1 discrimina a los tratamientos atendiendo a su comportamiento en los indicadores, porcentaje de frutos fuera de norma, pérdidas de masa por actividad fisiológica a los 7 y 17 días postcosecha, diámetro del endocarpio y firmeza del fruto.

^DHernández, M. I. Criterios para el manejo de la nutrición en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en las condiciones de suelo Ferralítico Rojo [Tesis de doctorado]. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), La Habana, 2009, 127 pp.

Tabla V. Indicadores de calidad bromatológica en frutos de tomate, híbrido HA 3019

Variabes	Rango	X ± Esx (CV)	P ¹
Masa seca (%)	4,00–4,72	4,51 ± 0,034 (3,73 %)	0,5639
pH	4,10–4,33	4,24 ± 0,013 (1,52 %)	0,1236
Sólidos solubles totales (^o Brix)	4,52–4,83	4,65 ± 0,015 (1,64 %)	0,6931
Acidez titulable (%)	0,37–0,42	0,39 ± 0,033 (4,83 %)	0,2698
Vitamina C (mg/100 g)	16,03–20,36	18,58 ± 0,281 (7,42 %)	0,1478
N (%)	1,93–2,73	2,22 ± 0,054 (11,98 %)	0,4759
P (%)	0,28–0,57	0,41 ± 0,002 (18,48 %)	0,1274
K (%)	4,16–5,91	4,96 ± 0,138 (13,70 %)	0,4702

¹ P≥0,05: No existieron diferencias significativas entre las relaciones N:K estudiadas

Tabla VI. Estadísticos de las funciones canónicas discriminantes obtenidas

Función	Valor propio	Por ciento de varianza	Correlación canónica	Lambda de Wilks	Significación
1	2,933	90,70	0,932	0,195	0,000
2	0,292	9,00	0,476	0,768	0,123

Tabla VII. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

Variabes	Función 1	Función 2
Firmeza del fruto (N)	-0,721	0,325
Color de la epidermis	-0,148	0,713
Diámetro del endocarpio (mm)	-0,801	-0,200
Grosor del mesocarpio (mm)	0,636	-0,236
Frutos fuera de norma (%)	0,963	0,146
PMAF 7 días (%)	0,874	0,143
PMAF 12 días (%)	-0,244	0,172
PMAF 17 días (%)	0,805	-0,078

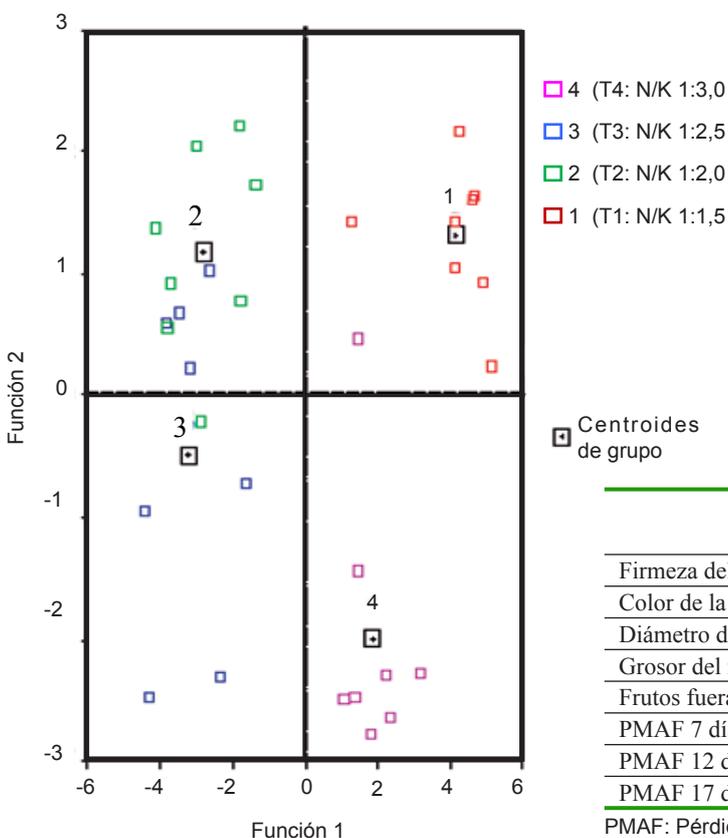
PMAF: Pérdidas de masa por actividad fisiológica

En la Figura 3 aparece la representación gráfica de las funciones discriminantes obtenidas y los centroides de los grupos o tratamientos. El Análisis Factorial Discriminante permitió clasificar correctamente el 84,40 % de los casos originales agrupados, por lo que el ajuste logrado se considera válido (15).

La primera función separa a los tratamientos en sentido horizontal, situando a la derecha las relaciones N:K 1:1.5 y 1:3.0, estos tratamientos presentaron los mayores porcentajes de frutos fuera de norma y de pérdidas de masa por actividad fisiológica a los

7 y 17 días postcosecha (signos positivos en la función), así como el menor diámetro del endocarpio y de la firmeza del fruto (signos negativos en la función). Por tales motivos, el mejor comportamiento en cuanto a las variables analizadas correspondió a las relaciones N:K 1:2.0 y 1:2.5 y ambas variantes ocuparon una posición muy similar respecto al primer eje discriminante. No obstante, realizando un análisis integral de los resultados obtenidos, se puede plantear que la relación N:K 1:2.0 presentó siempre una mejor compatibilidad entre el rendimiento (rendimiento extra + primera y total) y la calidad externa y vida en anaquel de los frutos.

Una nutrición vegetal adecuada y equilibrada es esencial para el desarrollo de la planta y consecuentemente sobre la calidad del fruto por su característica de órgano sumidero. Tanto el contenido de un nutriente como el equilibrio entre dos o más pueden afectar el crecimiento y estado fisiológico del fruto, pudiendo originar alteraciones tanto por deficiencia como por una dosis excesiva. Aunque se ha estudiado la incidencia de numerosos macro y microelementos sobre la calidad y resistencia a la conservación, los que han despertado un mayor interés han sido el N, el K y el Ca (25, 29).



Tratamientos	Grupo de pertenencia pronosticado				Total
	1	2	3	4	
T1: 1:1,5	8	0	0	0	8
T2: 1:2,0	0	7	1	0	8
T3: 1:2,5	0	4	4	0	8
T4: 1:3,0	0	0	0	8	8

Clasificados correctamente el 84,40 % de los casos agrupados originalmente

Varias	Relación N:K			
	1:1,5	1:2,0	1:2,5	1:3,0
Firmeza del fruto (N)	46,52	53,16	50,99	46,57
Color de la epidermis	10,65	10,27	10,39	10,56
Diámetro del endocarpio (mm)	63,10	63,30	63,34	65,11
Grosor del mesocarpio (mm)	6,93	6,95	7,08	7,10
Frutos fuera de norma (%)	4,46	2,61	2,82	4,17
PMAF 7 días (%)	2,37	2,30	2,47	2,45
PMAF 12 días (%)	4,91	4,41	4,76	4,97
PMAF 17 días (%)	6,61	5,43	6,29	7,85

PMAF: Pérdidas de masa por actividad fisiológica

Figura 3. Representación gráfica de las relaciones N:K y centros de gravedad de los tratamientos para la época primavera-verano según el Análisis Factorial Discriminante utilizado

En un estudio de seis niveles de K⁺ en hidroponía, se encontró que los frutos cultivados a la más baja concentración fueron de menor firmeza que aquellos obtenidos a los niveles más altos de K, debido a la pérdida de calidad de la pared del tejido (19). En igual sentido se señala la necesidad de ajustar los niveles de nutrientes en la solución nutritiva del tomate, principalmente N, K y Ca, de manera que permitan aminorar la incidencia de los desórdenes fisiológicos relacionados con la maduración del fruto (30).

Es importante también, al diseñar una solución nutritiva, tener en cuenta el equilibrio entre los cationes K⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ para evitar posibles efectos antagonicos entre ellos, lograr altos rendimientos, excelente calidad de la cosecha y prolongar la vida en anaquel de los frutos. Se ha comprobado que existe una relación inversa entre el contenido de licopeno en frutos y la concentración de Ca⁺⁺ en la solución nutritiva, debido a una disminución en la absorción de K⁺, mientras que altos niveles de K⁺ y Mg⁺⁺ pueden aumentar la incidencia de la pudrición apical y reducir la fortaleza de las paredes celulares del fruto (31).

REFERENCIAS

- Preciado, P.; Fortis, M.; García-Hernández, J.; Rueda, E.; Esparza, J. R.; Lara, A.; Segura, M. A.; Orozco, J. Evaluación de soluciones nutritivas orgánicas en la producción de tomate en invernadero. *Interciencia*, 2011, vol. 26, no. 9, pp. 689-693. ISSN 0378-1844.
- Piñón, M. Performance of tomato (*Solanum lycopersicum*) cultivar in a Tropical sheltered production system. *Ciencia e Investigación Agraria*, 2011, vol. 38, no. 2, pp. 211-217. ISSN 0718-1620.
- Rodríguez, G. Evaluación del efecto de la heterosis para los caracteres contenido de sólidos solubles totales y el tamaño del fruto en el tomate (*Solanum lycopersicum*) y adaptación para los sistemas de cultivo protegido. *Agrotecnia de Cuba*, 2010, vol. 33, no. 1, pp. 56-64. ISSN 0538-3114.
- Duarte, C.; Ajete, M.; González, F.; Bonet, C. y Sierra, L. O. Dosificación de fertilizante para el fertirriego del tomate protegido en Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2010, vol. 19, no. 3, pp. 25-29. ISSN 2071-0054.
- Cuba, MINAG. Situación actual del Sistema Productivo de Cultivos Protegidos en Cuba. En: VI Encuentro Nacional de Cultivos Protegidos (6:2014, Abril 11-16, Artemisa) Memorias. CD-ROM. "Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", 2014. ISBN 959-7111-37-3.
- Chailloux, M. Actualidad y perspectivas de la nutrición de cultivos hortícolas producidos bajo condiciones protegidas. En: IV Congreso Iberoamericano para el desarrollo y aplicación de los plásticos en la agricultura (4:2002, octubre 21-25, Varadero). Memorias. CD-ROM. CIDAPA, 2002. 12 pp. ISBN 84-486-0258-7.
- López, P. P.; Cano Montes, A. y Rodríguez De La Rocha, G. Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. *Tecnociencia Chihuahua*, 2011, vol. 5, no. 2, pp. 98-104. ISSN 1870-6606.
- Khosla, S. A. Papadopoulos. Influence of K:N ratio and EC on tomato plant raising. *Acta Horticulturae*, 2002, no. 548, pp. 149-156. ISSN 0567-7572.
- Colombo, M. H. y Obregón, V. Horticultura General: Consideraciones de cultivo y manejo. (INTA-Argentina). *Publicación Técnica*, 2008, no. 25, pp. 1-85.
- Hernández, M. I.; Chailloux, M.; Moreno, V.; Ojeda, A.; Salgado, J. M. y Bruzón, O. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate en suelo Ferralítico Rojo. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 2009, vol. 44, no. 5, pp. 429-436. ISSN 1678-3921.
- Casanova, A.; Cardoza, H.; Hernández, M.; Gómez, O.; Pupo, F.; Chailloux, M.; Depestre, T.; Moreno, V. Y Hernández, J. C. Manual para la producción protegida de hortalizas. Primera Edición. La Habana: Editora Liliana, 2007. 125 pp. ISBN 959-7111-39-X.
- Hernández, A. Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba. Primera Edición. Ciudad de la Habana: Impresiones MINAG (Agrinfor), 2000. 26 pp. ISBN 978-959-7111-53-5.
- Cuba, MINAG. Especificaciones de calidad para la compra-venta de productos agrícolas con destino a su comercialización para el consumo. Primera Edición. Ciudad de la Habana: Impresiones MINAG (Agrinfor), 2010. 47 pp. ISBN 978-959-7111-53-5.
- Salgado, J. M. Evaluación de parámetros de calidad en híbridos de tomate durante la vida de anaquel. *Cubaenvase*, 2011, no. 22, pp. 12-20.
- Hair, F. J. Análisis multivariante. Quinta Edición. Madrid: Prentice Hall Iberia, 1999. 813 pp. ISBN 978-84-8322-035-1.
- Quesada-Roldán, G.; Bertsch-Hernández, F. Fertirriego en el rendimiento de híbridos de tomate producidos en invernadero. *Agronomía Mesoamericana*, 2012, vol. 23, no. 1, pp. 01-11. ISSN 1659-1321.
- Marcelis, L. F.; De Pascale, S. Crop management in greenhouses: adapting the growth conditions to the plant needs or adapting the plant to the growth conditions?. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 2009, no. 807, pp. 97-102. ISSN 0567-7572.
- Goykovic, V. y Saavedra, G. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA*, 2007, vol. 25, no. 3, pp. 47-58.
- Hartz, T. K.; Johnstone, P. R.; Francis, D. M.; Miyao, E. M. Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertirrigation. *HortScience*, 2005, vol. 40, no. 6, pp. 1862-1867. ISSN 2327-9834.
- Benet, F. M. Situación actual de la Producción Integrada en España. *Vida Rural*, 2002, no. 147, pp. 27-34. ISSN 1133-8938.
- Gallardo, M.; Thompson, R. B. y Rodríguez, J. S. Simulation of transpiration, drainage, N uptake, nitrate leaching, and N uptake concentration in tomato grown in open substrate. *Agriculture Water Management*, 2009, no. 96, pp. 1773-1784.
- Salas, M. C.; Vargas, J. B. y Sánchez-Romero, J. Using suction cup to improve the monitoring of soil solution in a greenhouse fertigated crop. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 2009, no. 807, pp. 125-136. ISSN 0567-7572.
- Rodríguez, G. y Gómez, O. Evaluación de híbridos F1 adaptados al sistema de cultivo protegido. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 2005, vol. 9, no. 25, pp. 7-12.

24. León, H. M. Guía para el cultivo del tomate en invernadero. Segunda Edición. México:SEP-INDAUTOR, 2006. 263 pp. ISBN 03-2004-042113462600-01.
25. Feltrin, D. M.; André, C.; Furlani, P. R. Y Limonta, C. R. Produtividade e qualidade de frutos de cultivares de tomateiro fertirrigado com cloreto e sulfato de potássio. *Revista de Ciências Agroveterinarias*, 2005, vol. 4, no. 1, pp. 17-24.
26. Darrigues, A. Increasing the carotene content of tomato by managing variety choice and soil fertility for colour and colour uniformity. *Acta Horticulturae*, 2007, no. 744, pp. 323-328. ISSN 0567-7572. ISSN 0567-7572.
27. Battilani, A. Manipulating quality of horticultural crops with fertigation. *Acta Horticulturae*, 2008, no. 792, pp. 47-59. ISSN 0567-7572.
28. Wu, M. y Kubota, C. H. Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae*, 2008, no. 116, pp. 122-129. ISSN 0304-4238.
29. Villarreal, M.; Parra, S. y Pedro, P. Fertirrigación con diferentes formas de nitrógeno en el cultivo de tomate en un suelo arcilloso. *Interciencia*, 2009, vol. 34, no. 2, pp. 135-139. ISSN 0378-1844.
30. Iglesias, N. Calidad en tomates para consumo en fresco: color y sabor. *Fruticultura y Diversificación*, 2008, no. 1, pp. 44-47. ISSN 1669-7057.
31. Del Amor, F. M. y Marcelis, F. L. Regulación de la absorción del calcio en el cultivo hidropónico del tomate en invernadero. *Agrícola Vergel*, 2006, no. 291, pp. 142-148. ISSN 0211-2728.

Recibido: 10 de abril de 2012

Aceptado: 19 de septiembre de 2013

¿Cómo citar?

Hernández Díaz, María I.; Chailloux Laffita, Marisa; Moreno Placeres, Víctor; Mojena Graverán, Modesto y Salgado Pullido, Julia M. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersium* L.) en la época de primavera-verano. [en línea]. *Cultivos Tropicales*, vol. 35, no. 4, pp. 106-115. ISSN 1819-4087. [Consultado: ____]. Disponible en: <-----/>.