

# RELACIONES NITRÓGENO-POTASIO EN FERTIRRIEGO PARA EL CULTIVO PROTEGIDO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) Y SU EFECTO EN LA ACUMULACIÓN DE BIOMASA Y EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES

María I. Hernández✉, Marisa Chailloux, V. Moreno, M. Mojena y Julia M. Salgado

**ABSTRACT.** The present study was carried out at *Liliana Dimitrova* Horticultural Research Institute, with the objective of evaluating the effect of nutrient solutions with different nitrogen/potassium fertigation ratios for protected tomato (HA-3019 hybrid) crop on biomass accumulation and macronutrient uptake within two planting times. Four N/K ratios (1:1.5; 1:2.0, 1:2.5 or production check, and 1:3.0) were studied in spring-summer season (March/July) and winter (September/January). Biomass accumulation ( $\text{g.m}^{-2}$ ) and N, P, K, Ca and Mg consumption were determined per plant organ and total biomass ( $\text{g.m}^{-2}$ ) for each treatment. In winter, dry weight and N, K and Ca uptake were significantly higher than in spring-summer season, whereas the top growing and nutrient consumption period corresponded to full production phase. The lowest leaf, stem and total biomass production corresponded to N/K ratio 1:1.5 in spring-summer; meanwhile dry fruit weight was significantly higher for N/K ratios 1:2.0 and 1:2.5. In winter season, significant fruit and total biomass values were recorded for N/K ratio 1:2.5 (production check); however, leave growth was similar in treatments 2, 3 and 4 (1:2.0, 1:2.5 and 1:3.0). Macronutrient extraction showed a similar behaviour to that obtained for biomass accumulation.

**Key words:** tomatoes, nutrient solutions, nitrogen, potassium, protected cultivation, plant response

## INTRODUCCIÓN

La fertilización constituye una de las prácticas de manejo indispensables para la explotación sostenible de la tecnología del cultivo protegido de las hortalizas y se

**RESUMEN.** El presente estudio se realizó en el Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova, con el objetivo de evaluar el efecto de soluciones nutritivas con diferentes relaciones nitrógeno/potasio para el fertirriego en el cultivo protegido del tomate (híbrido HA-3019) en la acumulación de biomasa y extracción de macronutrientes en dos épocas de plantación. Se estudiaron cuatro relaciones N/K (1:1.5, 1:2.0, 1:2.5 o testigo de producción y 1:3.0) en época de primavera-verano (marzo/julio) e invierno (septiembre/enero). En cada tratamiento se determinaron la acumulación de biomasa ( $\text{g.m}^{-2}$ ) y el consumo de N, P, K, Ca y Mg en cada órgano de la planta y total ( $\text{g.m}^{-2}$ ). Durante la época de invierno, la masa seca y extracción de N, K y Ca fueron significativamente superiores a la época primavera-verano, mientras que el período de máximo crecimiento y consumo de nutrientes correspondió a la fase de plena producción. La menor producción de biomasa en hojas, tallo y total en primavera-verano correspondió a la relación N/K 1:1.5, mientras que la masa seca en frutos fue significativamente superior en las relaciones N/K 1:2.0 y 1:2.5. En la época de invierno, se cuantificaron valores significativos de biomasa en frutos y total en la relación N/K 1:2.5 (testigo de producción); en cambio, el crecimiento en las hojas fue similar en los tratamientos 2, 3 y 4 (1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0). La extracción de macronutrientes mostró un comportamiento similar al obtenido para la acumulación de biomasa.

**Palabras clave:** tomate, soluciones nutritivas, nitrógeno, potasio, cultivo protegido, respuesta a la planta

ha podido comprobar que, dentro de ella, el establecimiento de relaciones N/K idóneas por fases de desarrollo aparece como uno de los problemas fundamentales que, desde el punto de vista nutricional, inciden en la productividad y calidad de la cosecha para el cultivo protegido del tomate en las condiciones del trópico cubano (1).

Esta preocupación tiene su fundamento en que la relación N/K además de regular la aparición de determinados desórdenes fisiológicos que demeritan la calidad de los frutos (2, 3, 4), determina el equilibrio entre los procesos de crecimiento y fructificación, interviene en una adecuada partición de la biomasa vegetal y en una mayor eficiencia del proceso fotosintético, como resultado de la relación que se establece entre el  $\text{CO}_2$  asimilado y el

Ms.C. María I. Hernández y Ms.C. Julia M. Salgado, Investigadoras Auxiliares, Dra.C. Marisa Chailloux, Investigadora Titular del Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliana Dimitrova, km 33½ carretera Bejucal-Quivicán, Quivicán, La Habana, CP 33500; V. Moreno, Grupo Empresarial Frutícola, Ave. Independencia, entre Tulipán y Conill, Cerro, Ciudad de La Habana y Dr.C. M. Mojena, Comercial Caimán Internacional SA, Centro de Negocios Zona Franca, Ave. Los Desamparados no. 166, entre Habana y Compostela, Habana Vieja, Ciudad de La Habana.

✉ mariaial@liliana.co.cu

respirado, o lo que es lo mismo, un balance fisiológico correcto entre la fotosíntesis, transpiración, respiración y el transporte de asimilados (5, 6).

Por tales motivos, la relación N/K contribuye a la formación del rendimiento en el cultivo protegido del tomate. El efecto negativo de un exceso de N es especialmente notable, cuando las dosis de K son más bajas; de igual forma, un déficit de N trae como consecuencia paredes celulares delgadas, tallos débiles y una insuficiente producción de biomasa, aún en el caso de que el suministro de K sea elevado (3, 7).

Por otra parte, aunque se ha demostrado que el fertirriego es una técnica exitosa, aún persisten problemas nutrimentales que son indispensables resolver, como es precisar las dosis de fertilizantes que deben aplicarse para incrementar la eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes y fomentar la rentabilidad de la producción sin deterioro de los recursos naturales. Una forma de proceder es mediante la cuantificación de la demanda diaria del cultivo, lo que permitiría hacer los ajustes necesarios en el manejo de la fertilización.

Para calcular la demanda total de un cultivo, se sugiere hacerlo a través de la meta de rendimiento en materia seca total, siempre y cuando se tengan en cuenta los factores de clima, suelo, genéticos y de calidad de las aguas de riego que inciden en el crecimiento y la productividad de los cultivos (7, 8). Basado en lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia de la relación N/K en la solución nutritiva para el fertirriego del tomate sobre la producción de biomasa y extracción de macronutrientes en dos épocas de plantación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplimentar los objetivos propuestos, se llevó a cabo este estudio en áreas del Instituto de Investigaciones Hortícolas «Liliana Dimitrova», en el municipio de Quivicán, al sur de la provincia de La Habana, a 22°23' N y 82°23' W, a una altura de 9-11 m snm, en los períodos

comprendidos entre marzo-julio/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 (9).

Como material vegetal se utilizó el híbrido de tomate HA-3019 (*Solanum lycopersicum* L.) de procedencia israelí, crecimiento determinado, ciclo entre 100 y 120 días, alto porcentaje de frutos comerciales y rendimiento promedio, para el trópico cubano, entre 60 y 80 t.ha<sup>-1</sup>, así como alta resistencia al virus del encrespamiento amarillo de la hoja de tomate (9, 10).

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 (9).

Se estudiaron cuatro relaciones N/K (mg.L<sup>-1</sup>) en dos épocas de plantación: primavera-verano (EPV) e invierno (EI) (9, 11). Los tratamientos se diseñaron a partir de un testigo de producción (N/K 1:2,5) (9), garantizando un rango de valores desde una relación mínima (N/K 1:1,5) a máxima (N/K 1:3,0), como se observa en la Tabla I. 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 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 CaO y MgO en función de la del K<sub>2</sub>O, manteniendo una relación K<sub>2</sub>O/CaO+MgO en todas las soluciones nutritivas evaluadas de 0.68 (9). Durante la fase II del ciclo del cultivo, se mantuvo una relación N/K de 1:1 en todas las variantes estudiadas. Los tratamientos comenzaron a diferenciarse a partir del cuaje del tercer racimo y hasta el final de la plantación.

**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. Se presentan los valores de conductividad eléctrica (CE) cuantificados en la solución fertilizante (SF) y solución del suelo (SS)**

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.pl.día <sup>-1</sup> )	CE en la SF <sup>(2)</sup> (mS.cm <sup>-1</sup> )	CE en la SS <sup>(2)</sup> (mS.cm <sup>-1</sup> )
I	–	0	152	0	0	0	0.60/0.50	–	–
II	–	105	114	108	64	15	0.85/0.70	1.21/1.31	1.32/1.45
III y V	T1: 1:1.5	161	114	240	286	68	1.20/1.00	1.62/1.79	1.20/1.53
	T2: 1:2.0	161	114	320	382	91		1.76/2.06	1.82/1.99
	T3: 1:2.5	161	114	400	477	114		1.93/2.26	2.34/2.42
	T4: 1:3.0	161	114	480	571	136		2.15/2.53	3.03/3.25
IV	T1: 1:1.5	189	114	285	339	81	1.70/1.40	1.63/1.93	1.41/1.76
	T2: 1:2.0	189	114	380	454	108		1.94/2.28	2.43/2.33
	T3: 1:2.5	189	114	475	568	135		2.17/2.60	2.90/2.82
	T4: 1:3.0	189	114	570	679	162		2.52/3.07	3.15/3.54

<sup>(1)</sup>: 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

<sup>(2)</sup>Dosis de riego y CE en la época primavera-verano/Dosis de riego y CE en invierno

Se colocó un recipiente debajo del gotero, con el objetivo de coleccionar la solución nutriente emitida durante todo el fertirriego y determinar la CE y el pH en la SF dos veces en cada fase del cultivo. Para la caracterización de la 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 pHmetro digital modelos HANNA. El pH de la SF y SS se mantuvo entre 6.15-6.30 y 7.03-7.10 respectivamente.

El área experimental constó de seis canteros con dos líneas de goteros cada uno y los tratamientos se ubicaron en los cuatro canteros centrales. La parcela fue de 18 m<sup>2</sup> (1.80 m de ancho y 10 m de longitud) con un total de 40 plantas.parcela<sup>-1</sup>. Cada tratamiento se ubicó en un cantero y cada variante se dividió en cuatro réplicas.

Los experimentos se establecieron en un suelo Ferralítico Rojo compactado (12), caracterizado por poseer un pH ligeramente alcalino (7.42), altos contenidos de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (65.29 mg.100g<sup>-1</sup>) y K<sub>2</sub>O (50.26 mg.100g<sup>-1</sup>) y bajos en materia orgánica (2.42 %). El K<sup>+</sup> y Ca<sup>++</sup> intercambiable fueron altos (1.83 y 12.93 cmol.kg<sup>-1</sup> respectivamente), Mg<sup>++</sup> medio (1.23 cmol.kg<sup>-1</sup>) y Na<sup>+</sup> bajo (0.23 cmol.kg<sup>-1</sup>).

Las temperaturas máxima, mínima y media se ubican fuera de los rangos óptimos (18-22°C), necesarios para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo en plantas de tomate (Tabla II), con excepción de la temperatura mínima en las fases III, IV y V de la EI y las fases I y II de la EPV.

La humedad relativa se encuentra dentro de lo permisible para esta hortaliza (60-80 %) y, en el caso de la radiación solar, solo se cuantificaron valores recomenda-

bles para el cultivo en el interior de la instalación (150-200 W.m<sup>-2</sup>) en las fases IV y V de la EPV (11).

El agua de riego se considera dura (13) 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>). 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>.

Para determinar la respuesta del cultivo a las relaciones N/K estudiadas, en cuanto a crecimiento y extracción de nutrientes, se realizaron las siguientes evaluaciones: *Biomasa total y por órgano en cada tratamiento (g.m<sup>-2</sup>)*: Se determinó en el momento del trasplante y al final de las fases I, II, III y IV del ciclo del cultivo, en cinco plantas por evaluación y tratamiento, y se dividieron en raíz, tallo, hojas y frutos. Cada muestra se secó en una estufa a 65°C y la masa seca (g), correspondiente a cada órgano y total de la planta, se determinó en balanza técnica. Las fracciones que se obtuvieron del deshoje y deshije en 10 plantas se incorporaron a la fracción de hojas de la fase de crecimiento en que se encontraba el cultivo. De igual forma, se adicionó la fracción de frutos recolectados entre muestreos.

*Consumo de nutrientes en cada órgano de la planta y total (g.m<sup>-2</sup>)*. Se determinaron, en cada órgano de la planta y al final de las fases I, II, III y IV, los contenidos de N, P, K, Ca y Mg. El consumo de macronutrientes se calculó a partir de la siguiente fórmula: Q=BxE/100, donde Q: consumo (g.m<sup>-2</sup>), B: Biomasa (g.m<sup>-2</sup>) y E: porcentaje del elemento en materia seca (%).

**Tabla II. 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 del tomate, híbrido HA-3019, para dos épocas de plantación**

Época	Fases	Temperatura máxima (°C)		Temperatura mínima (°C)		Temperatura media (°C)		Humedad relativa (%)		Radiación solar (W.m <sup>-2</sup> )	
		I	E	I	E	I	E	I	E	I	E
EPV	I	32.69	29.00	19.00	17.31	25.85	23.16	63.43	60.86	89.79	109.58
	II	32.93	31.13	18.80	17.47	25.87	24.30	69.44	65.56	108.16	133.13
	III	34.79	32.79	23.79	22.69	29.29	27.74	73.63	69.25	110.88	136.09
	IV	36.00	34.04	23.21	22.64	29.61	28.34	77.53	70.60	149.34	157.62
	V	36.40	34.20	24.40	22.60	30.40	28.40	78.00	69.33	160.23	199.82
	Media	34.56	32.23	21.84	20.54	28.20	26.39	72.41	67.12	123.68	147.25
EI	I	37.13	35.33	23.60	23.00	30.37	29.17	66.78	62.44	106.73	160.48
	II	35.53	34.87	23.27	22.20	29.40	28.54	65.11	63.56	89.18	134.82
	III	35.19	33.50	21.81	20.81	28.50	27.16	69.40	64.22	66.44	105.28
	IV	32.55	29.62	19.41	18.38	25.98	24.00	66.47	61.29	59.60	95.66
	V	29.17	27.42	15.08	14.50	22.13	20.96	69.00	62.50	54.35	88.97
	Media	33.91	32.15	20.63	19.78	27.28	25.97	67.35	62.80	75.26	117.04

Para el procesamiento matemático de la información, se realizó el análisis de varianza de clasificación simple para un diseño de bloques al azar. Las medias se compararon, en los casos que fue necesario, mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. Se comprobó la normalidad mediante los estadígrafos de asimetría y curtosis, y la homogeneidad de varianza con la dócima de Bartlett. La evolución en el tiempo de las variables producción de biomasa y extracción de macronutrientes se caracterizó a partir de una función polinómica de segundo orden, teniendo en cuenta que las variables incluidas presentaron una respuesta significativa expresada mediante su coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la EI, la biomasa en todos los órganos de la planta y total fue significativamente superior a la EPV (Tabla III). La EI se caracterizó por presentar condiciones de clima más favorables, principalmente durante las fases de llenado del fruto y cosecha (a partir de la fase III), lo que pudo provocar que el cultivo del tomate presentara un crecimiento superior, expresado como acumulación de biomasa y una mejor distribución de los asimilados para sustentar el crecimiento de los sumideros, debido posiblemente a una estimulación y mayor eficiencia del proceso de fotosíntesis. Un aumento de la temperatura, radiación solar o concentración de  $CO_2$ , por encima o debajo del límite óptimo que se estableció para cualquier cultivo, va en detrimento de la producción de asimilados,

que siguen el camino de la biosíntesis de las sustancias orgánicas necesarias para el crecimiento, pues estos factores influyen en el balance que se establece entre el gasto de energía o pérdida de  $CO_2$  y la formación de estructuras celulares (14, 15).

La acumulación de biomasa por órgano y total en plantas de tomate aumenta con la edad del cultivo, independientemente de la época y los tratamientos estudiados, con valores de  $R^2$  positivos y significativos. La mayor producción se cuantificó al final del período de plena producción. En la fase I existió una escasa producción de biomasa y el orden por órgano se comportó como sigue: hojas>tallo>frutos>raíz, mientras que al iniciar la cosecha, las plantas llegan a acumular entre 72.93 (EPV) y 70.48 % (EI) de la biomasa total cuantificada en la última evaluación.

Desde ese momento y hasta el final del período de plena producción, los frutos realizaron la mayor contribución a la masa seca total (43.03 % en la EI y 45.23 % en la EPV).

Este comportamiento se debe a una alta demanda metabólica que ejercen los frutos en la planta durante su crecimiento y llenado, y que acontece aun cuando existen diferencias fenotípicas entre cultivares de una misma especie. Por otra parte, el orden de prioridad en la asignación de asimilados por órgano cambia con la etapa fenológica de la planta y el patrón de distribución es semejante para diferentes sistemas de cultivo, campo abierto o ambiente protegido, con la diferencia de que en el invernadero la acumulación de biomasa es mayor y el crecimiento más rápido (16, 17, 18).

**Tabla III. Efecto de la época de estudio en la producción de biomasa por órgano y total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019, al final de cada fase de crecimiento. Coeficientes de determinación que caracterizan la evolución de la acumulación de biomasa durante el ciclo del cultivo**

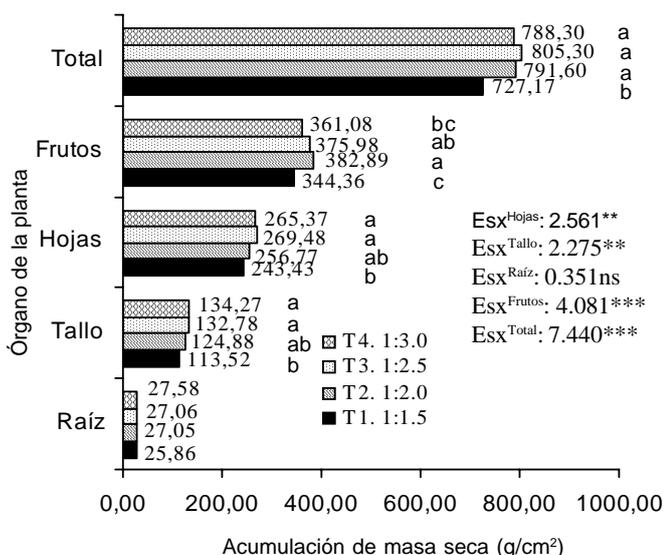
Fases	Época	Hojas	Tallo	Raíz (g.m <sup>-2</sup> )	Fruto	Total
I	Primavera-verano	29.06	21.63	10.83	–	61.52
	Invierno	38.75	31.91	14.10	–	84.78
	Esx	0.459**	0.393***	0.294***	–	0.924***
	CV (%)	16.83	21.71	19.45	–	17.81
II	Primavera-verano	95.63	57.68	18.23	34.98	206.53
	Invierno	112.52	60.60	22.34	54.04	249.53
	Esx	0.987***	0.526**	0.282**	1.071***	2.391***
	CV (%)	10.02	6.19	13.29	26.17	11.42
III	Primavera-verano	186.56	94.83	23.77	291.78	598.93
	Invierno	247.96	116.13	28.44	313.73	706.26
	Esx	1.421***	1.126***	0.543***	4.154**	4.568***
	CV (%)	14.86	12.53	15.68	10.15	9.78
IV	Primavera-verano	289.75	128.73	28.72	371.52	821.23
	Invierno	394.32	139.98	36.55	431.18	1002.04
	Esx	6.884***	1.466***	0.455***	3.550***	9.889***
	CV (%)	19.70	9.76	14.85	9.30	11.94
$R^2$	Primavera-verano	0.9844*	0.9653*	0.9893*	0.999*	0.9811*
	Invierno	0.9686*	0.9876*	0.9905*	0.998*	0.9744*

\*\* y \*\*\*: diferencias significativas entre las épocas estudiadas para  $P \leq 0.01$  y  $P \leq 0.001$  respectivamente

\*: coeficientes de determinación positivos y significativos

Las relaciones N/K estudiadas mostraron un efecto diferenciado, en cuanto a producción de biomasa por órgano y total, solo al final de la fase IV, tanto para la EPV como EI. Hay que tener en cuenta que las relaciones N/K comenzaron a diferenciarse con el inicio de la fase III, por lo que no era de esperar significación estadística entre tratamientos en las fases I y II, donde las plantas recibieron igual nutrición.

En la EPV se encontró que la menor producción de biomasa en hojas, tallo y total correspondió a la relación N/K 1:1.5, mientras que los tratamientos 2, 3 y 4 (1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0) mostraron los mayores valores, sin diferencias significativas entre ellos (Figura 1). La masa seca en frutos fue superior en las relaciones N/K 1:2.0 y 1:2.5, con tendencia a disminuir en la variante 4 (1:3.0).

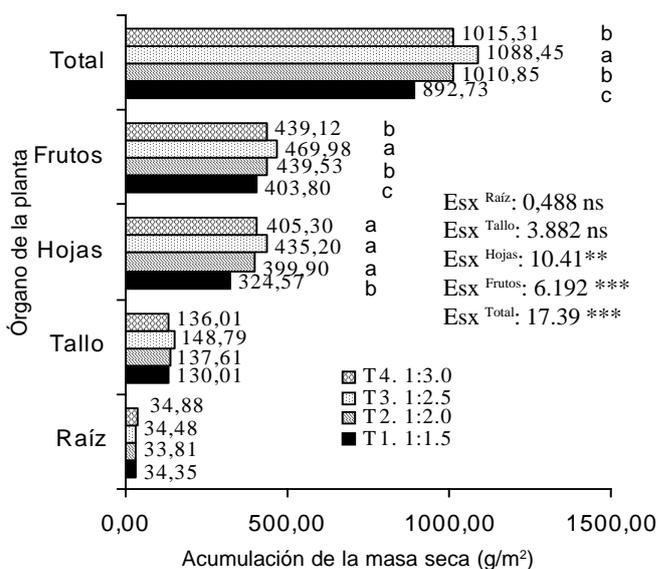


**Figura 1. Efecto de la relación N/K en la producción de biomasa por órgano y total al final del período de plena producción en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019, para primavera-verano**

En la EI se observó, para las hojas y el tallo, un comportamiento similar al obtenido en la EPV, con una menor producción de biomasa en la relación N/K 1:1.5 y valores superiores en el resto de los tratamientos (Figura 2). Sin embargo, la relación 1:2.5, testigo de producción, permitió obtener biomazas en frutos y total superiores al resto de las soluciones nutritivas, las cuales disminuyeron con la relación N/K 1:3.0.

Teniendo en cuenta los resultados del efecto de las relaciones N/K en la acumulación de biomasa en frutos, sería conveniente mantener, en condiciones de primavera-verano, una relación N/K de 1:2.0 en la solución nutritiva para el fertirriego del tomate y utilizar, en épocas tempranas, una relación N/K de 1:2.5 (testigo de producción), según las recomendaciones propuestas en los instructivos técnicos vigentes. Lo anterior se fundamenta en que la formación del rendimiento de un cultivo está dada por la capacidad de acumular biomasa en los órganos que

se destinan a la cosecha, así como los factores que determinan el uso de los asimilados en la planta, entre ellos el clima, manejo de la plantación y fertilización (6, 19).



**Figura 2. Efecto de la relación N/K en la producción de biomasa por órgano y total al final del período de plena producción en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019, para el invierno**

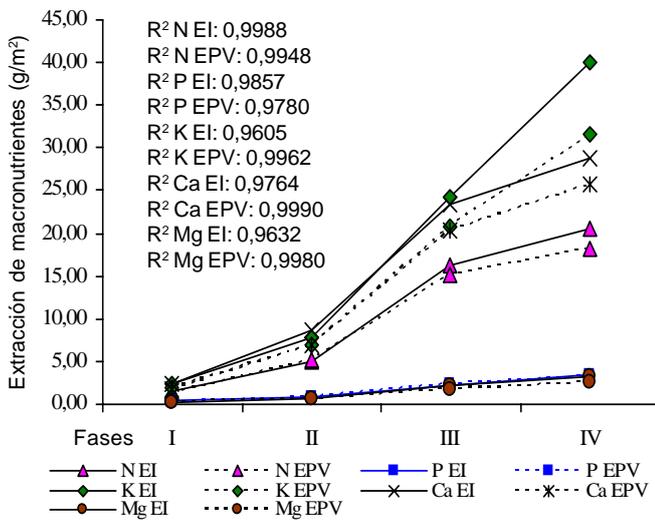
La tendencia que muestra la biomasa en frutos a disminuir con una relación N/K superior a 1:2.5 en la solución nutritiva en las dos épocas de estudio, se debe posiblemente a un efecto tóxico de la fertilización, que incluye no solo el aumento de la concentración de K a expensas del N, sino también del Ca y Mg en la solución nutritiva, para mantener la relación  $K_2O/CaO+MgO$  en los niveles establecidos.

Por tales motivos, la utilización de concentraciones superiores de K, Ca y Mg en el tratamiento 4 trajo como consecuencia el incremento de la CE en la solución del suelo, con valores de 3.03-3.15  $mS.cm^{-1}$  en la EPV y 3.25-3.54  $mS.cm^{-1}$  en la EI. Independientemente de que existen cultivares 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 2.50-3.00  $mS.cm^{-1}$ . Valores superiores traen como consecuencia efectos negativos, desde el punto de vista fisiológico, morfológico y bioquímico, como la disminución de la fotosíntesis, afectaciones en el proceso de floración y menor número de frutos por planta (20, 21, 22).

Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de mantener una adecuada relación N/K en la solución nutritiva para el fertirriego del tomate en dependencia de la época de plantación, que estimule la producción de biomasa como indicador del crecimiento vegetal. Sobre este aspecto se establece que la producción de materia seca vegetal depende del suministro balanceado de N y K, pues la incidencia del N, cuando las dosis de K no son limitantes, se cuantifica en un aumento del desarrollo foliar, pero cuando las dosis de K son más bajas que las de N, se reduce el crecimiento de todos los órganos de la planta (7).

Por otra parte, la capacidad de la planta para acumular biomasa en sus órganos y especialmente en los frutos depende de la concentración de K en la solución nutritiva, pues si bien el K no entra en la composición de elementos estructurales, sí juega un papel importante en el transporte de azúcares. Se ha comprobado que el flujo de carbohidratos en el floema es más intenso en las plantas que recibieron una adecuada fertilización con K y que la eficiencia en la absorción de K así como la habilidad de la planta de tomate para concentrar este elemento en la corriente xilemática tienen una relación positiva con el crecimiento aéreo (23, 24).

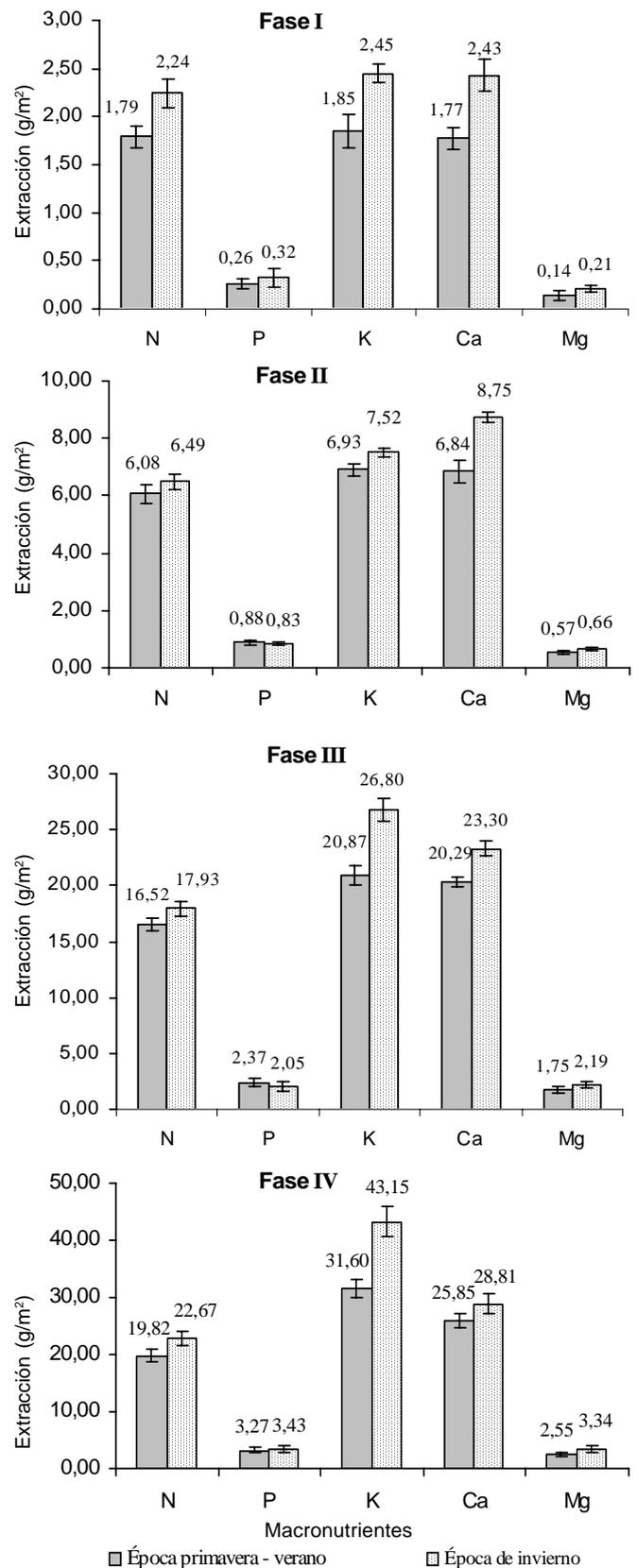
La extracción de macronutrientes durante el ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, para ambas épocas de estudio (Figura 3), mostró un modelo de distribución semejante al de la biomasa acumulada.



**Figura 3. Coeficientes de determinación que caracterizan la dinámica de extracción de macronutrientes total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019, al final de cada fase del ciclo de crecimiento y desarrollo en dos épocas de estudio (EPV y EI)**

El consumo total de N, P, K, Ca y Mg aumentó con la edad de la plantación, con coeficientes de determinación positivos y significativos, por lo que la mayor extracción se produce durante la fase de plena producción. Al igual que para la biomasa, la extracción total de N, K y Ca fue significativamente superior en la EI; P y Mg no mostraron diferencias estadísticas entre las épocas estudiadas (Figura 4).

Lo anterior pone de manifiesto que los períodos de máximo crecimiento se relacionan con las etapas de mayor consumo nutricional y una mayor acumulación de biomasa en la planta se asocia también con una extracción superior de nutrientes. En este sentido, se plantea que con el inicio del cuajado y crecimiento de los frutos comienzan a aumentar también las necesidades de nutrientes de la planta y, en consecuencia, cualquier déficit de algún elemento repercutirá de manera negativa en el crecimiento y rendimiento del tomate (7, 17).



Las barras indican los intervalos de confianza para cada nutriente

**Figura 4. Efecto de la época de estudio en el consumo de nutrientes total al final de cada fase del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA-3019**

En la Tabla IV se muestra el efecto de diferentes relaciones N/K en el consumo total de macronutrientes que realiza el tomate en casas de cultivo al final de la fase IV, única etapa donde se encontró un efecto diferenciado entre los tratamientos estudiados. La extracción de N, K y Ca en hojas+tallo y total, y el consumo de Ca en frutos durante la EPV fue superior en las plantas que recibieron las relaciones N/K 1:2.0, 1:2.5 y 1:3.0. En cambio, la mayor extracción de N y K en frutos se cuantificó en los tratamientos 2 y 3 (1:2.0 y 1:2.5).

parables a los encontrados a campo abierto en las condiciones edafoclimáticas de Cuba (28), lo que indica que existen aspectos de la fisiología del cultivo que son independientes del cultivar, suelo y sistema de cultivo.

La diferencia entre ambos sistemas de producción radica principalmente en los niveles de rendimiento que se obtienen, lo que provoca que las extracciones totales y dosis de fertilizantes que se calculan para el tomate en casas de cultivo sean mayores a las que se determinan y aplican en condiciones de campo abierto.

**Tabla IV. Efecto de las relaciones N/K en el consumo de nutrientes por órgano y total al final del período de plena producción en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para dos épocas de estudio**

Órgano de la planta	Tratamiento	Época primavera-verano					Época de invierno				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
Hojas+tallo	T1. 1:1.5	8.42 b	1.27	12.24 b	12.76 b	1.11	9.53 b	1.01	16.54 b	14.32 b	1.47 b
	T2. 1:2.0	9.32 ab	1.36	13.29 ab	13.88 ab	1.24	11.56 a	1.14	19.20 a	16.03 a	1.71 a
	T3. 1:2.5	9.91 a	1.38	14.04 a	14.34 a	1.25	11.26 a	1.04	19.24 a	16.16 a	1.83 a
	T4. 1:3.0	9.52 a	1.35	13.71 a	14.35 a	1.17	11.41 a	1.07	19.23 a	16.23 a	1.81 a
	Esx	0.028**	0.023 <sup>ns</sup>	0.087**	0.071**	0.024 <sup>ns</sup>	0.235**	0.025 <sup>ns</sup>	0.512**	0.203*	0.019**
	CV (%)	9.26	10.47	13.50	7.09	13.39	12.25	10.36	11.28	13.42	10.09
Frutos	T1. 1:1.5	9.84 b	1.64	16.53 b	10.66 b	1.20	10.31 c	2.01	23.55 c	10.99 bc	1.41 b
	T2. 1:2.0	10.73 a	1.81	18.81 a	11.99 a	1.24	12.43 b	2.23	24.80 b	11.32 b	1.86 a
	T3. 1:2.5	10.64 a	1.85	18.53 a	11.64 a	1.33	15.39 a	2.23	28.60 a	13.45 a	1.77 a
	T4. 1:3.0	9.81 b	1.66	17.49 b	11.23 ab	1.50	11.59 bc	2.15	23.60 c	9.68 c	1.13 c
	Esx	0.140**	0.056 <sup>ns</sup>	0.206**	0.117*	0.023 <sup>ns</sup>	0.422***	0.021 <sup>ns</sup>	0.096**	0.158**	0.036**
	CV (%)	6.07	11.23	8.14	14.59	8.63	13.26	7.56	6.23	11.03	10.41
Total	T1. 1:1.5	18.53 b	3.09	29.20 b	24.04 b	2.36	20.44 c	3.26	40.58 c	25.98 c	2.94 b
	T2. 1:2.0	20.33 a	3.36	32.54 a	26.50 a	2.51	24.36 b	3.61	44.47 b	28.04 b	3.60 a
	T3. 1:2.5	20.82 a	3.42	33.02 a	26.61 a	2.62	27.32 a	3.52	48.33 a	30.30 a	3.66 a
	T4. 1:3.0	19.61 ab	3.20	31.64 ab	26.23 a	2.72	23.32 bc	3.46	43.33 b	26.63 bc	3.00 b
	Esx	0.113**	0.021 <sup>ns</sup>	0.270***	0.191**	0.028 <sup>ns</sup>	0.216***	0.009 <sup>ns</sup>	0.402**	0.251**	0.039**
	CV (%)	5.25	9.63	8.78	9.28	4.23	7.24	10.01	6.02	5.31	8.25

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

Al analizar la extracción de N, K, Ca y Mg en hojas+tallo para la EI, se encontró una respuesta similar a la que se obtuvo en la EPV, con valores estadísticamente inferiores en la relación N/K 1:1.5 y similares entre las variantes 2, 3 y 4. Sin embargo, el mayor consumo de estos nutrientes, en frutos y total, se cuantificó en la relación N/K 1:2.5, comportamiento similar al observado para la acumulación de biomasa, a excepción del Mg que mostró extracciones similares en las relaciones 1:2.0 y 1:2.5.

La extracción de N, P, K, Ca y Mg, que realizan los frutos durante el período de plena producción, representa el 51.87–53.12, 53.23-62.23, 56.45-56.86, 40.85-44.04 y 46.41-51.54 % respectivamente de la extracción total. Este aspecto demuestra que estos órganos de la planta constituyen los principales demandantes de nutrientes en el cultivo protegido del tomate durante el período de cosecha (25, 26, 27).

Los resultados de este estudio, no solo de la contribución de los órganos al consumo total de macroelementos sino también de la dinámica de acumulación de biomasa y extracción de nutrientes, son com-

Se señala, además, la necesidad de considerar las particularidades que condicionan la nutrición en este sistema, fundamentalmente la intensidad en la explotación, la presencia de un sistema radical limitado y los frecuentes deshojes, deshijes y demoliciones a los que se somete la plantación y con los que se pierden nutrientes ya acumulados (28, 29, 30).

Al analizar los tratamientos donde se obtuvo el mejor comportamiento, en cuanto a acumulación de biomasa, se encontró que la utilización de una relación N/K de 1:2.0, durante la época primavera-verano, permitió una extracción de: 20.33 g.m<sup>-2</sup> de N, 3.36 g.m<sup>-2</sup> de P, 32.54 g.m<sup>-2</sup> de K, 26.50 g.m<sup>-2</sup> de Ca y 2.51 g.m<sup>-2</sup> de Mg, mientras que en la EI, la extracción que se obtiene con una relación N/K en la solución nutritiva de 1:2.5 fue: 27.32 g.m<sup>-2</sup> de N, 3.52g.m<sup>-2</sup> de P, 48.33 g.m<sup>-2</sup> de K, 30.30 g.m<sup>-2</sup> de Ca y 3.66 g.m<sup>-2</sup> de Mg.

Los consumos calculados en la presente investigación pueden ser utilizados en las condiciones de suelos Ferralíticos Rojos, para realizar un programa racional de fertilización en el cultivo protegido del tomate, teniendo

en cuenta el rendimiento esperado, las etapas fenológicas y época de plantación. También pueden emplearse como referencia en condiciones edafoclimáticas diferentes, siempre que se tenga en cuenta que cada explotación agrícola necesitará de un seguimiento específico, a partir del seguimiento del sistema suelo-planta-agua.

## REFERENCIAS

1. 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: Editora Liliiana, 2007. 52 p.
2. Armenta, A. /et al./ Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental del tomate. *Revista Chapingo*, 2001, vol. 7, no. 1, p. 61-75.
3. Cedeño, M. /et al./ Relaciones nitrógeno/potasio para el fertirriego en el cultivo del tomate. En: IV Congreso Iberoamericano para el desarrollo y aplicación de los plásticos en la agricultura (21–25 de octubre del 2004). Matanzas, Varadero: CIDAPA, 2002. 36 p.
4. Dorais, M. /et al./ Greenhouse tomato fruit cuticle cracking. *Horticultural Reviews*, 2004, vol. 30, p. 163-184.
5. Xiao, S. G. /et al./ Two instead of three leaves between tomato trusses: measured and simulated effects on partitioning and yield. *Acta Horticulturae*, 2004, vol. 654, p. 303-308.
6. Dogliotti, S. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Material de apoyo al Módulo Hortícola. (en línea) Uruguay [Consulta 26-11-2007] Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy>.
7. Bugarin, R. /et al./ Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total del tomate. *Terra*, 2002, vol. 20, p. 401-409.
8. Moreno, V. Procedimientos para el manejo de la nutrición y el control de la fertirrigación en las casas de cultivo. Segunda Edición, Ciudad de La Habana: Grupo Empresarial Frutícola (GEF), 2007. 53 p.
9. Casanova, A. /et al./ Manual para la producción protegida de hortalizas. 2da. Ed. La Habana: Editora Liliiana, 2006. 125 p.
10. Pérez, J. y Mesa, O. Manejo agronómico aplicado en la conducción del híbrido de tomate HA-3019 bajo cultivo protegido: la experiencia de Ceiba. En: Fórum Tecnológico Especial de Cultivo Protegido (III, 20-21 diciembre, 2004). La Habana: Liliiana Dimitrova, 2004. 26 p.
11. Gómez, O. /et al./ Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. 1ra. ed. La Habana: Editora Liliiana, 2000. 159 p.
12. Hernández, A. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: MINAG, 2000. 26 p.
13. Rottenberg, O. Manejo de la salinidad en la solución del sustrato en invernadero. México: Haifa Chemicals, 2006. 46 p.
14. Marins, R. Radiación solar interceptada y crecimiento del pepino cultivado en NFT (Tesis de Doctorado). Universidad de Almería, 2000. 210 p.
15. Ho, L. C. The contribution of plant physiology in glasshouse tomato soilless culture. *Acta Horticulturae*, 2004, vol. 648, p. 19–25.
16. Rezende, P. C.; Oliveira, J. M. y Heringer, G. Método DFT para producao de tomate em ambiente protegido. *Ciencia e Agrotecnologia, Lavras*, 2007, vol. 31, no. 3, p. 713-719.
17. Abdalla, J. /et al./ Absorcao de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condicoes de campo e de ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 2002, vol. 20, p. 90–94.
18. Terabayashi, A. /et al./ Relationship between the weekly nutrient uptake rate during fruiting stages and fruit weight of tomato grown hidroponically. *Journal Japan Society Horticultural Science*, 2004, vol. 73, p. 324–329.
19. Morales, D. /et al./ Correlación entre la dosificación potásica, colocación, composición mineral y el rendimiento del melón (*Cucumis melo* L.). Municipio Mara, Estado de Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 2007, vol. 25, p. 54-63.
20. Estañ, M. T. /et al./ Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *Journal of Experimental Botany*, 2005, vol. 56, p. 703-712.
21. 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, p. 47-58.
22. Villa, M. /et al./ Absorción y traslocación de sodio y cloro en plantas de chile fertilizadas con nitrógeno y crecidas en estrés salino. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 2006, vol. 29, no. 1, p. 79-78.
23. Neudes, M. /et al./ Variacao diurna y sazonal do pH e composicao mineral da savia do xilema em tomateiro. *Horticultura Brasileira*, 2003, vol. 21, no. 1, p. 10-14.
24. Fontes, P. C.; Fayad, J. A. y Graca, R. N. Utilizacao de característica agronomica como critério de controle das doses de nitrogenio e de potássio para a adubacao do tomateiro. *Horticultura Brasileira*, 2004, vol. 22, p. 489-490.
25. He, F. /et al./ Yield and nitrogen balance of greenhouse tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) with conventional and site-specific nitrogen management in Northern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2007, vol. 77, p. 1-14.
26. 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 de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 2007, vol. 23, p. 161-171.
27. Hernández, M. I. /et al./ Extracción y distribución de macronutrientes en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3105. En: XIV Congreso Científico del INCA (14:2004, nov. 9-12, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2004. ISBN 959-7023-27-X.
28. Maestrey, A. /et al./ Extracción de nutrientes por el tomate cultivado en primavera I. Variaciones de las concentraciones de N, P y K durante el ciclo del cultivo. *Ciencia y Técnica en la Agricultura. Suelos y Agroquímica*, 1987, vol. 10, no. 2, p. 7-16.
29. Segura, M. L. /et al./ Fertilización y riego bajo invernadero en producción integrada. *Horticultura*, 2000, vol. 146, p. 16-24.
30. Chailloux, M. /et al./ Nutrición, fertilización y fertirriego de los cultivos hortícolas en condiciones tropicales. En: Curso Internacional de cultivo protegido de hortalizas en condiciones tropicales (II: 2004, oct. 11-16, La Habana) Memorias (CD-ROM). Instituto de Investigaciones Hortícolas Liliiana Dimitrova, 2004. ISBN 959-7111-37-3.

Recibido: 10 de febrero de 2009

Aceptado: 31 de julio de 2009