

Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate en suelo Ferralítico Rojo

María Isabel Hernández Díaz⁽¹⁾, Marisa Chailloux Laffita⁽¹⁾, Víctor Moreno Placeres⁽²⁾, Anselma Ojeda Veloz⁽¹⁾, Julia Mirta Salgado Pulido⁽¹⁾ y Odalis Bruzón Guerrero⁽¹⁾

⁽¹⁾Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliانا Dimitrova, Km 33,5, Carretera Bejucal-Quivicán, Municipio Quivicán, La Habana, Cuba. CP 33500. E-mail: mariai@liliana.co.cu, marisa@liliana.co.cu, juliam@liliana.co.cu, anselma@liliana.co.cu ⁽²⁾Grupo Empresarial Frutícola, Avenida Independencia, entre Tulipán y Conill, Municipio Cerro, Ciudad de la Habana, Cuba. E-mail: casas@ccaribe.co.cu

Resumen – El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de soluciones nutritivas en el fertirriego, con diferentes relaciones entre el nitrógeno y el potasio, en la productividad y calidad de los frutos del tomate (híbrido Hazera 3019), en suelo Ferralítico Rojo. La experiencia se desarrolló en el Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliانا Dimitrova (La Habana, Cuba). Se estudiaron cuatro soluciones nutritivas, que se diferenciaron en su relación $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ / \text{K}^+$ en términos de meq L^{-1} (N/K), con una relación $\text{K}^+ / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ en todas las variantes de 0,75. Los tratamientos resultantes (T1, 1:0,45; T2, 1:0,60 o testigo de producción, T3, 1:0,75 y T4, 1:0,90) fueron distribuidos en un diseño completamente aleatorizado con cuatro réplicas. La variación de la relación N/K en la solución nutritiva influyó en el rendimiento, la calidad externa y la vida en anaquel de los frutos de tomate, sin afectar la calidad bromatológica. La mejor combinación entre estructura del rendimiento y calidad de los frutos se obtiene con la relación N/K 1:0,75, al presentar rendimientos superiores en las categorías de calidad comercial extra, primera y extra más primera, así como frutos con mayor firmeza y grosor del endocarpio, menor porcentaje de frutos fuera de norma y valores inferiores de pérdidas postcosecha.

Términos para indexación: *Lycopersicon esculentum*, calidad del fruto, fertirrigación, horticultura, postcosecha.

Nitrogen-potassium ratios in fertirrigation for protected cultivation of tomato in Red Ferralitic soil

Abstract – The objective of the present work was to evaluate the effect of nutrient solutions in fertirrigation, with different nitrogen–potassium ratios, on yield and quality of tomato fruits (hybrid Hazera 3019) in Red Ferralitic soil (Oxisol). The trial was performed at Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliانا Dimitrova (La Habana, Cuba). Four nutrient solutions were studied, which were different in their $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ / \text{K}^+$ ratios in terms of meq L^{-1} (N/K), keeping a $\text{K}^+ / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ ratio of 0,75 in every variant. The resulting treatments (T1, 1:0.45; T2, 1:0.60 or production test control, T3, 1:0.75 and T4, 1:0.90) were distributed in a completely randomized design with four replicates. The N/K ratio variation in the nutrient solution influenced the yield, external quality and postharvest life of tomato fruits, without affecting the bromatologic quality. The best combination of yield structure and fruit quality was obtained with the 1:0.75 N/K ratio, which had superior yield in extra, first and extra plus first commercial qualities, as well as fruits with higher firmness and larger endocarp thickness, lesser abnormal fruit percentage and lower postharvest losses.

Index terms: *Lycopersicon esculentum*, fruit quality, fertirrigation, horticulture, postharvest.

Introducción

En la horticultura cubana, el tomate representa el 35% del volumen total de producción y el 30% del área de siembra, que se ubican en todas las zonas edafoclimáticas del país, sin embargo, sus exigencias climáticas distan mucho de las condiciones que prevalecen en el trópico cubano. Así, el Caribe se encuentra tan cerca de los límites de tolerancia biológica de la especie, que pequeños cambios en algunas variables climáticas son

capaces de determinar el éxito o el fracaso del cultivo (Rodríguez & Gómez, 2005).

Para extender los calendarios de siembra del tomate y satisfacer las demandas, se han establecido diversas prácticas de manejo, entre ellas la introducción de la tecnología del cultivo protegido en razón de la problemática tropical. El cultivo protegido alcanza en la actualidad una superficie total de 167,49 ha, y el 70% del área existente se dedica a la producción de tomate (Hernández et al., 2008).

Desde el punto de vista tecnológico, la fertilización constituye una de las prácticas de manejo indispensables para la explotación sostenible de culturas. Chailloux (2003) plantea que las dosis de N, P₂O₅ y K₂O que se utilizan en el cultivo protegido del tomate son superiores en 180, 270 y 192%, respectivamente, con relación al tomate a campo abierto, debido a que se obtienen rendimientos más altos, y las dosis varían entre 275 y 750 kg ha⁻¹ N, 120 y 400 kg ha⁻¹ P₂O₅ y 430 y 1.200 kg ha⁻¹ K₂O. Hernández et al. (2008) calcularon que para producir una tonelada de fruto, el tomate necesita de 32,7 kg N, 4,2 kg P, 57,8 kg K, 36,3 kg Ca y 4,4 kg Mg.

El establecimiento de relaciones N/K adecuadas, 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 (Cardoza, 2007). Esta relación determina el equilibrio entre los procesos vegetativos y reproductivos, pues el potasio actúa como regulador del crecimiento cuando la disponibilidad de nitrógeno es alta, garantiza además una adecuada formación del rendimiento, regula la aparición de determinados desórdenes 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 en la durabilidad de la cosecha (Gent, 2004; Mikkelsen, 2005; Colombo & Obregón, 2008).

A nivel internacional, existen diversos estudios que evalúan el efecto individual del nitrógeno y del potasio en el cultivo protegido del tomate, y se definen relaciones óptimas para estos nutrientes en términos de kilogramo por hectárea que varían de 1:1,5 a 1:4, en función de la variedad, manejo del cultivo y condiciones de suelo y clima existentes (Huett, 1993; Armenta et al., 2001; Khosla & Papadopoulos, 2002; Gent, 2004; Colombo & Obregón, 2008). Es importante también, al diseñar una solución nutritiva, tener en cuenta el equilibrio entre los cationes K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, para evitar posibles efectos antagónicos entre ellos, lograr altos rendimientos, excelente calidad y prolongar la vida en anaquel de los frutos. Subbiah & Perumal (1990) encontraron 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 potasio, mientras que altos niveles de potasio y magnesio pueden incrementar la incidencia de la pudrición apical del fruto y reducir la fortaleza de las paredes celulares (Marcelis & Amor, 2006).

Teniendo en cuenta estos elementos se puede plantear que la aplicación de soluciones nutritivas equilibradas con una adecuada relación N/K, durante el fertirriego en el cultivo protegido del tomate, permitirá aumentar el rendimiento, la calidad y la vida en anaquel de los frutos. Esta afirmación cobra especial importancia en el caso de los suelos Ferralíticos Rojos, sobre los que se asienta la mayoría de las instalaciones de cultivo protegido del país (58%).

El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos de soluciones nutritivas para el fertirriego, con diferentes relaciones entre el nitrógeno y el potasio, en la productividad y calidad de los frutos de 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 La Habana, a 22°52'N y 82°23'W y a la altitud entre 9 y 11 m. Se realizaron dos experimentos durante los meses de agosto a enero de 2004/2005 y 2006/2007. 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 para el trópico cubano entre 60 y 80 Mg ha⁻¹; el híbrido posee además alta resistencia al virus del encrespamiento amarillo de la hoja de tomate o "Tomato yellow leaf curl virus" - TYLCV. La experiencia se realizó en una casa de cultivo de 540 m², con altura de 4 m, con rafia plastificada en la parte superior y malla sombreadora (35%) por los laterales y el frente. El trasplante se efectuó en canteros planos de 1,80 m de ancho, y el esquema de plantación utilizado fue el de doble hilera separada a 0,60 m, con una distancia entre plantas de 0,50 m, para la densidad de población de 2,2 plantas m⁻². El manejo agronómico se efectuó según Casanova et al. (2003).

El suelo es de tipo Ferralítico Rojo compactado (Hernández Jiménez et al., 2000), de textura arcillosa, con pH ligeramente alcalino (7,20 por potenciometría), altos contenidos de fósforo (888,40 mg kg⁻¹ por Oniani) y de potasio (660 mg kg⁻¹ por Oniani), y materia orgánica baja (19,10 g kg⁻¹ por Walkey-Black) (Cuba, 1987). El agua de riego se considera dura por su alto contenido de HCO₃⁻ (>150 mg L⁻¹), Ca²⁺ (>60 mg L⁻¹) y Mg²⁺ (>30 mg L⁻¹), neutra a levemente alcalina (pH entre 7 y

7,50) y con bajo riesgo de salinidad ($CE < 0,80 \text{ mS cm}^{-1}$). Las temperaturas máxima ($35,51^\circ\text{C}$), mínima ($22,87^\circ\text{C}$) y media ($28,69^\circ\text{C}$) en el interior de la instalación se ubican fuera de los rangos óptimos ($18\text{--}22^\circ\text{C}$) para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo en plantas de tomate, mientras que la humedad relativa fue de 67,73%, permisible para esta hortaliza (Casanova et al., 2003).

Los tratamientos consistieron de cuatro soluciones nutritivas, que se diferenciaron fundamentalmente en su relación $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ / \text{K}^+$ en términos de meq L^{-1} (N/K). La concentración de nitrógeno fue igual para todas las variantes en estudio y, con el objetivo de evitar efectos antagónicos entre los cationes, se varió la concentración de calcio y magnesio en función de la del potasio, y se mantuvo una relación $\text{K}^+ / \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ en todas las soluciones nutritivas evaluadas de 0,75 (Cuadro 1). Para el diseño de los tratamientos, se tomó como base el testigo de producción correspondiente a la relación N/K 1:0,60 (Casanova et al., 2003). Los tratamientos estudiados y sus relaciones N/K fueron los siguientes: T1, 1:0,45; T2, 1:0,60 (testigo de producción); T3, 1:0,75; y T4, 1:0,90. Los tratamientos comenzaron a diferenciarse a partir del cuaje del tercer racimo (41 días después del trasplante – ddt) y hasta el final de la plantación (120 ddt). Durante las fases I y II del ciclo del cultivo, se aplicó la fertilización recomendada por Casanova et al. (2003).

Las variantes se distribuyeron en un diseño completamente aleatorizado con cuatro réplicas, en parcelas de 18 m^2 (1,80 m de ancho y 10 m de longitud), con 40 plantas por parcela. Las dosis totales de N, P_2O_5 , K_2O , CaO y MgO en kg ha^{-1} (incluye las

cantidades de potasio, calcio y magnesio que aporta el agua de riego) que recibieron los tratamientos fueron, respectivamente, de: 303,05, 206,34, 454,58, 263,45 y 62,69 (T1); 303,05, 206,34, 606,10, 347,02 y 82,65 (T2); 303,05, 206,34, 757,63, 430,33 y 102,43 (T3); y 303,05, 206,34, 909,15, 511,57 y 121,77 (T4).

Se colocó un recipiente debajo del gotero, con el objetivo de coleccionar la solución nutriente emitida durante todo el fertirriego y determinar la conductividad eléctrica (CE) y el pH en la solución fertilizante (SF), dos veces en cada fase del cultivo. 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, hasta lograr la presión de 75 centibares, y la muestra se extrajo al día siguiente. La CE y el pH se determinaron con un conductímetro y un medidor de pH digital modelo Hanna.

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 por hora. 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 la profundidad de 20 cm y a la distancia de 10 cm de la planta y del emisor. El riego se efectuó, cuando la lectura fue superior a 15 kPa (Casanova et al., 2003), con una frecuencia de fertirriego entre 2 y 3 días. Se aplicó el volumen total de agua de $2.080 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (experimento 2004/2005) y $1.980 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (experimento 2006/2007).

Las soluciones nutritivas se prepararon con los siguientes portadores: H_3PO_4 ($1040 \text{ g L}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$), HNO_3 ($145,30 \text{ g L}^{-1} \text{ N}$), NH_4NO_3 (34% N, 17,50% N nítrico y

Cuadro 1. Concentración de aniones y cationes (meq L^{-1}) en la solución nutriente y dosis de riego (litros por planta por día), aplicadas en las diferentes fases de crecimiento, y tratamientos estudiados. Se presentan los valores de conductividad eléctrica (CE, mS cm^{-1}) cuantificados en la solución fertilizante (SF) y en la solución del suelo (SS).

Fase ⁽¹⁾	Tratamiento – relación N/K ⁽²⁾	NO_3^-	H_2PO_4^-	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Dosis de riego	CE en la SF	CE en la SS
I	-	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	-	-
II	-	6,50	1,50	1,00	2,30	1,15	0,38	0,70	1,31	1,45
III y V	T1 – 1:0,45	10,50	1,50	1,00	5,11	5,10	1,70	1,00	1,79	1,53
	T2 – 1:0,60	10,50	1,50	1,00	6,81	6,82	2,28	1,00	2,06	1,99
	T3 – 1:0,75	10,50	1,50	1,00	8,52	8,52	2,84	1,00	2,26	2,42
	T4 – 1:0,90	10,50	1,50	1,00	10,21	10,20	3,40	1,00	2,53	3,25
IV	T1 – 1:0,45	12,50	1,50	1,00	6,06	6,06	2,02	1,40	1,93	1,76
	T2 – 1:0,60	12,50	1,50	1,00	8,09	8,10	2,70	1,40	2,28	2,33
	T3 – 1:0,75	12,50	1,50	1,00	10,11	10,14	3,38	1,40	2,60	2,82
	T4 – 1:0,90	12,50	1,50	1,00	12,13	12,12	4,04	1,40	3,07	3,54

⁽¹⁾I, trasplante a emisión del primer racimo; II, emisión del primer racimo hasta el cuaje del tercer racimo; III, cuaje del tercer racimo hasta el inicio de la cosecha; IV, inicio de la cosecha hasta plena producción; V, plena producción hasta el final de la plantación. ⁽²⁾ $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ / \text{K}^+$, en términos de meq L^{-1} .

17,50% N amoniacal), KNO_3 (12% N nítrico, 45% K_2O y 1,20% SO_4), $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (26% CaO , 14,50% N nítrico y 1% N amoniacal), K_2SO_4 (50% K_2O y 54% SO_4) y MgSO_4 (16% MgO y 39% SO_4). Para el cálculo de los aportes de fertilizantes, se tuvo en cuenta los contenidos de HCO_3^- , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} del agua de riego.

Durante el desarrollo del cultivo se efectuaron 12 cosechas, y el período de recolección tuvo una duración de 51 días. En los dos experimentos efectuados (se presentan los valores promedios de dos años de estudio), se cuantificó el número de frutos por planta y la masa promedio del fruto (g), a una muestra de diez frutos por réplica. Se calculó, además, 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 y 74 mm y 5%), extra más primera (E+P), y segunda (entre 55 y 64 mm y 10%), mientras que el rendimiento total 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, daños cicatrizados de 10–30 mm de longitud según Cuba (2001).

Para el análisis de la calidad externa, se tomó una muestra de 36 frutos por réplica, en estado de madurez rojo, en la quinta y séptima cosecha, lo que coincidió con el período de plena producción. Se determinó la firmeza, en la zona ecuatorial del fruto, con un penetrómetro modelo Bertuzzi, de puntal cilíndrico, con penetración de 10 mm. Se evaluó el color de la epidermis, por medio de 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 (mm) del mesocarpio y del endocarpio. Se cuantificó el porcentaje de frutos que no cumplían con las especificaciones de calidad correspondientes (Cuba, 2001). Se determinaron las siguientes variables de calidad bromatológica: materia seca (g kg^{-1}), sólidos solubles totales (%), acidez titulable (%), pH, vitamina C (g kg^{-1}) y contenidos de N, P y K (g kg^{-1}) según Cuba (1981).

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 e indicación

de un cambio definitivo de color de verde o amarillo bronceado a rosado o rojo, en no más que 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. 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 de los frutos por actividad fisiológica (PMAF) a los 7, 12, 17 y 22 días postcosecha, mediante la siguiente ecuación: $\text{PMAF} = 100[(\text{Mi} - \text{Mf})/\text{Mi}]$, en que: Mi es la masa inicial del fruto, en el momento de la cosecha (g), y Mf es la masa del fruto en cada evaluación realizada (g) (Salgado et al., 2005).

Para el procesamiento estadístico de la información, se realizó un análisis de varianza de clasificación simple. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. Se comprobó la normalidad, mediante los estadígrafos de asimetría y de curtosis estandarizados, y la homogeneidad de varianza con la docima de Bartlett. Después de aplicar estos estadígrafos, se transformaron las variables: porcentaje de frutos fuera de norma ($x^{0.5}$); PMAF a los 17 y 22 días postcosecha (1/y); y color de la epidermis ($x^{0.5}$). Para las transformaciones de los datos, se utilizaron las ecuaciones recomendadas en el programa Statgraphics 5.0.

Resultados y Discusión

El mayor número de frutos de calidad extra, extra más primera y total, se cuantificó en la relación N/K 1:0,75, estadísticamente superior al resto de los tratamientos (Cuadro 2). Un comportamiento similar se observó para la masa promedio del fruto. Los valores cuantificados en este tratamiento se encuentran en correspondencia con las características del híbrido, cuya masa promedio de los frutos oscila entre 180 y 200 g, con número de frutos por planta entre 20 y 25, que llega a ser superior en condiciones de clima más favorables (Casanova et al., 2003). Estos componentes del rendimiento disminuyeron significativamente con la relación N/K de 1:0,90, debido posiblemente a un efecto tóxico de la fertilización, que incluye no solo el aumento de la concentración de potasio a expensas del nitrógeno, sino también del calcio y del magnesio en la solución nutriente, para mantener la relación $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ en los niveles establecidos.

La utilización de concentraciones superiores de K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , en el tratamiento 4, trajo como consecuencia el incremento de la CE en la solución del suelo, con valores de 3,25 y 3,54 $mS\ cm^{-1}$, en las fases III y IV del ciclo del cultivo, respectivamente (Cuadro 1). En este sentido, Estañ et al. (2005) y Goycovic Cortés & Saavedra del Real (2007) plantean que aún cuando existen variedades de tomate que toleran una alta CE en la solución nutritiva, este cultivo requiere, por lo general, una CE en la solución del suelo de 2,5–3,0 $mS\ cm^{-1}$. Valores superiores traen como consecuencias efectos negativos desde el punto de vista morfológico y bioquímico, una disminución de la fotosíntesis y problemas con la floración. El número y peso de los frutos también se afectan, de manera que el rendimiento comercial disminuye.

El rendimiento en las categorías extra, extra más primera y total aumentó significativamente con el incremento de la relación N/K hasta un valor de 1:0,75, por lo que en esta variante se cuantificaron también las mayores producciones de calidad comercial, así como un menor rendimiento de segunda, aunque sin diferencias significativas con la relación N/K 1:0,75 (Cuadro 3). De igual forma a lo señalado para los componentes del rendimiento, se obtiene una disminución significativa en la producción comercial y total del cultivo con una relación N/K de 1:0,90 y conductividades eléctricas superiores en la solución nutritiva.

Se observó en general, desde el punto de vista productivo, respuesta significativa del cultivo a las relaciones N/K estudiadas, aún cuando en el suelo se presentaban altos contenidos de potasio. Con la relación N/K de 1:0,75, superior al testigo de producción, es posible incrementar el rendimiento comercial del tomate y obtener producciones totales características del híbrido utilizado (83,55 $Mg\ ha^{-1}$). 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. Con relación a ese comportamiento, Alfonso (2006) plantea que la reserva nutricional de los suelos Ferralíticos Rojos satisface plenamente las demandas de P_2O_5 , K_2O y CaO en el cultivo protegido del tomate. Sin embargo, este autor establece que a pesar de la notable fertilidad natural de esos suelos y de que las aplicaciones vía fertirriego en condiciones de producción superan los 800 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O , los productores encuentran contenidos bajos de potasio asimilable al utilizar instrumentos de medición y kits para el diagnóstico nutricional in situ, siendo necesario aplicar fertilizantes de manera sistemática, para obtener un incremento significativo en el rendimiento y en la calidad de los frutos.

La respuesta del cultivo a los tratamientos estudiados en este tipo de suelo puede estar determinada por varios factores y particularidades que condicionan la nutrición

Cuadro 2. Rendimiento, número de frutos por planta en cada categoría de calidad comercial y masa promedio del fruto ante cuatro relaciones N/K, en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

Tratamiento – relación N/K ⁽¹⁾	Número de frutos por categoría de calidad comercial				Masa del fruto (g)
	Extra	Primera	Extra más primera	Segunda	
T1 – 1:0,45	10,77b	5,74	16,51b	1,19	17,69b
T2 – 1:0,60	11,74ab	6,17	17,91b	1,12	19,02b
T3 – 1:0,75	13,93a	6,93	20,86a	1,07	21,92a
T4 – 1:0,90	11,07b	5,61	16,68b	1,31	17,98b
Esx	0,342***	0,197 ^{ns}	0,468***	0,047 ^{ns}	0,431***
CV (%)	11,52	12,92	10,41	16,24	8,53

⁽¹⁾ $NO_3^- + NH_4^+ / K^+$, en términos de $meq\ L^{-1}$. ^{ns}No significativo. ***Significativo al 0,1% de probabilidad.

Cuadro 3. Efecto de las relaciones N/K en el rendimiento de calidad comercial y total ($Mg\ ha^{-1}$), en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019.

Tratamiento – relación N/K ⁽¹⁾	Extra	Primera	Extra más primera	Segunda	Total
T1 – 1:0,45	27,80c	26,17	53,97c	7,92a	61,89c
T2 – 1:0,60	38,95b	24,83	63,78b	6,58b	70,36b
T3 – 1:0,75	48,32a	29,22	77,54a	6,01b	83,55a
T4 – 1:0,90	34,49bc	30,19	64,68b	7,74a	72,42b
Esx	1,940***	0,581 ^{ns}	2,180***	0,188**	1,960***
CV (%)	15,78	8,42	13,43	10,96	10,62

⁽¹⁾ $NO_3^- + NH_4^+ / K^+$ en términos de $meq\ L^{-1}$. ^{ns}No significativo. ** y ***Significativo al 1 y 0,1% de probabilidad, respectivamente.

en este sistema. Entre ellos, están los altos rendimientos que se obtienen, la utilización de híbridos de rápido crecimiento, con elevadas acumulaciones de biomasa vegetal y consumos diarios de nutrientes, y el desarrollo de un sistema radical superficial, con un crecimiento limitado en el bulbo húmedo, que se agudiza por la existencia de un horizonte compactado antrópico que aparece a partir de los 14–20 cm del perfil de suelo. Ese horizonte es de aspecto muy denso y apretado de los agregados, que limita el movimiento vertical de las raíces características del suelo estudiado (Hernández Jiménez et al., 2000; Alfonso, 2006). Por tales motivos, Chailloux (2003) señala que la alta concentración de raíces de tomate en un volumen limitado de suelo – hasta un 81% de las raíces en el inicio de la camada de 14–18 cm del perfil 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.

Para las variables de calidad bromatológica masa seca (MS), pH, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable (AT), se cuantificaron valores promedios de 42,82 g kg⁻¹, 4,14, 4,46% y 0,41%, respectivamente, indicadores que se encuentran dentro de lo establecido como normal para el cultivo del tomate según Cuartero & Fernández (1996). Los contenidos de N, P, K y vitamina C fueron de 38,45 g kg⁻¹, 3,95 g kg⁻¹, 54,03 g kg⁻¹ y 19,13 g kg⁻¹, respectivamente, los que se corresponden con los cuantificados por Chailloux (2003) y Hernández et al. (2008), en condiciones similares de estudio.

Las soluciones nutritivas estudiadas no ejercieron un efecto significativo en los atributos de calidad bromatológica en frutos de tomate. Con relación a este comportamiento, Feltrin et al. (2005) plantean que la calidad bromatológica depende más de las características

propias de la variedad, que de la cantidad y fuente de potasio utilizada, mientras que Bugarin Montoya et al. (2002) establecen que resulta difícil incrementar la MS en frutos de tomate con el aumento de la concentración de potasio en la solución nutriente, debido al alto contenido de agua que posee el fruto y a que este elemento ejerce una acción hidratante en la célula. 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 fertilización potásica (Ghebbi Si-Mail et al., 2007) y el aumento de la CE en la solución nutritiva para incrementar los SST, la AT y el contenido de carotenoides y licopeno en frutos de tomate (Goycovic Cortés & Saavedra Del Real, 2007).

Al analizar el efecto de las relaciones N/K, en los atributos que determinan la calidad externa en frutos de tomate, se encontró que los mejores resultados en cuanto a firmeza y grosor del endocarpio se lograron con la relación N/K 1:0,75, mientras que la utilización de una relación N/K de 1:0,45 y 1:0,90 trajo como consecuencias porcentajes superiores en los frutos fuera de norma (Cuadro 4). Lo anterior demuestra que con la utilización de soluciones nutritivas equilibradas, con una adecuada relación N/K, es posible incrementar algunos de los atributos que determinan la calidad externa en frutos de tomate, resultados que coinciden con Colombo & Obregón (2008). Adams & Grimmett (1986) al probar seis niveles de K⁺, en una solución nutritiva para el cultivo hidropónico del tomate, encontraron que los frutos cultivados a la más baja concentración fueron más blandos que aquellos obtenidos a los niveles más altos de K, debido a la pérdida de calidad de la pared del tejido. Similares resultados lograron Bugarin Montoya et al. (2002), al calcular una reducción de la firmeza

Cuadro 4. Indicadores de calidad externa y de vida en anaquel de los frutos de tomate híbrido HA 3019, y su respuesta a los tratamientos estudiados.

Tratamiento – relación N/K ⁽¹⁾	Firmeza (N)	Grosor del endocarpio (mm)	Frutos fuera de norma (%)	PMAF ⁽²⁾ 17 días (%)	PMAF 22 días (%)
T1 – 1:0,45	56,90c	60,83b	2,96a	7,02a	9,39a
T2 – 1:0,60	62,91b	61,50b	1,64b	4,67b	7,11b
T3 – 1:0,75	67,35a	65,60a	1,59b	4,68b	7,56b
T4 – 1:0,90	63,21b	60,44b	2,05a	7,53a	10,78a
Esx	1,043***	0,590**	0,256**	0,045*	0,0593**
CV (%)	8,33	3,47	13,98	9,15	10,34

⁽¹⁾NO₃⁻+NH₄⁺/K⁺ en términos de meq L⁻¹. ⁽²⁾Pérdidas de masa de los frutos por actividad fisiológica. *, ** y ***Significativo al 5, 1 y 0,1% de probabilidad, respectivamente.

entre 15 y 25%, en los frutos de plantas sometidas a la más baja concentración de K^+ . El incremento de la CE en la solución nutritiva, sin afectar los indicadores productivos del cultivo (Goycovic Cortés & Saavedra del Real, 2007), la fertilización con calcio para incrementar la rigidez de la pared celular (Villarreal Romero et al., 2002) y un adecuado balance entre los cationes potasio, calcio y magnesio, para contrarrestar determinadas limitaciones en la fertilidad química de los suelos (Cabrera et al., 2007) constituyen prácticas de manejo nutricional que inciden favorablemente en la calidad externa de los frutos.

El grosor del mesocarpio y el color de la epidermis no se afectaron con las soluciones nutritivas evaluadas, y se cuantificaron valores promedios de 10,73 (según carta de colores utilizada) y 6,09 mm, respectivamente. La información al respecto es diversa, sobre todo con relación al color de los frutos. Mulholland et al. (2001) señalan la necesidad de ajustar los niveles de N, K y Ca, en la solución nutritiva para el cultivo del tomate, que permita aminorar la incidencia de determinados desórdenes fisiológicos relacionados con la maduración en condiciones de altas temperaturas. Sin embargo, Villarreal Romero et al. (2002) no encontraron relación entre la intensidad del color y la dosis de K y N, al establecer las relaciones óptimas de NH_4^+ y NO_3^- asociados al K^+ por fenofases en un cultivo de tomate de tipo determinado.

Se encontraron diferencias significativas, entre los tratamientos estudiados, para las PMAF a los 17 y 22 días postcosecha. Las menores pérdidas correspondieron a los frutos provenientes de las plantas que se fertirrigaron con las relaciones N/K 1:0,60 y 1:0,90. A los 17 días, los frutos de estas variantes no habían perdido su valor comercial, al presentar PMAF inferiores al 7%, límite de aceptación comercial en frutos de tomate, según Salgado et al. (2005), no siendo así para las relaciones N/K 1:0,45 y 1:0,90. En este sentido, Locasio et al. (1984) señalan que la vida postcosecha del tomate puede afectarse tanto por un exceso como por un déficit de nutrientes, ya que en ambos casos se producen desequilibrios nutricionales que alteran el crecimiento general de la planta y, como consecuencia, la composición del fruto y su resistencia a la conservación. A los 22 días de vida en anaquel, se presentaron en todas las variantes PMAF superiores a 7%. En estudios realizados en Cuba, se encontró que las pérdidas de peso en frutos de tomate pueden

alcanzar, a los 22 días de vida en anaquel, porcentajes que varían entre 5,33 y 13%; estos valores dependen del híbrido de tomate y de la presencia de atributos de larga vida, de los esquemas de fertirriego, condiciones edafoclimáticas existentes y envases utilizados para la conservación postcosecha (Salgado et al., 2005; Hernández et al., 2008).

Conclusión

La mejor combinación entre estructura del rendimiento y calidad de los frutos del tomate, en suelo Ferralítico Rojo, se obtiene con la relación N/K 1:0,75.

Referencias

- ADAMS, P.; GRIMMET, M.M. Some responses of tomatoes to the concentration of potassium in the recirculating nutrient solution. *Acta Horticulturae*, v.178, p.29-35, 1986.
- ALFONSO, C.A. **Diagnóstico y monitoreo de los cultivos protegidos para el manejo de la calidad de los suelos Ferralíticos Rojos**. La Habana: Instituto de Suelos, 2006. 80p.
- ARMENTA, A.; BACA CASTILLO, G.; ALCANZAR, G.; KOHASHI, S.; VALENZUELA, J.G.; MARTÍNEZ, A. Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental del tomate. *Revista Chapingo*, v.7, p.61-75, 2001.
- BUGARIN MONTOYA, R.; GLAVIS SPINOLA, A.; SÁNCHEZ GARCIA, P.; GARCÍA PAREDES, D. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total del tomate. *Terra*, v.20, p.401-409, 2002.
- CABRERA, A.; ARZUAGA, J.; MOJENA, M. Desbalance nutrimental del suelo y efecto sobre el rendimiento de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) en condiciones de casas de cultivo. *Cultivos Tropicales*, v.28, p.91-97, 2007.
- CARDOZA, H. **Estudio de la cadena productiva del tomate para consumo fresco**. Informe de etapa: definición de los límites (frontera de la cadena productiva) y caracterización general de la cadena productiva. La Habana: Liliانا, 2007. 52p.
- CASANOVA, A.; CARDOZA, H.; HERNÁNDEZ, M.; GÓMEZ, O.; PUPO, F.; CHAILLOUX, M.; DEPESTRE, T.; MORENO, V.; HERNÁNDEZ, J.C.; LEÓN, M.; RODRÍGUEZ, M.; IGARZA, A.; ARANGUREN, D. **Manual para la producción protegida de hortalizas**. 2.ed. La Habana: Liliانا, 2003. 125p.
- CHAILLOUX, M. **Nutrición de hortalizas bajo cultivo protegido**: informe final de proyecto. La Habana: Editora Liliانا, 2003. 26p.
- COLOMBO, M.H.; OBREGÓN, V. **Horticultura general**: consideraciones de cultivo y manejo. Argentina: Estación Experimental Agropecuaria Bella Vista, 2008. 85p.
- CUARTERO, J.; FERNÁNDEZ, R. Calidad de las hortalizas para consumo en fresco. *Horto Información*, v.78, p.34-38, 1996.

- CUBA. Ministerio de la Agricultura. **Especificaciones de calidad para la compra-venta de productos agrícolas**. Cuba: MINAG, 2001. 47p.
- CUBA. Ministerio de la Agricultura. **Norma ramal MINAG 837-87**: análisis químico de suelos: reglas generales. Ciudad de la Habana: Agrinfor, 1987. 26p.
- CUBA. Ministerio de la Industria Alimenticia. **Norma ministerial MINAL 498-81**: métodos de ensayos para producción de frutas y hortalizas. Ciudad de la Habana: MINAL, 1981. 43p.
- ESTAÑ, M.T.; MARTÍNEZ-RODRIGUEZ, M.M.; PÉREZ-ALFOCEA, F.; FLOWERS, T.J.; BOLARIN, M.C. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. **Journal of Experimental Botany**, v.56, p.703-712, 2005.
- FELTRIN, D.M.; POTT, C.A.; FURLANI, P.R.; CARVALHO, C.R.L. Produtividade e qualidade de frutos de cultivares de tomateiro fertirrigado com cloreto e sulfato de potássio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.4, p.17-24, 2005.
- GENT, M.P.N. Yield of greenhouse tomato in response to supplemental nitrogen and potassium. **Acta Horticulturae**, v.633, p.341-348, 2004.
- GHEBBI SI-MAIL, K.; BELLAL, M.; HALLADJ, F. Effect of potassium supply on the behaviour of two processing tomato cultivars and on the changes of fruit technological characteristics. **Acta Horticulturae**, v.758, p.269-274, 2007.
- GOYKOVIC CORTÉS, V.; SAAVEDRA DEL REAL, G. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. **IDESIA**, v.25, p.47-58, 2007.
- HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, A.; ASCANIO GARCIA, M.O.; MORALES, M. **Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba**. La Habana: MINAG, 2000. 26p.
- HERNÁNDEZ, M.I.; NASAROVA, L.; CHAILLOUX, M.; SALGADO, J.M. Evaluación agronómica de fertilizantes líquidos cubanos en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicon* L.) híbrido HA 3019. **Cultivos Tropicales**, v.28, p.25-31, 2008.
- HUETT, D.O. Fertiliser nitrogen and potassium studies with Flora-Dade tomatoes grown with trickle irrigation and polyethylene mulch covered beds on krasnozem soils. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.33, p.221-226, 1993.
- KHOSLA, S.; PAPADOPOULOS, A.P. Influence of K:N ratio and EC on tomato plant raising. **Acta Horticulturae**, v.548, p.149-157, 2002.
- LOCASIO, L.; WILTBANK, W.J.; GULL, D.P.; MAYNARD, D.N. Fruit vegetables affected by nitrogen nutrition. In: HAUCK, R.D. (Ed.). **Nitrogen in crop production**. Madison: American Society of Agronomy, 1984. p.617-641.
- MARCELIS, L.F.M.; AMOR, F.M. del. Regulación de la absorción del calcio en el cultivo hidropónico del tomate en invernadero. **Agrícola Vergel**, v.291, p.142-148, 2006.
- MIKKELSEN, R.L. Tomato flavour and plant nutrition: a brief review. **Better Crops with Plant Food**, v.89, p.14-15, 2005.
- MULHOLLAND, B.J.; FUSSELL, M.; EDMONDSON, R.N.; BASHAN, J.; MCKEE, J.M.T. Effect of VDP, K nutrition and root zone temperature on leaf area development, accumulation of Ca and K and yield in tomato. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.76, p.641-647, 2001.
- RODRÍGUEZ, G.; GÓMEZ, O. Evaluación de híbridos F₁ adaptados al sistema de cultivo protegido. **Temas de Ciencia y Tecnología**, v.25, p.7-12, 2005.
- SALGADO, P.J.M.; MÉNDEZ, M.; HERNÁNDEZ, M.I.; BRUZÓN, O.; VOLUMEN, S.; CAÑET, F. Empaque en la conservación poscosecha en híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Temas de Ciencia y Tecnología**, v.29, p.17-29, 2005.
- SUBBIAH, K.; PERUMAL, R. Effect of calcium sources concentration, stages and number of sprays on physiological properties of tomato fruit. **South Indian Horticulture**, v.38, p.20-27, 1990.
- VILLARREAL ROMERO, M.; GARCÍA ESTRADA, R.S.; ENCISOL, T.O.; ARMENTA, A.D. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad postcosecha de tomate en fertirriego. **Terra**, v.20, p.311-320, 2002.

Recibido el 23 de enero de 2008 y aceptado el 5 de mayo de 2009