

# RANGO CRÍTICO DE NITRÓGENO Y POTASIO EN HOJAS INDICADORAS PARA DOS ÉPOCAS DE PLANTACIÓN EN EL CULTIVO PROTEGIDO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) HIBRIDO HA-3019

María I. Hernández<sup>✉</sup>, N. J. Arozarena y Marisa Chailloux

**ABSTRACT.** This study was carried out at *Liliana Dimitrova* Horticultural Research Institute, with the objective of proposing critical N and K ranges to protected tomato crop for its different growth and developing cycle stages. Four N/K ratios (1:1.5, 1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0) were studied at two planting times, spring-summer (*EPV*) and winter (*EI*), on a compacted Red Ferralitic soil. Treatments started to differentiate after the third bunch setting (beginning phase III) and up to the end of planting. Yield per commercial quality category and percentage of N and K were determined in indicator leaves five times during cropping cycle, comprising a period from the beginning of phase III to the end of phase IV (full production). The best behavior regarding yield structure was obtained with N/K ratios 1:2.0 and 1:2.5 in *EPV*, whereas 1:2.5 for *EI*. Leaf N and K concentrations tend to decrease with crop age, independently of the treatments and seasons studied; a similar performance is recorded at the critical nutrient range (*RCN*). Concerning 90-100 % of top yield, a critical N range was calculated at the beginning of phase III of 4.71-4.90 % (*EPV*) and 5.09-5.20 % (*EI*), meanwhile at full production values were 2.56-2.84 % (*EPV*) and 3.24-3.22 % (*EI*). *RCN* for K in phase III ranged from 4.90 to 4.96 % (*EPV*) and 4.29-4.35 % (*EI*), while in full production they were from 3.34 to 3.47 % (*EPV*) and 3.69-3.96 % (*EI*).

**RESUMEN.** Este estudio se realizó en el Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova, con el objetivo de proponer rangos críticos de N y K para diferentes etapas del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate. Se estudiaron cuatro relaciones N/K (1:1.5, 1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0) en dos épocas de plantación, primavera-verano (*EPV*) e invierno (*EI*), en un suelo Ferralítico Rojo compactado. Los tratamientos comenzaron a diferenciarse a partir del cuaje del tercer racimo (inicio fase III) y hasta el final de la plantación. Se determinaron el rendimiento por categoría de calidad comercial y porcentaje de N y K en hojas indicadoras en cinco momentos del ciclo del cultivo, abarcando un período entre el inicio de la fase III y final de la etapa de plena producción (fase IV). El mejor comportamiento en la estructura del rendimiento se obtuvo con las relaciones N/K de 1:2.0 y 1:2.5 en la *EPV*, mientras que con 1:2.5 para la *EI*. La concentración foliar de N y K tiende a descender con la edad del cultivo, independientemente de los tratamientos y las épocas estudiadas; un comportamiento similar se observa para el rango crítico de nutrientes (*RCN*). Para el 90 y 100 % del rendimiento máximo, se calculó un rango crítico de N al inicio de la fase III entre 4.71-4.90 % (*EPV*) y 5.09-5.20 % (*EI*), mientras que en plena producción fue de 2.56-2.84 % (*EPV*) y 3.24-3.22 % (*EI*). El *RCN* para K en la fase III osciló entre 4.90-4.96 % (*EPV*) y 4.29-4.35 (*EI*), mientras que en plena producción se cuantificaron valores entre 3.34-3.47 % (*EPV*) y 3.69-3.96 % (*EI*).

**Key words:** tomatoes, protected cultivation, nitrogen, potassium, leaves

**Palabras clave:** tomate, cultivo protegido, nitrógeno, potasio, hojas

## INTRODUCCIÓN

El análisis foliar constituye una herramienta importante en el diagnóstico de problemas nutricionales y monitoreo del fertirriego para el cultivo protegido de las hortalizas (1, 2).

Las hojas constituyen los tejidos vegetales que mayormente responden a cambios externos e internos en el suministro de los nutrientes, debido a que juegan un papel significativo en la fisiología de la planta, particularmente en el proceso de fotosíntesis; por tanto, se considera que es el órgano de la planta que desde el punto de vista metabólico refleja mejor el estado nutricional. Es por ello que al evaluar la condición nutrimental de un cultivo, comúnmente se realiza a partir de las concentraciones de nutrientes en sus tejidos foliares (3).

En el cultivo del tomate, para el análisis foliar se utiliza la hoja recientemente madura, que suele encontrarse entre la tercera y quinta hoja a partir del meristemo apical (4).

Ms.C. María I. Hernández, Investigadora Auxiliar y Dra.C. Marisa Chailloux, Investigadora Titular del Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova, km 33½ carretera Bejucal-Quivicán, Quivicán, La Habana, CP 33500; Dr.C. N. J. Arozarena, Investigador Titular del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical Alejandro de Humboldt (INIFAT), calle 2 esquina a 1, Santiago de las Vegas, Ciudad de La Habana.

✉ mariai@liliana.co.cu

Una vez que se cuente con los datos de concentración de nutrientes, corresponde la interpretación de los resultados a partir de la comparación de los análisis con las normas de referencias. Algunos de estos métodos emplean solo la comparación entre la concentración de un solo elemento y su norma, mientras que otros utilizan relaciones entre dos elementos e incluso relaciones multicomponentes (5, 6).

En el primer caso se encuentran los análisis tradicionales del nivel crítico y el rango de suficiencia o crítico de nutrientes. Este último se define como el rango de concentración de nutrientes para un estadio específico de crecimiento, sobre el cual el cultivo se encuentra ampliamente abastecido y bajo el cual se encuentra deficiente, trayendo como consecuencia una reducción significativa del rendimiento; normalmente se hace coincidir este rango con el 90 y 100 % del rendimiento máximo (7). El cálculo de estos niveles, para un rango que abarque una gran parte del ciclo del cultivo, daría la posibilidad de predecir en épocas tempranas del ciclo del cultivo, las posibles deficiencias que se traducirán en una disminución de su productividad.

Para el diagnóstico nutricional en el cultivo protegido del tomate, en las condiciones edafoclimáticas de Cuba, se toman como referencia escalas provenientes de otros ambientes. Por tal motivo, se precisa profundizar en aspectos referidos a las características fisiológicas y nutricionales del cultivo, y se identifica como problemática la insuficiencia de indicadores para el diagnóstico nutricional y seguimiento del sistema suelo-planta-agua, estudios que son necesarios para elevar la eficiencia de la nutrición y respaldar los programas de fertilización actuales.

Lo anterior indica que se necesita generar nuestros propios valores de comparación, los que reflejarían mejor el resultado de la integración de los factores que inciden en la producción. El presente trabajo tuvo como objetivo proponer rangos críticos de N y K para diferentes etapas del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate y en dos épocas de plantación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplimentar los objetivos propuestos, se llevó a cabo el presente estudio en áreas del Instituto de Investigaciones Hortícolas Lilliana Dimitrova, en el municipio de Quivicán, al sur de la provincia de La Habana, en los periodos comprendidos entre marzo-junio/2006 (primavera-verano) y septiembre/2006-enero/2007 (invierno). La experiencia se realizó en una casa de cultivo modelo A-12, con un área de 540 m<sup>2</sup> (12 m de ancho y 45 m de largo), una altura a la cumbre de 4 m, rafia plastificada en la parte superior, ventana cenital abierta y malla sombreadora (35 %) por los laterales y el frente (8). Se utilizó, como material vegetal, el híbrido de tomate HA-3019 (*Solanum lycopersicum* L.) de procedencia israelí.

El trasplante se realizó a los 25 días de establecido el semillero. Las plántulas se ubicaron a doble hilera en el cantero, con una densidad de población de dos plantas/m<sup>2</sup>. El manejo agronómico del cultivo se efectuó según lo establecido en el Manual para la producción protegida de hortalizas (8). Se estudiaron cuatro relaciones N/K en dos épocas de plantación (9): primavera-verano (EPV) e invierno (EI).

Los tratamientos estudiados fueron los siguientes: T1: relación N/K 1:1.5; T2: relación N/K 1:2.0; T3: relación N/K 1:2.5 (testigo de producción) y T4: relación N/K 1:3.0. La concentración de N fue igual para todas las variantes en estudio y la relación K<sup>+</sup>/Ca<sup>++</sup>+Mg<sup>++</sup> (meq.L<sup>-1</sup>) en las soluciones nutritivas evaluadas fue de 6:3:1. Durante la fase II, se mantuvo una relación N/K de 1:1 en la solución nutriente para todas las variantes. Los tratamientos comenzaron a diferenciarse a partir del inicio de la fase III. La Tabla I muestra la concentración de nutrientes y norma de riego diaria que recibió cada planta en cada fase de crecimiento y tratamiento.

**Tabla I. Concentración de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO en la solución nutriente y dosis de riego aplicadas en las diferentes fases de crecimiento y tratamientos estudiados en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019**

Fases <sup>(1)</sup>	Tratamientos	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O (mg.L <sup>-1</sup> )	CaO	MgO	Dosis de riego <sup>(2)</sup> (L.planta.día <sup>-1</sup> )
I	T1, T2, T3 y T4	0	152	0	0	0	0.60/0.50
II	T1, T2, T3 y T4	105	114	108	64	15	0.85/0.70
III y V	T1: 1:1.5	161	114	240	286	68	1.20/1.00
	T2: 1:2.0	161	114	320	382	91	
	T3: 1:2.5	161	114	400	477	114	
	T4: 1:3.0	161	114	480	571	136	
IV	T1: 1:1.5	189	114	285	339	81	1.70/1.40
	T2: 1:2.0	189	114	380	454	108	
	T3: 1:2.5	189	114	475	568	135	
	T4: 1:3.0	189	114	570	679	162	

<sup>(1)</sup> Fase I: trasplante a emisión del primer racimo; Fase II: emisión del primer racimo hasta el cuaje del tercer racimo; Fase III: cuaje del tercer racimo hasta el inicio de la cosecha; Fase IV: inicio de la cosecha hasta plena producción; Fase V: plena producción hasta el final de la plantación

<sup>(2)</sup> Dosis de riego en la EPV/Dosis de riego en la EI

La parcela experimental fue de 18 m<sup>2</sup> (1.80 m de ancho y 10 m de longitud) con un total de 40 plantas/parcela. Cada tratamiento se ubicó en un cantero y cada variante constó de cuatro réplicas. El suelo es de tipo Ferralítico Rojo compactado (10), textura arcillosa, con pH ligeramente alcalino (7.20 por potenciometría), altos contenidos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (65.29 mg.100g<sup>-1</sup> según el método de Oniani) y K<sub>2</sub>O (50.26 mg.100g<sup>-1</sup> con el mismo método que el P) y materia orgánica baja (2.42 % según el método de Walkey-Black).

El agua de riego se considera dura (11), por su alto contenido de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (>2.50 meq.L<sup>-1</sup>), Ca<sup>++</sup> (>2.15 meq.L<sup>-1</sup>) y Mg<sup>++</sup> (>1.50 meq.L<sup>-1</sup>), neutra a levemente alcalina (pH entre 7.00 y 7.50) y con bajo riesgo de salinidad (CE<0,80 mS.cm<sup>-1</sup>), como se muestra en la Tabla II.

En la Tabla III aparecen reflejadas las variables de clima que caracterizaron las dos épocas estudiadas; en todos los casos los valores fueron superiores en el interior de la instalación. Las temperaturas máxima, mínima y media promedio se ubican fuera de los rangos óptimos (1822°C), necesarios para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo en plantas de tomate, con excepción de la temperatura mínima, para los períodos correspondientes a las fases III, IV y V en la EI y a las fases I y II para la EPV. La humedad relativa se encuentra dentro de lo permisible (60-80 %) para esta hortaliza (9).

El cálculo de los aportes de fertilizantes (g.m<sup>-3</sup>) se efectuó teniendo en cuenta los contenidos de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> presentes en el agua de riego. Las necesidades nutritivas de la plantación se cubrieron con los siguientes portadores: H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y MgSO<sub>4</sub>.

Durante el desarrollo del cultivo se efectuaron entre nueve y 12 cosechas, y el período de recolección tuvo una duración entre 41–56 días (EI) y 45–50 días (EPV). Se realizaron las siguientes evaluaciones:

*Rendimiento (t.ha<sup>-1</sup>)*. Se cuantificó el rendimiento individual en las categorías de calidad extra (diámetro ecuatorial del fruto >75 mm), primera (entre 65-74 mm), extra+primera (E+P) y segunda (entre 55-64 mm), mientras que el rendimiento total se calculó sobre la base de la masa de todos los frutos por parcela.

*Concentración de macronutrientes en hojas indicadoras (%)*. En cinco momentos del ciclo del cultivo, se determinaron los contenidos foliares de N y K (40, 52, 60, 74 y 84 ddt para la EPV y 43, 53, 64, 76 y 88 ddt para la EI). Cada muestra estuvo conformada por 30 hojas, correspondientes a la cuarta y quinta hojas más desarrolladas a partir del ápice. Posteriormente, se pesaron y secaron en estufa a 65°C, se molieron y se les calculó el porcentaje de N (Nessler y lectura en el espectrofotocolorímetro a 415 nm) y K (lectura en el fotómetro de llama, directamente a la muestra digerida y diluida).

**Tabla II. Caracterización del agua de riego en dos momentos del ciclo del tomate, híbrido HA-3019, en condiciones de cultivo protegido y dos épocas de estudio**

Época	Fecha de muestreo	Aniones				Cationes			pH	CE (mS.cm <sup>-1</sup> )
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	(meq.L <sup>-1</sup> ) K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>		
Primavera-verano	30/3/2006	0.12	5.00	0.52	0.06	3.20	2.06	0.71	7.10	0.53
	15/5/2006	0.49	5.03	1.65	0.92	4.77	1.89	0.80	7.30	0.78
Invierno	30/08/2006	0.15	4.41	1.50	0.08	2.70	0.57	0.63	7.05	0.72
	03/11/2007	0.10	5.49	0.61	0.06	2.41	0.57	0.59	7.10	0.65

**Tabla III. Caracterización de algunas variables de clima en el interior (I) y exterior (E) de la instalación por fases de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019, para dos épocas de plantación**

Época	Fases	Temperatura máxima (°C)		Temperatura mínima (°C)		Temperatura media (°C)		Humedad relativa (%)	
		I	E	I	E	I	E	I	E
Primavera-verano	I	32.69	29.00	19.00	17.31	25.85	23.16	63.43	60.86
	II	32.93	31.13	18.80	17.47	25.87	24.30	69.44	65.56
	III	34.79	32.79	23.79	22.69	29.29	27.74	73.63	69.25
	IV	36.00	34.04	23.21	22.64	29.61	28.34	77.53	70.60
	V	36.40	34.20	24.40	22.60	30.40	28.40	78.00	69.33
	Media	34.56	32.23	21.84	20.54	28.20	26.39	72.41	67.12
Invierno	I	37.13	35.33	23.60	23.00	30.37	29.17	66.78	62.44
	II	35.53	34.87	23.27	22.20	29.40	28.54	65.11	63.56
	III	35.19	33.50	21.81	20.81	28.50	27.16	69.40	64.22
	IV	32.55	29.62	19.41	18.38	25.98	24.00	66.47	61.29
	V	29.17	27.42	15.08	14.50	22.13	20.96	69.00	62.50
	Media	33.91	32.15	20.63	19.78	27.28	25.97	67.35	62.80

**Rango crítico de nutrientes (RCN) para N y K.** Se empleó la siguiente metodología de trabajo (7):

1. Determinación del rendimiento relativo (RR= Rendimiento Real/Rendimiento Máximo x 100) en cada variante estudiada, para posteriormente definir la ecuación de tendencia que caracterizó la respuesta del cultivo ante la aplicación de diferentes relaciones N/K.
2. Curvas de ajuste, ecuaciones y coeficientes de determinación, que caracterizan la evolución de la concentración de N y K durante el período muestreado a diferentes relaciones N/K estudiadas.
3. Ecuaciones y coeficientes de determinación, que caracterizan la relación entre la concentración foliar de N y K para cada momento de muestreo, y el rendimiento relativo del cultivo en las dos épocas de estudio a partir de un modelo cuadrático.
4. Estimación de la concentración de N y K (%) al rendimiento máximo y al 90 % en cada momento de muestreo.
5. Los valores estimados de concentración foliar de N y K (%) en cada muestreo, para el 90 y 100 % del rendimiento, se utilizaron para definir las curvas y ecuaciones que delimitan y permiten calcular el RCN en el período muestreado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de calidad extra, primera, E+P y total en la EPV mostró los mayores valores en las relaciones N/K 1:2.0 y 1:2.5. Se observó que un incremento de la relación N/K en el tratamiento 4 (1:3.0) provocó una disminución en la producción del cultivo para estas categorías (Tabla IV). Las relaciones N/K 1:2.0 y 1:2.5 permitieron, además, disminuir significativamente la producción de segunda, sin diferencias entre ellas, aspecto que eleva el valor comercial del cultivo. Los rendimientos comerciales y totales cuantificados son aceptables para la época de estudio.

Sin embargo, al analizar la EI se encontró que, a diferencia de la EPV, el rendimiento en las categorías extra, E+P y total aumentó significativamente con el incremento de la relación N/K hasta un valor de 1:2.5, por lo que en esta variante se cuantificaron las mayores producciones. La relación N/K 1:2.5 permitió obtener en la

EI, rendimientos comerciales y totales característicos del híbrido utilizado, con una producción de segunda significativamente inferior al resto de los tratamientos.

Al igual que para la EPV, se observó una depresión de los rendimientos en el tratamiento 4. Esta disminución de la producción puede explicarse a partir del modelo de relaciones matemáticas que estableció Mitscherlich entre la producción de un cultivo y la aplicación de un nutriente, quien indicó que existe una zona de deficiencia, otra de suficiencia y una zona de toxicidad, donde la aplicación de un determinado elemento provoca reducción del crecimiento o la producción (12).

Los resultados demuestran que con un adecuado manejo de la relación N/K en el fertirriego, es posible incrementar el rendimiento comercial en el cultivo protegido del tomate, aun cuando el suelo presenta altos contenidos de K. En relación con este comportamiento, se plantea que a pesar de que los suelos Ferralíticos Rojos presentan altos contenidos del macronutriente y que las aplicaciones vía fertirriego superan los 800 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, los productores encuentran contenidos bajos de K<sup>+</sup> asimilable al utilizar instrumentos de medición y kits para el diagnóstico nutricional *in situ* (13, 14).

Lo anterior puede estar determinado por varios factores: los altos rendimientos que se obtienen, la utilización de híbridos de crecimiento rápido, con elevadas acumulaciones de biomasa vegetal y consumos diarios de nutrientes, la rápida movilidad del K y su interacción con el resto de los cationes en el complejo de intercambio, el escaso volumen de suelo ocupado por el sistema radical, así como la alta concentración de raíces en el bulbo húmedo que provoca el agotamiento de las reservas del suelo. Todos estos elementos hacen que sea preciso aplicar fertilizantes potásicos, vía fertirriego y de manera sistemática en el cultivo protegido del tomate.

Por otra parte, al parecer, la utilización de una relación N/K de 1:2.0 en fertirriego en el cultivo protegido del tomate durante la EPV es suficiente, para lograr una adecuada estructura de calidad del rendimiento y contrarrestar las pérdidas de energía, que supone el incremento de la respiración y transpiración de las plantas a temperaturas elevadas, mientras que en períodos más favorables de clima, como los que se presentan en la EI, la relación debe ser más amplia (1:2.5), debido posiblemente a que se obtiene un mayor rendimiento.

**Tabla IV. Rendimiento por categorías y total (t.ha<sup>-1</sup>) en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019, para cada tratamiento y época estudiada**

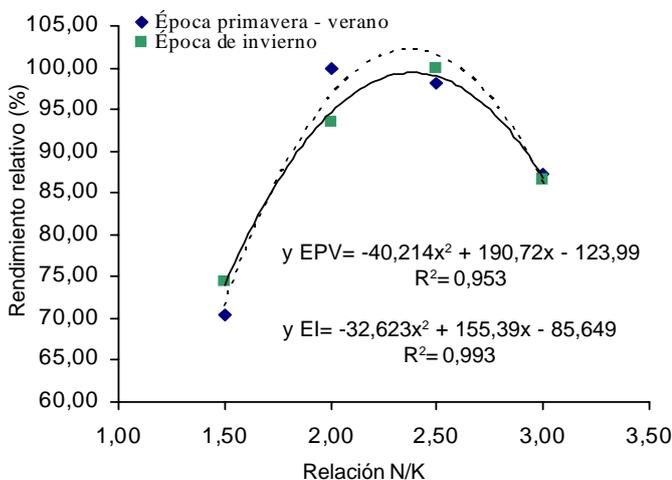
Época	Tratamientos	Extra	Primera	E+P	Segunda	Total
Primavera-verano	1:1.5	34.54 c	13.21 c	47.75 c	4.29 b	52.03 c
	1:2.0	48.89 a	21.39 a	70.28 a	3.55 c	73.83 a
	1:2.5	46.88 a	22.24 a	69.13 a	3.28 c	72.40 a
	1:3.0	39.54 b	19.04 b	58.58 b	5.93 a	64.51 b
	Esx	1.053 **	0.686**	0.262**	0.415***	1.090***
Invierno	1:1.5	35.44 c	22.23	57.67 d	9.03 a	66.70 c
	1:2.0	46.13 b	23.19	69.32 b	7.13 bc	76.44 b
	1:2.5	52.21 a	23.19	75.40 a	6.29 c	81.69 a
	1:3.0	38.36 c	24.34	62.70 c	8.01 b	70.71 c
	Esx	0.726 ***	0.304 ns	0.780***	0.280***	1.495 ***

ns: no existieron diferencias significativas entre las relaciones N/K estudiadas para P=0.05

\*, \*\* y \*\*\*: existieron diferencias significativas entre las relaciones N/K estudiadas para P=0.05, P=0.01 y P=0.001 respectivamente

No obstante, existe en Cuba el concepto generalizado de que siempre un aumento de la relación N/K trae consigo efectos positivos en la producción del tomate, sobre todo en períodos donde las condiciones de clima son desfavorables para el cultivo. Este estudio demuestra que esto es posible solo hasta un determinado valor y que la relación N/K a utilizar dependerá, entre otros factores, de la época de plantación.

En la Figura 1 se muestran las curvas y ecuaciones de tendencia, que caracterizan la relación entre el rendimiento relativo y los tratamientos estudiados para las dos épocas de estudio. El mejor ajuste se obtuvo con el modelo cuadrático con valores de  $R^2$  altos y significativos. El rango de la relación N/K, que se estima para el cálculo del RCN, se encuentra aproximadamente entre 1:1.83-1:2.15 para la EPV y entre 1:1.86-1:2.38 para la EI.

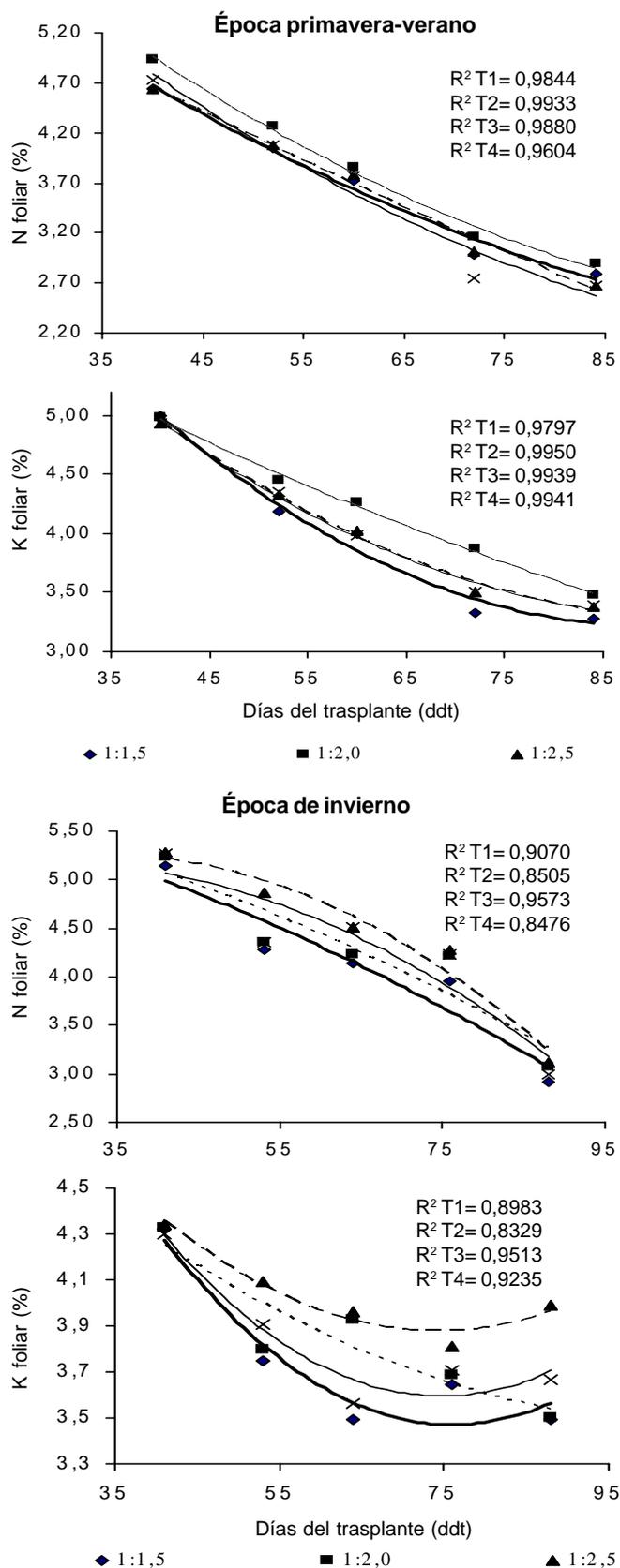


**Figura 1. Relación entre los tratamientos estudiados y el rendimiento relativo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019, para dos épocas de estudio**

La concentración foliar de N y K desciende con la edad del cultivo, independientemente de los tratamientos y las épocas estudiadas (Figura 2). Investigaciones referentes al tema, tanto nacionales como internacionales, muestran resultados similares y se establece que la concentración de estos dos elementos en base a la materia seca disminuye con la edad de la planta y sus órganos, debido a un aumento del porcentaje de peso seco estructural y un efecto de dilución o distribución del elemento en una mayor biomasa vegetal (15, 16, 17).

La mayor concentración de N y K en la EPV se obtuvo con la relación N/K 1:2,0, mientras que en la EI correspondió a la relación N/K 1:2,5, tratamientos donde se obtuvieron los mejores resultados productivos en el cultivo protegido del tomate.

Como aspecto importante hay que señalar que, al parecer, el aumento de la concentración de  $K^+$  y la relación N/K en la solución nutritiva para el fertirriego en el cultivo protegido del tomate, ejerció un efecto sinérgico en la acumulación de N en hojas indicadoras, aun cuando las plantas recibieron iguales dosis de los elementos.



**Figura 2. Curvas y coeficientes de determinación que caracterizan la evolución de la concentración foliar de N y K durante el ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019, para cada tratamiento y época de estudio**

En este sentido, se plantea que la respuesta de la planta al N depende de las dosis de K o del K presente en el suelo y esta hipótesis se sustenta en que la absorción y el transporte del  $\text{NO}_3^-$  desde la raíz hacia la parte aérea de la planta, vía xilema, transporta también  $\text{K}^+$ , que luego desciende vía floema con el malato. Este último se descarboxila y el ión  $\text{HCO}_3^-$  formado es intercambiado con el  $\text{NO}_3^-$  de la rizosfera (18).

En la Tabla V aparecen las ecuaciones y los coeficientes de determinación, que caracterizan la relación entre la concentración foliar de N y K para cada momento de muestreo y el rendimiento relativo del cultivo en las dos épocas de estudio. En todos los muestreos se obtuvieron valores de  $R^2$  altos y significativos, lo que indica una estrecha relación entre ambas variables.

y 4,94-4,96 % respectivamente y entre 2,56-2,84 % y 3,34-3,47 % en el período de plena producción (82 ddt). En la época de invierno, las concentraciones críticas al inicio de la fase III (41 ddt) oscilaron entre 5,09-5,20 % (N) y 4,29-4,35 % (K), mientras que en el período de plena producción se mantuvieron entre 3,24-3,22 % de N y 3,69-3,96 % de K. Los niveles de estos nutrientes están, en general, dentro de los rangos de suficiencia localizados en la literatura internacional; se establece para el N un RCN con el inicio de la cosecha entre 3.78-4.46 %, mientras que para el K los rangos se encuentran entre 3.50-5.37 % (19, 20).

**Tabla V. Ecuaciones y coeficientes de determinación que muestran la relación entre la concentración de N y K foliar (%) con el máximo rendimiento relativo (%) en las dos épocas de estudio**

Época	Nutriente	Muestreos(ddt)	Ecuaciones de regresión	$R^2$	$y^{90\%}$	$y^{100\%}$
Primavera-verano	N	40	$y = 11.137 - 0.1554 x + 0.0009 x^2$	0.5949**	4.67	4.88
		52	$y = 10.038 - 0.1428 x + 0.0008 x^2$	0.8421***	4.06	4.25
		60	$y = 5.1455 - 0.0363 x + 0.0002 x^2$	0.9391***	3.76	3.85
		72	$y = 20.716 - 0.4113 x + 0.0024 x^2$	0.9086***	2.82	3.19
		84	$y = 14.957 - 0.2793 x + 0.0016 x^2$	0.8979***	2.65	2.87
	K	40	$y = 9.9711 - 0.1125 x + 0.0006 x^2$	0.9750***	4.92	4.99
		52	$y = 1.8213 + 0.0457 x - 0.0002 x^2$	0.8567***	4.34	4.42
		60	$y = 13.741 - 0.2296 x + 0.0013 x^2$	0.9055***	3.98	4.24
		72	$y = 9.843 - 0.1651 x + 0.001 x^2$	0.8549***	3.48	3.83
		84	$y = 2.6737 + 0.0077 x + 0.000002 x^2$	0.8526***	3.38	3.46
Invierno	N	41	$y = 1.9163 + 0.0703 x - 0.0004 x^2$	0.9898***	5.28	5.29
		53	$y = 11.35 - 0.1822 x + 0.0012 x^2$	0.9972***	4.45	4.86
		64	$y = -1.1973 + 0.112 x - 0.0005 x^2$	0.7114**	4.44	4.52
		76	$y = -3.668 + 0.1678 x - 0.0009 x^2$	0.9973***	4.28	4.28
		88	$y = 0.866 + 0.0425 x - 0.0002 x^2$	0.8166***	3.06	3.11
	K	41	$y = 5.1127 - 0.0189 x + 0.0001 x^2$	0.6001**	4.32	4.34
		53	$y = 4.5017 - 0.0285 x + 0.0002 x^2$	0.9404***	3.92	4.09
		64	$y = -0.1433 + 0.0717 x - 0.0003 x^2$	0.5448*	3.82	3.95
		76	$y = 3.8387 - 0.0097 x + 0.00009 x^2$	0.9956***	3.73	3.81
		88	$y = 7.8695 - 0.1175 x + 0.0008 x^2$	0.9418***	3.67	3.99

$y^{90\%}$ : concentración de N y K foliar estimada para un rendimiento relativo del 90 %

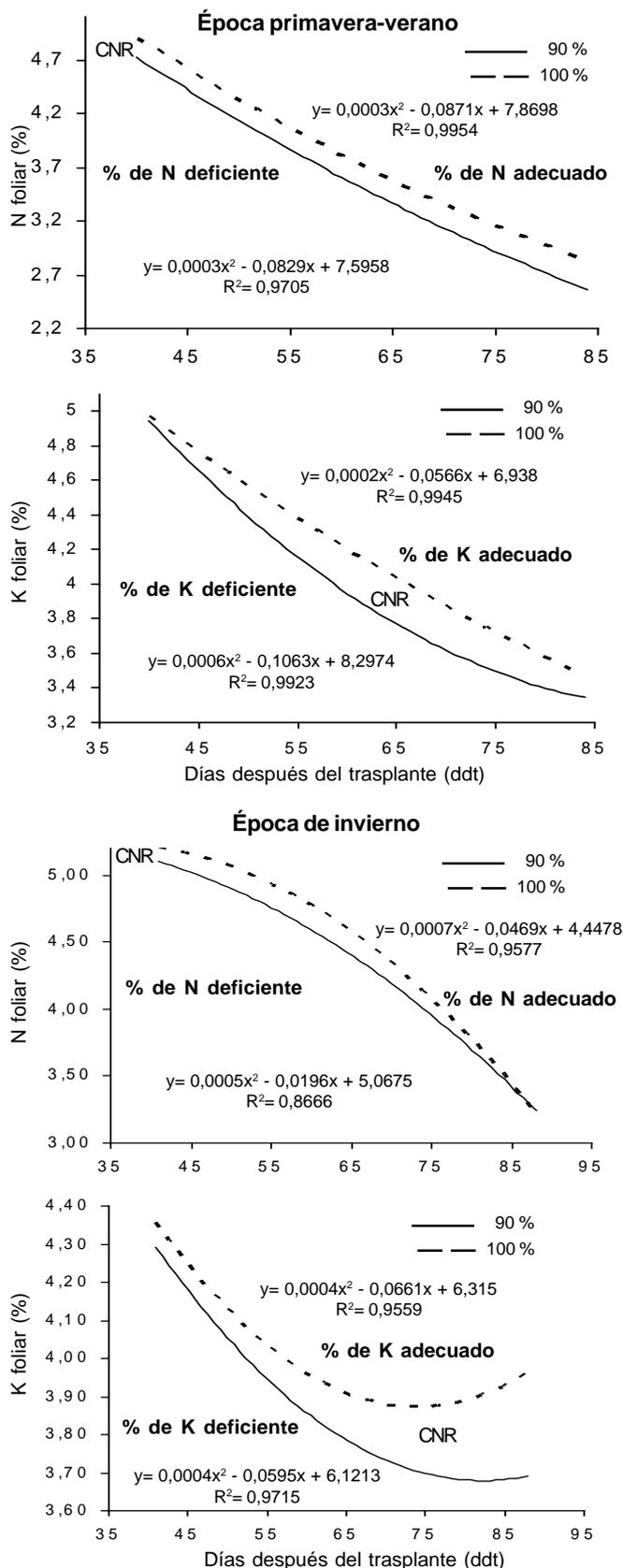
$y^{100\%}$ : concentración de N y K estimada para un rendimiento relativo del 100 %

\*, \*\* y \*\*\*: coeficientes de determinación positivos y significativos para  $P=0.05$ ,  $P=0.01$  y  $P=0.001$  respectivamente

Las ecuaciones identificadas se utilizaron para estimar las concentraciones N y K al 90 % ( $y^{90\%}$ ) y 100 % ( $y^{100\%}$ ) del rendimiento máximo relativo, con vistas a construir la Figura 3. El valor del RCN está comprendido entre la distancia vertical de las dos curvas. La Tabla VI muestra los índices críticos obtenidos a partir de la aplicación de la metodología del RCN, que pueden tomarse como indicadores para diagnosticar el estado nutricional del tomate en condiciones de casas de cultivo y en dependencia de la época de plantación.

La concentración crítica de N y K foliar disminuye con la edad de la planta. En la EPV, los rangos críticos al inicio de la fase III (40 ddt) se mantuvieron entre 4,71-4,90 %

Las concentraciones de N estimadas en la EI siempre fueron mayores a las de la EPV, mientras que las de K fueron menores hasta el inicio de la cosecha. La mayor concentración de N foliar en la EI pudo estar determinada por el efecto que este nutriente tiene en el crecimiento de las plantas, por lo que una mayor acumulación de biomasa en plantas cultivadas durante la EI provocó un consumo superior de N, que se reflejará en su estado nutricional (21). En cambio, el menor porcentaje de K foliar puede explicarse por un efecto de dilución o la presencia de caracteres productivos superiores en la EI, que provocó su movilización hacia los frutos en crecimiento.



**Figura 3. Rangos críticos de N y K foliar para un período comprendido entre el cuaje del tercer racimo (fase III) y el final de la fase de plena producción (fase IV) en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019 y en dos épocas de plantación**

**Tabla VI. Rangos de concentración crítica de N y K foliar para cada momento de muestreo y época estudiada, estimados a partir de las curvas que relacionan sus concentraciones al 90 y 100 % del rendimiento máximo y los días de evaluación**

Época	Muestreos (ddt)	N		K		N/K	
		90 %	100 %	90 %	100 %	90 %	100 %
Primavera-verano	40	4.71	4.90	4.94	4.96	0.95	0.99
	52	4.02	4.21	4.29	4.48	0.94	0.94
	60	3.61	3.81	3.94	4.20	0.91	0.90
	72	3.05	3.27	3.57	3.81	0.84	0.86
	84	2.56	2.84	3.34	3.47	0.76	0.82
Invierno	41	5.09	5.20	4.29	4.35	1.17	1.19
	53	4.82	4.99	3.98	4.06	1.21	1.22
	64	4.44	4.61	3.79	3.91	1.17	1.17
	76	3.91	4.01	3.69	3.88	1.06	1.04
	88	3.24	3.22	3.69	3.96	0.87	0.81

Las altas concentraciones de K foliar en la EPV también pueden ser atribuidas a las condiciones de clima que caracterizaron el periodo de estudio. Las plantas de tomate se tornan exigentes al K cuando las temperaturas son elevadas, elemento necesario para controlar la transpiración de las plantas y evitar pérdidas de materia orgánica, debido al mayor consumo que genera el incremento de la respiración, en detrimento de la producción de esqueletos carbonatados, que siguen el camino de la biosíntesis de sustancias orgánicas estructurales (22, 23, 24).

Los resultados demuestran que se precisa, al realizar un diagnóstico nutricional del tomate en casas de cultivo, tener en cuenta todos los factores que inciden en su crecimiento, producción y consumo de nutrientes. Por tal motivo, los estudios del RCN deben ser repetidos, con la finalidad de abarcar las fluctuaciones anuales que se producen en el clima, las características propias de cada cultivar y variaciones que se presentan en los distintos tipos de suelos.

La aplicación de la metodología del RCN en el cultivo protegido de las hortalizas constituye un paso importante y de uso práctico, en el establecimiento de indicadores de referencia para el diagnóstico nutricional en condiciones de producción y constituye una herramienta importante para el monitoreo del fertirriego.

Por otra parte, en el cultivo protegido, el diagnóstico foliar adquiere especial significación, debido a las posibilidades que ofrece este sistema de solucionar desórdenes nutricionales durante un mismo ciclo de cultivo, no solo por las bondades que ofrece el fertirriego, sino también por la propia intensidad con que se desarrolla la planta y su capacidad para responder de manera rápida a una corrección nutricional.

## REFERENCIAS

1. Rezende, P. C. /et al./ Método DFT para producao de tomate em ambiente protegido. *Ciencia e Agrotecnología, Lavras*, 2007, vol. 31, no. 3, p. 713-719.

2. Araújo, C. /et al./ Critérios para a determinação da dose de nitrogênio a ser aplicada no tomateiro em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 2007, vol. 25, no. 3, p. 327-332.
3. Oliveira, M. Diagnóstico do estado nutricional do melão amarelo nos pólos de fruticultura de Icapuí, Mossoró e Baraúna utilizando o método DRIS. *CAATINGA, Mossoró-RN*, 2004, vol. 17, no. 2, p. 70-81.
4. Solorzano, L. Una aproximación a las relaciones nutricionales desde el enfoque de la estequiometría ecológica. /J. Flórez; A. Fernández; D. Miranda; B. Chávez y J. M. Guzmán. En: Avances sobre fertirriego en la floricultura colombiana. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 1979. 179-190 p.
5. Moreno, D. A. /et al./ Relationship between leaf micronutrient concentrations and fruit yield in new tomato cultivars. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2005, vol. 80, no. 4, p. 476-480.
6. Caires, O. S. /et al./ Crescimento, nutrição mineral e nível crítico foliar de K em mudas de umbuzeiro, em função da adubação potássica. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, 2007, vol. 31, no. 3, p. 636-642.
7. Roberts, S. y Dow, I. Critical nutrient ranges for petiole phosphorous levels of sprinkler-irrigated Russet Burbank potatoes. *Agronomy Journal*, 1982, vol. 74, no. 3, p. 583-585.
8. Casanova, A. /et al./ Manual para la producción protegida de hortalizas. 2da. ed. La Habana: Editora Lilibana, 2006. 125 p.
9. Gómez, O. /et al./ Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. La Habana: Editora Lilibana, 2000. 159 p.
10. Hernández, A. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: MINAG, 2000. 26 p.
11. Rottenberg, O. Manejo de la salinidad en la solución del sustrato en invernadero. México: Haifa Chemicals México (México, Centroamérica y el Caribe), 2006. 46 p.
12. Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2da. ed. New York: Academic Press, 1995. 196 p.
13. Monedero, M. /et al./ Evaluación de la salinidad en casas de cultivos establecidas sobre suelos Ferralíticos Rojos. En: Fórum Tecnológico Especial de Cultivo Protegido (III: 2004, dic. 20-21: La Habana). La Habana: Lilibana Dimitrova, 2004. 29 p.
14. Pupo, F. R. Caracterización de la nutrición del tomate en casas de cultivo para suelos Ferralíticos Rojos. La Habana: Editora Lilibana, 2004. 32 p.
15. Hernández, M. I. /et al./ Extracción y distribución de macronutrientes en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3105. En: Congreso Científico del INCA (XIV: 2004, nov. 9-12: La Habana) (CD-ROM). Memorias. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2004. ISBN 959702327X.
16. Abdalla, J. /et al./ Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 2002, vol. 20, p. 90-94.
17. Ruiz, C., Sánchez, A. y Tua, D. Efecto de la dosis de potasio y forma de colocación del potasio sobre la concentración foliar de macroelementos en el tomate. *Revista Facultad de Agronomía (Luz)*, 2006, vol. 23, p. 161-171.
18. Yamada, T. Como mejorar la eficacia de la fertilización aprovechando las interacciones con los nutrientes. *Informaciones Agronómicas*, 2003, vol. 50, p. 1-5.
19. Campbell, C. R. Reference sufficiency ranges vegetable crops. Tomato, greenhouse (en línea) [Consulta: 11-12-2006] Disponible: (<http://www.ncagr.com/AGRONOMI/saaesd/authors>).
20. Moltini, C. y Zamalvide, J. P. Manejo de la fertilización con boro y potasio en tomate. En: Reunión técnica: Resultados experimentales en tomate de mesa (8 dic., 2006). Uruguay: INIA, 2006. 17-43 p.
21. Hernández, M. I. /et al./ Relaciones nitrógeno/potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate. En: Congreso Científico del INCA (XVI: 2008, nov. 24-28: La Habana) (CD-ROM). Memorias. La Habana: Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2008. ISBN 9789591609533.
22. Xu, H.; Iraqi, L. y Gosselin, A. Effect of ambient humidity on physiological activities and fruit yield and quality of greenhouse tomato. *Acta Horticulturae*, 2007, vol. 761, p. 85-92.
23. Amor, F. M. del y Marcelis, L. F. Regulation of growth and nutrient uptake under different transpiration regimes. *Acta Horticulturae*, 2005, vol. 697, p. 523-528.
24. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. Fundamentos de fisiología vegetal. 2da. ed. Barcelona: Ediciones Universidad, 2008. 656 p.

Recibido: 10 de febrero de 2009

Aceptado: 31 de julio de 2009