

DESBALANCE NUTRIMENTAL DEL SUELO Y EFECTO SOBRE EL RENDIMIENTO DE TOMATE (*Lycopersicon solanum* L.) Y PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CONDICIONES DE CULTIVO PROTEGIDO

A. Cabrera[✉], J. Arzuaga y M. Mojena

ABSTRACT. Over the horticultural production under protected conditions, high fertilizer rates are applied through fertigation, perhaps without knowing soil fertility regime. A study was developed on this basis, using Israelite cucumber (*Cucumis sativus* L.) HA 454 and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) HA 3108 hybrids as horticultural species. The soil corresponded to an eutric lixiviated Red Ferralitic (Rhodic Ferralsol). Soil samples taken before plantation and after the last harvest were analyzed. Tomato was planted on Oct 19, 2001 whereas cucumber on Oct 27, 2001. The fertilizer was applied through fertigation by means of drip irrigation three times a week and following a previously defined fertilization program. In the soil, the first pH value was close to the neutral one (6.70), reaching alkalinity (7.60) at the end; organic matter content, although considered medium (3.00-3.10 %), decreased towards the end of the cycle (2.2 %); K content was high (1.25 cmol.kg⁻¹) and Ca content corresponded to the appropriate values for this type of soil (12.2 cmol.kg⁻¹), it increasing with time (14.7 cmol.kg⁻¹); Mg content was low (1.90 cmol.kg⁻¹), it decreasing at the end (1.20 cmol.kg⁻¹); Ca:Mg ratio was unfavorable to every cultivar (8.0), it reaching up to 16.4; phosphorus availability was high (355 mg.kg⁻¹), without being altered by fertigation. Both species yields were lower than the expected ones, as a result of a nutritional unbalance determined by inadequate internutrient relations enhanced by fertigation.

Key words: protected cultivation, soil fertility, fertigation, yield, horticultural crops

RESUMEN. Durante la producción hortícola en condiciones de cultivo protegido, se aplican dosis de fertilizantes mediante el fertirriego que resultan elevadas y, en ocasiones, sin conocer el régimen de fertilidad del suelo. Basado en lo anterior, se desarrolló un estudio, utilizando como especies hortícolas híbridos israelitas de pepino (*Cucumis sativus* L.) HA 454 y tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) HA 3108. El suelo se correspondió con un Ferralítico Rojo lixiviado éutrico (Rhodic Ferralsol). Se realizaron análisis a muestras de suelo tomadas antes de la plantación y después de la última cosecha. El tomate se plantó el 19 de octubre de 2001, mientras que el pepino el 27 de octubre de 2001. Todo el fertilizante se aplicó mediante fertirrigación con la técnica de riego por goteo, tres veces por semana y siguiendo el Programa de Fertilización definido previamente. En el suelo, el valor pH inicial estuvo cercano a la neutralidad (6.70) y, al final, llegó a la alcalinidad (7.60); el contenido de materia orgánica, aunque considerado medio (3.00-3.10 %), disminuyó al final del ciclo (2.2 %); el contenido de K fue alto (1.25 cmol.kg⁻¹) y el de Ca se correspondió con valores apropiados para este tipo de suelo (12.2 cmol.kg⁻¹), incrementándose con el tiempo (14.7 cmol.kg⁻¹); el de Mg resultó bajo (1.90 cmol.kg⁻¹), disminuyendo al final (1.20 cmol.kg⁻¹); la relación Ca:Mg fue desfavorable para cualquier cultivar (8.0) y se agudizó llegando hasta 16.4; la disponibilidad fosfórica fue elevada (355 mg.kg⁻¹), sin que se modificara a pesar de la fertirrigación. Los rendimientos alcanzados con ambas especies hortícolas estuvieron por debajo de lo esperado, lo que se atribuyó a desequilibrios nutricionales determinados por relaciones internutrientes inadecuadas que se agudizaron con la fertirrigación.

Palabras clave: cultivo protegido, fertilidad del suelo, fertirrigación, rendimiento, hortalizas

INTRODUCCIÓN

Una tecnología de producción hortícola muy difundida en el mundo, consiste en la producción en condicio-

nes de cultivo protegido, también denominado "cultivo forzado" (1). La producción hortícola en condiciones de cultivo protegido, si bien en otras latitudes se desarrolla desde hace décadas, en Cuba ha tomado auge en los últimos 10 años, situando como referencia lo expuesto por diversos autores (2, 3, 4, 5).

Uno de los manejos de importancia singular en condiciones de cultivo protegido, lo constituye el fertirriego (6, 7), con el que se logra incrementar la eficiencia del riego y la fertilización.

Dr.C. A. Cabrera, Investigador Titular del Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas; Dr.C. J. Arzuaga, Investigador Titular del Departamento de Extensión y Producción de Semillas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, CP 32 700; Dr.C. M. Mojena, Especialista, Comercial Caimán Internacional S. A, Cuba.

✉ nani@inca.edu.cu

La fertilización mineral es una de las prácticas agrícolas que conllevan a incrementos notables del rendimiento; sin embargo, su uso inapropiado afecta el ambiente de modo adverso, creando relaciones internutrientes desfavorables que pueden provocar desequilibrios nutricionales en las plantas; acidificando o salinizando los suelos (8); alterando la biota del suelo (9); contaminando el manto freático debido al lavado de los nitratos y contribuyendo al calentamiento global con la liberación de gases nitrogenados hacia la atmósfera. Esto obliga a realizar estudios que permitan elegir la frecuencia y dosis de fertilización que mejor se adecue a las condiciones locales específicas. En este sentido, diferentes programas se han desarrollado, los que llevan implícito las fórmulas, dosis y momentos de aplicación de los fertilizantes y estado fenológico del cultivar (10, 11), y aunque en los mencionados programas se refieren a considerar la disponibilidad de nutrientes del suelo, por lo general, en la práctica productiva no se tienen en cuenta las características particulares del medio edáfico, tal como han expresado otros investigadores (12).

Lo expresado anteriormente sugirió la realización de este trabajo, con los objetivos de determinar algunos de los componentes de la fertilidad del suelo y los efectos de la fertirrigación sobre los cambios producidos en los primeros y el efecto de ambos sobre el rendimiento de las especies hortícolas tomate y pepino.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las casas de cultivo donde se desarrollaron los estudios procedieron de la firma CARISOMBRA modelo Tropical A-12, que ocupan una superficie de 540 m² y se encuentran ubicadas en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). El suelo se correspondió con un Ferralítico Rojo lixiviado éutrico, según la Nueva Versión de Clasificación de los Suelos de Cuba (13), correlacionado con un Rhodic Ferralsol del *World Reference Base* (14).

La especie hortícola evaluada en una casa fue el pepino (*Cucumis sativus* L.), híbrido HA 454 israelita; mientras que en la otra lo fue el tomate (*Lycopersicon solanum* L.), híbrido HA 3108, también israelita y de crecimiento indeterminado. Las posturas de ambas especies se obtuvieron en una casa de cultivo en bandejas de poliespuma con 247 alvéolos de 3 cm de lado cada uno; las de tomate, con 20 días después de sembradas, tuvieron una altura de 13 cm y las de pepino, con ocho días, alcanzaron 8 cm.

La plantación del tomate se efectuó el 19 de octubre de 2001, mientras que el pepino se plantó el 27 de octubre de 2001, fechas definidas como óptimas para las condiciones locales. En cada casa de cultivo se prepararon seis canteros, con 216 plantas en cada uno en un marco de plantación de 0.40 X 0.50 m.

La duración correspondiente a cada etapa considerada para la aplicación de las fórmulas fertilizantes, luego del trasplante, se presenta en la Tabla I.

Tabla I. Duración de cada etapa considerada para la fertirrigación después del trasplante para las especies utilizadas en la investigación

Especie	Etapas	Fase	Duración (días)
Tomate	1	Trasplante-Emisión 1 ^{er} racimo floral	14
	2	Emisión 1 ^{er} racimo floral-Cuaje 3 ^{er} racimo	28
	3	Cuaje 3 ^{er} racimo-Inicio cosecha	21
	4	Inicio cosecha-Producción	28
	5	Producción	21
	6	Producción	21
Pepino	1	Trasplante-Engrosamiento de frutos	28
	2	Engrosamiento de frutos-Producción	28
	3	Producción	28

Las fórmulas fertilizantes evaluadas y las cantidades aplicadas, definidas sin considerar la fertilidad del suelo, se presentan en la Tabla II.

Tabla II. Fórmulas fertilizantes aplicadas a cada especie hortícola utilizada en la investigación. Período de siembra óptima, octubre 2001

Especie	Fórmula	Cantidad a aplicar por etapas						Nutriente total aplicado		
		1	2	3	4	5	6	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
-----kg.casa ⁻¹ -----										
Tomate	15-30-15	9.0	4.2	6.3	9.9	7.1		37.5	17.2	74.0
	18-6-18		27.4	16.8	20.4	15.3	24.3			
	12-0-45		4.2	11.6	39.0	30.0	25.8			
Pepino	15-30-15	11.2	11.2	5.4				12.4	9.7	23.8
	18-6-18	1.8	10.2	10.7						
	12-0-45	4.9	13.6	16.1						

En las dos primeras fórmulas fertilizantes, el N estuvo en forma de NO₃⁻ y NH₄⁺, mientras que en la última, todo en forma de NO₃⁻ (Tabla III).

Tabla III. Composición porcentual de la forma nitrogenada presente en las fórmulas fertilizantes aplicadas en la investigación

Fórmula	Composición	
	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
-----%-----		
15-30-15	43	57
18-6-18	50	50
12-0-45	100	0

Todo el fertilizante se aplicó mediante fertirrigación con la técnica de riego por goteo, tres veces por semana durante dos horas, luego de haber regado el día anterior.

Para conocer el régimen y la variación de la fertilidad del suelo, en cada casa de cultivo se tomaron 18 muestras al azar con barrena holandesa, a la profundidad de 0.20 m, antes de iniciarse la plantación y posterior a la cosecha final, comenzando a una distancia de 2.50 m de los lados de la casa. El área se dividió en dos franjas que comprendían a tres canteros cada una. En cada franja se tomaron nueve muestras y cada una de ellas estuvo compuesta por dos submuestras que se mezclaron y homogeneizaron. El suelo se secó al aire y se tamizó por

una malla de 1 mm. Los análisis realizados al suelo fueron materia orgánica según el método de Walkley-Black; pH potenciométricamente; cationes intercambiables mediante la extracción con NH_4OAc N pH 7, el Ca y Mg se midieron por complexometría y el Na y K por fotometría de llama; el P asimilable se extrajo con H_2SO_4 0,1 N y se midió mediante el desarrollo del color azul producido con el Amino-Naftol-Sulfónico. Todas las técnicas están descritas en el Manual de Técnicas para Análisis de Agua, Suelo, Planta, Fertilizantes y Abonos Orgánicos del INCA (15). Se calculó además la relación Ca:Mg.

Las evaluaciones a las plantas se realizaron en los dos canteros interiores en un área de 1.60 m² replicada seis veces en forma aleatoria.

Dichas evaluaciones fueron:

- Número de frutos por planta: se realizaron en el tiempo conteos de los frutos cosechables en cada planta evaluada de pepino y tomate respectivamente.
- Masa promedio de los frutos por planta (g): los frutos contados y cosechados por planta, se pesaron en balanza técnica y el peso se dividió por el número de frutos.
- Rendimiento (kg.planta⁻¹, t.ha⁻¹): se calculó dividiendo la producción total obtenida entre el área correspondiente.
- Masa seca de la biomasa aérea (hojas+tallos) y frutos del tomate (% t.ha⁻¹): de las plantas muestreadas y pesadas el 18 de marzo del 2002 (última cosecha), se tomaron 100 g de los órganos analizados y se secaron en estufa a 70°C hasta peso constante.
- Contenido de nutrientes en el tomate (%): la muestra vegetal se digirió con una mezcla de H_2SO_4 y Se. El N se determinó por el método de Kjeldahl, el P con el desarrollo del color azul con Amino-Naftol-Sulfónico, el K por fotometría de llama, el Ca y Mg por complexometría.
- Extracción de nutrientes realizada por el tomate (kg.ha⁻¹): mediante cálculo a partir del contenido de nutrientes y la producción de masa seca de los órganos vegetales.
- Eficiencia agronómica: por cálculo según la relación entre el rendimiento de frutos expresado en kg.casa⁻¹ y la suma del N, P₂O₅ y K₂O aplicados, expresados en kg.casa⁻¹.
- Eficiencia fisiológica: por cálculo según la relación entre el rendimiento de frutos expresado en kg.casa⁻¹ y la suma del total de N, P₂O₅ y K₂O extraídos, expresados en kg.casa⁻¹.

Además, se realizaron observaciones visuales para evaluar cualitativamente el vigor y color de la plantación.

Todos los resultados se evaluaron mediante análisis de varianza de clasificación simple, respondiendo a una distribución al azar de las muestras tomadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En sentido general, se encontró un desbalance en la fertilidad química del suelo al inicio del estudio (Tabla IV).

Tabla IV. Valores iniciales de algunas propiedades de los primeros 0.20 m del perfil del suelo utilizado en el estudio. Septiembre del 2001

pH	Materia orgánica (%)	Na	K	Ca	Mg	Ca:Mg	P asimilable (mg.kg ⁻¹)
Unidades		-----cmol.kg ⁻¹ -----					
6.7	3.00	0.22	1.25	12.2	1.90	8.0	355

El valor pH estuvo cercano a la neutralidad, mientras que el contenido de materia orgánica se consideró medio, según criterios brindados para estas condiciones de estudio (10). El contenido de K se consideró alto y a pesar de que el contenido de Ca se correspondió con valores apropiados para este tipo de suelo (16), el de Mg resultó bajo, lo que propició una relación Ca:Mg desfavorable para cualquier cultivar (16). Por otra parte, la disponibilidad fosfórica fue elevada, lo que pudo incidir adversamente sobre la absorción de algún micronutriente por algún efecto de antagonismo.

En el tiempo, la disponibilidad fosfórica no se modificó, a pesar de los aportes del nutriente con la fertirrigación (Figura 1).

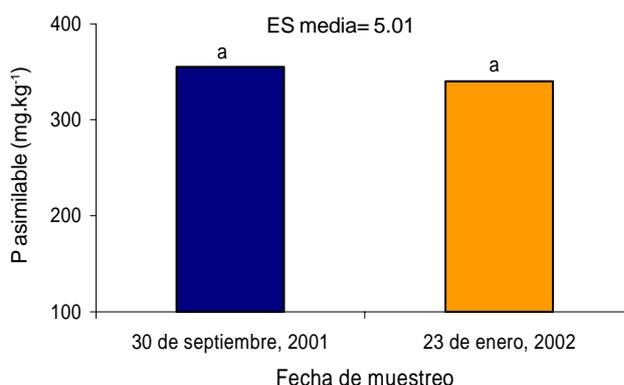


Figura 1. Mantenimiento de la disponibilidad fosfórica del suelo de las casas de cultivo a pesar de la fertirrigación

Lo ocurrido se interpretó considerando que parte del P aplicado se transformó en fracciones, como pudieran ser P-Al y P-Fe, muy poco extraídas con la solución extraente utilizada y que se retuvo en la fase sólida del suelo, presumiblemente en forma de P-Ca insoluble, al reaccionar con el Ca del agua de riego y debido a los incrementos del valor pH (Figura 2) y del contenido de Ca intercambiable (Figura 3) que se originaron en el suelo.

Sobre el incremento del pH (13.4 %) incidió el predominio de fertilizantes nitrogenados nítricos, ya que durante la asimilación del NO_3^- y otros aniones por la planta, la solución del suelo se enriquece con grupos OH^- y HCO_3^- , en especial cuando el NO_3^- es reducido a nivel de la raíz (17).

El contenido de Ca intercambiable se incrementó en un 20 % en cuatro meses. Esto se atribuyó al suministro con el agua de riego y a la elevación del pH.

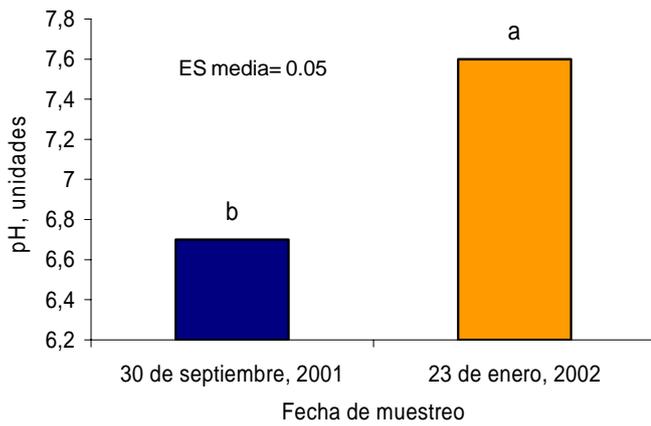


Figura 2. Incremento del pH del suelo de las casas de cultivo después de la fertirrigación

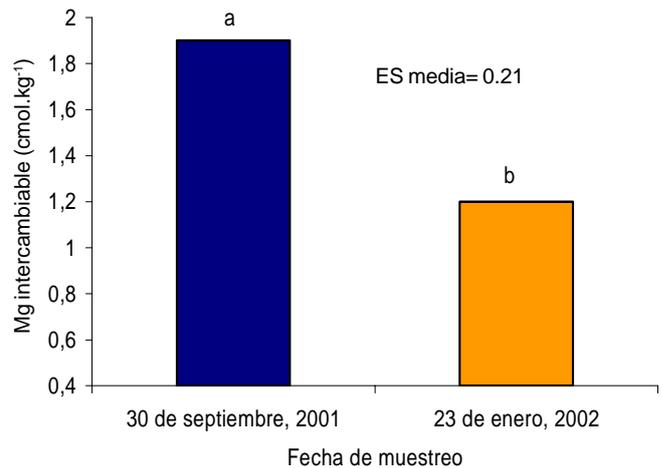


Figura 4. Disminución del Mg intercambiable del suelo de las casas de cultivo después de la fertirrigación

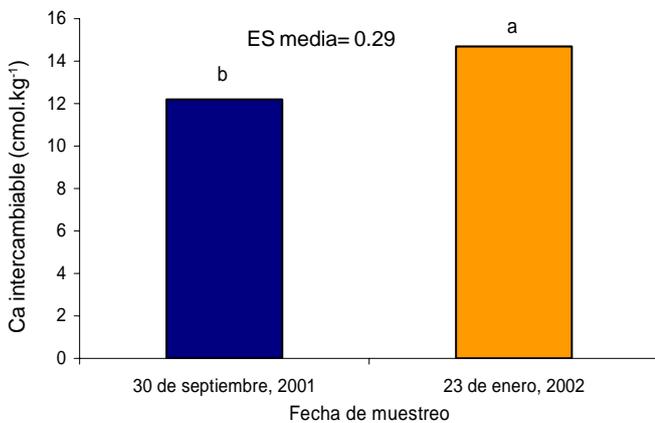


Figura 3. Incremento del Ca intercambiable del suelo de las casas de cultivo después de la fertirrigación

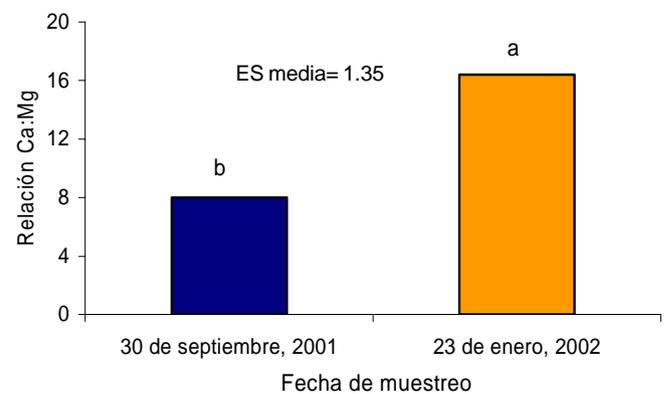


Figura 5. Incremento de la relación Ca:Mg del suelo por efecto del incremento del Ca y la disminución del Mg

En cambio, el contenido de Mg intercambiable disminuyó en un 37 % a pesar del incremento en el pH del suelo (Figura 4). Este nutriente lo contienen habitualmente las fórmulas fertilizantes utilizadas en bajas concentraciones, lo que unido a las extracciones realizadas por el cultivo y la posible lixiviación del nutriente hacia capas inferiores del suelo, pudieron haber motivado el comportamiento descrito, el que debió haberse agravado por el antagonismo producido con la aplicación de K por medio de la fertirrigación y el incremento de la disponibilidad de Ca del suelo, efecto antagónico que en el tomate es bien conocido (18, 19). El desbalance entre Ca, Mg y K disponibles para la planta puede causar deficiencia de Mg, aún más cuando se hacen aplicaciones de dosis elevadas de K (20), tal como ocurrió en este estudio.

El incremento del contenido de Ca y el decremento del Mg hicieron que se incrementara el valor de la relación Ca:Mg 105 % (Figura 5), deteriorándose aún más la fertilidad del suelo.

El decremento de la disponibilidad de Mg, el incremento del Ca, el K y el valor alcanzado de la relación Ca:Mg, incidieron desfavorablemente en la nutrición magnésica de los cultivos, manifestándose síntomas de deficiencia del nutriente diagnosticados visualmente. En el tomate, se detectaron en las hojas de las plantas durante la floración y comienzo de la fructificación, manchas cloróticas internervales comenzando por el borde, que dieron aspecto de mosaico a las hojas más viejas, mientras que las nervaduras permanecieron verdes. Con el tiempo, la mayoría de las hojas cambiaron de color hacia un amarillamiento lánguido y las flores presentaron una coloración débil. La probabilidad de ocurrencia de clorosis en las hojas, al tratarse del Ca y el Mg, se ha atribuido al suministro de altas concentraciones de Ca y bajas de Mg, debido a la competencia entre ambos durante la nutrición de la planta (21).

Unido a lo descrito, se pudo apreciar además que los tallos de las plantas, en ocasiones, se volvieron que-

bradizos y se encontraron frutos partidos o con rajaduras, lo que se asoció a exceso de N.

En el pepino, se detectaron durante la floración y comienzo de la fructificación, manchas cloróticas internervales, comenzando por el borde de las hojas y hacia el centro, que en ocasiones derivaron en manchas anchas y finalmente en necrosis, mientras que las nervaduras permanecieron verdes. Al tacto las hojas se sintieron más gruesas y crujientes. Esta manifestación indicó deficiencias de Mg. Estos síntomas estuvieron acompañados por una alta incidencia de Mildiu (*Phytophthora infestans*), sobre la que pudo haber influido, además, un exceso de N que hizo a la planta más susceptible ante la presencia del hongo.

El contenido de materia orgánica fue otra propiedad del suelo que disminuyó en el período de tiempo analizado, a pesar de la formación de biomasa de las hortalizas. Esta disminución correspondió a 27 % (Figura 6), sobre la que pudo incidir la mineralización de la materia orgánica del suelo en las condiciones de cultivo protegido, por el régimen de humedad favorable y las elevadas temperaturas, que se conoce existen en estas condiciones, a la limitada incorporación de restos vegetales en el suelo durante el ciclo de vida de la plantación, debido a las colectas de residuos agrícolas senescentes y el deshije periódicos que se realizaron, y a que en la demolición se extrajeron prácticamente todas las partes de la planta y se llevaron fuera de la casa.

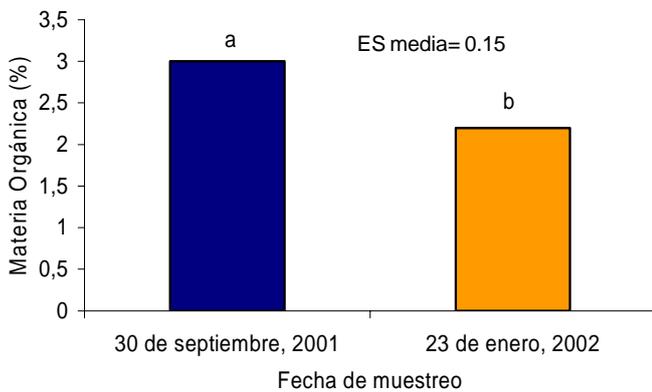


Figura 6. Disminución de la materia orgánica del suelo de las casas de cultivo

La cantidad de frutos por planta (Figura 7) y de masa promedio del fruto (Figura 8), resultaron inferiores a lo esperado para los híbridos de los cultivares evaluados, lo que pudo deberse a todo lo expuesto anteriormente.

En consonancia con lo anterior, el rendimiento alcanzado resultó inferior algo más de dos y tres veces para el pepino y el tomate respectivamente, al rendimiento esperado (Tabla V), que fue para el que se diseñaron y aplicaron las fórmulas y dosis de fertilizantes (22).

El rendimiento de masa seca y los contenidos de nutrientes encontrados en órganos vegetativos de plantas de tomate evaluados en el muestreo de la última cosecha, se presentan en la Tabla VI.

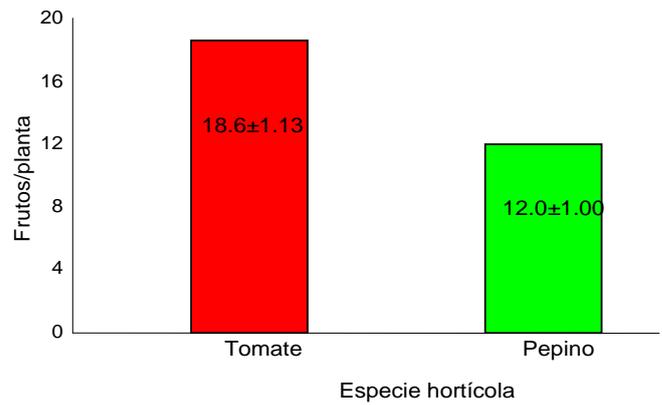


Figura 7. Cantidad promedio de frutos cosechados por planta en las casas de cultivo

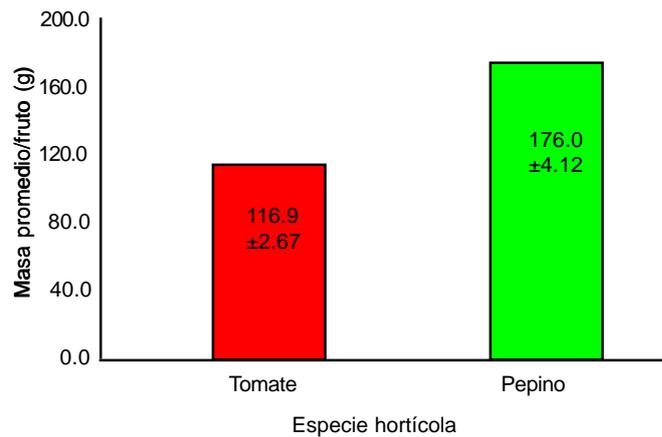


Figura 8. Masa promedio de cada fruto cosechado en las casas de cultivo

Tabla V. Rendimiento obtenido con cada especie hortícola en casas de cultivo y comparación con los rendimientos esperados. Ciclo: octubre del 2001 hasta enero (pepino) y marzo (tomate) del 2002

Especie	Unidad	Rendimiento	
		Obtenido*	Esperado
Tomate	kg.planta ⁻¹	2.18±0.65	7.3
	t.ha ⁻¹	52.4±4.36	174
Pepino	kg.planta ⁻¹	2.11±0.53	4.5
	t.ha ⁻¹	50.6±4.01	109

*Media ± Error estándar

Tabla VI. Producción de masa seca y contenido de nutrientes en órganos vegetativos de plantas de tomate muestreadas a los cinco meses después de la plantación. Marzo del 2002

Indicador	Unidades	Hojas+Tallos	Frutos
Masa seca		14.5±1.80	5.91±0.90
N		2.40±0.47	2.84±0.37
P		0.26±0.03	0.58±0.28
K	%	4.25±0.86	4.90±0.88
Ca		2.19±0.33	1.28±0.09
Mg		0.52±0.03	0.22±0.01
Rendimiento base seca	t.ha	5.92±0.89	3.08±0.54

Media ± Error estándar

El rendimiento total de masa seca fue $9.00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, correspondiendo 65.9 % a las hojas+tallos y 34.1 % a los frutos. Este rendimiento de masa seca resultó inferior al encontrado por otros investigadores en Cuba (23) debido, entre otras causas, a la diferencia entre los híbridos utilizados en uno y otro estudio, a los deshijes, a las colectas de tejido vegetal senescente y decapitado efectuados durante el ciclo del cultivo, y a la disminución de la producción de frutos al final del ciclo. Por otro lado, el valor porcentual correspondiente a las hojas+tallos resultó similar al encontrado por los investigadores mencionados (23), mientras que el de los frutos fue mayor. Sobre esto último pudo haber influido la diferencia entre las características genéticas de los híbridos y las dosis elevadas de fertilizantes aquí aplicadas, que confirieron un grado de salinidad tal al medio, que contribuyó a disminuir el contenido hídrico de los frutos.

En las hojas+tallos, el contenido de nutrientes se ordenó descendientemente de la forma siguiente: $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P}$, mientras que en los frutos el orden resultó ser $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg}$, comportamientos coincidentes con los encontrados en Brasil (24).

Se encontró mayor contenido de P en los frutos, los contenidos de N y K fueron semejantes en frutos y hojas+tallos; mientras que los de Ca y Mg fueron mayores en hojas+tallos.

La extracción de nutrientes realizada por el tomate (Tabla VII), resultante de la producción de masa seca y el contenido de nutrientes, se ordenó en cada órgano analizado de modo similar a los contenidos nutrimentales y ratificó el desbalance entre las bases intercambiables presentes en el suelo y puestos a disposición de las plantas. Las extracciones totales de Ca y K fueron cerca de cinco y 10 veces mayores respectivamente que la de Mg. Por otro lado, la relación $\text{K}:\text{Ca}+\text{Mg}$ alcanzó un valor de 2. Este es un indicador que se considera óptimo cuando se encuentra entre 0.4–0.9, en función del estado fenológico del cultivo. Al ser mayor que 1, deben manifestarse deficiencias de Ca o Mg. En esta investigación no se encontró necrosis apical (*Blosson end rot*) ni alguna otra manifestación que se correspondiera con una deficiencia de Ca y sí síntomas de deficiencias de Mg.

Otra relación que indicó desbalance nutrimental fue la $\text{N}:\text{P}:\text{K}$. Si bien la relación $\text{N}:\text{K}$ puede ser considerada adecuada, las relaciones $\text{N}:\text{P}$ y $\text{K}:\text{P}$, que alcanzaron valores cercanos a 10 y 17 respectivamente, denotaron suministros en exceso de N y K, ya que la disponibilidad fosfórica durante el ciclo del cultivo fue elevada. Los nutrientes extraídos expresados en $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$ tomates cosechados pueden considerarse altos, en sentido general, sobre todo para el K, exceptuando de esta generalización al Mg.

Otros indicadores del desbalance nutrimental y también de fertilización ineficiente son la Eficiencia Agronómica y la Eficiencia Fisiológica. Los valores encontrados fueron $21.9 \text{ kg tomate}\cdot\text{kg}^{-1}$ nutrientes aplicados y $66.2 \text{ kg tomate}\cdot\text{kg}^{-1}$ nutrientes extraídos para la Efi-

ciencia Agronómica y la Fisiológica respectivamente, resultando bajos e indicativos de que el rendimiento que se logró no se correspondió con el suministro de nutrientes puesto a disposición del cultivo, pero sí con relaciones internutrientes inadecuadas.

Tabla VII. Extracción de nutrientes realizada por órganos vegetativos de plantas de tomate tomadas a los cinco meses después de la plantación. Marzo del 2002

Nutriente	Extracción en base seca*			Tomate cosechado ($\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$)
	Hojas+Tallos	Frutos	Total	
N	142.3±3.42	87.7±1.01	230.0±4.87	4.38±0.12
P	15.4±0.96	17.9±0.86	33.3±1.67	0.63±0.02
K	252.0±4.57	151.2±1.36	403.2±5.44	7.69±0.67
Ca	124.5±1.44	39.5±0.82	164.0±2.74	3.12±0.11
Mg	30.8±1.02	6.8±0.36	37.6±1.43	0.71±0.05
Relación N:P:K				1 : 0.1 : 1.7
Relación Ca:Mg				1 : 0.2
Relación K:Ca				1 : 0.4
Relación K:Mg				1 : 0.1
Relación K:Ca+Mg				1 : 0.5

* Media ± Error estándar

CONCLUSIONES

- Cuando en suelos con bajos contenidos de Mg este no se aplica o se aplica en pequeñas dosis mediante la fertirrigación, la producción de tomate y pepino en casas de cultivos hace que disminuyan los contenidos de Mg intercambiable.
- El incremento del Ca y la disminución del Mg intercambiables del suelo originan una relación $\text{Ca}:\text{Mg}$ que afecta la nutrición magnésica del tomate y el pepino producidos bajo cultivo protegido.
- Aplicaciones mediante la fertirrigación de altas dosis de K en suelos con bajos contenidos de Mg intercambiable agudizan la deficiencia de Mg en el tomate y el pepino producidos bajo cultivo protegido.
- La fertirrigación en cultivos protegidos, sin tomar en consideración la disponibilidad de nutrientes del suelo, origina desbalances nutrimentales en las plantas que no permiten alcanzar los rendimientos esperados.

REFERENCIAS

1. Quezada, M. R.; Rosa, M. de la; Murguía, J.; Samaniego, E.; Ibarra, L.; Cedeño, B. Análisis de crecimiento en plántulas de chile pimiento bajo cubiertas térmicas para invernadero. En: Congreso CIDAPA (4: 2002, octubre 21-25, Varadero). Memorias. CD-ROM, 2002.
2. Anzardo, J. C. Manejo agronómico del pepino bajo cultivo protegido. En: Congreso CIDAPA (4: 2002, octubre 21-25, Varadero). Memorias. CD-ROM. 2002.
3. Cruz, O. y Pérez, J. Cultivo protegido tropical. La experiencia de la Empresa Cítricos "Ceiba". En: Congreso CIDAPA (4: 2002, octubre 21-25, Varadero). Memorias. CD-ROM. 2002.

4. Calderón, A.; Morales, J. C.; Franchi, O.; Suárez, D.; Portelles, J. Estudio del efecto de dos biofertilizantes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus*) en los sistemas protegidos. En: Congreso CIDAPA (4: 2002, octubre 21-25, Varadero). Memorias. CD-ROM. 2002.
5. León, M.; Cun, R.; Chaterlan, Y.; Rodríguez, R. y Pedroso, M. Uso eficiente del agua en el cultivo del tomate protegido. Resultados obtenidos en Cuba. En: Congreso CIDAPA (4: 2002, octubre 21-25, Varadero). Memorias. CD-ROM. 2002.
6. Imas, P. Manejo de nutrientes por fertirriego en sistemas frutihortícolas. [En línea]. Cong. Argentino de Horticultura (22:1999 sep. 28-oct. 1:Tucumán). [Consultado el 7 de mayo del 2000]. Disponible en: <http://www.ipipotash.org/presentn/mdnpsfesf.htm>. 1999a.
7. Imas, P. Recent techniques in fertigation of horticultural crops in Israel. [En línea]. IPI-PRII-KKV Workshop on: Recent trends in nutrition management in horticultural crops (11- 12 febrero 1999. Dapli, India). [Consultado el 7 de mayo del 2000] Disponible en: <http://www.ipipotash.org/presentn/rtifohc.htm>. 1999b.
8. Armenta-Bojórquez, A. D. /et al./ Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Revista Chapingo Horticultura*, 2001, vol. 7, no. 1, p. 61-75.
9. Chaveli, P. /et al./ Impacto del manejo agrícola del suelo en casas de cultivo. En: Congreso Científico del INCA (14: 2004, nov. 9-12; La Habana). Memorias CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 2004.
10. Casanova, A.; Gómez, O.; Depestre, T.; Igarza, A.; León, M.; Santos, R.; Chailloux, M.; Hernández, J. C.; Pupo, F. Guía técnica para la producción protegida de hortalizas en casas de cultivo Tropical con efecto "sombrija". Instituto de Investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova", 1999. 52 p.
11. Casanova, A. S. /et al./ Manual para la producción protegida de hortalizas. -La Habana: LILIANA, 2003. 125 p.
12. Monedero, M. Evaluación del manejo de suelos Ferralíticos Rojos en casas de cultivo protegido de La Habana. En: Congreso Científico del INCA (14: 2004, nov. 9-12; La Habana). Memorias CD-ROM. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. 2004.
13. Cuba. Minagri. Instituto de suelos. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. La Habana. Agrinfor, 1999. 64 p.
14. Driessen, P.; Deckers, J. A.; Spaargaren, O. C. y Nachtergaele, F. O. Lecture Notes on the Major Soils of the World. World Soil Resources Reports 94, FAO, Rome. 2001. 334 p.
15. Paneque, V. M.; Calderón, M.; Calaña, J. M.; Caruncho, M.; Hernández, Y. y Borges, Y. Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos. La Habana :INCA. 2001.
16. Cabrera, A. Caracterización agroquímica de los suelos Ferralíticos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Cuba. [Tesis de Doctorado] Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar. 1991. 103 p.
17. SQM (a). Agenda del Salitre. 11^{na} ed, Chile: Ed. Causiño Asociados, 2001. 1515 p.
18. Paiva, E. A. S.; Sampaio, R. A. y Martinez, H. E. P. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solutions containing different calcium concentrations. *J. Plant Nutr.*, 1998, vol. 21, p. 2653-2661.
19. Ho, L. C.; Hand, D. J. y Fussell, M. Improvement of tomato fruit quality by calcium nutrition. *Acta Hort.*, 1999, vol. 481, p. 463-468.
20. Hagin, J.; Sneh, M. y Lowengart-Aycicegi, A. Fertigation. Fertilization through irrigation. International Potash Institute, Basel, Switzerland. *IPI Research Topics*, 2002, no. 23, 81 p.
21. Xiuming Hao y Papadopoulos, A. P. Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato. *HortScience*, 2004, vol. 39, no. 3, p. 512-515.
22. SQM. Programa de fertilización de hortalizas plantadas en invierno y en verano. Tomate. 2001. 4 p.
23. Hernández, M. I.; Monedero, M.; Ojeda, A. y Macdonald, J. A. 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. ISBN 959-7023-27-X. 2004.
24. Fayad, J. A.; Fontes, Rezende, P. C. y Cardoso, A. A. Nutrient absorption by tomato plants grown under field and protected conditions. *Hortic. Bras.* [online]. 2002, vol. 20, no. 1 [Consultado 2006-10-14]. Disponible en: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362002000100017 & lng=en&nrm=iso>.

Recibido: 27 de noviembre de 2006

Aceptado: 17 de octubre de 2007