

Caracterización del crecimiento y la absorción de macronutrientes en el cultivo protegido del tomate (Híbrido HA 3019)

Growth and macronutrients absorption in the tomato protected cultivation (Hybrid HA 3019)

María Isabel Hernández Díaz¹, Marisa Chailloux Laffita¹, Víctor Moreno Placeres² y Anselma Ojeda Velóz¹.

1. Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". Km 33 ½ Carretera Bejucal-Quivicán, Quivicán, La Habana, CP33500.

2. Grupo Empresarial Frutícola. Avenida Independencia, entre Tulipán y Conill, Cerro, Ciudad de la Habana.

E-mail: mariai@liliana.co.cu.

RESUMEN. El presente estudio se realizó en el Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova" con el objetivo de analizar la evolución del crecimiento vegetal en el cultivo protegido del tomate Híbrido HA 3019 y caracterizar la acumulación, extracción y absorción de macronutrientes para estas condiciones. Para la caracterización del crecimiento, la acumulación y el consumo de macronutrientes en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, se realizaron cinco muestreos de plantas (en el trasplante y al final de cada fase de crecimiento). En cada órgano de la planta se determinó: la masa seca, los porcentajes y la extracción de N, P, K, Ca y Mg. El período de plena producción corresponde con la etapa de mayor acumulación de biomasa y consumo de nutrientes. La concentración mineral en la planta varía durante el ciclo de cultivo para cada nutriente y órgano vegetativo y el K es el macronutriente que la planta consume en mayor medida. El cultivo del tomate, híbrido HA 3019, puede llegar a extraer 22.60, 3.46, 43.18, 11.64 y 3.35 g/m² de N, P, K, Ca y Mg respectivamente.

Palabras clave: Absorción de nutrientes, cultivo protegido, tomate

ABSTRACT. The present study was carried out at "Liliana Dimitrova" Horticultural Research Institute, with the objective to analyze vegetable growth evolution in greenhouse system crop of HA 3019 tomato hybrid and to characterize the accumulation, extraction and macronutrients absorption for this conditions. In order to characterize the crop growth and macronutrient accumulation and consumption in the protected cultivation of HA 3019 tomato hybrid, five plant samplings were done (at transplantation and at the end of each growth stage). Dry matter, N, P, K, Ca and Mg percentage and extraction were determined in every plant organ. Full production period corresponds with the higher biomass accumulation and nutrient consumption stage. Plant mineral concentration varies during the cropping cycle for each nutrient and vegetative organ; K is the macronutrient the plant consumes more. The crop of HA 3019 tomato hybrid can extract up to 22,60; 3,46; 43,18; 11,64 y 3,35 g/m² of N, P, K, Ca and Mg respectively.

Key words: Macronutrients absorption, greenhouse crop, tomato.

INTRODUCCIÓN

La producción de tomate en Cuba se ve limitada por diferentes factores climáticos que impide la expresión de los potenciales productivos durante gran parte del año, lo cual favorece los esfuerzos encaminados a su abastecimiento en el mercado durante todo el año, a partir de la búsqueda de cultivares con mayor adaptación climática y a la utilización de variados métodos de manejo del cultivo que actúan en el acondicionamiento del microclima que rodea a la planta, como es el caso de la tecnología del cultivo protegido de las hortalizas (Rodríguez y Gómez, 2005).

Dentro del manejo del cultivo se destaca la fertilización, aspecto que requiere de especial atención y constituye un requisito indispensable para la explotación armónica de la tecnología (Chailloux *et al.*, 2004). Actualmente en nuestro país, la información disponible sobre fertilización mineral en casas de cultivo es escasa y prácticamente nula y en este sentido los programas de fertilización se elaboran con criterios, en la mayoría de los casos, subjetivos, sin una investigación científica que lo anteceda,

lo cual afecta la producción, la calidad interna y externa de los frutos y la sostenibilidad de los recursos naturales (Moreno, 2004; Mikkelsen, 2005).

Desde el punto de vista del manejo de la nutrición se hace necesario que los fertilizantes se apliquen no solo en las dosis correctas (Segura et al., 2000), sino que las dosificaciones programadas se ajusten a las exigencias del cultivo en cada fase del ciclo de crecimiento y desarrollo (Hernández et al., 2007). De esta forma el conocimiento de los mencionados patrones o curvas de crecimiento y absorción de nutrientes para cada combinación agronómica constituye un requisito imprescindible para programar y ejecutar adecuada y racionalmente un programa de fertilización (Hernández et al., 2005), sobre todo teniendo en cuenta que en este tipo de agricultura (de altos rendimientos) la definición de nutrición balanceada requiere de mayor precisión. Pues si bien es cierto que la absorción de nutrientes de las hortalizas en condiciones de cultivo protegido se duplica o triplica en comparación con las que provienen de campo abierto, con peligros potenciales y reales de contaminación, también es necesario reconocer la importancia de la fertilización mineral para lograr los rendimientos que se planifican (Chailloux et al., 2004).

Múltiples son los estudios realizados a nivel internacional para conocer la absorción y acumulación de nutrientes que realizan los cultivos hortícolas en las diferentes etapas de crecimiento, y en el caso del tomate los datos disponibles ofrecen valores totales de extracción de los macronutrientos nitrógeno, fósforo y potasio (Abdalla et al., 2002) y en menor grado calcio y magnesio (Imas, 1999), mientras que este tema no se ha abordado con toda su profundidad para las condiciones edafoclimáticas específicas de Cuba.

Teniendo en cuenta que la optimización del fertirriego, actividad sin antecedentes prácticamente en nuestra agricultura, constituye un requisito indispensable para el manejo eficiente y sostenible del sistema de cultivo protegido, se propuso como objetivo del presente estudio caracterizar la evolución del crecimiento vegetal, la acumulación, extracción y absorción de macronutrientos en el cultivo protegido del tomate para las condiciones del trópico cubano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplimentar los objetivos propuestos se llevó a cabo el presente 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' de Longitud Norte y 82° 23' de Latitud Oeste y a una altura sobre el nivel del mar entre 9-11 m. La investigación se realizó, en condiciones de producción durante los meses de agosto y enero de los años 2004/2005 y 2006/2007. La experiencia se llevó a cabo en una casa de cultivo de 540 m², una altura a la cumbre de 4 m y con efecto sombrilla (casa abierta). Este efecto se logró con un cerramiento superior con rafia plastificada, ventana cenital abierta y malla sombreadora (35 %) por los laterales y el frente.

Se utilizó, como material vegetal, el híbrido de tomate HA 3019 (*Solanum lycopersicum*) de procedencia israelí y crecimiento determinado. Es un cultivo de ciclo corto (entre 100 y 120 días) y rendimiento promedio entre 60 y 80 t/ha para el trópico cubano (Pérez y Cruz, 2004). El manejo agronómico del cultivo se efectuó según lo establecido en el Manual para la producción de Hortalizas (Casanova et al., 2006).

El suelo es de tipo Ferralítico Rojo (Oxisol) compactado, según la Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Hernández et al., 1999), de textura arcillosa, con pH ligeramente alcalino (7,2 por Potenciometría), altos contenidos de P (88,84 mg/100g por Oniani) y K (66,00 mg/100g por Oniani) y materia orgánica baja (1,91 % por Walkey-Black).

El agua de riego se considera dura, según criterios establecidos (Rottenberg, 2006), por su alto contenido de HCO₃⁻ (> 2,5 meq/L), Ca⁺⁺ (> 2,15 meq/L) y Mg⁺⁺ (> 1,5 meq/L), neutra a levemente alcalina (pH entre 7 y 7,5) y con bajo riesgo de salinidad (CE < 0,80 mS/cm).

Las temperaturas máxima promedio (35,51 °C), mínima (22,87 °C) y media (28,69 °C) en el interior de la instalación, se ubican fuera de los rangos óptimos (18-22 °C) para garantizar un adecuado crecimiento y desarrollo en plantas de tomate, mientras que la humedad relativa (67.73 %) se

encuentra dentro de lo permisible (60-80%) para esta hortaliza (Gómez *et al.*, 2000).

El área experimental constó de seis canteros, con dos líneas de goteros cada uno y el área de muestreo se ubicó en los cuatro canteros centrales, con un área de borde lateral de 72 m² a ambos lados (1.80 m de ancho y 40 m

de largo) y un área de borde frontal y final de 30 m² (2.5 m de ancho y 12 m de largo). Se garantizó la concentración de nutrimentos y la conductividad eléctrica (CE) propuestas en la Tabla 1. Se utilizaron los siguientes portadores: H₃PO₄, HNO₃, NH₄NO₃, KNO₃, Ca(NO₃)₂, K₂SO₄, MgSO₄ y Premiun Quelato (mix de microelementos).

Tabla 1. Concentración de nutrimentos y CE en la solución nutritiva por fases de crecimiento y desarrollo del tomate

Fases [†]	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	CE
	(mg/L)					(mS/cm)
I	-	144	-	-	-	-
II	108	108	103	134	32	1,15 ± 0,03
III	160	108	320	183	43	1,70 ± 0,03
IV	190	108	380	218	50	2,20 ± 0,03
V	-	-	-	-	-	-

[†]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

Para la caracterización del crecimiento y la absorción de macronutrimentos en el cultivo protegido del tomate se realizaron las siguientes evaluaciones:

Biomasa total y por órganos (g/m²): Se efectuaron 5 determinaciones de la biomasa total y por órganos durante el ciclo del cultivo (en el trasplante y al final de las fases I, II, III y IV). Para ello se tomaron 5 plantas por tratamiento en cada evaluación y se procedió a la disección en hojas (H), tallos (T), raíces (R) y frutos (F). Cada muestra se secó en estufa a 65 °C y posteriormente se determinó, en balanza técnica, la masa seca (g) correspondiente a cada órgano. La biomasa total fue la resultante de la sumatoria de cada una de las fracciones anteriores. Las fracciones que se obtuvieron del deshoje y del deshije en una muestra de 10 plantas, se incorporaron a la fracción de hojas correspondiente a la fase de crecimiento en que se encontraba el cultivo. De igual forma se adicionó la fracción de frutos recolectados entre muestreos.

Consumo de nutrimentos en cada órgano de la planta y total (g/m²): Se determinó en cada órgano de la planta y al final de las fases I, II, III y IV los contenidos de N (Nessler y lectura en el espectrofotocolorímetro a 415 nm), P (desarrollo del color con el vanadato-molibdato y lectura en el espectrofotocolorímetro a 400 nm), K (lectura en el fotómetro de llama, directamente a la muestra digerida y diluida), Ca y Mg (por incineración y

determinación por absorción atómica). El consumo de macronutrimentos que realiza la planta a lo largo de su ciclo de desarrollo (total y por órganos) se calculó a partir de la ecuación 1.

1. $Q = B \times E / 100$ (Maestrey *et al.*, 1987). Donde, Q: consumo (g/m²), B: Biomasa (g/m²) y E: porcentaje del elemento en materia seca (%).

La caracterización de la producción de biomasa y la evolución del contenido de macronutrimentos por órganos se modeló a partir de una función polinómica de segundo orden. Se aplicaron análisis de varianza de clasificación simple para las variables de extracción de nutrimentos. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad en los casos que fue necesario. Se comprobó la normalidad mediante los estadígrafos de asimetría y de curtosis estandarizados y la homogeneidad de varianza con la docima de Bartlett. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión. 10 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de biomasa: La acumulación de biomasa en todos los órganos de la planta tendió a aumentar con el desarrollo del cultivo, con coeficientes de determinación superiores a 0.95*** (Figura 1). Por lo que la mayor producción de masa

proveniente de las deyecciones líquidas. Similares resultados obtuvieron Cooperband *et al.* (2002) para la gallinaza fresca. Aunque hay que tomar en cuenta que el uso del estiércol recién excretado tiene el inconveniente que su manipulación no es recomendable por poseer patógenos peligrosos para la salud humana (Meals y Braun 2006 y Holley, R., *et al.* 2006) por el contrario, el estiércol de proporción C/N de 13.3:1 se destacó entre todos los estiércoles como el de mejor efecto en el rendimiento, siendo un abono completamente humificado y prácticamente inocuo; pero también el más rico en nutrientes (Tabla 1).

Se encontró dependencia entre el rendimiento de granos de maíz y la proporción C/N de los abonos orgánicos seleccionados para este fin. (Figura 1). La varianza explicada para la regresión es del 92.9% y la ecuación cuadrática explicativa del proceso de dependencia refleja que cuando la relación C/N de los estiércoles secos es de 11.9:1 se obtiene el máximo rendimiento, lo cual significa que los estiércoles con esa característica, poseen las mejores condiciones como abono (Tabla 1) debido posiblemente a su efecto suministrador de nutrientes asimilables especialmente el N y de humus que beneficia la aireación y el drenaje, entre otros efectos beneficiosos. (Gómez *et al.* 2005).

Tabla 3. Efecto de los tratamientos experimentales en el rendimiento de granos de maíz.

TRATAMIENTO	t.ha ⁻¹ de granos	Significación*
1. Fertilización mineral completa.	2.16	a
2. Estiércol de relación C/N de 13.3:1	1.73	ab
3. Estiércol de relación C/N de 13.3:1 + <i>Azotobacter</i> .	1.72	ab
4. Estiércol de relación C/N de 18.5:1	1.54	bc
5. Estiércol de relación C/N de 10:1	1.50	bc
6. Estiércol de relación C/N de 18.5:1 + <i>Azotobacter</i> .	1.16	cd
7. Estiércol de relación C/N de 14.8:1	0.91	d
8. Sin abono.	0.86	d
Probabilidad	P ≤ 0.01	
C. V. (%)	17.86	
\bar{sx}	0.1493	

* Letras iguales en la misma columna indican que no existe diferencia significativa entre los tratamientos experimentales.

Los estiércoles de proporciones C/N inferiores a 11.9:1 dan menores rendimientos, porque posiblemente está muy humificado, siendo lenta su mineralización (Atallah *et al.* 1995), aunque se conoce que tales estiércoles realizan un importante papel en la formación de microagregados estables (Canarutto 1996 y Dendooven *et al.*, 2000). Hay que tomar en cuenta que cuando los suelos tienen proporciones C/N entre 10.4 a 12.4 hay una adecuada tasa de mineralización/inmovilización (Ibañez *et al.* 2006), favoreciéndose tanto la liberación de N asimilable como la formación de humus, ello explica porqué la proporción C/N de 11.9:1 es la de mejor dentro de los estiércoles secos estudiados, lo que tiene una gran importancia para la utilización y conservación del sistema suelo así como para el uso de los estiércoles como abono.

Citando a Terrón, Fuentes (1999) señala que cuando los residuos orgánicos presentan una relación C/N entre 20 a 30 hay equilibrio entre el bloqueo del N y la liberación de N; mientras que Qian y Schoenan (2002), encontraron que la liberación de N asimilable en estiércoles sólidos se lleva a cabo cuando presentan relaciones C/N en el rango de 13 a 15. Los valores citados de proporción C/N óptima para la mineralización, son algo mayores que los encontrados en el presente trabajo, lo cual pudiera explicarse a partir de que en el trópico las altas y fluctuantes temperaturas; así como, la alta humedad favorecen la intensificación de los procesos microbianos que causan un elevado consumo de C y N asimilable por parte de los microorganismos, y en consecuencia, la mineralización neta del N orgánico es más rápida (Martín Gloria y Rivera, 2002), siendo necesario para evitar la inmovilización neta,

seca se cuantificó en la última evaluación (final del período de plena producción). Hasta el comienzo de la fase II (inicio de la floración), existió una escasa acumulación de biomasa total (7.89 % de la masa seca total cuantificada al final del período de plena producción).

Posteriormente, en la etapa donde comienzan los procesos de cuaje y llenado de los frutos (Fase III), se acumuló un 23.27 % de la materia seca total. Hasta ese momento, las hojas presentaron la mayor cantidad de biomasa, seguidas por el tallo, los frutos y la raíz.

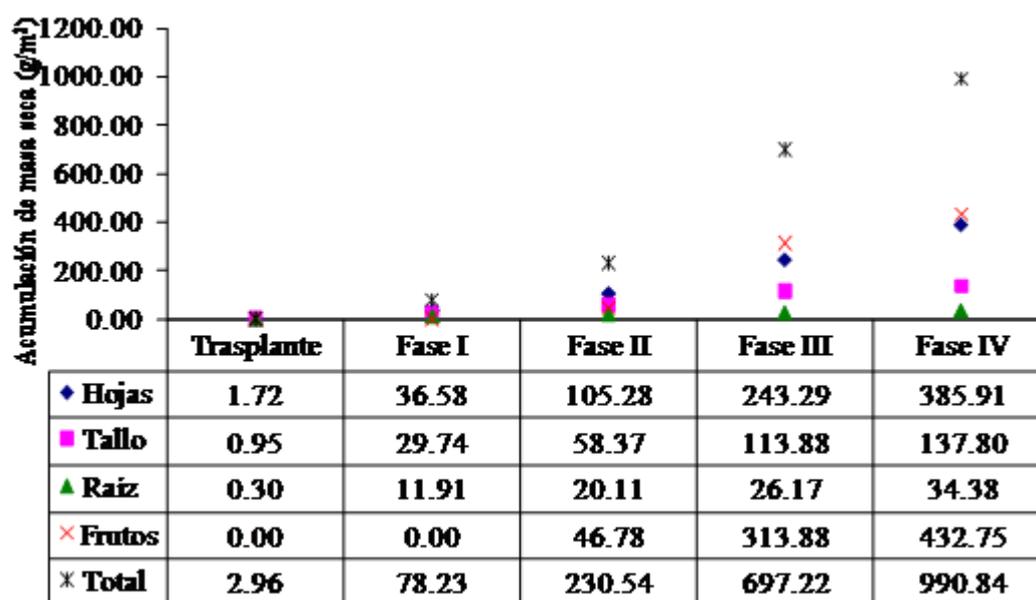


Figura 1. Evolución de la biomasa acumulada por órganos (g/m²), determinada en el momento del trasplante y al final de cada fase del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate. Ecuaciones y coeficientes de determinación que caracterizan la producción de masa seca en el híbrido de tomate HA 3019

Las raíces presentaron, durante todo el ciclo, la menor cantidad de masa seca. Estos órganos forman una pequeña fracción de la materia seca total de los cultivos y para el caso de las hortalizas de fruto, el crecimiento radical se reduce de manera significativa una vez iniciado el período de crecimiento generativo (Marcelis, 1995).

Con el inicio de la cosecha (final de la fase III), el cultivo protegido del tomate llega a acumular el 70.37 % de la biomasa total cuantificada en la última evaluación. Desde este momento, y hasta el final del período de plena producción, los frutos presentaron la mayor cantidad de biomasa, y le siguen en orden descendente, las hojas, el tallo y las raíces.

Como se pudo observar, la distribución de materia seca puede cambiar durante el desarrollo de un cultivo, debido, fundamentalmente, a cambios en la potencia de sumidero de un órgano individual

(habilidad de un órgano para atraer o recibir asimilados) y a alteraciones en el número de sumideros que crecen al unísono en la planta. En este sentido, se plantea que, durante el período vegetativo, las hojas se comportan como sumideros de compuestos elaborados durante el proceso de fotosíntesis, sin embargo, cuando alcanzan su máxima expansión foliar se convierten en órganos fuente de asimilados (Terabayashi *et al.*, 2004).

En cambio, durante el período de llenado y de cosecha, los frutos se convierten en los principales sumideros de asimilados y compiten fuertemente, con los órganos vegetativos, por los compuestos orgánicos, incluso entre ellos mismos (Bugarin *et al.*, 2002). La mayor acumulación de materia seca en los frutos, con respecto al resto de la planta, durante la etapa de plena producción, se ha descrito previamente por otros autores y existen evidencias que dicha relación es producto de una alta demanda metabólica que se produce durante el llenado de

los frutos y que ocurre, aún cuando existen diferencias fenotípicas entre cultivares de una misma especie. Esto hace, que el orden de prioridad en la asignación de asimilados, cambie con la etapa fenológica (Andriolo y Falcao, 2003).

Acumulación de macronutrientos por órganos: El orden de acumulación de nutrientes por órganos cambia con la edad del cultivo (Figura 2). Las hojas, durante las primeras fases de crecimiento (fases I y II), acumulan la mayor concentración de macronutrientos, sin embargo, con el inicio de la cosecha (final de la fase III), las hojas presentan porcentajes superiores de N y Mg, los frutos de K, el tallo de Ca y las raíces de P. Esto se mantiene hasta el final del período de plena producción (fase IV).

La concentración de N en todos los órganos, el P en hojas y tallos, el K en hojas y raíz, el Ca en frutos y el Mg en la raíz, disminuyeron con la edad del cultivo, con coeficientes de determinación superiores a 0.90***. Por lo general, el contenido mineral de determinado órgano tiende a disminuir con la edad del cultivo, pero no solo por un efecto de dilución o de redistribución del elemento en una mayor cantidad de masa seca, sino también por la demanda que ejercen los órganos sumideros (Cadahía, 2005; Dogliotti, 2007).

En cambio, el P en raíz y frutos, el K en tallo y frutos, el Ca en tallo y el Mg en hojas y frutos aumentaron con el desarrollo de la plantación, con valores de R² elevados (>0.90***). La acumulación de Mg en tallo, aunque se ajustó significativamente a la función utilizada, aumentó hasta la fase II, se mantuvo constante hacia la fase III, y disminuyó posteriormente con la entrada del cultivo en el final del período de plena producción. Mientras que el Ca en hojas, se incrementó hasta la fase II y decreció hacia el final de la fase IV.

El incremento del P en raíz y frutos con la edad del cultivo, se debe al papel que desempeñan este nutriente en el anclaje de la planta y en los procesos de floración, cuaje y maduración de los frutos (Paliyath, 2005). Lo mismo ocurrió con el K, elemento indispensable para lograr la producción y calidad interna y externa deseadas (Imas, 1999). El aumento de la concentración de K en tallos, pudo deberse al papel que desempeña este catión en el

transporte de fotoasimilados, que siguen la ruta del floema en pecíolos y tallos, hacia los frutos en crecimiento. Incluso, se utiliza el análisis de savia en tejidos conductores (tallos y pecíolos), como método de diagnóstico, para identificar alteraciones en el suministro de NO₃⁻, K⁺ y HPO₄⁻ (Cadahía, 2005). Para el caso del Ca, se establece que su contenido aumenta con la edad del cultivo y su movimiento se ve afectado por la poca movilidad del elemento y por la baja tasa transpiratoria del fruto.

Extracción de macronutrientos: El consumo de nutrientes, sigue un modelo de distribución semejante para cada órgano de la planta y similar al que se encontró para la biomasa acumulada (Tabla 2). La extracción de N, P, K, Ca y Mg en las diferentes fracciones de la planta, así como la extracción total, aumentaron significativamente con la edad de la plantación, por lo que el mayor consumo se produce durante el período de plena producción. Lo anterior pone de manifiesto, que los períodos de máximo crecimiento, se relacionan también con las etapas de mayor consumo de nutrientes.

En la primera etapa, la extracción de macronutrientos fue baja, la cual representó, de la extracción total, el 9.95 %, 9.53 %, 5.17 %, 8.43 % y 56.26 %, para el N, el P, el K, el Ca y el Mg, respectivamente. Sin embargo, con el inicio de la cosecha (final de la fase III), el cultivo ya había consumido, con relación a la fase IV, el 79.34 % del N, 59.54 % del P, 62.11 % del K, 80.88 % del Ca y 65.07 % del Mg.

Las hojas realizan, hasta la fase II, la mayor extracción de macronutrientos, seguidas, para el caso del N, de los frutos, el tallo y la raíz, mientras que para el P, el K, el Ca y el Mg, el orden de consumo por órganos fue el siguiente: hojas>tallo>frutos>raíz. Sin embargo, al analizar las fases III y IV se observó que el orden de extracción se comportó, de manera general, como sigue: frutos>hojas>tallo>raíz. Este aspecto demuestra, que los frutos constituyen los principales órganos demandantes de nutrientes durante las fases de recolección (Bugarin *et al.*, 2002; Feltrin *et al.*, 2005). El K es el macronutriente que la planta consume en mayor medida y le siguen en orden

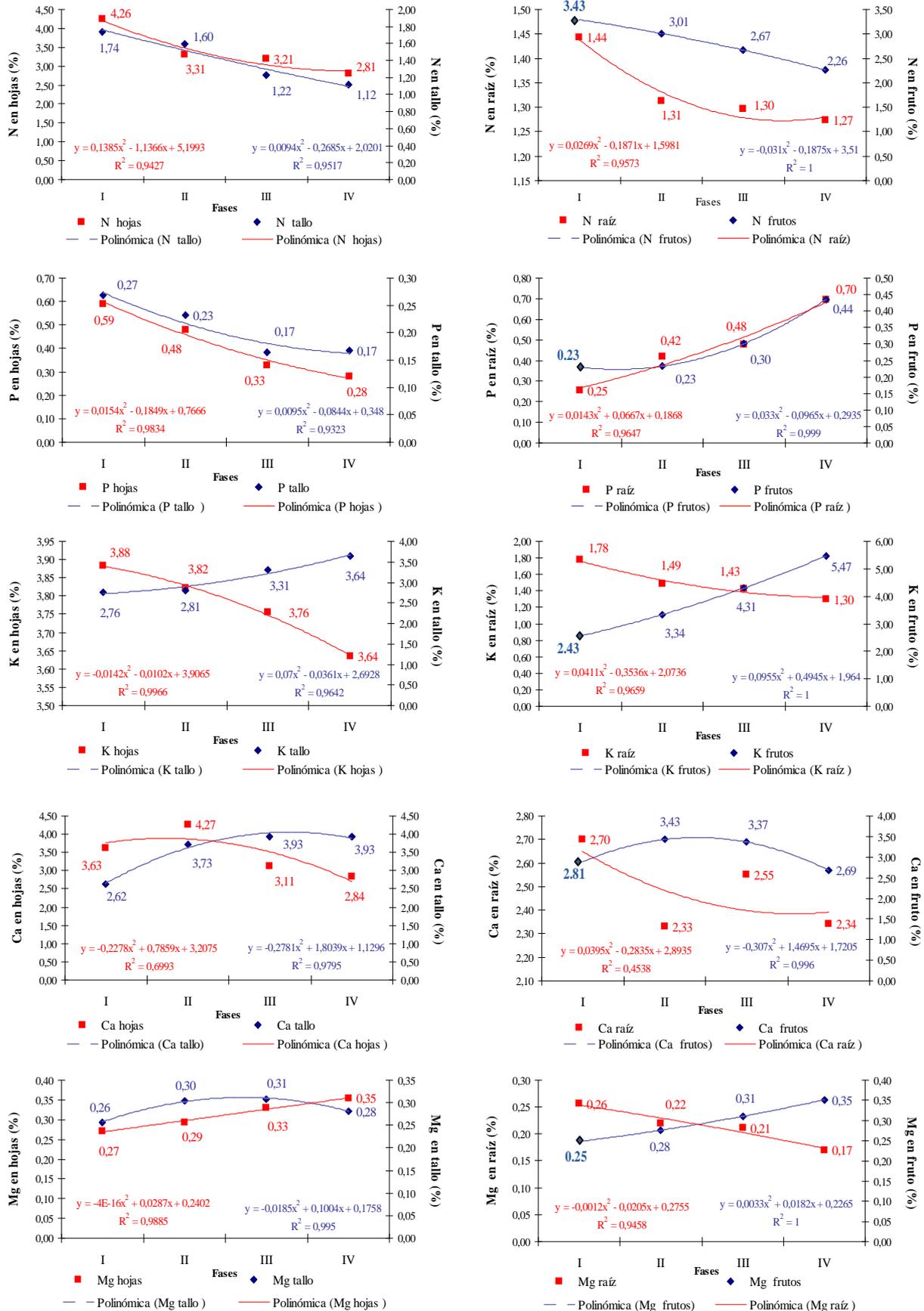


Figura 2. Acumulación de N, P, K, Ca y Mg (%) por órganos durante el ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate. Los muestreos se realizaron al final de las fases I, II, III y IV

Tabla 2. Dinámica de extracción de macronutrientos (g/m²) por órganos cuantificada al final de cada fase del ciclo de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate

Nutriente/ Órgano		I	II	III	IV	Esx
		Fases				
N	Hojas	1,56 d	3,48 c	7,81b	10,84 a	2.09**
	Tallo	0,52 b	0,93 b	1,40 a	1,54 a	0.232*
	Raíz	0,17 c	0,27 bc	0,34 ab	0,44 a	0.056*
	Fruto	-	1,41 b	8,38 a	9,78 a	2.45***
	Total	2,25 d	6,09 c	17,93 b	22,60 a	4.810***
P	Hojas	0,22 c	0,51 b	0,80 a	1,08 a	0.185**
	Tallo	0,08 c	0,13 bc	0,19 ab	0,23 a	0.033*
	Raíz	0,03 c	0,08 bc	0,13 b	0,24 a	0.044*
	Fruto	-	0,11 c	0,94 b	1,90 a	0.440**
	Total	0,33 d	0,84 c	2,06 b	3,46 a	0.697**
K	Hojas	1,42 d	4,02 c	9,15 b	14,05 a	2.801**
	Tallo	0,82 d	1,64 c	3,77 b	5,02 a	0.963***
	Raíz	0,21 c	0,30 bc	0,37 ab	0,45 a	0.051*
	Fruto	-	1,56 c	13,53 b	23,67 a	5.531**
	Total	2,45 d	7,52 c	26,82 b	43,18 a	2.693**
Ca	Hojas	1,33 d	4,50 c	7,59 b	10,96 a	2.060**
	Tallo	0,78 d	2,18 c	4,48 b	5,42 a	1.059**
	Raíz	0,32 c	0,47 bc	0,67 ab	0,80 a	0.106*
	Fruto	-	1,60 b	10,58 a	11,64 a	3.001**
	Total	2,43 d	8,75 c	23,31 b	28,82 a	6.150***

ns: no existieron diferencias significativas entre las fases para Pd^{0.05}. *, ** y ***: existen diferencias significativas para Pd^{0.05}, Pd^{0.01} y Pd^{0.001}, respectivamente

El cultivo del tomate, híbrido HA 3019, en condiciones de cultivo protegido y para la época estudiada puede llegar a extraer hasta 22.60 g/m² de N, 3.46 g/m² de P, 43.18 g/m² de K, 11.64 g/m² de Ca y 3.35 g/m² de Mg, para producir 83.34 t/ha. Los valores de extracción de macronutrientos necesarios para obtener una tonelada de frutos, cuantificados en el presente estudio, son similares a los rangos calculados por otros autores para el cultivo protegido del tomate (2.80 – 3.25 kg N/t, 0.32 – 1.01 kg P/t, 3.64 – 6.60 kg K/t, 1.17 – 3.22 kg Ca/t y 0.40 – 0.90 kg Mg/t), así como para campo abierto (2.28 – 5.16 kg N/t, 0.29 – 0.91 kg P/t, 3.72 – 5.53 kg K/t, 2.35 kg Ca/t y 0.32 – 0.87 kg Mg/t) (Maestrey *et al.*, 1987; Chailloux *et al.*, 2004) lo que indica que existen aspectos de la fisiología del cultivo que son independientes del cultivar, del suelo y del sistema de cultivo.

La diferencia entre ambos sistemas de cultivo radica principalmente en los niveles de rendimiento que se obtienen, lo que provoca que las extracciones totales y las 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. Se señala además la necesidad de considerar algunas particularidades que condicionan la nutrición en este sistema, entre ellas, la intensidad en la explotación que requiere de buenas condiciones físicas de suelo, la utilización de híbridos de rápido crecimiento, con un sistema radical limitado en un bulbo humedecido, los frecuentes deshojes, deshijos y demoliciones a los que se somete la plantación y con los que se pierden nutrientes ya acumulados, así como las disímiles demandas de los consumidores en cuanto a productos específicos, alta calidad de las cosechas, salida extemporánea al mercado y diferentes destinos, lo cual introduce

variaciones sustanciales en el suministro y momento de aplicación de los fertilizantes (Chailloux *et al.*, 2004).

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 la época de plantación. También pueden ser empleados 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.

CONCLUSIONES

1. La acumulación de biomasa y la extracción de macronutrientes en todos los órganos tendieron a aumentar con la edad del cultivo. La mayor producción de masa seca y consumo de N, P, K, Ca y Mg se cuantificó al final del período de plena producción.

2. La concentración de N en todos los órganos, el P en hojas y tallos, el K en hojas y raíz, el Ca en frutos y el Mg en la raíz, disminuyeron con la edad del cultivo, mientras que el P en raíz y frutos, el K en tallos y frutos, el Ca en tallos y el Mg en hojas y frutos aumentaron con el desarrollo de la plantación.

3. Al inicio de la cosecha (fase III) el cultivo había absorbido, con relación al total extraído al final de la fase IV, 79.34 % del N, 59.54 % del P, 62.11 % del K, 80.88 % del Ca y 65.07 % del Mg.

4. El cultivo del tomate, híbrido HA 3019, en condiciones de cultivo protegido puede llegar a extraer hasta 22.60 g/m² de N, 3.46 g/m² de P, 43.18 g/m² de K, 11.64 g/m² de Ca y 3.35 g/m² de Mg, para producir 83.34 t/ha.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abdalla, J. *et al.*. Absorcao de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condicoes de campo e de ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, 2002, 20(1):90–94.

2. Andriolo, J. L., L. L. Falcao. Efeito da poda de folhas sobre a acumulacao de materia seca e sua reparticao para os frutos do tomateiro cultivado em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 2000, 8:75–83.

3. Bugarin, R. *et al.*. Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total del tomate. *Terra*, 2002, 20:401–409.

4. Cadahía, C. Fertilización de cultivos hortícolas, frutales y ornamentales. 3ra. Ed., España: Ediciones Mundi Prensa, 2005. 475p.

5. Casanova, A. *et al.*. Manual para la producción protegida de hortalizas. 2da Ed., La Habana: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2007. 138p.

6. Chailloux, M. *et al.*. Nutrición, fertilización y fertirriego de los cultivos hortícolas en condiciones tropicales. En: II Curso Internacional de cultivo protegido de hortalizas en condiciones tropicales (2:2004, octubre 11–16, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004. 53p.

7. Feltrin, D. M. *et al.*. Produtividade e qualidade de frutos de cultivares de tomateiro fertirrigado com cloreto e sulfato de potássio. *Revista de Ciências Agroveterinarias*, 2005, 4(1): 17–24.

8. Gómez, O. *et al.*. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe. 1ra. Ed., La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2000. 159p.

9. Hernández, A. *et al.*. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Instituto de Suelos, AGRINFOR, Ciudad Habana, 1999. 64p.

10. Hernández, M. I. *et al.*. Evaluación agronómica de fertilizantes líquidos cubanos en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Híbrido HA 3019. *Cultivos Tropicales*, 2008, 29(1):73–82.

11. Hernández, M. I. *et al.*. Validación de fertilizantes de la línea ultrasol de SQM en el cultivo protegido del tomate. Su efecto en la calidad y en la conservación postcosecha. *Tecnología e Higiene de los alimentos*, 2005, 36(3):83–91.

12. 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, noviembre 9–12, La Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2004. ISBN 959–7023–27–X
13. Imas, P. Quality aspects of K nutrition in horticultural crops [en línea] Israel: International Potash Institute. 1999. Disponible en <http://www.ipipotash.org/presentn/qaknhc.html#tomato> [Consulta: octubre 22 2003].
14. Maestrey, A. /et al./ Extracción de nutrimentos 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, 10(2):7–16.
15. Marcelis, L. F. Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. Effect of fruit load and temperature. *Scientia Horticulturae*, 1995, 54:107–121.
16. Mikkelsen, R. L. Tomato flavour and plant nutrition a brief review. *Better Crops with Plant Food*, 2005, 89(2):14–15.
17. Moreno, V. Normas y procedimientos para el manejo del fertirriego. 1ra. Ed., Ciudad de la Habana: Grupo Empresarial Frutícola, 2004. 20p.
18. Paliyath, G. Effect of Phosphate Fertilization on the Levels of Functional Food Ingredients in Fruits and Vegetables. USA: International Plant Nutrition Institute IPNI, 2005. 36p.
19. Pérez, J., O. Cruz. Manejo agronómico aplicado en la conducción del híbrido de tomate HA– 3019 bajo cultivo protegido: la experiencia de Ceiba. En: III Forum Tecnológico Especial de Cultivo Protegido (3:2004, diciembre 20–21, La Habana). Memorias. CD-ROM. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, 2004.
20. Rodríguez, G., O. Gómez. Evaluación de híbridos F1 adaptados al sistema de cultivo protegido. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 2005, 9(25):7–12.
21. Rottenberg, O. Manejo de la salinidad en la solución del sustrato en invernadero. México: Haifa Chemicals México, Centroamérica y el Caribe, 2006. 46p.
22. Segura, M. L., E. Medrano, E. Casado. Fertilización y riego bajo invernadero en producción integrada. *Horticultura*, 2000, (146):16–24.
23. 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, 73(4):324–329.
24. Dogliotti, S. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Material de apoyo al Módulo Hortícola [en línea] Uruguay: Universidad de la República/Facultad de Agronomía. 2007. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy>. [Consulta: noviembre 26 2007].

Recibido: 26/11/2009

Aceptado: 18/12/2010