

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE FERTILIZANTES LÍQUIDOS CUBANOS EN EL CULTIVO PROTEGIDO DEL TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) HÍBRIDO HA 3019

María I. Hernández[✉], Larissa Nasarova, Marisa Chailloux y Julia M. Salgado

ABSTRACT. The present study was carried out at “Liliana Dimitrova” Horticultural Research Institute, with the objective of evaluating the agronomic effectiveness of the liquid fertilizer line produced by “Revolución de Octubre” Chemical Enterprise in Nuevitas, Camagüey, on the protected cultivation of HA 3019 tomato hybrid. Two fertigation designs with different fertilizer sources were studied, guaranteeing for both a similar electrical conductivity and macronutrient concentration in the nutrient solution. The following Cuban liquid formulas 5-10-5, 6-6-6, 3-0-11 (KNO_3) y 8-0-0-17 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ were included in the first design whereas the imported single salts H_3PO_4 , K_2SO_4 y MgSO_4 , KNO_3 y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ in the second one. Plant height, growth rate, leaf macroelement content, total yield and yield per size, some yield components, some external and nutritional fruit quality components, as well as fruit weight losses at postharvest conservation were determined. Similar yields were achieved in both designs, which were considered acceptable for the experimental period: 67,08 and 68,11 t/ha, and about 91 % of the production was qualified as extra+first category. Not a differentiated effect was recorded for yield components or the external (strength, inner color disorder, mesocarp and endocarp diameters) and internal quality variables (dry matter, total soluble solids, acidity, pH, vit C and N-P-K contents); meanwhile postharvest losses showed statistical differences just after 21 days, the least percentages being recorded by liquid fertilizers. From the agronomical point of view, it is feasible to include liquid formulas in the tomato fertigation program for protected cultivation.

Key words: tomato, fertilizer, protected cultivation, plant nutrition

RESUMEN. El presente estudio se realizó en el Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”, con el objetivo de comprobar la efectividad agronómica de la línea de fertilizantes líquidos producida por la Empresa Química “Revolución de Octubre” en Nuevitas, Camagüey, en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019. Se estudiaron dos esquemas de fertirriego con diferentes fuentes fertilizantes, garantizando, para ambos esquemas, similares conductividad eléctrica y concentración de macronutrientes en la solución nutritiva. En el esquema 1 se incluyeron las fórmulas líquidas cubanas: 5-10-5, 6-6-6, 3-0-11 (KNO_3) y 8-0-0-17 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, y en el esquema 2 las sales simples importadas: H_3PO_4 , K_2SO_4 y MgSO_4 , KNO_3 y $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Se determinaron la altura y el índice de crecimiento del cultivo, el contenido foliar de macroelementos, el rendimiento total y por calibre, algunos componentes del rendimiento y la calidad externa y bromatológica de los frutos, así como las pérdidas de peso durante la conservación poscosecha. Se obtuvieron rendimientos similares para ambos esquemas y aceptables para la época de estudio: 67,08 y 68,11 t/ha, y aproximadamente 91 % de la producción en la categoría de extra+primera. No se encontró un efecto diferenciado ni para los componentes del rendimiento ni para las variables de calidad externa (firmeza, anomalías en el color interno, diámetro del mesocarpio y endocarpio) e interna (materia seca, sólidos solubles totales, acidez, pH, vitamina C, contenidos de N, P y K), mientras que las pérdidas poscosecha mostraron diferencias estadísticas solo a los 21 días; los menores porcentajes se obtuvieron con los fertilizantes líquidos. Por tales motivos resulta factible, desde el punto de vista agronómico, la inclusión de las fórmulas líquidas en el programa de fertirriego del tomate para casas de cultivo.

Palabras clave: tomate, fertilizantes, cultivo protegido, nutrición de las plantas

INTRODUCCIÓN

La productividad y calidad del tomate en condiciones de cultivo protegido se ven limitadas, fundamentalmente, por factores relacionados con el suministro de insumos y manejo de la plantación, dentro de este último

se destaca la fertilización, aspecto que requiere de especial atención y constituye un requisito indispensable para la explotación sostenible de la tecnología (1, 2). La eficaz utilización de la fertirrigación que incluye, entre otros aspectos, la utilización de portadores y fórmulas fertilizantes de “calidad para el fertirriego” (3), debe ser un reto obligado en el contexto económico, social y medioambiental actual.

En fertirrigación se pueden utilizar fertilizantes sólidos o líquidos y, en el caso de los sólidos, la característica esencial es que sean solubles en agua; esta solubilidad evitará obturaciones en las tuberías y los goteros (4).

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; Larissa Nasarova, Especialista de la Empresa Química “Revolución de Octubre”, Nuevitas, Camagüey, Cuba.

✉ mariai@liliana.co.cu

Ambos pueden ser simples o compuestos y pueden adquirirse según las demandas de los productores, con un equilibrio de nutrientes adecuado para cada fase del cultivo (fertilizantes "a la carta"). En el caso de los líquidos, son de fácil manipulación en el momento de realizar las mezclas, pues su disolución en el agua es rápida y, al contrario de los fertilizantes sólidos, no es necesaria una disolución previa para incorporarlos al caudal de riego (3).

Recientemente, la industria cubana de fertilizantes comienza a diseñar nuevos fertilizantes, que pueden utilizarse en los programas de fertirriego para el cultivo protegido del tomate y las hortalizas, en general, teniendo en cuenta no solo las demandas identificadas en el sector productivo, sino también la primacía que presentan las empresas extranjeras comercializadoras de fertilizantes solubles y que hacen que el sistema de casas de cultivo sea altamente dependiente del mercado externo. En este sentido, la Empresa Química "Revolución de Octubre" en Nuevitás, Camagüey, trabaja en la elaboración de varias formulaciones líquidas, para utilizarse en correspondencia con el estado de crecimiento y desarrollo del cultivo; en ella se produce además el ácido nítrico y el nitrato de amonio, portadores que se emplean con frecuencia para la fertirrigación de las hortalizas en condiciones de cultivo protegido.

El presente trabajo tuvo como objetivo comprobar la efectividad agronómica de la línea de fertilizantes líquidos, producida por la Empresa Química "Revolución de Octubre", en el crecimiento, la producción, calidad externa e interna y vida en anaquel de los frutos para el cultivo protegido del tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplimentar el objetivo propuesto, se llevó a cabo el presente estudio en áreas del Instituto de Investigaciones Hortícolas «Liliana Dimitrova», 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 de 9-11 m snm. La investigación se realizó en la instalación número seis del proyecto de cultivo protegido de dicha institución, durante el período comprendido entre el 17 de marzo y el 30 de junio del 2006, con un ciclo de 105 días. Se utilizó el híbrido de tomate HA 3019, cultivar que se recomienda para plantaciones de invierno, verano y ciclo corto (entre 100 y 120 días) (5, 6). La experiencia se llevó a cabo en una instalación modelo A-12, diseñada por la Empresa Cubano-Española CARISOMBRA, de 540 m² (12 m de ancho y 45 m de largo), 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. La plantación se estableció a partir de plántulas en cepellones, las que se ubicaron a doble hilera sobre el cantero, a una distancia de 0,45 m entre hileras y 0,50 m entre plantas.

El suelo es Ferralítico Rojo compactado (7) 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 Walkley-Black). El agua de riego se considera dura (8), 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) (Tabla I). Las temperaturas máxima promedio (35,51°C), mínima (21,87°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 (9).

El manejo agronómico del cultivo se efectuó según lo establecido en el manual para la producción protegida de hortalizas (6). La fertirrigación se realizó a través de un sistema de riego por goteo, con mangueras de PVC negro de 16 mm de diámetro, goteros separados a 0,45 cm y una entrega de 2,5 L/hora.

Se estudiaron dos esquemas de fertirriego con diferentes fuentes fertilizantes, garantizando la concentración de nutrientes y conductividad eléctrica (CE) propuesta en la Tabla II. El área experimental constó de seis canteros, con dos líneas de goteros cada uno. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres réplicas (tres canteros por tratamiento) y la parcela experimental (réplica) ocupó una superficie de 63 m² (1,80 m de ancho y 35 m de longitud) con un total de 140 plantas por parcela.

En el esquema 1 (T1) se incluyó, en el programa operativo del fertirriego, la propuesta de fertilizantes líquidos de la Empresa Química "Revolución de Octubre". Las fórmulas estudiadas fueron: Nuevitás: 5-10-5 (fertilizante enraizador) para la primera fase; Nuevitás: 6-6-6 (fertilizante multipropósito) para la fase II; Nuevitás: 3-0-11 (KNO₃) (fórmula de producción) para las fases III y IV y Nuevitás: 8-0-0-17 (Ca(NO₃)₂), esta última se aplicó durante todo el ciclo del cultivo. La caracterización de las fórmulas líquidas estudiadas aparece en la Tabla III.

El esquema 2 (T2) consistió en la utilización, fundamentalmente, de fórmulas simples importadas por SCPA SIVEX internacional (H₃PO₄, K₂SO₄ y MgSO₄) y Soquimich Comercial (SQM) de Chile (KNO₃ y Ca(NO₃)₂), comercializados en Cuba por Comercial Caimán Internacional SA. (Tabla IV). La concentración de magnesio en ambos esquemas se garantizó con el portador MgSO₄, que se aplicó a partir de la fase III, ya que el agua de riego poseía cantidades suficientes del elemento para satisfacer las necesidades de la plantación hasta ese momento. De igual forma, se utilizaron en ambos esquemas los portadores de producción nacional HNO₃ y el NH₄NO₃, para completar la neutralización del anión HCO₃⁻ y cubrir las concentraciones de nitrógeno que se planificaron.

Tabla I. Caracterización del agua de riego en dos momentos del ciclo del tomate, híbrido HA 3019, en condiciones de cultivo protegido

Fecha de muestreo	Aniones					Cationes				pH (u)	CE (mS/cm)
	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	(meq/L)		K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺		
30/3/2006	0,123	0,76	5,00	0,52	0	0,06	3,20	2,06	0,71	7,1	0,53
15/5/2006	0,49	1,21	5,03	1,65	0	0,92	4,77	1,89	0,80	7,3	0,78

Tabla II. Concentración de nutrientes y CE en la solución nutritiva para ambos esquemas de fertirriego, duración de las fases y dosis de riego por fases de crecimiento y desarrollo del tomate

Fases*	N	P ₂ O ₅	K ₂ O (mg/L)	CaO	MgO	CE (mS/cm)	Dosis de riego (L/planta/día)	Duración de la fase (días)
I	-	144	-	-	-	-	0,7	19
II	108	108	103	134	32	1,15 ± 0,03	0,85	21
III	160	108	320	183	43	1,70 ± 0,03	1,20	20
IV	190	108	380	218	50	2,20 ± 0,03	1,70	35
V	-	-	-	-	-	-	1,20	10

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.

Tabla III. Características de las fórmulas fertilizantes líquidas que se utilizaron en el esquema 1 de fertirriego del tomate, híbrido HA 3019

Propiedades	Nuevititas: 5-10-5		Nuevititas: 6-6-6		Nuevititas: 3-0-11		Nuevititas: 8-0-0-17	
	(%)	(g/L)	(%)	(g/L)	(%)	(g/L)	(%)	(g/L)
N	4,5-5,5	60	5,5-6,5	70	3-3,5	36	8,3-8,8	131,3
P ₂ O ₅	9,5-10	120	5,5-6,5	70	-	-	-	-
K ₂ O	4,5-5,5	60	5,5-6,5	70	10,5-11,5	132	-	-
CaO	-	-	-	-	-	-	16,5-17,5	262,7
SO ₄	1,3-2,0	22	1,7-2,3	27,5	1,1-1,5	14,6	-	-
pH	5,5-6,0		5,5-6,0		5,5-6,0		5,5-6,5	
Densidad	1.21-1.24		1.21-1.23		1.19-1.22		1.49	
Presentación	Envases plásticos de 20 litros							

Tabla IV. Fertilizantes aplicados por fases de crecimiento y desarrollo en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, y en cada esquema de fertirriego estudiado

Esquemas de fertirriego	Fórmulas	I	II	III (kg/ha o L/ha)	IV	Total
Esquema 1	H ₃ PO ₄	-	24,99	49,92	123,76	198,67
	HNO ₃	-	121,39	139,20	348,67	609,26
	MgSO ₄	-	-	4,80	89,25	94,05
	Ca(NO ₃) ₂ (Nuevititas)	-	60,70	169,44	384,37	614,51
	5-10-5	50,22	0,00	-	-	50,22
	6-6-6	-	183,52	-	-	183,52
	3-0-11	-	-	970,56	3041,64	4012,20
	NH ₄ NO ₃	-	0,30	-	44,03	44,33
Esquema 2	K ₂ SO ₄	-	46,06	48,00	-	94,06
	H ₃ PO ₄	5,74	37,13	49,92	123,76	216,55
	HNO ₃	-	103,54	139,20	348,67	591,41
	MgSO ₄	-	-	4,80	89,25	94,05
	NH ₄ NO ₃	-	69,98	-	20,23	90,21
	K ₂ SO ₄	-	71,76	74,88	0,00	146,64
	KNO ₃	-	-	254,88	296,31	551,19
Ca(NO ₃) ₂ (SQM)	-	61,41	171,36	389,13	621,90	

En la Tabla V aparecen las cantidades de nutrientes que se aplicaron en cada una de las fases y las totales para cada esquema estudiado, así como la CE en el gotero (se determinó dos veces en cada fase con un medidor de CE digital). El cálculo de los aportes de fertilizantes para cada tratamiento, durante todo el ciclo del cultivo, se realizó teniendo en cuenta los contenidos de HCO_3^- , K^+ , Ca^{++} y Mg^{++} en el agua de riego y el balance de la solución nutritiva se inició con la neutralización de los bicarbonatos hasta dejar 0,5 meq/L de HCO_3^- , mediante la aplicación de ácidos.

Existen diferencias en la fase I, en cuanto a las dosis de N y K, y esto se debe a que en el esquema 1 se utiliza la fórmula 5-10-5, que contiene ambos elementos y no así en el esquema 2, donde solo se aplica H_3PO_4 y aporta únicamente P. Esto trae como consecuencia que existan variaciones para las cantidades totales de N y K. Las dosis de nutrientes, a partir de la fase II, son iguales para ambos esquemas, con excepción del S, cuya cantidad se corresponde con los aportes que provienen de los portadores K_2SO_4 y MgSO_4 y las fórmulas líquidas estudiadas.

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron las siguientes evaluaciones:

- ❖ *Altura (cm)*: Se determinó la altura a 10 plantas por réplica a los 15, 30, 45 y 60 días después del trasplante (ddt).
- ❖ *Índice de crecimiento (cm/planta/día)*: Teniendo en cuenta la altura cuantificada, se determinó el índice de crecimiento (IC), o lo que es lo mismo el incremento de altura (ALT) por unidad de tiempo (D) a los 30, 45 y 60 ddt. El cálculo del IC se efectuó mediante las siguientes expresiones: $\text{IC}_{30\text{ddt}} = (\text{ALT}_2 - \text{ALT}_1)/D$, $\text{IC}_{45\text{ddt}} = (\text{ALT}_3 - \text{ALT}_2)/D$ y $\text{IC}_{60\text{ddt}} = (\text{ALT}_4 - \text{ALT}_3)/D$, donde ALT_1 : altura a los 15 ddt (cm), ALT_2 : altura a los 30 ddt (cm), ALT_3 : altura a los 45 ddt (cm), ALT_4 : altura a los 60 ddt (cm) y $D=15$ días (tiempo transcurrido en días entre una evaluación y otra).
- ❖ *Análisis foliares*: Se determinaron en cuatro momentos del ciclo del cultivo (final de las fases I, II, III y IV) los contenidos de N (Nessler y lectura en el espectrofotómetro a 415 nm), P (desarrollo del color con el vanadato-molibdato y lectura en el espectrofotómetro a 400 nm) y K (lectura en el fotómetro de llama, directamente a la muestra digerida y diluida). Para ello, se realizó un muestreo foliar compuesto por la cuarta y quinta hoja más desarrollada de cada planta a partir del ápice, a un total de 30 plantas por réplica. Las muestras se secaron en estufa a 65°C, se molieron, se tomaron 0,25 g de muestra seca para la digestión con ácido sulfúrico y selenio (Kjeldahl) y, posteriormente, se determinó el porcentaje de macronutrientes en base a la materia seca.
- ❖ *Componentes del rendimiento*: Durante el desarrollo del cultivo, se efectuaron siete cosechas y el período de recolección tuvo una duración de 45 días. En cada cosecha se cuantificó el número de frutos totales por planta (u) a todas las plantas en la parcela experimental y a una muestra de 10 frutos por réplica, se les determinó la masa promedio del fruto (g) así como el diámetro ecuatorial (cm) y polar (cm) (se reflejan los valores promedio).
- ❖ *Rendimiento (t/ha)*: Se cuantificó el rendimiento total (siete semanas con un total de siete cosechas) en las categorías de extra (diámetro ecuatorial > 75 mm), primera (diámetro ecuatorial entre 65-74 mm), segunda (diámetro ecuatorial entre 55-64 mm), tercera (diámetro ecuatorial < 55 mm y frutos con defectos, daños y otras anomalías) y extra+primera (E+P) (sumatoria de las categorías comerciales). El rendimiento total se calculó sobre la base de la masa de todos los frutos por parcela (incluye la sumatoria del rendimiento en las siete semanas de cosecha y todas las categorías de producción).

Tabla V. Cantidad de nutrientes aplicada y conductividad eléctrica lograda en la solución fertilizante para cada esquema de fertirriego en estudio (incluye los aportes del agua de riego)

Esquemas de fertirriego	Nutrientes aplicados (kg/ha) y CE (mS/cm) por fase	I	II	III	IV	Total
Esquema 1	N	3,01	38,49	77,28	224,91	343,69
	P ₂ O ₅	6,03	38,56	51,84	128,52	224,95
	K ₂ O	3,13	36,92	153,41	453,03	646,49
	CaO	3,76	47,99	87,63	259,90	399,28
	MgO	1,72	14,67	20,54	59,50	96,43
	SO ₄	2,61	41,47	59,44	163,36	266,88
	CE	0,98	1,12	1,73	2,22	-
Esquema 2	N	0,00	38,49	77,28	224,91	340,68
	P ₂ O ₅	6,03	38,56	51,84	128,52	224,95
	K ₂ O	0,12	36,92	153,41	453,03	643,48
	CaO	3,76	47,99	87,63	259,90	399,28
	MgO	1,72	14,67	20,54	59,50	96,43
	SO ₄	1,53	51,76	44,70	114,24	212,23
	CE	0,61	1,16	1,71	2,17	-

- ❖ **Calidad externa del fruto:** Las evaluaciones se realizaron en la quinta cosecha, coincidiendo con el intermedio de la fase IV (período de plena producción). Se seleccionó, en cada réplica, una muestra de 36 frutos completamente maduros (color rojo en toda su superficie), para la determinación de la firmeza (N) en términos de la deformación que se produce en el fruto debido a la compresión, mediante el puntal cónico de un medidor de fuerza (penetrómetro Chatillón, modelo FDV-30) colocado de manera horizontal y con penetración de 10 mm. Posteriormente, se procedió a realizar un corte longitudinal del fruto, para la determinación del diámetro del mesocarpio (mm) y endocarpio (mm) con Pie de Rey y para la cuantificación del porcentaje de frutos, que poseían alguna afectación por decoloraciones internas en base a los 36 frutos que componían la muestra para el análisis de la calidad externa.
- ❖ **Calidad bromatológica:** A la muestra de frutos de la evaluación anterior (calidad externa) se les determinaron las siguientes variables de calidad bromatológica: materia seca (%) por diferencia de peso, sólidos solubles totales por refractometría (^oBrix), acidez titulable por valoración (% de ácido cítrico), pH a través del método potenciométrico directamente a la pulpa macerada, vitamina C (mg/100g) (extracción con ácido clorhídrico al 1 % y reducción del ácido ascórbico con 2.6 diclorofenol indofenol) y contenidos de N, P y K en fruto (%) con la utilización de las técnicas descritas para los análisis foliares.
- ❖ **Conservación poscosecha:** Para la conservación se tomaron muestras de frutos de la cuarta cosecha con un grado de madurez 3 (*turning*), para lo cual se utilizó una carta de colores con escala de 1 a 6 (10), correspondientes a 6 grados de madurez (1: verde, 2: *breaker*, 3: *turning*, 4: *pink*, 5: *lightly red* y 6: *red*); se seleccionaron además aquellos frutos que no presentaban daños mecánicos, fisiológicos o fitopatológicos visibles. Posteriormente se lavaron con agua destilada, se secaron con papel de filtro y se introdujeron en envases de cartón aireados (utilizados en la comercialización nacional). Cada envase representó una réplica formada por 10 frutos y los tratamientos constaron de tres réplicas. Los envases se almacenaron en el laboratorio de poscosecha a 23°C de temperatura y 68 % de humedad relativa como promedio. Se determinaron las pérdidas de masa por actividad fisiológica (PMAF) en frutos de tomate a los 9, 14, 21, 28 y 35 días de poscosecha. Los cálculos se realizaron mediante la siguiente expresión: $PMAF = (Mi - Mf / Mi) \times 100$, donde: PMAF: pérdidas de masa por actividad fisiológica (%), Mi: masa inicial del fruto en el momento de la cosecha y Mf: masa final del fruto (correspondiente a la masa en cada evaluación).

Para el procesamiento estadístico de la información, se aplicaron análisis de varianza de clasificación simple a las variables de rendimiento, componentes del rendi-

miento y calidad externa e interna. Para las variables altura de la planta, índice de crecimiento, contenidos foliares de macronutrientes y pérdidas poscosecha, se aplicó un análisis factorial (tratamiento x momento de evaluación), con el objetivo de caracterizar, además, el comportamiento de estas variables en el tiempo. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad en los casos que fue necesario. Los datos porcentuales y la variable número de frutos se transformaron mediante la raíz cuadrada del valor, después de comprobar, a todas las variables evaluadas, el cumplimiento de la normalidad. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 10 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La altura y el índice de crecimiento en plantas de tomate (Figura 1) no reflejaron diferencias estadísticas entre los esquemas en estudio, para los diferentes momentos en que se realizaron las evaluaciones (15, 30, 45 y 60 ddt para la altura y 30, 45 y 60 ddt para el IC). La altura aumenta significativamente a medida que el cultivo se desarrolla, con valores superiores a los 60 ddt (115.23 y 112.64 cm); sin embargo, el mayor índice de crecimiento se localiza a los 45 ddt (2,51-2,69 cm/planta/día) y coincide con el inicio de la fase III. En este momento comienza el llenado de los frutos que cuajaron en los primeros racimos emitidos por la planta y se produce el cuaje del tercero y cuarto racimos, comienza el periodo de fructificación y se produce una intensificación en el crecimiento del cultivo para sustentar la demanda que exige el proceso de fructificación. Durante este período existe un equilibrio entre los procesos de crecimiento vegetativo y los reproductivos.

Los menores valores para el IC se obtienen a los 60 ddt (inicio de cosecha); en este momento la mayor parte de los asimilados que se elaboran durante el proceso de fotosíntesis se traslocan hacia las partes de la planta en fase reproductiva, pues se plantea que durante el período vegetativo, las hojas se comportan como sumideros de compuestos elaborados durante el proceso de fotosíntesis; sin embargo, una vez que alcanzan su máxima expansión foliar y la actividad fotosintética, se convierten esencialmente en órganos fuente de asimilados para garantizar, en primer lugar, el llenado y crecimiento de los frutos (11, 12).

Similares resultados se han encontrado para otras variables de crecimiento; se plantea, por ejemplo, que la mayor producción diaria de biomasa para las hojas, el tallo y la raíz en el cultivo del tomate, tiene lugar entre los 41 y 55 días después del trasplante, momento que coincide con el período de máximo crecimiento vegetativo e inicio de la cosecha (13). Otros obtuvieron para el cultivo del tomate que con el inicio del cuajado de los frutos comienzan a aumentar también las necesidades de nutrientes, pues se establece que los períodos de mayor intensidad en el crecimiento coinciden con los de mayor absorción (13, 14).

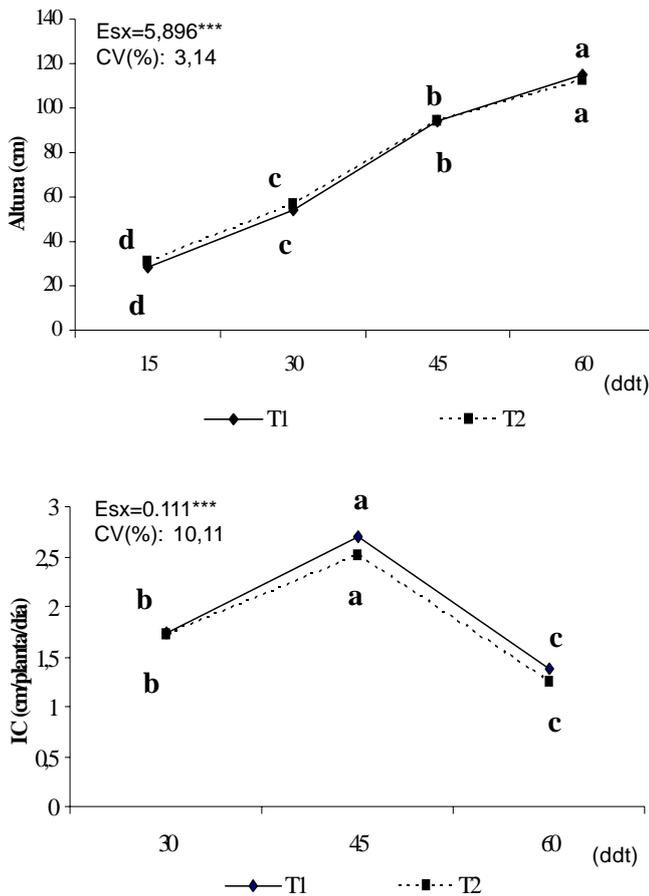


Figura 1. Altura de la planta e índice de crecimiento en diferentes momentos del ciclo del tomate y esquemas de fertirriego estudiados

En cuanto a los componentes del rendimiento (Tabla VI), se pudo observar que al igual que para las variables anteriores, los esquemas estudiados no ejercieron un efecto diferenciado en el diámetro polar, el diámetro ecuatorial, la masa promedio del fruto y el número de frutos totales por planta. Los valores se encuentran en correspondencia con las características del cultivar, cuya masa promedio de los frutos oscila entre 170 y 200 g y un número de frutos por planta que puede llegar hasta 25 cuando el ciclo del cultivo se extiende por un período de 120 días en condiciones más favorables de clima (invierno). Se considera como adecuado, para el período de primavera-verano, entre 19 y 22 frutos por planta (5, 6).

Tabla VI. Diámetros polar y ecuatorial, masa promedio de un fruto y número de frutos por planta en el cultivo protegido del tomate (híbrido HA 3019) para cada esquema de fertirriego en estudio

Tratamientos	Diámetro polar (cm)	Diámetro ecuatorial (cm)	Masa promedio de un fruto (g)	Número de frutos/planta (u)
T1	6,48	7,57	191,88	19,23
T2	6,89	7,86	188,06	20,12
Esx	0,099 ns	0,109 ns	3,57 ns	1,987 ns
CV (%)	11,45	10,58	9,87	10,98

En la Tabla VII aparece el rendimiento total por calibre (sumatoria de siete semanas de cosecha), donde se pudo comprobar que las producciones en cada una de las categorías (extra, primera, extra+primera, segunda y tercera), así como las totales no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos en estudio. Con ambos esquemas se obtiene 91 % de la producción en la categoría de extra+primera (comercial) y, en este sentido, se conoce que el híbrido de tomate HA 3019 se caracteriza por un alto porcentaje de frutos en las categorías comerciales (5, 6, 15). Al analizar la producción total, se encontró que el cultivo no alcanzó su máximo rendimiento (80 t/ha), aunque se considera que la producción que se obtuvo en ambos esquemas es aceptable para la época de estudio. Esto pudo deberse a las condiciones de temperaturas que caracterizaron el período durante el cual se desarrolló el cultivo (marzo-junio) y que llegaron a alcanzar valores máximos promedio de 35,51°C dentro de la instalación, por encima de las que exige el tomate. Se plantea que temperaturas superiores a los 25°C y menores de 12°C provocan reducción en la calidad del polen, menor número de racimos y frutos por racimo y, como consecuencia, rendimientos por debajo del potencial productivo del cultivo (16, 17).

Tabla VII. Rendimiento por categorías y total en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3019, para cada esquema de fertirriego estudiado

Tratamientos	Extra	Primera	E+P	Segunda	Tercera	Total
	(t/ha)					
T1	40,02	21,02	61,04	4,36	1,68	67,08
T2	39,22	22,87	62,09	4,61	1,40	68,11
Esx	1,154 ns	0,547 ns	0,879 ns	0,321 ns	0,154 ns	0,590 ns
CV (%)	10,23	6,87	9,25	10,58	11,23	9,97

Al analizar el efecto de los esquemas estudiados en el estado nutricional de la planta (Figura 2), se encontró que solo existieron diferencias significativas para el contenido foliar de N en la primera fase de crecimiento, donde la variante 1 presentó los mayores valores. Este comportamiento pudo deberse a que durante esta fase se aplicó la fórmula 5-10-5 que contiene N, contrario al esquema 2, donde solo se empleó H_3PO_4 , lo que pudo incidir en que los contenidos de N fueran superiores; sin embargo, no hubo diferencias para el K, a pesar de que la fórmula 5-10-5 contiene este elemento. En relación con el K, hay que tener en cuenta los altos contenidos que presenta el suelo, además de que es el elemento que se aplica en mayor proporción en las casas de cultivos, por lo que pueden quedar cantidades considerables provenientes de los fertilizantes que se aplicaron a cultivos anteriores. En la fase II los porcentajes de N foliar se igualan en ambos esquemas, debido al inicio de la fertirrigación con este nutriente a concentraciones iguales en la solución nutritiva.

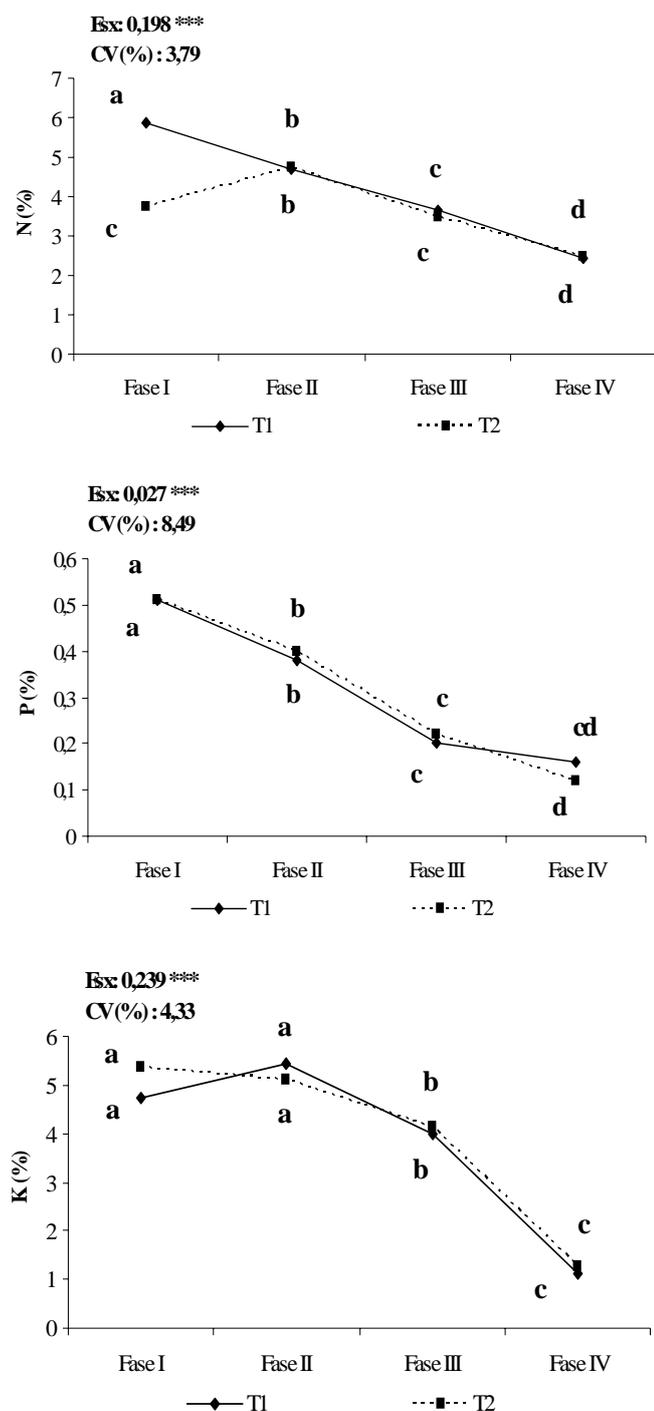


Figura 2. Contenidos foliares de N, P, K en plantas de tomate muestreadas al final de cada una de las fases del ciclo de crecimiento del cultivo y en cada esquema de fertirriego estudiado

Los porcentajes de N, P y K oscilaron entre 2,43-5,89 %, 0,12-0,51 % y 1,28-5,45 % respectivamente, en dependencia de la fase de crecimiento del cultivo y los menores valores se localizan hacia el final de la plantación. La concentración de N en el esquema 1 y el porcentaje de fósforo disminuyen significativamente, a medida que avanza el ciclo del cultivo, mientras que el N en la

variante 2 y el porcentaje de K, lo hacen a partir de la fase II. Esta disminución de los contenidos foliares de macroelementos se debe a la redistribución del elemento en mayor cantidad de biomasa y a su movilización hacia otras partes de la planta en crecimiento, principalmente hacia los frutos (13, 14).

En estudios realizados en Cuba para las condiciones de suelo Ferralítico, se plantea que las concentraciones de N, P y K oscilan entre 2,71-5,15 %, 0,34 - 1,65 % y 3,85-5,12 % respectivamente, en dependencia de la etapa en que se encuentra el cultivo, con valores inferiores hacia el final de la plantación (13, 18). Comparando los rangos cuantificados en el presente estudio, se encontró que el P durante todo el ciclo y los porcentajes de todos los elementos hacia el final de la fase IV, estuvieron por debajo de estos valores. Las diferencias en los criterios que se utilizan en relación con los niveles de elementos nutricionales en la planta de tomate y su interpretación, dependen de factores bióticos y abióticos, como la temperatura, humedad relativa, luminosidad, el genotipo, la concentración de nutrientes en el suelo y en la solución nutritiva, conducción de la plantación y cobertura plástica; por este motivo, se pueden encontrar recomendaciones diferentes que dependen de las condiciones específicas donde se desarrollan las investigaciones (19, 20).

Al analizar la firmeza del fruto (Tabla VIII), se observó que los esquemas de fertilización estudiados no ejercieron un efecto diferenciado en la consistencia del fruto, tampoco se detectaron variaciones en el porcentaje de anomalías en la coloración interna y en el diámetro del endocarpio y el mesocarpio, mientras que la calidad bromatológica (Tabla IX) no mostró diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio. En este sentido, se plantea que el híbrido de tomate HA 3019 posee estabilidad genética en las propiedades que determinan la calidad del fruto (5); este comportamiento hace que estudios con diferentes concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva, especialmente K, aplicaciones de estimuladores del crecimiento durante el desarrollo del cultivo, e incluso variaciones en la época de siembra, no reflejaran cambios en las propiedades externas e internas de los frutos del híbrido de tomate HA 3019, a excepción de la firmeza del fruto, indicador que varía en función del clima, la fertilización y calidad del agua de riego (21, 22).

Tabla VIII. Indicadores de calidad externa en frutos de tomate cuantificados en la quinta cosecha (período de plena producción) para ambos esquemas de fertirriego

Tratamientos	Firmeza (N)	Anomalías en el color interno (%)	Diámetro del endocarpio (mm)	Diámetro del mesocarpio (mm)
T1	66,90	16,16	6,38	0,72
T2	71,30	15,38	5,48	0,74
Ex	0,459 ns	2,052 ns	0,954 ns	0,007 ns
CV (%)	4,56	11,47	8,99	5,68

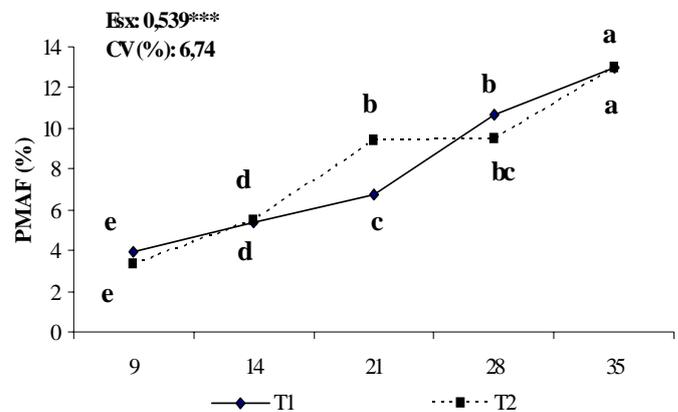
Tabla IX . Indicadores de la calidad bromatológica en frutos de tomate determinados en la quinta cosecha (período de plena producción) para ambos esquemas de fertirriego

Tratamientos	MS (%)	Acidez (%)	SST (°Brix)	Vit. C (mg/100g)	pH	N (%)	P (%)	K (%)
T1	4,45	0,41	4,60	17,21	4,30	1,86	0,32	4,32
T2	4,65	0,32	4,55	18,54	4,10	1,86	0,33	4,41
Esx	0,091 ns	0,101 ns	0,247 ns	2,014 ns	0,030 ns	0,458 ns	0,018 ns	0,236 ns
CV (%)	9,36	5,00	4,02	10,25	8,04	10,49	10,01	11,09

La vitamina C se considera baja y varios autores determinaron contenidos en frutos de tomate de 20 a 28 mg/100g (23, 24), superiores a los encontrados en el presente estudio. Los SST, el pH y la acidez se encuentran dentro de los rangos establecidos como normales (SST entre 4,0 y 5,5, 0,4 % de acidez titulable y pH entre 4,0 y 4,4) (25). En cuanto a estas variables de calidad bromatológica, existen disímiles resultados para las condiciones de Cuba, que dependen del clima (época del año), el cultivar y tipo de suelo. Se informan para los diferentes híbridos de tomate y épocas de siembra, valores de sólidos solubles totales, porcentajes de materia seca, contenidos de vitamina C, pH y acidez de 4,10-4,30 %, 3,13-4,05 %, 9,41-10,13 mg/100g, 4,29-4,38 y 0,51-0,58 % respectivamente (21, 22, 26).

La aplicación de igual cantidad de nutrientes y conductividades eléctricas similares en la solución nutritiva no afectaron los atributos externos e internos del fruto de tomate. En estudios realizados a nivel internacional, se logró incrementar el porcentaje de materia seca en el fruto de 5,4 a 7,7 % al aumentar la CE de la solución nutritiva, así como su firmeza en un 25,82 % (14). Otros aspectos del manejo agronómico que pueden considerarse para mejorar la concentración de ácidos y azúcares presentes en el fruto, la consistencia y el sabor, el contenido de licopeno y la homogénea distribución de los pigmentos, son el empleo de períodos cortos de déficit de agua (17, 27) y el incremento de la concentración de K en la solución nutritiva (28, 29).

Las pérdidas de masa por actividad fisiológica (Figura 3) aumentaron significativamente con el tiempo de conservación y los mayores valores se obtuvieron a los 35 días de poscosecha (13 %). Este comportamiento se debe a que durante el proceso de maduración de los frutos, una vez cosechados, se establecen cambios en la velocidad de respiración, que conducen a cambios en la estructura de la membrana celular, ablandamiento de la pared celular, pérdidas en la textura, destrucción, solubilización e hidrólisis de sustancias, trayendo consigo la senescencia del fruto, proceso irreversible que culmina con la vida funcional de este órgano (30, 31). Esta variable mostró diferencias significativas entre los tratamientos solo a los 21 días de vida en anaquel y las menores pérdidas se obtuvieron en la variante 1, donde se incluyeron los fertilizantes líquidos, aunque eran de esperar valores semejantes, teniendo en cuenta que ambos esquemas se sometieron a condiciones similares de cultivo.


Figura 3. Pérdidas de masa por actividad fisiológica en frutos de tomate durante su vida en anaquel, en cada esquema de fertirriego estudiado

En este momento, los frutos de tomate en el esquema 1 mantenían su calidad comercial, pues las pérdidas de masa por actividad fisiológica fueron inferiores al 7 %, porcentaje límite donde el fruto de tomate pierde aceptación comercial (32). A partir de este momento, los valores se igualan para ambos esquemas. Estudios realizados en Cuba plantean que las pérdidas de peso en frutos de tomate pueden alcanzar, a los 35 días de vida en anaquel, porcentajes entre 5,33 y 13 % para diferentes híbridos de tomate, esquemas de fertirriego, condiciones y envases para la conservación (21, 26, 33).

REFERENCIAS

- Hernández, M. I. /et al./ El cultivo protegido de las hortalizas: medio ambiente y sociedad. *Temas de Ciencia y tecnología*, 2006, vol. 9, no. 30, p. 25-31.
- Segura, M. L. /et al./ Fertilización y riego bajo invernadero en producción integrada. *Horticultura*, 2000, vol. 146, p. 16-24.
- Cadahía, C. Fertirrigación. España: Ediciones Mundi-Prensa, 2005. 475 p.
- Langlais, C. H. Guía de cultivos protegidos de hortalizas en zona tropical húmeda. Montpellier: CIRAD, 2002. 90 p.
- Pérez, J., 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 (3: 2004 dic. 20-21: La Habana), 2004. p.26.
- Casanova, A. /et al./ Manual para la producción protegida de hortalizas. 2da. Ed., La Habana: Editora Lilianna, 2006. 125 p.

7. Cuba. Minagri. Instituto de Suelos. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana: Agrinfor, 1999, 73 p.
8. Rottenberg, O. Manejo de la salinidad en la solución del sustrato en invernadero.-México: Haifa Chemicals México, 2006. 46 p.
9. Gómez, O. /et al./. Mejora genética y manejo del cultivo del tomate para la producción en el Caribe.—La Habana: Editora Liliana, 2000. 159 p.
10. Broyette, M. D. /et al./. Postharvest cooling and handling of field and greenhouse growth tomatoes. Maintaining the quality of apart. *Carolina Fresh Produce*, 1995, vol. 3, p. 1-8.
11. Hartz, T. K. /et al./. Processing tomato yield and fruit quality improved with potassium fertigation. *HortScience*, 2005, vol. 40, p. 1862-1867.
12. 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, vol. 4, p. 17-24.
13. Hernández, M. I. /et al./. Extracción y distribución de macronutrientes en el cultivo protegido del tomate, híbrido HA 3105 En: 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.
14. 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.
15. Rodríguez, G. y Gómez, O. Evaluación de híbridos F1 adaptados al sistema de cultivo protegido. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 2005, vol. 9, no. 25, p. 7-12.
16. Adams, S. R. /et al./. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruit. *Annals of Botany*, 2001, vol. 88, p. 869-877.
17. Mulholland, B. J. /et al./. Effect of VDP, K nutrition and root zone temperature on leaf area development, accumulation of Ca and K and yield in tomato. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2001, vol. 76, p. 641-647.
18. Chailloux, M. /et al./. Informe de validación para el Registro de fertilizantes de la República de Cuba: Prueba de productos del Grupo Bioquímico Mexicano en los cultivos de pepino y tomate bajo condiciones protegidas. La Habana: Editora Liliana, 2000. 16 p.
19. Jarvan, M y Poldma, P. Content of plant nutrients in vegetables depending on various lime material used for neutralising bog peat. *Agronomy Research*, 2004, vol. 2, p. 39-48.
20. 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.
21. Hernández, M. I. /et al./. Soluciones nutritivas con diferentes relaciones N/K en el cultivo protegido del tomate En: Congreso Científico del INCA (15:2006 nov 9-10, la Habana) Memorias. CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2006. ISBN 959-7023-36-9.
22. Cawich, F. Evaluación del bioestimulante Liplant en el cultivo protegido del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill. var HA 3019). (Tesis Ingeniero agrónomo). Universidad Agraria de La Habana, 2007. 47 p.
23. Biase, T. Frutos frescos y vitamina C para enfrentar el invierno. (en línea) España [Consultado 11-12-2003] Disponible en: <http://www.salutia.com/>
24. Herrera, J. M. Informe especial sobre tomates (en línea) España [Consultado 11-12-2003] Disponible en: http://www.ediho.es/horticom/temp_aut/frutas/tomate1.html/
25. Namesny, A. Tomates. Producción y comercio. Barcelona:Ediciones de Horticultura, 2004. 133 p.
26. 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 poscosecha. *Tecnología e Higiene de los Alimentos*, 2005, vol. 42, no. 361, p. 83-90.
27. Mikkelsen, R. L. Tomato flavour and plant nutrition a brief review. *Better Crops with Plant Food*, 2005, vol. 89, p. 14-15.
28. Indowu, M. K. y Aduayi, E. A. Effects of sodium and potassium application on water content and yield of tomato in south western Nigeria. *Journal of Plant Nutrition*, 2006, vol. 29, no. 12, p. 2131-2145.
29. Terabayashi A. /et al./. Relationship between the weekly nutrient uptake rate during fruiting stages and fruit weight of tomato grown hidroponically. *Journal Japan Society of Horticultural Science*, 2004, vol. 73, p. 324-329.
30. Salgado, J. M. /et al./. Comportamiento poscosecha del tomate Vyta en anaquel. *Tecnología e Higiene de los Alimentos*, 2005, vol. 42, no. 363, p. 118-121.
31. Ruiz, C. A. Efecto de la dosis y forma de colocación del potasio sobre la calidad física de frutos de tomate almacenados a dos temperaturas. *Revista Facultad de Agronomía de Zulia*, 2006, vol. 23, p. 475-488.
32. Gómez, P. /et al./. Calidad poscosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileña*, 2002, vol. 20, no. 1, p. 38-48.
33. Salgado, J. M. Empaque en la conservación poscosecha en híbridos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Temas de Ciencia y Tecnología* 2005, vol. 29, no. 5, p. 17-29.

Recibido: 17 de septiembre de 2007

Aceptado: 20 de mayo de 2008