

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

**PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS Y FERTILIZACIÓN
NITROGENADA EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis*
ixocarpa Brot.)**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

J. JESÚS MAGDALENO VILLAR



Instituto de Horticultura

Chapingo, México. Diciembre de 2006



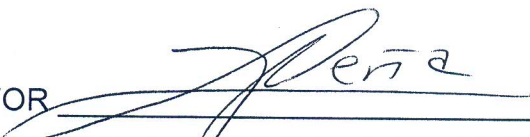
DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**Producción de plántulas y fertilización nitrogenada en tomate de cáscara
(*Physalis ixocarpa* Brot.)**

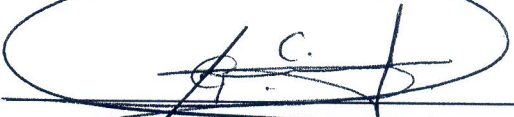
Tesis realizada por J. Jesús Magdaleno Villar bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

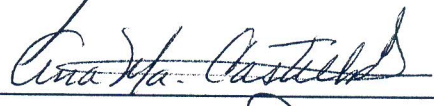
DIRECTOR


DR. AURELIANO PEÑA LOMELÍ

ASESOR


DR. ROGELIO CASTRO BRINDIS

ASESOR


DRA. ANA MARÍA GONZÁLEZ CASTILLO

ASESOR


DR. ARTURO GALVIS SPINOLA

ASESOR


DR. FILEMON RAMÍREZ PÉREZ

LECTOR EXTERNO


DR. JUAN ENRIQUE RODRÍGUEZ PÉREZ

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar la más sincera gratitud a las siguientes personas y organismos:

Al los Doctores: Aureliano Peña Lomelí, Rogelio Castro Brindis, Ana Ma. González Castillo, Arturo Galvis Spinola y Filemón Ramírez Pérez que aceptaron amablemente formar parte de mi Comité Asesor, por sus aportes, sugerencias, comentarios y atinada asesoría que me permitieron avanzar un escalón más en mi vida profesional.

Al Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez por su acertada revisión y apoyo profesional durante la elaboración del manuscrito, pero sobre todo por su amistad y las facilidades otorgadas hacia mi persona para concluir mis estudios.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de Doctorado.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por el apoyo brindado para desarrollar el trabajo de tesis.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Departamento de Fitotecnia y al Instituto de Horticultura por las facilitar mi formación profesional.

A todos los profesores y compañeros estudiantes del Instituto de Horticultura que tuve la oportunidad de conocer y compartir excelentes momentos. De manera especial a los profesores Claudio Mercado y Joel Pineda, por su gran apoyo y amistad.

A los trabajadores de la Universidad que han formado parte de mi vida y de los que siempre he recibido un si como respuesta. En especial a los señores: Antonio Díaz, Eusebio Moreno y al Ing. Rafael Cíntora.

DEDICATORIAS

En especial a mi esposa: Ma. Guadalupe Duran y a mis hijos: Jesús y Fernanda, que son la mejor recompensa a mis esfuerzos y sacrificios en la vida.

A mis padres: Jesús y Emelia, por todo el cariño y la confianza que han depositado en mí y por darme los valores que me forjaron como persona.

A mis hermanos: Alberto, Rafael, Elena y Xochitl, cuñados: Rebeca, Margarita y Alberto, y a todos mis sobrinos, por ser una excelente familia.

A mis compañeros de grupo: Eusebio Martínez, Jesús Herrera, Arturo Luna, Juan Carlos Reyes y Jorge Ayala, por su amistad.

A mis compañeras de trabajo: Ángeles, Bety, Rocío, Laura y Marce, y amigos de toda la vida: Lalo, Pablo, Andrés, Martín, Isauro, Antero, Tele, Alonso, Miriam, Natas, Efraín, Vega, Mora, etc, y a todos los integrantes del equipo de fútbol del Campo Experimental.

Quiero dedicar esta tesis a la memoria de mi abuelo José Villar Vázquez, el más extraordinario ser humano que he conocido y del Sr. Gabriel Ramírez Coronel, que dedicó gran parte de su vida a la investigación en el cultivo de tomate de cáscara, y que desafortunadamente se nos adelantaron en el camino durante el 2006. Así mismo, a la memoria de mi amigo Julián López Marín, quien fue un invaluable colaborador pero sobre todo una magnífica persona, q.e.p.d.

Sinceramente: J. M. V.

DATOS BIOGRAFICOS DEL AUTOR

Originario de Potreros, Municipio de Pénjamo, Gto. Egresado del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo generación 1985-1990.

Realizó estudios de Maestría en Ciencias en el Programa de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo generación 2000-2001.

Asesor técnico del Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología (PRONAMAT) en el estado de Veracruz, durante 1991.

De 1992 a 1996, Asesor Técnico del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo (CAEUACH), responsable del área de riego.

De 1996 a 1998, Coordinador del CAEUACH.

En 1999, responsable de la Jefatura Técnica del CAEUACH.

Actualmente colaborador en la Subdirección de Investigación del Departamento de Fitotecnia de la UACH.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	i
LISTA DE CUADROS	iii
RESUMEN GENERAL	vii
GENERAL ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
 CAPÍTULO I. EFECTO DE TRES SUSTRATOS Y DOS CUBIERTAS DE PLÁSTICO SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.)	 5
1.1. Resumen	6
1.2. Abstract	7
1.3. Introducción	8
1.4. Materiales y métodos	9
1.5. Resultados y discusión	14
1.6. Conclusiones	24
1.7. Literatura citada	24
 CAPÍTULO II. EFECTO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.)	 27
2.1. Resumen	28
2.2. Abstract	29
2.3. Introducción	30
2.4. Materiales y métodos	32
2.5. Resultados y discusión	35
2.6. Conclusiones	46
2.7. Literatura citada	46

CAPÍTULO III. EFECTO DE VOLÚMENES Y FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.)	49
3.1. Resumen	50
3.2. Abstract	51
3.3. Introducción	52
3.4. Materiales y métodos	53
3.5. Resultados y discusión	56
3.6. Conclusiones	65
3.7. Literatura citada	66
CAPÍTULO IV. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis</i> <i>ixocarpa</i> Brot.)	69
4.1. Resumen	70
4.2. Abstract	70
4.3. Introducción	71
4.4. Materiales y métodos	72
4.5. Resultados y discusión	76
4.6. Conclusiones	86
4.7. Literatura citada	87
CAPÍTULO V. EFECTO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL FERTILIZANTE NITROGENADO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE TOMATE DE CÁSCARA (<i>Physalis ixocarpa</i> Brot.)	91
4.1. Resumen	92
5.2. Abstract	93
5.3. Introducción	94
5.4. Materiales y métodos	96
5.5. Resultados y discusión	101
5.6. Conclusiones	111
5.7. Literatura citada	111
DISCUSIÓN GENERAL	115
CONCLUSIONES GENERALES	121
LITERATURA CITADA	124

LISTA DE CUADROS

CAPÍTULO I. EFECTO DE TRES SUSTRATOS Y DOS COLORES DE PLÁSTICO SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)

Cuadro 1.	Descripción de tratamientos en plántulas de tomate de cáscara.	10
Cuadro 2.	Propiedades de los sustratos evaluados en la producción de plántulas de tomate de cáscara.	11
Cuadro 3.	Efecto de los tratamientos sobre el índice de velocidad de emergencia (IVE) y el porcentaje de emergencia (PE) en plántulas de tomate de cáscara.	15
Cuadro 4.	Comparación de medias para el factor sustrato a los 15, 22 y 30 días después de siembra.	16
Cuadro 5.	Análisis de varianza de variables de crecimiento de plántulas de tomate de cáscara evaluadas a los 15, 22 y 30 días después de siembra (DDS).	18
Cuadro 6.	Efecto del tipo de sustrato sobre las variables de crecimiento de plántulas de tomate de cáscara a los 30 días después de siembra.	20
Cuadro 7.	Cuadros medios del análisis de varianza para la concentración nutrimental en tejido vegetal de plántulas de tomate de cáscara.	21
Cuadro 8.	Efecto del tipo de sustrato sobre la concentración nutrimental en tejido vegetal de plántulas de tomate de cáscara.	22

CAPÍTULO II. EFECTO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)

Cuadro 1.	Fuentes de elementos minerales y concentraciones en las soluciones nutritivas empleadas.	33
-----------	--	----

Cuadro 2.	Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables evaluadas a los 15, 22 y 29 días después de siembra (DDS) en plántulas de tomate de cáscara, bajo tratamientos de soluciones nutritivas.	37
Cuadro 3.	Comparación de medias de las variables evaluadas a los 22 y 29 días después de siembra (DDS) en plántulas de tomate de cáscara bajo tratamientos de soluciones nutritivas.	38
Cuadro 4.	Comparación de medias de los tratamientos sobre el peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST) y peso seco de raíz (PSR) a los 29 días después de siembra.	39
Cuadro 5.	Cuadrados medios del análisis de varianza de la concentración nutrimental a los 29 días después de siembra en plántulas de tomate de cáscara bajo tratamientos de soluciones nutritivas.	42
Cuadro 6.	Contrastes de la concentración nutrimental a los 29 días después de siembra entre soluciones nutritivas y el testigo en plántulas de tomate de cáscara.	42
Cuadro 7.	Comparación de medias de la concentración de macronutrientes en plántulas de tomate de cáscara irrigadas con soluciones nutritivas.	43
Cuadro 8.	Comparación de medias de la concentración de micronutrientes en plántulas de tomate de cáscara irrigadas con soluciones nutritivas.	45

CAPÍTULO III. EFECTO DE VOLÚMENES Y FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)

Cuadro 1.	Volúmenes y frecuencias de riego evaluadas en plántulas de tomate de cáscara.	54
Cuadro 2.	Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables de crecimiento evaluadas a los 15, 22 y 26 días después de siembra (DDS) en plántulas de tomate de cáscara con diferentes volúmenes y frecuencias de riego	58

Cuadro 3.	Efecto de los factores volúmenes y frecuencias de riego sobre las variables de crecimiento evaluadas a los 21 y 26 días después de siembra (DDS).	60
Cuadro 4.	Cuadrados medios del análisis de varianza de la concentración nutrimental en tejido vegetal de tomate de cáscara a los 26 días después de siembra con diferentes volúmenes y frecuencias de riego.	62
Cuadro 5.	Efecto de los factores volumen y frecuencia de riego sobre la concentración nutrimental en tejido vegetal en plántulas de tomate de cáscara.	63

CAPÍTULO IV. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)

Cuadro 1.	Cantidad de fertilizante aplicado por unidad experimental (UE).	74
Cuadro 2.	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en cuatro determinaciones durante el ciclo de cultivo de tomate de cáscara.	79
Cuadro 3.	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en tres determinaciones durante el ciclo de cultivo de tomate de cáscara.	79
Cuadro 4.	Efecto de la dosis de N sobre las variables de crecimiento evaluadas en tres oportunidades durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.	82
Cuadro 5.	Efecto de la dosis de N sobre las variables de crecimiento evaluadas en cuatro oportunidades durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.	82
Cuadro 6.	Cuadrados medios del análisis de varianza para variables del fruto evaluadas en los tres cortes efectuados a los 51, 65 y 75 ddt en el cultivo de tomate de cáscara.	85
Cuadro 7.	Efecto de la dosis de N sobre las características del fruto de tomate de cáscara en tres cortes y el total.	85

CAPÍTULO V. EFECTO DE LA DISTRIBUCIÓN DEL FERTILIZANTE NITROGENADO
SOBRE LA PRODUCCIÓN DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis
ixocarpa* Brot.)

Cuadro 1.	Cantidad de N aplicado en el tratamiento semanal.	98
Cuadro 2.	Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables peso fresco (PF), materia seca (MS) y concentración de N total (CN) a los 11, 31, 60 y 88 días después de transplante (ddt).	103
Cuadro 3.	Efecto de diferente número de aplicaciones de N (urea) sobre el peso fresco (PF, g), materia seca (MS, g) y concentración de N total (CN, %) durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.	103
Cuadro 4.	Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de nitratos en extracto tisular (NO_3) y el contenido de N inorgánico en el suelo (NIS) durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.	105
Cuadro 5.	Efecto de diferente número de aplicaciones de N (urea) sobre la concentración de nitratos en extracto tisular (NO_3 , $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) y el contenido de N inorgánico en el suelo (NIS $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.	107
Cuadro 6.	Cuadrados medios del análisis de varianza para el rendimiento por planta en tres cortes y el total de tomate de cáscara.	108
Cuadro 7.	Efecto de diferente número de aplicaciones de N (urea) sobre el rendimiento por planta (kg) en tres cortes y el total de tomate de cáscara.	109

PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS Y FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.)

RESUMEN GENERAL

La producción de plántulas de hortalizas en México ha evolucionado y permitido aumentar la producción en los últimos años, mediante la adopción de sistemas de producción de otros países y la importación de insumos costosos para desarrollarlos. Para reducir estos costos pueden emplearse insumos existentes en el país (semillas, fertilizantes, contenedores o sustratos), manejar la nutrición correctamente desde las etapas tempranas y conocer la fisiología de la planta para poder brindarle las condiciones adecuadas que le permitan la máxima expresión de su potencial. Con base en lo anterior, la presente investigación se llevó a cabo con los objetivos siguientes: a) evaluar sustratos alternativos existentes en México (fibra de coco y vermicomposta) comparados con el peat moss importado; b) evaluar diferentes concentraciones de la solución nutritiva Steiner (25, 50, 75 y 100 %) y una solución nutritiva económica con base en el fertilizante Triple 18 ultrasoluble; y c) evaluar volúmenes y frecuencias de riego en la producción de plántulas de tomate de cáscara producidas en contenedores, bajo condiciones de invernadero. Se observó que la fibra de coco presentó un comportamiento igual o superior a la turba en el desarrollo de plántulas, con la ventaja de que puede ser más económica. Las plántulas con mejores características para el transplante se obtuvieron con la solución Steiner con las concentraciones de 50 a 100 %, por lo que si se emplea la concentración de 50 % bajan los costos de producción; aunque la solución con base en

el fertilizante Triple 18 puede ser una alternativa viable por su facilidad de preparación y costo. La frecuencia y volumen de riego adecuados variaron con el desarrollo de las plantas, por lo que es conveniente aplicar diariamente un litro de agua por contenedor de 200 cavidades durante el periodo de 4 a 10 días después de siembra (DDS) en un solo riego, dos riegos en aplicaciones de un litro cada una de los 11 a 18 DDS, y tres litros de agua por día en dos riegos de 1.5 litros cada uno, o bien tres riegos de un litro cada uno, de los 19 a 26 DDS.

Otra parte de la investigación consistió en la evaluación de dosis de la fertilización nitrogenada y la forma de fraccionarla durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara. El objetivo del primer experimento fue determinar el efecto de siete dosis de fertilización nitrogenada (22, 50, 100, 150, 200, 250 y 300 kg N ha⁻¹) sobre el rendimiento de fruto, acumulación de materia seca, concentración de nitrógeno (nitratos y total) y el contenido de nitrógeno inorgánico en el suelo, en campo con riego por goteo. El objetivo del segundo experimento fue evaluar el efecto de distintas formas de fraccionamiento del fertilizante nitrogenado (dos, tres, cuatro y aplicaciones semanales) durante el desarrollo del cultivo con la dosis de 200 kg N·ha⁻¹ sobre el movimiento del nitrógeno (N) en el sistema suelo-planta del cultivo de tomate de cáscara con riego por goteo bajo condiciones de invernadero. Se observó que las dosis evaluadas no afectaron el rendimiento; sin embargo, las dosis de 200 a 300 kg N·ha⁻¹ promovieron la mayor concentración de N en materia seca vegetal y de nitratos en la planta, así como la mayor cantidad de N residual en el suelo al final del ciclo de cultivo. Por otro lado, solo hubo diferencias estadísticas en la concentración de N en la materia vegetal y el contenido de N inorgánico en el suelo al fraccionar el N, puesto que la mayor concentración de N en la

materia seca vegetal se alcanzó con tres aplicaciones; y el mayor contenido de N inorgánico en el suelo se presentó al realizar tres y cuatro aplicaciones. En general, la dosis de 200 kg N·ha⁻¹ fue elevada debido a la cantidad de N inorgánico residual en el suelo al final del ciclo de cultivo.

SEEDLING PRODUCTION AND NITROGEN FERTILIZATION IN HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.)

GENERAL ABSTRACT

Seedling vegetable production in Mexico has evolved and increases the production in the last several years, through adoption of production systems from other countries and the importation of the expensive basic products to develop these systems. To reduce these costs is necessary the use of basic supplies available in Mexico (seeds, fertilizers, containers or substrates), efficient nutrition management beginning in the early stages, and knowledge of the plant physiology in order to be able to provide the plant with the appropriate conditions that allow it to obtain its maximum potential. Based on the aforementioned, this research was carried out with the following objectives: a) to evaluate alternative substrates existent in Mexico (coconut fiber and earthworm compost) compared with the peat moss imported; b) to evaluate different concentrations of the nutritive solution Steiner (25, 50, 75 and 100 %) and an economical nutritive solution based on the ultra soluble fertilizer Triple 18, and c) to evaluate irrigation volumes and frequencies on husk tomato seedling production cultivated in containers under

greenhouse conditions. The coconut fiber presented the same or superior behavior to the peat moss in the development of quality seedlings, with the advantage that it can be more economical. The seedlings with better characteristics for the transplant were obtained with the nutritive solution Steiner with the concentrations of 50 to 100 %, consequently if is used the 50 % concentration reduce the production costs, although the solution based on the Triple fertilizer 18 can be a viable alternative due to its ease of preparation and cost. The volume and frequency needed for adequate irrigation varied with seedling development; therefore, it is convenient to apply one liter of water daily per container of 200 cavities during the period of 4 to 10 days after sowing (DAS) in only one application, two applications of one liter for each one of the 11 to 18 DAS, and three liters of water per day in two applications of 1.5 liters for each one, or three applications of one liter for each one of the 19 to 26 DAS.

Another part of this research consisted of evaluating the nitrogen fertilization dosages and their form of fractionation during the development of the husk tomato in the cultivation cycle. The aim of the first research was to determine the effect of the seven dosages of nitrogen fertilization (22, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg N·hectare⁻¹) on the fruit yield, the dry matter accumulation, the nitrogen concentration (nitrates and total nitrogen) in plant and the content of inorganic nitrogen in the soil, with drop irrigation under field conditions. The aim of the second research was to evaluate the effect of different fractionation methods of nitrogen fertilizer (two, three, four and weekly applications) during the crop development using the dosage of 200 kg N·hectare⁻¹ on the nitrogen movement in the soil-plant system in the cultivation of husk tomato with drop irrigation under greenhouse conditions. The evaluated dosages had no effect on the fruit yield; however,

the dosages of 200 to 300 kg N·hectare⁻¹ promoted the highest concentrations of nitrogen in vegetable dry matter and nitrates in the plant, and the highest quantity of residual nitrogen in the soil at the end of the cycle. On the other hand, only the nitrogen concentration in vegetable dry matter and the content of inorganic nitrogen in the soil had statistical differences due to the fractionation of N, where the highest concentration of vegetable matter was obtained with three applications, and the highest content of inorganic nitrogen in soil occurred when three and four applications were carried out. In general, the dosage of 200 kg N·hectare⁻¹ was high due to the quantity of inorganic nitrogen remaining in the soil at the end of the cultivation cycle.

INTRODUCCIÓN GENERAL

El cultivo del tomate de cáscara en México ha cobrado importancia en los últimos años. En el 2004 se establecieron aproximadamente 62 mil hectáreas, con rendimiento promedio de $13 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, lo cual ubicó al cultivo en cuarto lugar de la superficie cultivada con hortalizas en el país (SIAP, 2005). El potencial productivo de la especie es de al menos $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Peña *et al.*, 1998) aunque por lo general no se alcanza debido a diversos factores, dentro de los que destacan: la escasa investigación y divulgación de resultados, por lo cual algunas tecnologías generadas y validadas en centros de investigación no se llevan a la práctica en campo; el inadecuado manejo nutrimental de la especie en algunas zonas productoras del país; además del escaso mejoramiento genético de la especie que se limita a unas cuantas variedades; el aumento considerable de problemas fitosanitarios; entre otras razones.

Uno de los aspectos importantes en la producción de tomate de cáscara es la nutrición mineral que debe recibir durante el ciclo de cultivo, debido a la rápida tasa de crecimiento para alcanzar su madurez. El empleo de la nutrición mineral a partir de etapas fenológicas tempranas puede ser una estrategia para facilitar el crecimiento de las raíces, minimizar el estrés que sufren las plantas al ser transplantadas e incrementar la supervivencia de éstas. La nutrición adecuada en esta etapa garantiza un rendimiento aceptable de los cultivos, al incrementar la proporción de frutos comercializables y/o la precocidad de la cosecha, pero lo que generalmente se logra es un crecimiento uniforme de la plántula, mayor velocidad de crecimiento en el

semillero, mayor calidad de las plántulas y menor porcentaje de mortandad después del transplante.

El tomate de cáscara es una especie nativa de México y con frecuencia se le considera rústica, es decir, que puede tener desarrollo normal aunque no se le brinden las condiciones nutrimentales o de manejo favorables durante su cultivo. Con base en esta aseveración, es común el manejo inadecuado de la nutrición en etapas iniciales y aún durante el resto del ciclo de cultivo, lo que impide el crecimiento y desarrollo óptimos y contribuye en el bajo rendimiento promedio del cultivo a nivel nacional.

El establecimiento del cultivo de tomate de cáscara es realizado mediante siembra directa o transplante. El transplante es la opción más común en las zonas productoras, debido a los múltiples beneficios que se obtienen con este sistema de producción, dentro de los que destacan: el ahorro de semilla, control de la nutrición y el riego, facilidad en el manejo de plagas y enfermedades, etc. Este sistema se complementa con el uso de contenedores y sustratos orgánicos como la turba o la fibra de coco, cuyas características y propiedades fisicoquímicas permiten la obtención de plántulas de excelente calidad y algunas ventajas que no se alcanzan en plántulas producidas en almácigos convencionales, tales como la uniformidad y el crecimiento predecible de las plantas en ambiente controlado, reducción del tiempo al transplante, la posibilidad de automatizar los procesos manuales y reducir las pérdidas de insumos, lo cual conlleva a mejorar la eficiencia, la rentabilidad y la competitividad en el mercado. Sin embargo, muchos de los sustratos empleados son importados y costosos, de ahí que sea conveniente evaluar otros que puedan presentar buenas características para su

uso en contenedores, de fácil disponibilidad y económicos. Así mismo, el empleo de soluciones nutritivas en la producción de plántulas se ha hecho común en años recientes, sin embargo, en ocasiones es difícil adquirir los fertilizantes necesarios para preparar estas soluciones nutritivas, por su costo o disponibilidad. Además, algunas de ellas son excesivas para suministrarlas desde etapas iniciales de crecimiento, de ahí la necesidad de evaluar distintas concentraciones y otras opciones para nutrir las plántulas durante esta fase de crecimiento.

El manejo adecuado del agua durante el desarrollo de los cultivos es importante, ya que de éste depende en gran medida el éxito o el fracaso de la mayoría de los cultivos olerícolas. Este manejo debe ser considerado desde el momento de la siembra y, al igual que la nutrición, su uso adecuado desde los semilleros es un factor esencial en la obtención de plántulas de calidad que permiten el establecimiento adecuado en campo. El conocimiento de la demanda de agua por las plantas permite hacer uso eficiente del recurso y al mismo tiempo reducir la pérdida de nutrientes cuando éstos se suministran a través del agua de riego.

Por otro lado, el conocer la dosis de N con base en las necesidades de la planta y la forma de fraccionarla durante el ciclo de cultivo de tomate de cáscara puede resultar fundamental para la nutrición en la especie, ya que el nitrógeno es el elemento más difícil de manejar por sus características y movilidad en el sistema suelo-planta. Dicho conocimiento puede permitir el suministro correcto de N para evitar el empleo indiscriminado de fertilizante nitrogenado, que además de generar gastos innecesarios provoca daños o contaminación al medio ambiente donde se desarrollan los procesos

productivos. Este problema puede reducirse si se tiene información de calidad para generar recomendaciones de fertilización para las zonas y sistemas de producción existentes en México, que no sólo permitan obtener rendimientos aceptables sino que afecten lo menos posible el medio ambiente.

La presente investigación se realizó con el propósito de generar una tecnología para la producción de plántulas de tomate de cáscara de buena calidad bajo condiciones de invernadero, considerando el manejo eficiente del sustrato, la nutrición y el agua de riego como principales factores que influyen en la misma. Además, se evaluaron distintas dosis y formas de fraccionamiento de la fertilización nitrogenada durante el desarrollo del cultivo con riego por goteo bajo condiciones de campo e invernadero, con el objetivo de generar información que permita a los productores mejorar el uso de fertilizantes nitrogenados en sistemas de producción actuales para evitar el efecto negativo en el medio ambiente.

CAPITULO I

EFECTO DE TRES SUSTRATOS Y DOS CUBIERTAS DE PLÁSTICO SOBRE EL
DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa*
Brot.).

I. EFECTO DE TRES SUSTRATOS Y DOS CUBIERTAS DE PLÁSTICO SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.).

1.1. RESUMEN

La obtención de plántulas de calidad para ser utilizadas en la producción de tomate de cáscara es un factor importante debido a que en el proceso de producción de esta hortaliza se realiza el trasplante con el fin de lograr el establecimiento uniforme y rápido de la planta y para reducir el ciclo de cultivo. La presente investigación se realizó en Chapingo, México con el propósito de evaluar el efecto de tres sustratos (fibra de coco, turba y vermicomposta) y el uso de cubiertas de plástico (color negro y plateado o sin cubrir) sobre la tasa de emergencia y el crecimiento de las plántulas de tomate de cáscara en charolas de poliestireno, bajo condiciones de invernadero. Los tratamientos se establecieron bajo un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En la etapa de plántula se evaluó: altura de planta, número de hojas, peso fresco y seco en tres determinaciones realizadas a los 15, 22 y 30 días después de la siembra (DDS), y diámetro de tallo y concentración nutrimental en un muestreo efectuado a los 30 DDS. Los tratamientos con mayor tasa de germinación y de emergencia fueron aquellos donde se empleó turba y fibra de coco como sustrato, sin importar el uso de cubiertas plásticas; estos sustratos permitieron el desarrollo de plántulas con mejores características para el transplante. La concentración de nutrientes no fue afectada por los sustratos empleados.

Palabras clave: plántulas, sustratos, plásticos, concentración nutrimental.

EFFECT OF THREE SUBSTRATES AND PLASTIC COVERS ON HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.) SEEDLING DEVELOPMENT.

1.2. ABSTRACT

Quality seedling production in husk tomato is an important factor because the transplant is used in order to achieving uniform and quick establishment of the plant and to reduce the cultivation cycle. The research was carried out in Chapingo, Mexico with the objective of evaluating three substrates (coconut fiber, peat moss and earthworm compost) and the use of plastic covers (black and grey colors or without cover) on emergence rate and growth seedling of husk tomato in containers of polystyrene, under greenhouse conditions. The treatments were established in a random blocks design with four replications. During seedling stage the variables evaluated were: plant height, leaves number per seedling, fresh and dry weigh of the seedling in three determinations realized 15, 22 y 30 days after sowing; the variables shoot diameter and nutrimental concentration were determinate 30 days after sowing. The treatments with higher germination rate and higher emergence rate were peat moss and coconut fiber, the plastic cover had no effect; this substrates had the best seedling growth to transplanting. The nutrimental concentration was no affected by substrates evaluated.

Key words: seedling husk tomato, substrates, plastics, nutrimental concentration.

1.3. INTRODUCCIÓN

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es un cultivo de importancia en México y representa una alternativa para los agricultores. El año 2004 este cultivo ocupó el cuarto lugar en superficie sembrada con hortalizas (62,000 ha), destacando su cultivo en los estados de Sinaloa, Michoacán, Jalisco, México, Puebla, Sonora, Guanajuato e Hidalgo (SIAP, 2005).

El establecimiento del cultivo de tomate de cáscara puede ser mediante siembra directa o utilizando semilleros que permitan la obtención de plántulas, las cuales posteriormente se trasplantan al terreno definitivo. Los semilleros pueden ser establecidos directamente en el suelo o utilizando recipientes con algún sustrato. En los últimos años, se han desarrollado fuertemente las técnicas de cultivo de plantas en maceta y contenedor. Las características de los sustratos se han modificado para obtener mejores resultados en la producción de plantas en contenedores, debido a que plántulas con buen vigor se adaptan más rápidamente al terreno definitivo, sufren menor estrés y por consecuencia presentan mejor desarrollo durante su ciclo de cultivo (Dufault, 1998). Sin embargo, los sustratos importados generalmente son costosos, por lo que se deben evaluar otros que puedan ser alternativos para su uso en contenedores, de fácil disponibilidad y económicos. Además, no existen antecedentes de su evaluación en la producción de plántulas de tomate de cáscara.

La presente investigación se realizó con el propósito de determinar efectos sobre la germinación, desarrollo y la concentración nutrimental de plántulas de tomate de cáscara producidos por el uso de tres sustratos, cubiertas plásticas de dos colores y el apilado de los contenedores, con el supuesto de que los sustratos de origen nacional pueden ser empleados en la producción de plántulas sin afectar las características cualitativas requeridas en las mismas, con la ventaja de ser económicos.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se realizó bajo condiciones de invernadero durante los meses de junio y julio de 2004 en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo en Chapingo, Edo. de México. Se empleó la variedad CHF1-Chapingo, que es una selección de la raza Rendidora, con características morfológicas similares a la variedad original, con crecimiento rastrero y semierecto, mayor precocidad, frutos homogéneos en tamaño y forma y un mayor rendimiento (Peña *et al.*, 1998).

Los dos factores de estudio fueron: sustratos con tres niveles (fibra de coco, turba y vermicomposta de cerdo) y la cubierta de plástico con tres niveles (color negro, color plateado y sin cubierta), con la consideración que los tratamientos cubiertos se apilaron después de la siembra y los tratamientos sin cubierta no se apilaron, lo que permitió formar un total de nueve tratamientos (Cuadro 1). La unidad experimental consistió de una charola de poliestireno expandido de 80 cm de largo por 25 cm de

ancho y 8 cm de profundidad con 200 cavidades, con una plántula por cavidad. Se usó un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

CUADRO 1. Descripción de tratamientos en plántulas de tomate de cáscara.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
FN	Fibra de coco, charolas apiladas y cubiertas con plástico negro
TN	Turba, charolas apiladas y cubiertas con plástico negro
VN	Vermicomposta, charolas apiladas y cubiertas con plástico negro
FP	Fibra de coco, charolas apiladas y cubiertas con plástico plateado
TP	Turba, charolas apiladas y cubiertas con plástico plateado
VP	Vermicomposta, charolas apiladas y cubiertas con plástico plateado
FS	Fibra de coco, sin apilar y sin cubrir
TS	Turba, sin apilar y sin cubrir
VS	Vermicomposta, sin apilar y sin cubrir

La siembra se realizó el 25 de junio del 2004, las charolas previamente lavadas fueron llenadas con el sustrato y regadas hasta que el agua comenzó a gotear por los orificios de la parte inferior de éstas; después se sacudieron para que el sustrato se compactara ligeramente y dejara alrededor de 0.5 cm de la cavidad libre para depositar la semilla, finalmente se cubrieron con otra capa de sustrato y se aplicó un segundo riego hasta saturación. Las charolas que pertenecían a los tratamientos con plástico se apilaron y se cubrieron; las demás se acomodaron en soportes metálicos con altura de 1.2 m. Una vez que las charolas fueron extendidas se regaron una vez al día con 1.5 litros de agua por charola; a partir de los ocho días después de siembra (DDS), fueron regadas con una solución preparada con fertilizante triple 18 ultrasoluble en concentración de 0.5 g por litro de agua, cuyo contenido nutrimental de N, P, K es de 18 % y de Mg es de 2.5 %.

Previo al experimento se cuantificaron algunas propiedades físicas y químicas de los sustratos evaluados para emplearse como valores de referencia (Cuadro 2).

CUADRO 2. Propiedades de los sustratos evaluados en la producción de plántulas de tomate de cáscara.

SUSTRATO	pH	CE ^y (dS·m ⁻¹)	Dap (g·cm ⁻³)	D.R. (g·cm ⁻³)	CIC (Cmol·kg ⁻¹)	NI (mg·kg ⁻¹)	P (mg·kg ⁻¹)	K (mg·kg ⁻¹)
Fibra de coco	5.83	6.34	0.17	1.58	20.83	14.8	649.0	1567.0
Turba	6.30	1.23	0.18	1.63	24.56	593.6	866.4	94.8
Vermicomposta	6.73	12.53	0.75	1.70	68.89	84.6	577.6	2528.3

^y C.E.: Conductividad eléctrica; Dap: Densidad aparente; D.R.: Densidad real; CIC: Capacidad de intercambio catiónico; NI: Contenido de N inorgánico; P: Contenido de fósforo; K: Contenido de potasio.

Para cuantificar el efecto de los sustratos empleados se tomaron en consideración las siguientes variables:

- Velocidad de emergencia. Para determinar el vigor de la semilla, a partir de la totalidad de la unidad experimental (200 cavidades por contenedor) se determinó el Índice de Velocidad de Emergencia (IVE), calculado mediante la propuesta de Maguire (1962) a partir de conteos de cavidades de contenedores con plántulas emergidas, realizados diariamente a partir del tercer día hasta 12 DDS.
- Porcentaje de emergencia (%). Obtenido al considerar el último conteo de plántulas emergidas por contenedor a los 12 DDS.

De las variables descritas a continuación se realizaron registros en tres oportunidades: 15, 22 y 30 DDS, que corresponden al promedio de 15 plántulas por unidad experimental, excepto los pesos fresco y seco en los que se reporta el peso de todas las plántulas:

- Altura promedio de plántula (cm). Considerada desde la base del tallo o cuello de la plántula hasta el ápice de la misma.
- Número de hojas verdaderas por plántula. Las hojas expandidas que mostraron lámina, pecíolo, nudo, entrenudo y yema axilar.
- Peso fresco de plántula (g). Las plántulas extraídas de las charolas se limpiaron de sustrato adherido en la raíz con agua simple y se pesaron en una balanza granataria digital.
- Peso seco de plántula (g). Las plántulas se secaron en estufa a 70 °C durante 72 h, posteriormente se pesaron en una balanza analítica.

Al finalizar el experimento (30 DDS) fueron registrados en una sola oportunidad las variables que se describen a continuación:

- Peso fresco y seco de hojas, tallo y raíz (g). Se separaron las hojas, tallos y raíz para obtener el peso fresco de hoja (PFH), tallo (PFT) y raíz (PFR) y el peso seco de hoja (PSH), tallo (PST) y raíz (PSR), con el propósito de observar la distribución de la materia seca en estos órganos. Los órganos de las plántulas fueron pesados después de extraerse de la charola con una balanza granataria digital, para evitar pérdida de peso por deshidratación y obtener los pesos

frescos; el secado de las estructuras se realizó en estufa a 70 °C durante 72 h y después fueron pesadas en balanza analítica, para obtener los pesos secos.

- Diámetro del tallo de plántula (mm). Se registró con un vernier manual, en la parte media entre los cotiledones y el cuello de la planta.
- Concentración nutrimental en tejido vegetal (%). Se cuantificó la concentración de N, P, K, Ca y Mg. Las concentraciones nutrimentales fueron determinadas por técnicas estándares empleadas por el Laboratorio de Fruticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. En el caso del N total fue determinado por el método Kjendahl, con un destilador microkjendahl marca Labconco; el P por el método del vanadato-molibdato amarillo, mediante un espectrofotómetro Spectronic 20 de Milton Roy Company; el K por el método de emisión de flama, con un Flamómetro 410 marca Cornig; Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn fueron cuantificados por absorción atómica, mediante un espectrofotómetro SpectrAA 220 marca Varian; y en el caso del B, se empleó el método calorimétrico con curcumina (Alcantar y Sandoval, 1999).

Se practicaron análisis de varianza de acuerdo al diseño experimental de bloques completos al azar, en dos modalidades. La primera involucró a los nueve tratamientos (Cuadro 1) a los que se hizo una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) como experimento simple. Posteriormente, al considerar tres niveles de sustrato y tres niveles de cubiertas plásticas, se realizó el análisis de varianza para el mismo diseño con arreglo factorial; en este caso las comparaciones de medias se realizaron sobre los factores sustratos y cubiertas; se empleó el paquete estadístico Statistical Analyses System (SAS) versión 8.0.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El índice de velocidad de emergencia (IVE) presentó diferencias significativas entre los tratamientos; el mayor valor lo expresó el tratamiento que involucró turba, charolas apiladas y plástico plateado (TP) que superó al de vermicomposta, sin apilar y sin cubrir (VS), aunque fue estadísticamente igual al resto de los tratamientos (Cuadro 3).

El porcentaje de emergencia (PE) fue mayor en los tratamientos donde se empleó turba (TN, TS y TP), los que resultaron estadísticamente iguales entre sí pero superiores a dos tratamientos de vermicomposta (VN y VP), en tanto que los tratamientos con fibra de coco (FN, FS y FP) tuvieron valores intermedios aunque iguales ($\alpha=0.05$) a los de turba (Cuadro 3). En ambas variables la turba y la fibra de coco fueron mejores sustratos que la vermicomposta, debido a las propiedades físicas de cada uno de ellos; por ejemplo, la densidad aparente (Dap) fue de 0.17, 0.18 y 0.75 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ para la fibra de coco, turba y vermicomposta, respectivamente; en este caso, la mayor Dap en la vermicomposta afectó negativamente la germinación y la emergencia, junto con la compactación del sustrato que fue en aumento debido a los riegos la aireación no fue favorable en este sustrato. La aireación adecuada debe ser considerada para una germinación óptima, por lo cual el sustrato empleado debe tener las propiedades físicas que le permitan a la semilla el máximo nivel de aireación y a la vez una cantidad suficiente de humedad (Verdonck *et al.*, 1981; Cantliffe, 1998). La inadecuada aireación genera la producción de niveles tóxicos de amonio en los

sustratos e impide la germinación y emergencia normales (Willumsen, 1997), situación que probablemente ocurrió en los tratamientos donde se empleó vermicomposta.

CUADRO 3. Efecto de los tratamientos sobre el índice de velocidad de emergencia (IVE) y el porcentaje de emergencia (PE) en plántulas de tomate de cáscara.

TRATAMIENTO	IVE	PE (%)
FN	34.88 ab ^z	90.8 ab
TN	33.82 ab	93.6 a
VN	23.95 ab	63.0 c
FP	33.33 ab	90.5 ab
TP	36.82 a	97.8 a
VP	21.01 ab	67.2 bc
FS	22.91 ab	85.0 abc
TS	27.55 ab	96.2 a
VS	18.85 b	74.1 abc
MEDIA	28.15	84.28
C.V. (%)	25.77	12.41
DMS	17.25	24.89

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); C.V.: Coeficiente de variación; DMS: Diferencia mínima significativa.

La altura de planta (AP) presentó diferencias significativas en los muestreos realizados (15, 22 y 30 DDS). En todos ellos los sustratos de turba y fibra de coco superaron ($\alpha=0.05$) al de vermicomposta (Cuadro 4), sin haber diferencias entre los dos primeros. Comportamiento similar ha sido observado en el crecimiento de plántulas de berenjena el cual fue favorecido en mayor proporción en turba que en composta (Etzel *et al.*, 1994), pero es contrario en el caso de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), donde la mayor AP se obtuvo al emplear mezclas de arena, arcilla y estiércol en comparación con mezclas de otros sustratos orgánicos e inorgánicos (Seniz, 1994). Sin embargo, la

altura de planta observada a los 30 DDS (Cuadro 4) en los sustratos de fibra y turba no fue conveniente, ya que alturas de planta mayores que 20 cm pueden presentar problemas al momento del transplante (Araiza y Sánchez, 1990). En este caso la altura adecuada (15 cm) se alcanzó aproximadamente a los 26 DDS.

CUADRO 4. Comparación de medias para el factor sustrato a los 15, 22 y 30 días después de siembra.

SUSTRATO	AP ^y	NH	PF	PS
		15	DDS	
Fibra de coco	2.27 a ^z	1.40 a	5.61 a	0.23 a
Turba	2.53 a	1.43 a	6.50 a	0.27 a
Vermicomposta	1.62 b	0.88 b	2.53 b	0.10 b
DMS	0.39	0.38	1.57	0.07
		22	DDS	
Fibra de coco	7.16 a	2.93 a	24.17 a	1.32 a
Turba	7.30 a	2.85 a	24.33 a	1.24 a
Vermicomposta	3.82 b	2.40 b	12.42 b	0.71 b
DMS	1.37	0.36	6.48	0.40
		30	DDS	
Fibra de coco	20.45 a	4.59 a	58.00 a	3.64 a
Turba	20.80 a	4.45 ab	48.82 a	2.77 b
Vermicomposta	13.51 b	4.03 b	35.08 b	1.99 b
DMS	3.79	0.49	10.87	0.84

^z Medias con la misma letra dentro de columnas y fechas de muestreo son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: Diferencia mínima significativa. DDS: Días después de siembra; ^y AP: Altura de plántula (cm); NH: Número de hojas por plántula; PF: Peso fresco de plántula (g); PS: Peso seco de plántula (g).

El número de hojas por plántula (NH) presentó diferencias significativas entre los sustratos evaluados en las tres mediciones realizadas, donde la turba y fibra de coco

superaron ($\alpha=0.05$) a la vermicomposta (Cuadro 4); no obstante, esta variable no puede ser considerado como un indicador confiable en la producción de plántulas, ya que depende en mayor medida de la edad de la planta. El NH permite saber si la planta tiene la edad suficiente para ser transplantada; en el caso del tomate de cáscara, el NH debe ser de cuatro a cinco hojas verdaderas, situación alcanzada a los 20 DDS cuando la planta tiene las condiciones favorables para su desarrollo (buena nutrición, niveles adecuados de aire y agua) o en mayor tiempo (30 DDS o más) si no las tiene. En este caso, a los 30 DDS todos los sustratos alcanzaron promedio de cuatro o más hojas por planta (Cuadro 4).

El peso fresco de plántulas (PF) tuvo diferencias significativas entre los sustratos evaluados en las tres determinaciones realizadas a los 15, 22 y 30 DDS, puesto que los promedios más altos se alcanzaron en turba a los 15 y 22 DDS y en fibra de coco a los 30 DDS; aunque no hubo diferencias significativas entre estos dos, ambos superaron ($\alpha=0.05$) a la vermicomposta en las tres mediciones (Cuadros 4 y 5).

El peso seco presentó diferencias significativas a los 15, 22 y 30 DDS, donde los sustratos de fibra de coco y turba superaron a la vermicomposta, excepto a los 30 DDS, en los que la fibra de coco fue superior a los otros sustratos (Cuadros 4 y 5).

CUADRO 5. Análisis de varianza de las variables de crecimiento de plántulas de tomate de cáscara evaluadas a los 15, 22 y 30 días después de siembra (DDS).

F. V.	G. L.	AP ^y	NH	PF	PS	DT
15 DDS						
TRATAMIENTO	8	0.74*	0.38*	14.36*	0.025*	
REPETICIÓN	3	0.09	0.11	2.29	0.049	
SUSTRATO	2	2.64*	1.16*	51.97*	0.088*	
CUBIERTA	2	0.22	0.15	2.53	0.003	
ERROR	24	0.14	0.14	2.38	0.004	
C. V. (%)		18.06	30.48	31.62	33.61	
MEDIA		2.14	1.24	4.88	0.198	
22 DDS						
TRATAMIENTO	8	13.44*	0.52*	0.57*	0.490*	
REPETICIÓN	3	0.71	0.24	38.25	0.098	
SUSTRATO	2	46.58*	0.99*	560.19*	1.332*	
CUBIERTA	2	1.93	0.81*	72.86	0.127	
ERROR	24	1.82	0.13	40.38	0.150	
C. V. (%)		21.12	13.02	31.29	35.53	
MEDIA		6.09	2.73	20.31	1.089	
30 DDS						
TRATAMIENTO	8	56.64*	0.35	427.57*	2.19*	0.11
REPETICIÓN	3	6.99	0.10	76.60	1.21	0.01
SUSTRATO	2	203.27*	1.01*	1596.37*	8.22*	0.25
CUBIERTA	2	0.76	0.11	69.61	0.08	0.03
ERROR	24	13.80	0.23	113.59	0.68	0.08
C. V. (%)		20.35	11.08	22.53	29.40	9.15
MEDIA		18.25	4.36	47.30	2.80	3.08

* Significativo con $\alpha = 0.05$; F.V.: Fuente de variación; C.V.: Coeficiente de variación; G.L.: Grados de libertad; ^y AP: Altura de plántula (cm); NH: Número de hojas por plántula; PF: Peso fresco de plántula (g); PS: Peso seco de plántula (g); DT: Diámetro de tallo (mm).

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en los pesos frescos y secos de los órganos separados (Cuadro 6). La fibra de coco promedió los valores más altos, superó a la vermicomposta y fue igual a la turba en los pesos frescos de hoja y tallo, aunque también superó a la turba y vermicomposta en el peso fresco de

raíz ($\alpha=0.05$). Así mismo, junto con la turba superaron a la vermicomposta en los pesos secos de hoja y tallo, y fue superior a la turba y a la vermicomposta ($\alpha=0.05$) en el peso seco de raíz (Cuadro 6). En fibra de coco y turba la materia seca se distribuyó en los órganos de manera equitativa; en vermicomposta la mayor acumulación se presentó en las hojas, lo cual pudo ser debido a las propiedades físicas de este sustrato (Dap y D.R.) que impidieron que la raíz se desarrollara de manera normal. Resultados similares se observaron en plántulas de berenjena (*Solanum melongena* L.) y pimiento (*Capsicum annuum* L.), donde los pesos fresco y seco de las raíces fueron mayores en sustratos de turba o turba más perlita que los obtenidos en compostas (Etzel *et al.*, 1994), aunque contrarios a los observados en fresa, donde el mejor desarrollo de raíces se obtuvo en sustrato de turba que en fibra de coco (López *et al.*, 2002). Por otro lado, se observó una relación directa entre el peso fresco y seco ya que los valores promedio se comportaron de forma similar en los órganos evaluados (Cuadro 6).

El diámetro de tallo (DT) no tuvo diferencias significativas entre los tratamientos y factores de estudio (Cuadros 5 y 6). Los resultados obtenidos en ésta variable son similares con otros estudios donde el uso de sustratos orgánicos (fibra de coco, cascarilla de arroz) o inorgánicos (lana de roca) no tuvieron efecto en el DT (Shahidul *et al.*, 2002), ya que esta variable depende de la disponibilidad de agua para la plántula (Salas y Urrestarazu, 2000), la cual no fue limitante en el presente estudio.

CUADRO 6. Efecto del tipo de sustrato sobre las variables de crecimiento de plántulas de tomate de cáscara a los 30 días después de siembra.

SUSTRATO	DT ^y	PFH	PFT	PFR	PSH	PST	PSR
Fibra de cóco	3.247 a ^z	0.99 a	1.51 a	1.36 a	0.08 a	0.07 a	0.098 a
Turba	2.966 b	0.88 ab	1.35 a	1.03 b	0.07 a	0.06 a	0.055 b
Vermicomposta	3.037 ab	0.78 b	0.89 b	0.67 c	0.12 a	0.03 b	0.045 b
DMS	0.275	0.148	0.331	0.264	0.136	0.019	0.032

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: Diferencia mínima significativa. ^y DT: Diámetro de tallo (mm); PFH: Peso fresco de hoja (g); PSH: Peso seco de hoja (g); PFT: Peso fresco de tallo (g); PST: Peso seco de tallo (g); PFR: Peso fresco de raíz (g); PSR: Peso seco de raíz (g).

La concentración nutrimental en el tejido vegetal mostró diferencias estadísticas en los elementos nitrógeno y fósforo, en tanto que el potasio, calcio y magnesio no tuvieron variación por efecto de tratamientos (Cuadro 7). Esto puede explicarse debido a que la solución nutritiva empleada no contenía Ca y la concentración de Mg era baja (0.5 %); por otro lado, el contenido de K inicial de los tres sustratos evaluados era elevado y probablemente fue suficiente para cubrir la demanda de las plántulas. Las diferencias observadas en las concentraciones de N y P pudieron ser debidas a los contenidos iniciales de éstos elementos en los sustratos (Cuadro 1).

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración nutrimental en tejido vegetal de plántulas de tomate de cáscara.

F. V.	G. L.	N ^y	P	K	Ca	Mg
TRATAMIENTO	8	1.826 *	0.0172 *	1.568	0.049	0.0062
ERROR	24	0.567	0.0011	0.870	0.079	0.0108
C. V. (%)		21.56	8.58	12.51	41.71	19.34
MEDIA		3.492	0.40	7.452	0.675	0.539

* Significativo con $\alpha = 0.05$; F.V.: Fuente de variación; C.V.: Coeficiente de variación; G.L.: Grados de libertad; ^y N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio.

La mayor expresión de las concentraciones nutrimentales se encontraron en turba y vermicomposta para nitrógeno; en turba para fósforo; en vermicomposta y fibra de coco para potasio; en turba y fibra de coco para calcio; y en vermicomposta para magnesio (Cuadro 8). Al relacionar la concentración nutrimental en tejido vegetal de las plántulas (Cuadro 8) con los contenidos nutrimentales iniciales en los sustratos (Cuadro 1), se observa la tendencia de que el sustrato que tuvo menor concentración de N, P y K en el tejido vegetal fue el que menor contenido nutrimental inicial presentó, lo que permite inferir que éste favorece la absorción de los nutrimentos durante el desarrollo de las plántulas. Sin embargo, esta investigación no permitió determinar si uno de los sustratos evaluados tuvo mayor absorción nutrimental, ya que en ella influyen diversos factores como: la disponibilidad de agua y nutrientes, la aireación, la temperatura del sustrato, la conductividad eléctrica, las condiciones ambientales, el tipo de cultivo y la fase fenológica del mismo (Ansorena, 1994; Seniz, 1994; Cantliffe, 1998; Dufault, 1998; Adams, 2000b), por lo que un tipo de sustrato favoreció la absorción de uno o dos nutrimentos pero no de todos.

La vermicomposta empleada contenía cantidades importantes de nutrimentos, pero presentó desventajas en algunas propiedades físicas y químicas con respecto a los otros sustratos, lo que impidió que las plántulas se desarrollaran favorablemente. Sin embargo, puede ser usada como sustrato en la producción de plántulas en combinación con otros materiales que permitan mejorar algunas de estas propiedades desfavorables.

CUADRO 8. Efecto del tipo de sustrato y el uso de cubierta sobre la concentración nutrimental en tejido vegetal de plántulas de tomate de cáscara.

TRATAMIENTO	N ^y	P	K	Ca	Mg
	(%)				
FN	1.899 b ^z	0.42 ab	8.050 a	0.70 a	0.50 a
TN	3.817 a	0.47 a	7.037 a	0.81 a	0.54 a
VN	3.565 ab	0.33 dc	7.200 a	0.75 a	0.53 a
FS	3.866 a	0.41 abc	6.325 a	0.81 a	0.49 a
TS	4.225 a	0.48 a	7.350 a	0.67 a	0.56 a
VS	3.496 ab	0.30 d	8.487 a	0.54 a	0.59 a
FP	3.477 ab	0.38 bcd	7.212 a	0.64 a	0.49 a
TP	3.140 ab	0.46 a	7.750 a	0.63 a	0.53 a
VP	3.944 a	0.33 cd	7.662 a	0.49 a	0.59 a
DMS	1.791	0.08	2.219	0.67	0.24

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa; ^y Concentración de N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio.

1.5.1. Factor Sustrato

Con excepción del diámetro de tallo a los 30 DDS, en el resto de las variables de crecimiento evaluadas en los tres muestreos realizados, el factor sustrato presentó diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 5); en general, la fibra de coco y la turba superaron a la vermicomposta y entre los dos primeros sustratos no hubo diferencias significativas (Cuadros 4 y 6). La explicación está en las propiedades físicas de cada sustrato, ya que los dos primeros tuvieron características favorables para el desarrollo de las plántulas, como son la capacidad de retención de humedad y la aireación, como lo señala Adams (2000a) quien reporta que la fibra de coco posee

características similares a la turba, excepto en que humidifica lentamente y puede presentar mayor contenido de sales, pero ha dado buenos resultados en la producción de jitomate y pepino (*Cucumis sativus* L.); la vermicomposta empleada no tuvo una aireación adecuada debido a la compactación observada conforme se desarrolló la investigación, además de la alta conductividad eléctrica inicial ($12.53 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$), lo que impidió el desarrollo normal tanto de las raíces, de apariencia fibrosa, como de las plantas en general, cuyo crecimiento fue lento debido a que conductividades eléctricas mayores a $3.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ resultan elevadas para la mayoría de las plantas (Abad y Noguera, 2000). La compactación causa acortamiento y engrosamiento de las raíces e incluso cambia su morfología, que sucede también cuando se tiene elevada concentración de sales (Zobel, 1995); además, la aireación pudo ser afectada y con ello el crecimiento de las plantas en éste sustrato; por ejemplo, el jitomate requiere al menos un 10 % de aire en el espacio poroso del sustrato, aunque el nivel óptimo se encuentra entre 20 y 30 % (Abad y Noguera, 2000; Adams, 2000b), condiciones que probablemente no se alcanzaron la vermicomposta utilizada en este estudio.

1.5.2. Factor Cubierta

De manera general, el uso de cubierta no fue relevante en la producción de plántulas de tomate de cáscara bajo las condiciones ambientales en que ocurrió el experimento, ya que en este factor sólo se detectaron diferencias significativas en el número de hojas a los 22 DDS (Cuadro 5), donde el mayor valor se obtuvo con el plástico de color negro.

1.6. CONCLUSIONES

- La fibra de coco puede ser empleada como sustrato para producción de plántulas de tomate de cáscara de buena calidad.
- La vermicomposta presentó propiedades desfavorables que limitaron el desarrollo de las plántulas de tomate de cáscara, por lo cual no es conveniente emplearlo como sustrato único en la producción de plántulas.
- La concentración nutrimental en tejido vegetal no fue afectada por los sustratos empleados pero el contenido inicial de los elementos minerales en los sustratos favoreció la absorción individual de los nutrimentos por las plántulas.
- El uso de cubiertas plásticas no afectó significativamente la producción de plántulas de tomate de cáscara.

1.7. LITERATURA CITADA

- ALCANTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- ABAD B., M.; NOGUERA M., P. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. pp: 137-183. *In*: Manual de Cultivo sin Suelo. URRESTARAZU G., M. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España.

- ADAMS, P. 2000a. Aspectos del manejo de los diferentes sustratos, su comparación, elección y factores medioambientales a considerar. pp: 255-261. *In*: Manual de Cultivo sin Suelo. URRESTARAZU G., M. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ADAMS, P. 2000b. Aspectos de nutrición mineral en cultivos sin suelo en relación al suelo. pp: 95-104. *In*: Manual de Cultivo sin Suelo. URRESTARAZU G., M. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ANSORENA M., J. 1994. Sustratos. Propiedades y Caracterización. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- ARAIZA C., J.; SÁNCHEZ L., A. 1990. Horticultura Doméstica. 1ª edición. Editorial Trillas. México. 85 p.
- CANTLIFFE, D. J. 1998. Seed germination for transplants. *HorTechnology* 8(4): 499-503.
- DUFAULT, R. J. 1998. Vegetable transplant nutrition, *HorTechnology* 8(4): 515-523.
- ETZEL, R. Z.; GÛL, A.; TÛZEL, Y. 1994. Effects of various growing media on eggplant and pepper seedling quality. *Acta Horticulturae* 366: 257-264.
- LÓPEZ G., S.; MAROTO, J. V.; CANO, E.; SAN BAUTISTA, A.; PASCUAL, B. 2002. Enhancing root systems of waiting-bed strawberry plants grown on substrates. *J. of Hort. Sci. and Biot.* 77(1): 58-61.
- MAGUIRE, J. D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Science* 2:176-177.
- PEÑA L., A.; MOLINA G., J. D.; CERVANTES S., T.; MARQUEZ S., F.; SAHAGUN C., J.; ORTIZ C., J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 4(1): 31-37.

- SALAS S., M. C.; URRESTARAZU G, M. 2000. Métodos de riego y fertirrigación en cultivos sin suelo. pp: 185-253. *In*: Manual de Cultivo sin Suelo. URRESTARAZU G., M. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España.
- SENIZ, V. 1994. Seedling production in solanaceae crops. *Acta Horticulturae* 366: 243-250.
- SHAHIDUL I., M. D.; KHAN, S.; ITO, T.; MARUO, T.; SHINOHARA, Y. 2002. Characterization of the physico-chemical properties of environmentally friendly organic substrates in relation to rockwool. *J. of Hort. Sci. and Biot.* 77(2): 143-148.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2005. Avances de Siembras y cosechas. Año agrícola 2004. Situación al mes de febrero de 2005. www.siap.sagarpa.gob.mx
- VERDONCK, O.; DE VLEESCHAUWER, D.; DE BOODT, M. 1981. The influence of the substrate to plant growth. *Acta Horticulturae* 126: 251-258.
- WILLUMSEN, J. 1997. Improvement of the physical conditions in peat substrates during the germination of cabbage seeds in organic farming (refereed). *Acta Horticulturae* 450: 183-190.
- ZOBEL, R.W. 1995. Genetic and environmental aspects of roots and seedling stress. *HortScience* 30(6): 1189-1192.

CAPÍTULO II

EFECTO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS SOBRE EL DESARROLLO DE
PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.).

II. EFECTO DE SOLUCIONES NUTRITIVAS SOBRE EL DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.).

2.1. RESUMEN

El manejo de la nutrición mineral en la producción de plántulas de tomate de cáscara en México frecuentemente no se practica, o bien se realiza en forma empírica, sin planeación alguna. Esto puede traducirse en plántulas de baja calidad (heterogéneas, altas y delgadas, con floración precoz, etc.) que tienen problemas de establecimiento, lo que disminuye la capacidad de expresar el potencial de rendimiento del cultivo. El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del riego con la solución nutritiva Universal Steiner en concentraciones de 25, 50, 75 y 100 %, junto con un tratamiento adicional donde se varió semanalmente la concentración de la solución (25, 50 y 75 %), así como una solución de fertilizante Triple 18 ultrasoluble en concentración de 100 % y otra variando semanalmente la concentración (25, 50 y 75 %) sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara producidas en contenedores y condiciones de invernadero. Se realizaron tres determinaciones sobre altura, número de hojas, peso fresco y seco de plántula, efectuadas 15, 22 y 29 días después de siembra (DDS), y una determinación del diámetro de tallo y concentración nutrimental a los 29 DDS. Las soluciones nutritivas evaluadas afectaron el desarrollo de plántulas a los 22 y 29 DDS. Con excepción del fósforo, la concentración de macronutrientes y la de micronutrientes (Fe, Mn y B), obtenidos con el empleo de la solución Steiner superó a los obtenidos con la solución Triple 18. Las plántulas con mejores características para transplante se obtuvieron con la solución Steiner, en la cual

resulta conveniente emplear 50 % de la concentración o al variar la concentración cada semana, aunque la solución de Triple 18 puede ser una alternativa viable.

Palabras clave: plántulas, soluciones nutritivas, concentración nutrimental.

EFFECT OF NUTRITIVE SOLUTIONS DURING SEEDLING DEVELOPMENT OF HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.).

2.2. ABSTRACT

Frequently the mineral nutrition in husk tomato seedling production in Mexico is not practiced, or it is used in empiric way, without plan or bad executed, which conduce to seedlings with low quality (heterogeneous, high and thin, early flowering, etc.) than have establishment problems at the moment of transplanting and they are not able to express its yield potential. The aim of this investigation was to determine the irrigation effect of the Universal nutritive solution Steiner at concentrations of 25, 50, 75 and 100 %, together with an additional treatment which the concentration in the solution was varied weekly (25, 50 and 75 %); as well as a solution of ultra soluble fertilizer Triple 18 at 100 % concentration and another where the concentration in the solution was varied weekly (25, 50 and 75 %) during the seedling development of husk tomato growing in containers under greenhouse conditions. Three determinations on height, number of leaves, fresh and dry weight of seedling were carried out at 15, 22 and 29 days after sowing (DAS), and one determination was made at 29 DAS on stem diameter and nutrimental concentration. The nutritive solutions affected the seedlings development at 22 and 29 DAS. The content

macronutritional, except phosphorous, and micronutritional (Fe, Mn and B), obtained with the nutritive solution Steiner to overcome the content obtained with the Triple 18 solution. The seedlings with better characteristics to transplant were obtained with the Steiner solution, which was more convenient to use concentration at 50 % or the Steiner solution whose concentration was varied weekly, nevertheless the Triple 18 solution can be a viable alternative.

Key words: seedlings, nutritive solutions, nutritional concentration.

2.3. INTRODUCCIÓN

Uno de los aspectos de mayor importancia en la producción de hortalizas es la nutrición que deben recibir éstas durante su ciclo de cultivo. La mayoría de los cultivos hortícolas demandan cantidades importantes de nutrimentos en ciclos relativamente cortos, lo cual puede deberse a sus rápidas tasas de crecimiento (Widders y Lorenz, 1982). El empleo de la nutrición mineral en etapas fenológicas tempranas puede ser una estrategia para facilitar el crecimiento de las raíces, minimizar el estrés que sufren las plantas al ser transplantadas e incrementar la supervivencia de éstas (Leskovar y Stoffella, 1995). Existen numerosos estudios en los que la condición nutricional en pretransplante produce efectos significativos benéficos sobre las características morfológicas y fisiológicas de las plántulas (Melton y Dufault, 1991; Basoccu y Nicola, 1992; Karchi y Cantliffe, 1992; Nicola y Basoccu, 1994); en algunos se menciona que la nutrición adecuada en esta etapa garantiza un rendimiento aceptable de los cultivos, al incrementar la proporción de frutos comercializables y/o la precocidad de la cosecha, pero lo que siempre se

logra es un crecimiento uniforme de la plántula, mayor velocidad de crecimiento en el semillero, mayor calidad de las plántulas y menor porcentaje de mortandad después del transplante (Garton y Widders, 1990; Dufault, 1998).

El tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) es una especie nativa de México y con frecuencia se le considera rústica (Peña y Santiaguillo, 1999); es decir, puede desarrollarse normalmente aunque no reciba las condiciones nutrimentales o de manejo propicias durante su cultivo. Con base en esta consideración, comúnmente no se realiza una nutrición adecuada en sus etapas iniciales y aún durante el resto del ciclo de cultivo, lo cual impide el crecimiento y desarrollo óptimos, que son una de las causas por las cuales la productividad es baja y el rendimiento a nivel nacional sea de 13.0 t·ha⁻¹ (SIP, 2005), cuando el potencial en variedades mejoradas puede llegar hasta 40 t·ha⁻¹ bajo condiciones experimentales (Peña *et al.*, 1998).

La producción de plántulas de tomate de cáscara en México se realiza en contenedores en los que se emplean sustratos orgánicos que, por lo general, contienen cantidades insuficientes de nutrientes y materia orgánica, necesarios para el desarrollo de la plántula; a pesar de ello, es común que durante el desarrollo de las mismas no sean suministrados elementos minerales complementarios, o cuando son aplicados, no se realiza un control adecuado de las cantidades empleadas de acuerdo con los requerimientos de la planta.

Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar diferentes concentraciones de la solución Universal Steiner y una solución preparada con el fertilizante Triple 18 ultrasoluble y determinar su efecto sobre el desarrollo y la

concentración nutrimental de plántulas de tomate de cáscara, con el supuesto de que durante ésta etapa los sustratos comerciales empleados no proveen la suficiente nutrición para el desarrollo normal de las plantas, por lo que es necesario suplementar los nutrimentos de forma artificial teniendo cuidado de usar las concentraciones adecuadas para evitar su desperdicio.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en dos etapas; del 26 de junio al 25 de julio de 2004 bajo condiciones de invernadero, y durante los meses de agosto y septiembre del mismo año en laboratorio. La variedad CHF1-Chapingo de tomate de cáscara fue sembrada en charolas de poliestireno expandido de 80 cm de largo por 25 cm de ancho y ocho cm de profundidad con 200 cavidades; se empleó 1.050 kg de turba en cada charola. Las características del sustrato, determinadas antes de su uso, fueron: pH (6.4); materia orgánica (59.4 %); densidad aparente ($0.18 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$); CIC ($24.56 \text{ Cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$); nitrógeno inorgánico ($593.6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$); 2.79, 2.43, 3.26, 6.45, 9.65, 26.38, 375.9, 596.1, 104.0 y $9.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, zinc, manganeso y boro, respectivamente.

Se evaluaron las soluciones nutritivas: Universal Steiner al 25, 50, 75 y 100 % de concentración además de un tratamiento en que semanalmente se varió la concentración aplicada: 25 % de siete a 13 días después de siembra (DDS), 50 % de 14 a 20 DDS y 75 % de 21 a 28 DDS; así como una solución preparada con el fertilizante comercial Triple 18 ultrasoluble al 100 % de concentración (equivalente a

1.0 g de fertilizante por litro de agua) y otro tratamiento donde semanalmente se varió la concentración de Triple 18 de forma similar al tratamiento adicional con la solución de Steiner arriba descrito (Cuadro 1); también se incluyó un testigo sin solución nutritiva en el que solo se aplicó agua. Los ocho tratamientos fueron evaluados bajo el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió en una charola, con una planta por cavidad.

CUADRO 1. Fuentes de elementos minerales y concentraciones en las soluciones nutritivas empleadas.

Solución nutritiva	Nutrimento	Fuente (s)	g·100 litros ⁻¹ de agua	Concentración (mg·litro ⁻¹)
Steiner (100 %)	N	KNO ₃ , Ca(NO ₃) ₂	75, 260	550
	P	H ₃ PO ₄	10 ml	27
	K	KNO ₃ , K ₂ SO ₄	75, 100	514
	Ca	Ca(NO ₃) ₂	260	634
	Mg	MgSO ₄ 7 H ₂ O	125	122
	Fe	FeSO ₄ 7 H ₂ O	5	10
	Cu	CuSO ₄ 5 H ₂ O	0.2	0.5
	Zn	ZnSO ₄ 7 H ₂ O	0.2	0.45
	Mn	MnSO ₄ 4 H ₂ O	0.5	1.23
	B	Na ₂ B ₄ O ₇ 10 H ₂ O	1	0.29
Triple 18 (100%)	N	18-18-18	100	180
	P	18-18-18	100	73.4
	K	18-18-18	100	149.4
	Ca	18-18-18	100	12
	Mg	18-18-18	100	5

Durante los primeros seis DDS se aplicó un riego diario con agua simple hasta saturar el sustrato y a partir de 7 DDS, cuando se alcanzó más del 80 % de

emergencia, se inició con la aplicación de tratamientos. Se aplicó 1.5 litros de agua por charola.

En tres oportunidades (15, 22 y 29 DDS) se evaluaron las variables: altura de planta (AP, cm), medida de la base del tallo al ápice de la plántula; el número de hojas (NH), considerando solo aquellas completamente formadas; peso fresco de la planta completa (PF, g), cuantificado inmediatamente después de extraer las plántulas de la charola y eliminar el residuo de sustrato por medio de lavado con agua simple; peso seco de la planta completa (PS, g), determinado después de secar artificialmente las plantas en una estufa a 65 ± 5 °C hasta obtener peso constante. En el último muestreo, 29 DDS, se obtuvo el peso seco de hoja (PSH, g), tallo (PST, g) y raíz (PSR, g) y el diámetro de tallo (DT, mm), que fue determinado en la parte media entre los cotiledones y la base del tallo. También se evaluó la concentración nutrimental de la materia seca vegetal de la parte aérea de la plántula, cuantificando la concentración de macronutrientes (%): nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), y micronutrientes (mg-litro⁻¹): hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) y boro (B). Las concentraciones nutrimentales en tejido vegetal fueron determinadas por técnicas estándares empleadas por el Laboratorio de Fruticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. En el caso del N total fue determinado por el método Kjendahl, con un destilador microkjendahl marca Labconco; el P por el método del Vanadato-Molibdato amarillo, mediante un espectrofotómetro Spectronic 20 de Milton Roy Company; el K por el método de emisión de flama con el Flamómetro modelo 410 marca Cornig; Ca, Mg, Fe, Cu, Zn y Mn fueron cuantificados por absorción atómica mediante el espectrofotómetro SpectrAA 220 marca Varian; y en el caso del B, se

empleo el método colorimétrico con curcúmina (Alcazar y Sandoval, 1999). Se reporta el promedio de 15 plántulas, excepto en las variables peso fresco y peso seco en las que se consideran los pesos de las 15 plantas.

Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 8.0 bajo el diseño de bloques completos al azar. Se realizaron análisis de varianza como experimento simple, prueba de comparación de medias de las variables evaluadas y prueba de contrastes para el contenido nutricional entre las soluciones nutritivas y el testigo.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con el análisis de varianza no se detectaron diferencias significativas en las variables evaluadas en la primera determinación, con excepción del PF (15 DDS); sin embargo, se observaron efectos sobre éstas en las dos siguientes evaluaciones (22 y 29 DDS). La información obtenida puede considerarse confiable debido a que los coeficientes de variación fueron menores o iguales que 20 %, excepto para el PS a los 29 DDS (Cuadro 2).

En la etapa inicial del desarrollo de las plántulas (15 DDS) no hubo efecto de los tratamientos, debido a la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica en el sustrato orgánico empleado que les permitieron desarrollarse de manera uniforme; sin embargo, una vez que la demanda de nutrientes aumentó y las cantidades de los minerales en el sustrato disminuyeron se observaron las diferencias entre los

tratamientos con solución nutritiva y el testigo, lo cual puede ser atribuido a que los sustratos orgánicos, como la turba, no poseen capacidad de intercambio aniónico, por lo que la disponibilidad de nutrientes de forma aniónica (nitratos y fosfatos, principalmente) disminuye, debido a que éstos se pueden perder fácilmente en los lixiviados (nitratos) o formar compuestos insolubles con otros elementos (fosfatos); dichas pérdidas afectan a los elementos de forma aniónica (Ansorena, 1994).

Durante la segunda etapa de desarrollo (22 DDS), el testigo sin solución nutritiva tuvo los valores promedio más bajos y fue superado al menos por un tratamiento donde se usó alguna de las soluciones nutritivas. La solución de Triple 18 al 100 % superó 60 % al testigo en las variables altura de planta y peso fresco. La mayoría de los tratamientos, excepto dos, tuvieron en promedio una hoja más que el testigo; con respecto al peso seco, la solución Steiner en concentraciones variadas cada semana superó al testigo en 55 % (Cuadro 3).

CUADRO 2. Cuadrados medios del análisis de varianza de las variables evaluadas a los 15, 22 y 29 días después de siembra (DDS) en plántulas de tomate de cáscara, bajo tratamientos de soluciones nutritivas.

F.V.	GL ²	15 DDS						22 DDS			29 DDS			
		AP	NH	PF	PS	AP	NH	PF	PS	AP	NH	PF	PS	DT
TRATAMIENTO	7	0.08	0.04	5.14*	0.008	10.39*	0.59*	224.21*	0.53*	99.20*	0.91*	1353.1*	1.62*	3.05*
REPETICIÓN	3	0.18	0.24	19.03	0.040	4.41	0.49	195.08	0.61	2.65	0.19	100.6	4.48	0.30
ERROR	24	0.08	0.06	1.32	0.004	1.50	0.08	51.92	0.08	14.66	0.11	144.8	0.53	0.135
C.V. (%)		12.00	17.60	19.43	18.99	19.92	10.33	20.89	19.32	19.09	7.48	18.6	24.08	9.44
MEDIA		2.21	1.44	5.91	0.33	6.15	2.80	26.88	1.44	20.06	4.52	64.6	3.01	3.85

F.V.: Fuente de variación; C.V.: Coeficiente de variación;² GL: Grados de libertad; AP: Altura de planta (cm); NH: Número de hojas; PF: Peso fresco (g); PS: Peso seco (g); DT: Diámetro de tallo (mm); * Significativo con $\alpha = 0.05$.

CUADRO 3. Comparación de medias de las variables evaluadas a los 22 y 29 días después de siembra (DDS) en plántulas de tomate de cáscara bajo tratamientos de soluciones nutritivas.

TRATAMIENTO	22 DDS				29 DDS				
	AP ^y	NH	PF	PS	AP	NH	PF	PS	DT
Testigo	3.2 c ^z	1.9 b	14.0 c	0.8 c	09.2 b	3.38 b	24.3 b	1.67 a	1.92 c
SS 25 %	7.3 ab	2.9 a	31.0 ab	1.7 ab	21.6 a	4.63 a	69.8 a	3.14 a	4.00 ab
SS 50 %	7.3 ab	3.1 a	30.3 ab	1.7 ab	22.9 a	4.92 a	81.0 a	3.68 a	4.59 a
SS 75 %	5.9 abc	2.9 a	26.0 abc	1.5 ab	19.8 a	4.53 a	68.3 a	3.05 a	4.32 a
SS 100 %	4.4 bc	2.7 a	17.8 bc	1.1 bc	17.5ab	4.52 a	62.5 a	2.57 a	4.10 ab
SS variada	6.4 ab	3.0 a	33.5 a	1.8 a	25.6 a	4.78 a	83.3 a	3.56 a	4.51 a
ST 100 %	8.1 a	3.2 a	35.3 a	1.7 ab	22.5 a	4.68 a	70.3 a	3.28 a	4.04 ab
ST variada	6.4 ab	2.8 a	27.3 abc	1.4 abc	21.3 a	4.68 a	57.8 a	3.14 a	3.32 b
DMS	2.90	0.68	13.30	0.89	08.50	0.82	27.63	2.37	0.92

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa. SS: Solución Steiner; ST: Solución Triple 18; ^y AP: Altura de planta (cm); NH: Número de hojas; PF: Peso fresco (g); PS: Peso seco (g); DT: Diámetro de tallo (mm).

A los 29 DDS, los tratamientos con nutrición tuvieron mayor desarrollo de plántulas con respecto al testigo en altura de planta, número de hojas y peso fresco, sin observar diferencias entre las soluciones nutritivas empleadas. El peso seco fue superior ($\alpha=0.05$) en la solución Steiner con concentración de 50 % y al variar la concentración cada semana que el testigo (Cuadro 3). Comportamiento similar ocurrió en peso seco de hoja y peso seco de tallo, donde el testigo fue superado por el resto de los tratamientos con nutrición, excepto por la solución de Triple 18 en concentración variada y las soluciones Steiner en concentraciones de 25 y 100 % en peso seco de hoja y tallo, respectivamente, sin observarse diferencias entre soluciones y concentraciones (Cuadro 4). En contradicción con los resultados obtenidos, estudios con otras especies olerícolas, señalan que el crecimiento de las raíces se estimula al incrementar los niveles de nutrimentos como el N, P y Ca (Leskovar y Stoffella, 1995). En jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) el peso

seco de raíz aumenta al elevar la concentración de la solución nutritiva, debido a la menor disponibilidad de agua y a que la raíz tiende a desarrollarse más (Ismail y Ahmad, 1997); sin embargo, otras investigaciones indican que las raíces generalmente responden al exceso de minerales mediante el engrosamiento y desarrollo más lento (Zobel, 1995), lo cual explica porque las soluciones Steiner con mayores concentraciones (75 y 100 %) tuvieron el menor desarrollo radicular (Cuadro 4).

CUADRO 4. Comparación de medias de los tratamientos sobre el peso seco de hoja (PSH), peso seco de tallo (PST) y peso seco de raíz (PSR) a los 29 días después de siembra.

TRATAMIENTO	PSH	PST	PSR
	(g)		
Testigo sin solución	0.64 b ^z	0.29 b	0.79 a
Solución Steiner a concentración de 25 %	1.27 ab	1.31 a	0.90 a
Solución Steiner a concentración de 50 %	1.72 a	1.49 a	0.81 a
Solución Steiner a concentración de 75 %	1.53 a	1.17 a	0.58 a
Solución Steiner a concentración de 100 %	1.36 a	0.89 ab	0.51 a
Solución Steiner variada cada semana	1.71 a	1.37 a	0.72 a
Solución Triple 18 a concentración de 100 %	1.49 a	1.22 a	0.88 a
Solución Triple 18 variada cada semana	1.25 ab	1.00 ab	1.09 a
DMS	0.64	0.72	0.69

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente, (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

Sin considerar al testigo, la menor altura de planta final (29 DDS) se obtuvo con la solución Steiner al 100 % (Cuadro 3), debido, probablemente, a que las concentraciones nutritivas elevadas tienden a elevar la conductividad eléctrica de la solución, lo cual reduce la capacidad de absorción de agua y nutrientes (Asher y Edwards, 1983; Ehret y Ho, 1986; Lara, 2000) y con ello se reduce el crecimiento general de las plantas (Ismail y Ahmad, 1997). En tomate de cáscara la altura

recomendable para el transplante es de 15 a 18 cm; alturas superiores, aunadas a tallos delgados, originan problemas de establecimiento después del transplante en campo. Las plántulas que tienen alturas de 15 a 20 cm son más apreciables para el transplante, ya que se encuentran en menor exposición a constricciones de haces vasculares a causa del viento que pueden ocasionarles la muerte (Araiza y Sánchez, 1990); así, la solución Steiner al 100 % fue la que promovió el desarrollo de plántulas que más se aproximó a la altura ideal; sin embargo, los tratamientos con nutrición incrementaron la tasa de crecimiento en altura de plántula, de tal forma que ésta fue adecuada para el transplante entre 24 y 26 DDS.

A los 29 DDS el número de hojas (NH) no fue afectado por los tratamientos con nutrición, ya que éste depende de la edad de la planta, solo el testigo presentó menor NH debido a que el sustrato dejó de proporcionar nutrientes, lo que retrasó el desarrollo de las plantas a partir de los 15 DDS.

Con respecto al diámetro de tallo, el menor desarrollo se tuvo en el testigo que resultó inferior a los tratamientos con nutrición ($\alpha=0.05$), en tanto el mayor diámetro de tallo se obtuvo en las soluciones Steiner al 50, 75 % y Steiner de concentración variada (Cuadro 3). Esta característica es importante e indicativa de la calidad de una plántula en tomate de cáscara, debido a que un mayor grosor del tallo tiene menor probabilidad de doblarse al momento del transplante, lo que permite un mayor porcentaje de establecimiento. Los resultados concuerdan con los reportados en plántulas de jitomate donde hubo diferencias estadísticas en el diámetro de tallo al aumentar la concentración de N y P en la solución nutritiva (Melton y Dufault, 1991).

De acuerdo con los análisis de varianza, la concentración de macronutrientes en tejido vegetal a los 29 DDS mostró diferencias estadísticas entre las soluciones nutritivas empleadas (Cuadro 5). Así mismo, la prueba de contrastes entre las soluciones nutritivas y el testigo determinó que la solución Steiner superó ($\alpha=0.05$) a la de Triple 18 y al testigo en N, K, Ca, y Mg; en tanto que, la concentración de P en tejido vegetal, la solución de Triple 18 fue superior a la solución Steiner y al testigo (Cuadro 6).

La comparación de medias entre tratamientos para la concentración de N indicó que las soluciones Steiner al 75 y 100 % tuvieron los valores más altos y superaron a la solución Steiner al 25 %, a las dos soluciones de Triple 18 y al testigo ($\alpha=0.05$). Con respecto a la concentración de P, las dos soluciones de Triple 18 superaron a las soluciones Steiner y al testigo; en K la solución Steiner de concentración variada semanalmente superó a la Triple 18 de concentración variada y al testigo; en Ca y Mg las soluciones Steiner fueron superiores a las de Triple 18 y al testigo, excepto al 25 % de concentración para Ca y 100 % para Mg (Cuadro 7).

CUADRO 5. Cuadrados medios del análisis de varianza de la concentración nutrimental a los 29 días después de siembra en plántulas de tomate de cáscara bajo tratamientos de soluciones nutritivas.

F.V.	GL ^y	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
TRATAMIENTO	7	8.70*	0.022*	17.64*	0.51*	0.14*	69.71*	11.29	226.14	273.64*	316.42*
REPETICIÓN	3	0.05	0.001	2.01	0.06	0.02	432.61	3.50	78.61	51.53	548.53
ERROR	21	0.13	0.001	2.79	0.04	0.01	168.07	4.77	132.21	25.13	77.48
C.V. (%)		7.07	10.81	22.14	14.91	13.58	18.61	8.78	33.18	19.58	19.74
MEDIA		5.05	0.30	7.70	1.46	0.81	69.66	24.88	34.66	25.59	44.59

F.V.: Fuente de variación; C.V: Coeficiente de variación; ^y GL: Grados de libertad; N: Nitrogeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Fe: Hierro; Cu: Cobre; Zn: Zinc; Mn: Manganese; B: Boro. * Significativo con $\alpha = 0.05$.

CUADRO 6. Contrastes de la concentración nutrimental a los 29 días después de siembra entre soluciones nutritivas y el testigo en plántulas de tomate de cáscara.

Solución	N ^y	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	B
Nutritiva	(mg·litro ⁻¹)									
Steiner	5.81 a ^z	0.25 c	8.94 a	1.71 a	0.95 a	76.40 a	25.80 a	35.10 a	48.10 a	48.00 a
Triple 18	4.70 b	0.42 a	6.58 b	1.06 b	0.62 b	58.88 b	23.25 a	36.88 a	19.25 b	40.75 b
Testigo	1.97 c	0.33 b	3.75 c	1.03 b	0.57 b	57.50 b	23.50 a	28.00 a	16.25 b	32.25 b

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente ($p \leq 0.05$); ^y N: Nitrogeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Fe: Hierro; Cu: Cobre; Zn: Zinc; Mn: Manganese; B: Boro.

En general, la solución Steiner promovió la mayor concentración nutrimental en tejido vegetal que la solución de Triple 18, excepto en P (Cuadro 7). Lo anterior puede atribuirse a que la solución Steiner presenta un balance adecuado de aniones y cationes, que permite una absorción adecuada de todos los nutrientes por las plantas (Lara, 2000), en tanto que la solución de Triple 18 solo contiene N, P, K, S y Mg (Cuadro 1); es decir, es una solución desbalanceada, pues la proporción de aniones (NO_3 , PO_4 y SO_4) y cationes (K, Ca y Mg) debe ser 60:5:25 y 35:45:20, respectivamente (Steiner, 1973), además de no contener micronutrientes.

CUADRO 7. Comparación de medias de la concentración de macronutrientes en plántulas de tomate de cáscara irrigadas con soluciones nutritivas.

TRATAMIENTO	N	P	K	Ca	Mg
	(%)				
Testigo sin solución	1.97 e ^z	0.33 bc	3.75 c	1.03 c	0.57 c
Sol. Steiner a concentración de 25 %	4.61 cd	0.27 cd	8.76 ab	1.53 ab	0.93 a
Sol. Steiner a concentración de 50 %	6.03 ab	0.27 cd	9.14 ab	1.65 a	0.90 a
Sol. Steiner a concentración de 75 %	6.17 a	0.25 d	8.47 ab	1.68 a	0.95 a
Sol. Steiner a concentración de 100 %	6.16 a	0.25 d	8.21 ab	1.90 a	0.88 ab
Sol. Steiner variada cada semana	6.10 ab	0.24 d	10.11 a	1.77 a	1.07 a
Sol. Triple 18 a concentración de 100 %	5.30 bc	0.41 ab	7.78 ab	1.01 c	0.64 bc
Sol. Triple 18 variada cada semana	4.09 d	0.43 a	5.37 bc	1.11 bc	0.59 c
DMS	0.847	0.078	4.040	0.491	0.248

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente, (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

En relación con el comportamiento del fósforo, aunque los niveles estuvieron dentro del rango de suficiencia, para especies solanáceas está entre 0.25 y 0.75 % (Jones *et al.*, 1991), la menor absorción ocurrió con la solución Steiner, lo cual puede deberse a la baja concentración de la fuente empleada ($27 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$), ácido fosfórico (H_3PO_4), que además, tiene la característica de precipitarse fácilmente y

probablemente no fue retenido por el sustrato y se perdió con los lixiviados, contrario a la solución de Triple 18 cuya concentración de P fue mayor ($73.4 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) y se aproxima a la reportada en soluciones nutritivas empleadas en la hidroponía ($60 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) (Sánchez y Escalante, 1988), además de ser una fuente con mejor solubilidad. También se observó una mayor concentración de P en el testigo que en la solución Steiner (Cuadro 6), lo cual puede ser debido al contenido inicial de P en el sustrato ($2.79 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) y el probable contenido de P en el agua de riego (no determinado), que permitieron la absorción de éste nutrimento en el tratamiento sin solución.

De acuerdo con los análisis de varianza (Cuadro 5) hubo diferencias estadísticas entre tratamientos en la concentración de micronutrientes para Fe, Mn y B. En la prueba de contrastes se encontró que la solución Steiner superó a la de Triple 18 y al testigo en estos elementos y en Cu (Cuadro 6). La comparación de medias por tratamiento indicó que la solución Steiner al 100 % tuvo valores superiores a la solución de Triple 18 al 100 % en la concentración de Cu, al resto de tratamientos en la concentración de Mn, y al testigo en la concentración de B. Por otro lado, los valores más bajos se obtuvieron en la solución Triple 18 de concentración variada semanalmente en la concentración de Fe; en la solución de Triple 18 al 100 % en la concentración de Cu; y en el testigo en la concentración de Zn, Mn y B (Cuadro 8). Lo anterior resulta lógico por la disponibilidad de estos elementos puesto que la solución de Triple 18 empleada no contenía micronutrientes y el testigo fue regado sólo con agua. La presencia de micronutrientes en el testigo y en los tratamientos donde se empleo la solución de triple 18 puede explicarse por el contenido inicial de éstos en la turba empleada como sustrato, además de que el agua de riego, proveniente de pozos profundos

generalmente presenta cantidades suficientes de microelementos que cubren las necesidades de las plantas (Sánchez y Escalante, 1988).

De acuerdo con los coeficientes de variación (menores a 22 %, excepto para el elemento Zn) se deduce la confiabilidad de los valores en la concentración nutrimental. En general, los coeficientes fueron mayores en micronutrientes que en macronutrientes, lo cual se puede explicar porque la solución nutritiva Triple 18 no contenía estos elementos y los valores presentaron mayor variabilidad.

CUADRO 8. Comparación de medias de la concentración de micronutrientes en plántulas de tomate de cáscara irrigadas con soluciones nutritivas.

TRATAMIENTO	Fe	Cu	Zn	Mn	B
	(mg·litro ⁻¹)				
Testigo sin solución	57.5 ab ^z	23.5 a	28.0 a	16.3 c	32.3 b
Sol. Steiner a concentración de 25 %	68.5 ab	24.0 a	29.5 a	23.8 bc	45.3 ab
Sol. Steiner a concentración de 50 %	73.0 ab	25.5 a	29.5 a	26.8 bc	40.8 b
Sol. Steiner a concentración de 75 %	74.0 ab	25.8 a	30.0 a	27.3 bc	45.3 ab
Sol. Steiner a concentración de 100 %	86.3 a	27.8 a	48.3 a	42.5 a	63.0 a
Sol. Steiner variada cada semana	80.3 ab	26.0 a	38.3 a	29.8 b	48.8 ab
Sol. Triple 18 a concentración de 100 %	62.3 ab	22.5 a	31.0 a	19.8 bc	41.0 b
Sol. Triple 18 variada cada semana	55.5 b	24.0 a	42.8 a	18.8 bc	40.5 b
DMS	30.75	5.11	27.27	11.89	20.88

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente, (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

La absorción de nutrientes es un proceso influenciado por el tipo de iones presentes en la solución, por lo que para cada especie es diferente (Preciado *et al.*, 2000). Los resultados obtenidos en la presente investigación pueden representar valores de referencia para tomate de cáscara, especie en la que, a la fecha, no se había determinado la concentración de macro y microelementos en la etapa de plántula.

2.6. CONCLUSIONES

- Las plántulas de mejor calidad se obtuvieron con la solución nutritiva Steiner, por lo que es más conveniente emplear la concentración de 50 % o variar la concentración semanalmente.
- La mayor concentración de N, K, Ca, Mg, Fe, Mn y B en tejido vegetal se obtuvo con la solución universal Steiner y la de P, con la solución de Triple 18.
- La solución nutritiva Triple 18 puede ser empleada en la producción de plántula de tomate de cáscara en lugares donde no haya disponibilidad de fertilizantes para preparar soluciones nutritivas completas.

2.7. LITERATURA CITADA

- ALCANTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Méx. 156 p.
- ANSORENA M., J. 1994. Sustratos: Propiedades y Caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España. 172 p.
- ARAIZA C., J.; SÁNCHEZ L., A. 1990. Horticultura Doméstica. 1ª edición. Editorial Trillas. México. 85 p.
- ASHER, C. J.; EDWARDS, D. G. 1983. Modern solution culture techniques. pp: 94-119. *In: Encyclopedia of Plant Physiology.* Vol. 15-A. PIRSON, A.; ZIMMERMAN, M. H. (Eds.) Springer Verlag, Berlin, Germany.

- BASOCCU, L.; NICOLA, S. 1992. Effect of nutrition and substrate water content on growth under protection of pepper seedlings and fruit production in the field. *Acta Horticulturae* 323: 121-127.
- DUFAULT, R. J. 1998. Vegetable transplant nutrition. *HorTechnology* 8(4): 515-523.
- EHRET, D. L.; HO, L. C. 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.* 58: 679-688.
- GARTON, R. W.; WIDDERS, I. E. 1990. Nitrogen and phosphorus preconditioning of small-plug seedlings influence processing tomato productivity. *HortScience* 25: 655-657.
- ISMAIL, M. R.; AHMAD, R. 1997. Differential growth and yield responses of tomato plants grown in different solution concentration using nutrient film technique and sand culture. *Acta Horticulturae* 450: 449-455.
- JONES Jr, B.; WOLF, J. B.; MILLIS, A. H. 1991. *Plant Analysis Hand Book*. Micro-Macro Publishing, Inc. U.S.A. 535 p.
- KARCHI, Z.; CANTLIFFE, D. J. 1992. Growth of containerized lettuce transplants supplemented with varying concentrations of nitrogen and phosphorus. *Acta Horticulturae* 319: 365-370.
- LARA H., A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229.
- LESKOVAR, D. I.; STOFFELLA, P. J. 1995. Vegetable seedling root systems: morphology, development, and importance. *HortScience* 30(6): 1153-1159.
- MELTON, R. R.; DUFAULT, R. J. 1991. Tomato seedling growth, earliness, yield, and quality following pretransplant nutritional conditioning and low temperatures. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116(3): 421-425.

- NICOLA, S.; BASOCCU, L. 1994. Pretransplant nutritional conditioning affects pepper seedling growth and yield. *Acta Horticulturae* 361: 519-526.
- PEÑA L., A.; MOLINA G., J. D.; CERVANTES S., T.; MARQUEZ S., F.; SAHAGUN C., J.; ORTIZ C., J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 4(1): 31-37.
- PEÑA L., A.; SANTIAGUILLO H., J. F. 1999. Variabilidad genética del tomate de cáscara en México. *Boletín Técnico* N° 3. Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 26 p.
- PRECIADO R., P.; BACA G., A.; TORRES J., L. T.; SHIBATA K., J. 2000. Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. *Terra* 20(3): 267-276.
- SIAP (Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera). 2005. Avances de Siembras y cosechas. Año agrícola 2004. Situación al mes de febrero de 2005. www.siap.sagarpa.gob.mx
- SANCHEZ DEL C., F.; ESCALENTE R., E. R. 1988. Hidroponia. Un sistema de producción de plantas. Principios y métodos de cultivo. 3ª Edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 194 p.
- STEINER, A. A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. pp: 43-53. *In: Proceedings 3rd International Congress on Soilles Culture*. Wageningen, The Netherlands.
- WIDDERS, I. E.; LORENZ, O. A. 1982. Potassium nutrition during tomato plant development. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 118: 960-964.
- ZOBEL, R.W. 1995. Genetic and environmental aspects of roots and seedling stress. *HortScience* 30(6): 1189-1192.

CAPÍTULO III

**EFFECTO DE VOLUMENES Y FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN
DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.).**

III. EFECTO DE VOLUMENES Y FRECUENCIAS DE RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.).

3.1. RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del riego en tres volúmenes (0.5, 1.0 y 1.5 litros) y tres frecuencias (uno, dos o tres riegos por día) sobre el desarrollo y la concentración nutrimental de plántulas de tomate de cáscara, establecidas en charolas de poliestireno de 200 cavidades e irrigadas con una solución nutritiva de fertilizante Triple 18 ultrasoluble, bajo condiciones de invernadero en Chapingo, México. Los nueve tratamientos fueron establecidos bajo el diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se realizaron tres determinaciones a los 15, 21 y 26 días después de siembra (DDS) sobre la altura de planta, número de hojas, peso fresco y seco de plántula; así como una determinación (26 DDS) sobre el diámetro de tallo y la concentración nutrimental de plántulas. La necesidad de agua por las plantas varió con su desarrollo, por lo cual puede ser conveniente aplicar 1.0 litro de agua diario por charola durante la primera fase después de la emergencia (4 a 10 DDS), en una sola aplicación; 2.0 litros de agua en dos aplicaciones de un litro cada una, durante la segunda fase (11 a 18 DDS) y 3.0 litros de agua por día en dos o tres aplicaciones durante la última fase de plántula (19 a 26 DDS). La mayor concentración de N, Ca y Mg en materia seca vegetal se relacionó con el volumen de riego de 1.5 litros.

Palabras clave: plántulas, riego, concentración nutrimental.

EFFECT OF VOLUMES AND IRRIGATION FRECUENCES ON HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.) SEEDLING PRODUCTION.

3.2. ABSTRACT

The aim of this research was to determinate the effect of three volumes (0.5, 1.0 y 1.5 liters) and three irrigation frequencies (once, twice or three times a day) on the development and the nutrimental concentration of husk tomato seedling cultivated in trays of polystyrene with 200 cavities and irrigated with a nutritive solution of ultrasoluble fertilizer Triple 18, growing in a greenhouse in Chapingo, Mexico. The nine treatments were established in a random blocks design, with four replications. Three determinations were carried out at 15, 21 and 26 days after sowing (DAS) on plant high, leaves number, fresh and dry weigh of seedling, and one determination (26 DAS) on stem diameter and nutrimental concentration of seedlings. The volume and frequency needed for adequate irrigation varied with seedling development; therefore, it is convenient to apply one liter of water daily per container of 200 cavities during the period of 4 to 10 days after sowing (DAS) in only one application, two applications of one liter for each one of the 11 to 18 DAS, and three liters of water per day in two applications of 1.5 liters for each one, or three applications of one liter for each one of the 19 to 26 DAS. The higher concentration of N, Ca and Mg in dry matter was obtained with water volume of 1.5 liters.

Key words: seedlings, irrigation, nutrimental concentration.

3.3. INTRODUCCIÓN

El establecimiento del cultivo de tomate de cáscara en México se realiza en siembra directa o transplante; ésta última es la forma comúnmente empleada para obtener plántulas a partir de almácigos o semilleros y posteriormente ser trasplantadas al terreno definitivo. En años recientes se ha desarrollado la técnica de producción de plantas en contenedor, mediante el uso de charolas de poliestireno o plástico y sustratos orgánicos como la turba o la fibra de coco, que por sus características y propiedades fisicoquímicas, permiten la obtención de plántulas de buena calidad y otras ventajas que no se alcanzan en las plántulas producidas en almácigos convencionales, tales como la uniformidad y el crecimiento predecible de las plantas en un ambiente controlado, reducción del tiempo al transplante, la posibilidad de automatizar los procesos manuales y reducir las pérdidas, lo cual conlleva a mejorar la eficiencia, la rentabilidad y la competitividad en el mercado (Muñoz, 2004).

Por otro lado, el manejo del agua para riego durante el desarrollo de los cultivos es importante, ya que de éste depende el éxito o el fracaso de la mayoría de los cultivos olerícolas. El manejo del riego debe ser considerado desde el momento de la siembra y, al igual que la nutrición, el uso adecuado del agua en los semilleros es un factor esencial en la obtención de plántulas de calidad que permiten el establecimiento adecuado en campo (Basoccu y Nicola, 1992).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de tres volúmenes y tres frecuencias de riego sobre el desarrollo y la concentración nutrimental de plántulas de

tomate de cáscara, con el supuesto de que conforme las plantas crecen la demanda de agua aumenta, por lo que debe proporcionarse la cantidad suficiente en el mayor número de riegos posible. El estrés hídrico afecta negativamente las funciones vitales de las plántulas (fotosíntesis, respiración, absorción, etc.) y limita su desarrollo; el exceso de agua en los riegos promueve el desperdicio de nutrientes de la solución nutritiva.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó bajo condiciones de invernadero durante los meses de junio y julio de 2004 en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. Se empleó la variedad CHF1-Chapingo, obtenida por selección a partir de la variedad Rendidora, con características morfológicas similares a la variedad original, con crecimiento rastrero y semierecto, mayor precocidad y frutos homogéneos en tamaño y forma (Peña *et al.*, 1998).

Se evaluaron dos factores de estudio: el volumen de agua para riego, con tres niveles (0.5, 1.0 y 1.5 litros por charola) y la frecuencia de riego, con tres niveles (uno, dos y tres riegos por día), lo que permitió formar nueve tratamientos (Cuadro 1). Se empleó el diseño experimental de bloques completos al azar con 4 repeticiones. La unidad experimental fue una charola de poliestireno de 200 cavidades con una planta por cavidad.

La siembra se realizó el 27 de junio de 2004 con el siguiente procedimiento: las charolas previamente lavadas y desinfectadas con hipoclorito de sodio (10 % de concentración) se llenaron con sustrato de turba y se regaron hasta saturación; posteriormente se golpearon ligeramente para compactar el sustrato y dejar alrededor de 0.5 cm de espacio libre para depositar cuatro semillas por cavidad, después se colocó otra capa de sustrato y nuevamente se regó, al final las charolas fueron apiladas y cubiertas con plástico bicapa (plata-negro). Tres días después de la siembra (DDS) las charolas se destaparon y se colocaron sobre soportes metálicos de 1.2 m de altura para facilitar su manejo. Se clareó a una planta por cavidad a los 10 DDS. Los tratamientos se iniciaron 7 DDS; se empleó Triple 18 ultrasoluble como solución nutritiva ($0.5 \text{ g}\cdot\text{litro}^{-1}$ de agua).

CUADRO 1. Volúmenes y frecuencias de riego evaluadas en plántulas de tomate de cáscara.

Tratamiento	Volumen de agua (litros·riego ⁻¹)	Frecuencia (riegos·día ⁻¹)	Horario de riego (h)
1	0.5	1	12:00
2	0.5	2	10:00 y 14:00
3	0.5	3	8:00, 12:00 y 16:00
4	1.0	1	12:00
5	1.0	2	10:00 y 14:00
6	1.0	3	8:00, 12:00 y 16:00
7	1.5	1	12:00
8	1.5	2	10:00 y 14:00
9	1.5	3	8:00, 12:00 y 16:00

La medición de las variables consistió en una muestra aleatoria de 15 plántulas de cada unidad experimental evaluadas en tres determinaciones (15, 21 y 26 DDS): altura de

planta (AP, cm), medida de la base del tallo al ápice de la planta; número de hojas, considerando aquellas completamente formadas (NH); peso fresco (PF, g), cuantificado con una balanza granataria después de extraer las plantas de la charola y eliminar el sustrato de la raíz con agua simple; peso seco (PS, g), obtenido con una balanza analítica después de secar las plántulas en estufa hasta obtener peso constante. A los 26 DDS se midió: el diámetro de tallo (DT, mm), para ello se empleo un vernier manual y se midió la lectura en la parte intermedia entre los cotiledones y la base del tallo; también se registraron los pesos secos de hojas (PSH), tallo (PST) y raíz (PSR), se separaron los órganos de las plantas antes de secarlas en la estufa, para conocer la distribución de la materia seca en los órganos principales. Se presentan los promedios de 15 plántulas, excepto para los pesos fresco y seco donde se considera la totalidad de las plántulas. Finalmente, a los 26 DDS, se determinó la concentración nutrimental de la parte aérea de la plántula de los macroelementos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg). Las concentraciones fueron cuantificadas con las técnicas de determinación empleadas en el Laboratorio de Fruticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. En el caso del N total fue determinado por el método Kjendahl, con un destilador microkjendahl marca Labconco; el P por el método del vanadato-molibdato amarillo, mediante un espectrofotómetro Spectronic 20 de Milton Roy Company; el K por el método de emisión de flama, con un Flamómetro 410 marca Cornig; Ca y Mg fueron cuantificados mediante un espectrofotómetro SpectrAA 220 marca Varian por absorción atómica (Alcantar y Sandoval, 1999).

Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 8.0 bajo el diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial. Se

realizaron análisis de varianza y prueba de comparación de medias de las variables evaluadas.

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No hubo diferencias significativas entre los nueve tratamientos a los 15 y 21 DDS, con excepción de la altura de planta a los 21 DDS; en contraste si las hubo a los 26 DDS, excepto en peso seco de planta y peso seco de raíz (Cuadro 2). Lo anterior puede atribuirse al incremento en la demanda de agua conforme la plántula se desarrolló, algo que no se apreció 15 DDS debido a que las plantas pequeñas cubrieron su necesidad hídrica aún con el volumen de agua bajo (0.5 litros). Sin embargo, en la última etapa (21-26 DDS) las necesidades hídricas aumentaron y algunos de los volúmenes suministrados no fueron suficientes para cubrir la demanda de las plantas, manifestándose las diferencias entre los tratamientos.

El factor volumen tuvo efecto sobre los tratamientos en la altura de planta a los 21 DDS y en las variables altura de planta, número de hojas, peso fresco, peso seco, diámetro de tallo, peso fresco de hoja, peso fresco de tallo, peso seco de hoja, y peso fresco de tallo a los 26 DDS (Cuadro 2). La comparación de medias indicó que la altura de planta en el volumen de 1.0 litro fue superior al de 0.5 litros a los 22 y 26 DDS. Los volúmenes de 1.0 y 1.5 litros fueron similares entre sí y superiores al de 0.5 litros en las variables número de hojas, peso fresco, diámetro de tallo, peso fresco de hoja, peso fresco de

tallo y peso seco de tallo; en tanto que el volumen de 1.5 litros superó al de 0.5 litros en el peso seco y peso seco de hoja a los 26 DDS (Cuadro 3).

El factor frecuencias de riego solo tuvo efecto en las variables altura de planta, peso fresco, diámetro de tallo, peso fresco de hoja y peso fresco de tallo a los 26 DDS (Cuadro 2). La comparación de medias indicó que las frecuencias de dos y tres riegos superaron a la de un riego por día en las variables anteriores, excepto en la altura de planta, en la que sólo la frecuencia de dos riegos superó a la de un riego (Cuadro 3).

La menor altura de planta (AP) se presentó en los tratamientos con menores volúmenes y frecuencias de riego debido a que este carácter disminuye conforme aumenta la tensión de la humedad del suelo (Caldwell *et al.*, 2003). Por otro lado, la mayor AP final se presentó en los niveles intermedios de ambos factores de estudio (volúmenes y frecuencias de riego), lo que indica que la planta de tomate no demanda grandes volúmenes de agua en esta etapa vegetativa y ésta es más afectada por la temperatura del agua que por el número de riegos aplicados diariamente (Chen *et al.*, 1999).

Para el número de hojas a los 26 DDS, el mayor valor se obtuvo cuando se aplicó 1.5 litros de agua por charola y tres riegos por día, debido al menor estrés hídrico en las plantas, ya que el área foliar tiende a disminuir conforme se incrementa el déficit hídrico (Nuñez, 1991; Caldwell *et al.*, 2003).

CUADRO 2. Cuadros medios del análisis de varianza de las variables de crecimiento evaluadas a los 15, 21 y 26 días después de siembra (DDS) en plántulas de tomate de cáscara con diferentes volúmenes y frecuencias de riego.

F.V.	15 DDS					21 DDS					26 DDS					
	AP ^y	NH	PF	PS	AP	NH	PF	PS	AP	NH	PF	PS	DT	PSH	PST	PSR
TRAT	0.07	0.04	1.88	0.004	3.69*	0.67	35.17	0.10	23.7*	0.50*	592.90*	0.93	1.0*	0.17	0.15*	0.10
VOL	0.06	0.02	2.08	0.003	4.51*	0.24	53.69	0.17	31.57*	1.55*	1331.60*	2.56*	2.3*	0.42*	0.34*	0.16
RIE	0.04	0.04	4.08	0.009	2.83	0.22	32.86	0.02	24.55*	0.42	777.00*	0.75	1.5*	0.19	0.11	0.12
VxR	0.08	0.05	0.67	0.002	3.71	0.10	27.07	0.11	19.38*	0.01	131.46	0.20	0.12	0.04	0.07	0.06
REP	0.22	0.31	9.30	0.013	11.28	0.67	197.3	0.52	44.38	1.00	320.37	1.37	0.26	0.03	0.26	0.28
ERROR	0.13	0.08	2.51	0.005	1.33	0.08	27.68	0.08	6.22	0.15	114.75	0.60	0.10	0.08	0.04	0.14
C.V. (%)	14.01	21.5	28.80	23.520	16.81	9.81	18.27	19.89	14.38	9.38	17.66	26.34	8.51	24.89	25.20	35.67
MED	2.47	1.30	5.50	0.310	6.86	2.82	28.81	1.43	17.36	4.14	60.67	2.93	3.62	1.10	0.77	1.06

* Significativo con $\alpha = 0.05$; F. V.: Fuente de variación; TRAT: Tratamiento; VOL: Volumen de agua; RIE: Frecuencia de riego; VxR: Interacción volumen por frecuencia de riego; REP: Repetición; C. V.: Coeficiente de variación; ^y AP: Altura de planta; NH: Número de hojas; PF: Peso fresco; PS: Peso seco; DT: Diámetro de tallo.

El grado de complejidad en las relaciones fuente-demanda y las formas en que las plantas responden cuando son metidas a un tipo de estrés explican en parte los resultados obtenidos. Por ejemplo, los tratamientos con menor número de riegos aplicados tuvieron el menor peso fresco de raíz, pero no el menor peso seco de raíz (Cuadro 3), debido a que el estrés hídrico severo permite una mayor tasa de acumulación de materia seca por unidad de materia fresca en raíz (Liptay *et al.*, 1998). Además, la baja disponibilidad de agua promueve el desarrollo de la raíz y aumenta su radio de exploración (Ismail y Ahmad, 1997). Aunque otros reportes indican que el déficit hídrico afecta el crecimiento de las raíces y el tamaño de los vasos conductores del xilema (Zobel, 1995), o la elongación radicular se inhibe cuando el potencial hídrico del suelo baja de -0.8 Mpa (Leskovar y Stoffella, 1995).

A medida que se incrementó el nivel de humedad entre los tratamientos el peso fresco fue mayor (Cuadro 3). Esto resulta lógico de cierta forma, ya que en etapa de plántula el principal constituyente de la misma es el agua.

El menor peso seco de planta (PS) se obtuvo en los tratamientos con mayor estrés hídrico debido a que éste produce varias respuestas fisiológicas en la planta, como la inhibición del crecimiento de las hojas, reducción de la tasa fotosintética y de respiración, provocadas por la reducción en la absorción de potasio por las raíces, y la consecuente reducción en la expansión celular (Liptay *et al.*, 1998) lo que provoca una reducción general del PS de la planta (Shinohara *et al.*, 1995).

CUADRO 3. Efecto de los factores volumen y frecuencia de riego sobre las variables de crecimiento de plántulas de tomate de cáscara evaluadas a los 21 y 26 días después de siembra (DDS).

21 DDS										26 DDS					
FACTOR	AP	NH	PF	PS	AP	NH	PF	PS	DT	PFH	PFT	PFR	PSH	PST	PSR
Volumen															
0.5	6.3 b ^z	2.66 a	27.08 a	1.35 a	15.51 b	3.8 b	48.58 b	2.41 b	3.1 b	13.08 b	15.58 b	19.92 a	0.90 b	0.57 b	0.93 a
1.0	7.5 a	2.92 a	31.17 a	1.57 a	18.57 a	4.2 a	65.50 a	3.11 ba	3.8 a	17.08 a	23.83 a	24.17 a	1.13 ba	0.87 a	1.11 a
1.5	6.9 ab	2.88 a	28.16 a	1.37 a	17.98 ba	4.5 a	67.92 a	3.23 a	3.9 a	19.25 a	24.50 a	24.58 a	1.28 a	0.86 a	0.10 a
Riegos															
1	6.4 a	2.67 a	27.50 a	1.47 a	15.72 b	3.9 a	51.67 b	2.69 a	3.2 b	14.42 b	15.67 b	21.58 a	0.96 a	0.66 a	1.07 a
2	7.4 a	2.90 a	30.67 a	1.42 a	18.34 a	4.2 a	63.17 a	2.93 a	3.8 a	17.00 a	22.75 a	23.42 a	1.17 a	0.79 a	0.96 a
3	6.8 a	2.91 a	28.25 a	1.39 a	18.01 ab	4.3 a	67.17 a	3.14 a	3.9 a	18.00 a	25.50 a	23.67 a	1.18 a	0.86 a	1.11 a
DMS	1.175	0.282	05.364	0.290	02.544	0.396	10.921	0.794	0.315	02.564	05.588	05.182	0.280	0.198	0.393

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: Diferencia mínima significativa; AP: Altura de planta (cm); NH: Número de hojas; PF: Peso fresco (g); PS: Peso seco (g); DT: Diámetro de tallo (mm); PFH: Peso fresco de hoja (g); PFT: Peso fresco de tallo (g); PFR: Peso fresco de raíz (g); PSH: Peso seco de hoja (g); PST: Peso seco de tallo (g); PSR: Peso seco de raíz (g).

El menor diámetro de tallo (DT) se presentó en los tratamientos con menor volumen y frecuencia de riego (Cuadro 3). Lo anterior se explica por el estrés hídrico al que se sometieron las plántulas de estos tratamientos, ya que éste afecta la turgencia celular, lo que se traduce en un crecimiento más lento de las plántulas (Liptay *et al.*, 1998). El DT depende principalmente del estrés hídrico al que se someten las plantas, debido a esto se observa que el diámetro es mayor cuando el potencial hídrico de la planta es alto y no existe estrés hídrico (Salas y Urrestarazu, 2000).

De manera general, las variables de crecimiento se ven afectadas por la cantidad de agua disponible en el sustrato; por tal motivo, el tratamiento con menor volumen de agua suministrado ($0.5 \text{ litros-día}^{-1}$), y por consecuencia el de menor disponibilidad de humedad, afectó el crecimiento normal de las plántulas. El estrés hídrico afecta varias funciones de la planta, el cierre estomático es el primer efecto negativo provocado por la resistencia de la hoja a la fijación de CO_2 . Esta resistencia en el mesófilo de la hoja restringe la concentración de CO_2 en los cloroplastos, lo que ocasiona el decremento en la actividad de la enzima Rubisco y por consecuencia la reducción en la fotosíntesis (Woldetsadik *et al.*, 2003); además, provoca disminución en el potencial hídrico de las hojas inhibiendo el crecimiento de las mismas antes de que la fotosíntesis o la respiración se vean afectadas. En general el crecimiento de las plántulas se afecta y el establecimiento de éstas en campo es más difícil (Liptay *et al.*, 1998). La disminución en su crecimiento se debe al aumento en el gasto de energía que realizan las plantas para absorber agua y realizar el aporte bioquímico para sobrevivir, pues se desvía energía de los procesos fisiológicos normales cuando existe déficit hídrico (Nuñez, 1991).

La concentración nutrimental en tejido vegetal mostró diferencias entre tratamientos y factores de estudio para los elementos Nitrógeno (N), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg); así mismo, para el factor frecuencia de riego en la concentración de Potasio (K); sólo la concentración de Fósforo (P) no presentó diferencias entre tratamientos y factores de estudio (Cuadro 4).

CUADRO 4. Cuadrados medios del análisis de varianza de la concentración nutrimental en tejido vegetal de tomate de cáscara a los 26 días después de siembra con diferentes volúmenes y frecuencias de riego.

F.V.	N ^y	P	K	Ca	Mg
TRATAMIENTO	1.565*	0.008	0.715	0.057*	0.014*
VOLUMEN	1.760*	0.001	0.207	0.128*	0.017*
RIEGO	2.737*	0.016	1.562*	0.099*	0.030*
VOLUMEN x RIEGO	0.881*	0.007	0.545	0.001	0.004
REPETICIÓN	0.343	0.012	1.331	0.029	0.013
ERROR	0.271	0.006	0.340	0.004	0.003
C. V. (%)	10.426	10.404	8.112	7.758	8.855
MEDIA	4.993	0.718	7.192	0.778	0.603

* Significativo con $\alpha = 0.05$; F. V.: Fuente de variación; C. V.: Coeficiente de variación; ^y N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio.

La mayor concentración de N se presentó en los tratamientos donde se suministró la mayor cantidad de agua (1.5 litros y tres riegos·día⁻¹), ambos niveles superaron estadísticamente ($\alpha=0.05$) a los niveles con menor volumen de agua y número de riegos aplicados (0.5 litros y un riego·día⁻¹) (Cuadro 5); ésto puede ser debido a la movilidad del N y su fácil absorción al no existir estrés hídrico, ya que el consumo de N por las plantas esta muy relacionado con el consumo de agua (Salas y Urrestarazu, 2000); aunque en

otros estudios se menciona que el riego en exceso reduce el rendimiento y la absorción de N en espinaca y col de brúcelas (Thompson y Doerge, 1995).

CUADRO 5. Efecto de los factores volumen y frecuencia de riego sobre la concentración nutrimental en tejido vegetal de plántulas de tomate de cáscara.

FACTOR	N	P	K	Ca	Mg
	(%)				
Volumen					
0.5	4.630 b	0.718 a	7.078 a	0.661 b	0.647 a
1.0	4.903 ab	0.710 a	7.161 a	0.820 a	0.580 b
1.5	5.413 a	0.725 a	7.334 a	0.854 a	0.582 b
Riegos					
1	4.529 b	0.757 a	7.053 ab	0.684 c	0.665 a
2	4.968 ab	0.712 a	7.601 a	0.786 b	0.597 b
3	5.483 a	0.684 a	6.921 b	0.865 a	0.556 b
DMS	0.531	0.076	0.595	0.062	0.054

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

La concentración de Ca presentó diferencias significativas entre volúmenes y frecuencias de riego. Los niveles de 1.0 y 1.5 litros superaron al nivel de 0.5 litros; en tanto que la frecuencia de tres riegos promovió la mayor concentración de calcio y fue superior a la de dos riegos y ésta a su vez a la de un riego (Cuadro 5). Lo anterior pudo deberse a la concentración de calcio en el sustrato ($65.2 \text{ meq}\cdot\text{litro}^{-1}$), a pesar de que la solución nutritiva empleada no contenía este elemento. La mayor concentración se observó donde hubo mayor disponibilidad de agua debido a que el consumo de calcio está relacionado con el consumo de agua, y por lo tanto, influenciado por la intensidad luminosa y la temperatura (Salas y Urrestarazu, 2000).

El factor volumen de agua no mostró diferencias entre los niveles evaluados sobre la concentración de K, sólo se aprecia tendencia a incrementar la concentración conforme se incrementa el volumen; en contraste, para el factor frecuencia el nivel de dos riegos superó al de tres riegos y fue igual al de un riego por día (Cuadro 5).

La concentración de Mg en tejido vegetal presentó diferencias significativas en los volúmenes de agua y el número de riegos aplicados, los valores más altos se obtuvieron en los tratamientos con la menor cantidad de agua suministrada (0.5 litros) y el menor número de riegos (un riego·día⁻¹), los que superaron a los niveles de 1.0 y 1.5 litros y dos y tres riegos, para los factores volumen y frecuencia de riego, respectivamente (Cuadro 5). El comportamiento en la concentración de Mg fue contrario al de K debido a que, son elementos antagónicos y cuando la planta tiene mayor disponibilidad de uno de ellos lo absorbe en mayor proporción que el otro (Mengel y Kirkby, 1982). En este caso, la disponibilidad y absorción de K fue superior a la de Mg en los tratamientos con mayor disponibilidad de agua, en tanto que para los volúmenes con menor cantidad de agua aplicada, la absorción de K bajó y aumentó la de Mg.

La concentración nutrimental observada se ubicó dentro de los rangos de suficiencia que se reportan para de jitomate (Jones *et al.*, 1991), con excepción del Ca que fue ligeramente bajo y el K que se encontró en niveles altos en todos los tratamientos. Lo anterior se explica por la solución nutritiva empleada, elaborada con el fertilizante Triple 18, cuya concentración mineral es de 18 % de N, P₂O₅ y K, además de 1.2 % de SO₄ y 0.5 % de Mg. Es decir, dicha solución no contiene Ca. Además, el estudio se desarrolló durante la fase de plántula y la acumulación de calcio en los tejidos de la planta es

mínima, ya que en la mayoría de las especies olerícolas la acumulación de calcio aumenta conforme éstas se desarrollan debido al incremento en el material estructural (paredes celulares y ligninas) y compuestos almacenados (almidones) en la materia seca (Marschner, 1995).

La absorción nutrimental esta ligada a la absorción de agua por las plantas, ya que los nutrientes requieren de este soluto para formar parte de la solución del suelo y poder ser absorbidos por las plantas (Salas y Urrestarazu, 2000), por lo que al no existir limitantes de agua y nutrimentos las plantas deben presentar un desarrollo adecuado si las condiciones ambientales lo permiten. Por esta razón, los tratamientos donde se suministró la mayor cantidad de agua tuvieron las mayores concentraciones de nutrimentos.

3.6. CONCLUSIONES

- Los volúmenes y frecuencias de riego en los que se desarrollaron las plántulas con mejores características cambiaron en cada medición, es decir, no hubo un tratamiento sobresaliente de principio a fin del experimento.
- La necesidad hídrica de la plántula de tomate de cáscara cambia de acuerdo con el desarrollo de la misma y las condiciones ambientales existentes, por lo cual resulta conveniente aplicar un litro de agua diario por charola durante la primera fase después de la emergencia (4 a 10

DDS), en una sola aplicación; dos litros diarios con dos aplicaciones de un litro en la segunda fase (11 a 18 DDS) y tres litros por día con dos o tres aplicaciones durante la última fase de plántula (19 a 26 DDS).

- Las plántulas sometidas a mayor estrés hídrico durante toda la etapa fenológica presentaron las características menos favorables para el transplante.
- El tratamiento que empleo la mayor cantidad de agua (1.5 litros y tres riegos por día) fue excesivo durante todo el desarrollo de las plántulas, lo que origina desperdicio de agua y nutrientes.
- La mayor concentración de macronutrientes al final de la fase de plántula se presentó en los tratamientos con mayor volumen de agua aplicada, pero no con la mayor frecuencia.

3.7. LITERATURA CITADA

- BASOCCU, L.; NICOLA, S. 1992. Effect of nutrition and substrate water content on growth under protection of pepper seedlings and fruit production in the field. *Acta Horticulturae* 323: 121-127.
- CALDWELL, T. J.; LADA, R.; HOOPER, D. 2003. Physiological responses of onion (*Allium cepa* L.) seedlings exposed to drought. *Acta Horticulturae* 618: 321-327.
- CHEN, J. J.; SUN, Y. W.; SHEEN, T. F. 1999. Use of cold water for irrigation reduces stem elongation of plug-grown tomato and cabbage seedlings. *HortScience* 34(5): 852-854

- ISMAIL, M.R.; AHMAD, R. 1997. Differential growth and yield responses of tomato plants grown in different solution concentration using nutrient film technique and sand culture. *Acta Horticulturae* 450: 449-455.
- JONES Jr., B.; WOLF, J.B.; MILLIS, A. H. 1991. *Plant Analysis Hand Book*. Micro-Macro Publishing, Inc. 535 p.
- LESKOVAR, D.I.; STOFFELLA, P. J. 1995. Vegetable seedling root systems: morphology, development, and importance. *HortScience* 30(6): 1153-1159.
- LIPTAY, A.; SIKKEMA, P.; FONTENO, W. 1998. Transplant growth control through water deficit stress. A review. *HorTechnology* 8(4): 540-543.
- MARSCHNER, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd. Edition. Ed. Academic Press. San Diego, CA. USA. 674 p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. 3rd Edition. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 655 p.
- MUÑOZ R., J. J. 2004. La producción de plántula en invernadero. pp: 207-230. *In* Castellanos, J. Z. (Ed.). *Manual de producción hortícola en invernadero*. 2ª Edición. INTAGRI. Celaya, México.
- NUÑEZ B., A. 1991. La fisiología del frijol bajo condiciones de sequía. *Rev. Fitotecnia Mexicana* 14: 269-275.
- PEÑA L., A.; MOLINA G., J. D.; CERVANTES S., T.; MARQUEZ S., F.; SAHAGUN C., J.; ORTIZ C., J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 4(1): 31-37.
- SALAS S., M. C.; URRESTARAZU G, M. 2000. Métodos de riego y fertirrigación en cultivos sin suelo. pp: 185-253. *In* *Manual de Cultivo sin Suelo*. URRESTARAZU G., M. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España.

- SHINOHARA, Y.; AKIBA, K.; MARUO, T.; ITO, T. 1995. Effect of water stress on the fruit yield, quality and physiological condition of tomato plants using the gravel culture. *Acta horticulturae* 396: 211-218.
- THOMPSON, T. L.; DOERGE, T. A. 1995. Nitrogen and water rates for subsurface trickle-irrigated collard, mustard and spinach. *HortScience* 38(4): 524-528.
- WOLDETZADIK, K.; GERTSSON, U.; ASCARD, J. 2003. Physiological and growth responses to water stress in field-grown bell pepper (*Capsicum annum* L.). *J. of Hort. Sci. and Biot.* 78(4): 549-553.
- ZOBEL, R.W. 1995. Genetic and environmental aspects of roots and seedling stress. *HortScience* 30(6): 1189-1192.

CAPÍTULO IV

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE EL DESARROLLO DEL
CULTIVO DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.).

IV. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.).

4.1. RESUMEN

Con el propósito de evaluar el efecto de siete dosis de fertilización nitrogenada (entre 22 y 300 kg N·ha⁻¹) durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara con riego por goteo, se estableció un experimento en Chapingo, México, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones. Las dosis evaluadas no tuvieron efecto sobre el rendimiento por planta, peso seco, tamaño y peso fresco del fruto; sin embargo, las dosis de 200 a 300 kg N·ha⁻¹ afectaron la concentración de N en tejido vegetal, la concentración de nitratos en extracto tisular y el contenido de N inorgánico en el suelo al final del ciclo de cultivo. La firmeza y el color del fruto presentaron diferencias estadísticas sólo en el primer corte, en el que la mayor firmeza se obtuvo en las dosis bajas e intermedias y la mayor intensidad de color ocurrió al emplear dosis de N intermedias y altas.

Palabras clave: rendimiento, nitratos, N total, N inorgánico.

EFFECT OF THE NITROGEN FERTILIZATION ON THE HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.) DEVELOPMENT.

4.2. ABSTRACT

With the purpose of evaluate the effect of seven nitrogen fertilization dosages (between 22 to 300 kg N·hectare⁻¹) during the husk tomato development with drop

irrigation, one experiment was established in Chapingo, Mexico, under a random blocks experimental design with six replications. The evaluated dosages had no effect on the fruit yield, the dry weight, size and fresh weight of fruit; however, the dosages of 200 to 300 kg N·hectare⁻¹ affected the N concentration in vegetal matter, the concentration of nitrates in tissue extract, and the highest quantity of residual nitrogen in the soil at the end of the cycle; the solidity and the color of the fruit showed statistical differences only in the first harvest, which the lower and intermediate dosages presented the highest solidity, and the highest intense color was obtained using intermediate and high N dosages.

Key words: yield, nitrates, total N, inorganic N.

4.3. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es cuantitativamente el nutrimento mineral más importante para el desarrollo de las plantas al intervenir en el crecimiento de las hojas y en consecuencia en la fotosíntesis (Buozo y Favaro, 2002); es también el principal nutrimento limitante en muchos ecosistemas, donde la productividad de las cosechas depende de la disponibilidad de este elemento puesto que el 60 % del N inorgánico existente en el suelo proviene de la fertilización nitrogenada; sin embargo, menos de la mitad de éste fertilizante se pierde debido a los procesos de volatilización, lixiviación y desnitrificación (Janssen, 1998; Karitonas, 2003).

La escasa o nula información para el manejo nutrimental adecuado de las especies hortícolas en México ha influido en el empleo indiscriminado de fertilizantes químicos,

principalmente nitrogenados, que además de generar gastos innecesarios puede provocar daños o contaminación ambiental.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de distintas dosis de fertilizante nitrogenado en el cultivo de tomate de cáscara en condiciones de campo y riego por goteo sobre la concentración de N en la planta, el rendimiento y la calidad del fruto y el contenido de N inorgánico en suelo durante el desarrollo del cultivo. Con el supuesto que la planta solo absorbe la cantidad de N que cubre sus necesidades y al emplear dosis excesivas de fertilizante se promueve su desperdicio y la posible contaminación ambiental.

4.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La fase de campo del experimento se desarrolló durante los meses de marzo a junio de 2003 en el Campo Agrícola Experimental de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, en suelo de textura franco-arenosa con: densidad aparente de $1.39 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; pH de 6.85; contenido de materia orgánica de 1.75 %; capacidad de intercambio catiónico de $15.5 \text{ Cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$; capacidad de campo de 20.02 % (0.3 atm); PMP de 10.14 % (15 atm); contenidos de 46.96, 164.43 y $607.0 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ de N inorgánico, fósforo y potasio, respectivamente; características determinadas antes del desarrollo de la investigación.

Fue empleada la variedad CHF-1 Chapingo, obtenida a partir de la raza Rendidora, con crecimiento rastrero y semierecto, mayor precocidad, frutos homogéneos en tamaño y forma (Peña *et al.*, 1998).

El transplante se realizó sobre terreno húmedo, donde previamente se realizó una fertilización de fondo en banda con dosis de 00-100-100 con superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio como fuentes; se colocó una planta con cepellón al costado de los goteros, separadas a 30 cm dentro de surco y 1.2 m entre surcos, lo que corresponde a una densidad de plantación de 27,500 plantas·ha⁻¹. La unidad experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 10 m de longitud (48 m²).

Las siete dosis de fertilizante nitrogenado evaluadas (22, 50, 100, 150, 200, 250 y 300 kg N·ha⁻¹) fueron divididas en tres aplicaciones efectuadas a los 3, 16 y 44 días después del transplante (ddt). La primer aplicación se realizó mediante fertirriego en el goteo a todo el lote experimental, las siguientes fueron realizadas en forma manual, se disolvió el fertilizante (Urea) en agua y se aplicó individualmente (50 ml·planta⁻¹) (Cuadro 1). Después de cada fertilización se efectuó el riego por goteo con agua simple hasta dejar el suelo a capacidad de campo. Durante el desarrollo del cultivo se efectuó un riego diario con agua simple. Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones.

CUADRO 1. Cantidad de fertilizante aplicado por unidad experimental (UE) a los 3, 16 y 44 días después del transplante (ddt).

Dosis (kg N·ha ⁻¹)	Aplicación 3 ddt (kg Urea·UE ⁻¹)	Aplicación 16 ddt (kg Urea·UE ⁻¹)	Aplicación 44 ddt (kg Urea·UE ⁻¹)
22	0.228	-	-
50	0.228	1.337	1.565
100	0.228	2.902	3.130
150	0.228	4.467	4.695
200	0.228	6.032	6.260
250	0.228	7.597	7.825
300	0.228	9.162	9.390

Se evaluaron variables de crecimiento, rendimiento y calidad de fruto de tomate de cáscara, así como la concentración de nitrógeno inorgánico en suelo:

- Peso seco de la parte aérea de la planta (PS; g): se realizaron muestreos destructivos, se seleccionó una planta al azar en uno de los surcos del centro de cada unidad experimental, a los 18, 29, 43 y 61 ddt. Las plantas fueron cortadas a nivel del cuello del tallo, llevadas a estufa de secado a 65 °C hasta obtener peso constante y pesadas en balanza analítica.
- Concentración de nitrógeno en materia seca (CN; %): una vez secas las muestras, se molieron en molino de acero y se procesaron por la metodología microkjeldahl para determinar el porcentaje de N (Alcántar y Sandoval, 1999) a los 29, 43, 56 y 70 ddt.
- Nitratos en extracto tisular (NO₃; mg·litro⁻¹): se realizaron tres determinaciones a los 30, 43 y 67 ddt; se cortaron cuatro o cinco tallos y peciolo donde se ubican la tercera, cuarta y quinta hoja numeradas a partir del ápice. Los

muestreos se efectuaron entre las 9:00 y las 10:00 h, los tejidos se colocaron en bolsas de polietileno y se trasladaron inmediatamente al laboratorio en un recipiente con hielo. Después de limpiar la muestra con agua destilada se obtuvo el extracto tisular por maceración en mortero de porcelana, a partir de un mL del extracto (Castro *et al.*, 2000). Se cuantificó la concentración de NO_3 con el método de Cataldo *et al.* (1975).

- Rendimiento de fruto por planta (RP; kg): obtenido a partir del peso total de fruto y número de plantas de la unidad experimental en tres cortes realizados a los 51, 65 y 75 ddt, así como el rendimiento total por planta obtenido al sumar el peso del fruto de los tres cortes.
- Variables de calidad del fruto: en cada uno de los tres cortes se obtuvo una muestra aleatoria de 10 frutos, se pesaron en balanza granataria para determinar peso fresco promedio de un fruto (PF; g), se colocaron en una probeta graduada con agua para obtener el volumen de fruto por desplazamiento de agua (VOL; mL), después se llevaron al laboratorio y se mantuvieron en refrigeración (10 °C) durante un día; posteriormente se les cuantificó el color (escala Hunter L, a, b) mediante un colorímetro portátil Color Tec PCM modelo D25-PC2 (Cole Palmer) en un costado de los frutos, los datos se expresaron en valores Hue (McGuire, 1992); se determinó la firmeza del fruto (FIR, kgf) mediante un penetrómetro digital modelo Compact Gauge 200 N Mecmesin CE montado en una prensa manual, las mediciones se hicieron colocando la punta del penetrómetro en el centro del extremo apical del fruto.

determinaciones a los 30, 43, 57 y 71 ddt. Se extrajo una muestra de suelo a una profundidad de 30 cm en cada unidad experimental, se secó a la sombra durante una semana, se pulverizó con un martillo de madera, se tamizó con un tamiz de acero Tall-mont N° 10 de prueba física de dos mm de apertura y se llevó a laboratorio para la cuantificación del NIS (NH_4^+ , NO_3^-), extraído con cloruro de potasio 2 N y determinado por arrastre de vapor de acuerdo a la metodología empleada por el Laboratorio Central Universitario de la Universidad Autónoma Chapingo.

El análisis de datos se realizó con el paquete estadístico SAS versión 8.0, bajo el diseño experimental de bloques completos al azar. Se efectuaron análisis de varianza del experimento simple y prueba de comparación de medias.

4.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las variables peso seco de la parte aérea de la planta (PS) y rendimiento por planta (RP) no fueron afectadas por las dosis de fertilización empleadas en ninguno de los cortes o evaluaciones realizadas (Cuadros 2 y 3). Lo anterior concuerda con la investigación efectuada en el mismo sitio experimental, en la que no hubo diferencia significativa en el rendimiento de tomate de cáscara al suministrar nitrógeno en dosis de 120 a 240 kg N·ha⁻¹ e incluso el promedio de rendimiento de fruto en el testigo sin fertilización fue mayor que los tratamientos con fertilización, a pesar de que el análisis de suelo previo al experimento solo presentó 16.8 mg·kg⁻¹ de N inorgánico

(Romero, 2000). La posible causa es la sobrefertilización existente en el sitio experimental, que impide apreciar el efecto del uso de fertilizantes porque el suelo provee la cantidad necesaria para el desarrollo de las plantas. Sin embargo, se ha observado efecto de la fertilización nitrogenada en el rendimiento de tomate de cáscara bajo condiciones de invernadero al emplear dosis de 80 a 260 kg N·ha⁻¹ (Ramos *et al.*, 2002).

En los cultivos de jitomate (González *et al.*, 2005), papa, ajo (Saluzzo, 2001 y 2003) y apio (Ramírez *et al.*, 2003) el contenido de materia seca presentó diferencias estadísticas al emplear dosis variadas de N, aunque en estos cultivos la mayor acumulación se obtuvo con dosis intermedias. Los resultados obtenidos sugieren que el contenido inicial de N encontrado en el suelo donde se desarrolló el experimento, aunado a la primera fertilización (22 kg N·ha⁻¹) suministrada en todos los tratamientos (Cuadro 1), influyó positivamente en la absorción del elemento e impidió que se observaran diferencias entre las dosis evaluadas.

La concentración de nitrógeno total en materia seca (CN; %) tuvo diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 2), donde la dosis de 250 kg N·ha⁻¹ superó a la de 22 kg N·ha⁻¹ a los 29 ddt; el resto de las dosis evaluadas no tuvieron efecto en la CN a los 43, 56 y 70 ddt (Cuadro 4), aunque las dosis de 250 y 300 kg N·ha⁻¹ tendieron a ocupar los promedios superiores.

A diferencia de la presente investigación, otros reportes señalan que la CN es afectada por dosis de N suministradas a plantas de jitomate (Villarreal *et al.*, 1999; González, *et al.*, 2005), apio (Ramírez *et al.*, 2003) y ajo (Saluzzo, 2003). En los que

la mayor concentración se obtuvo al emplear dosis intermedias; es decir, que el uso de dosis altas no garantiza incremento en la concentración del elemento en la planta.

La mayor CN se alcanzó a los 29 ddt y posteriormente disminuyó en las distintas dosis empleadas (Cuadro 4), lo cual es atribuido a que el flujo de nutrientes se canaliza a los órganos demandantes (flores y frutos) y suele disminuir la concentración en el resto de la planta; en etapas iniciales la hojas son el principal sitio de demanda metabólica de N, debido a que en ellas se realiza la mayor actividad fotosintética (Enriquez *et al.*, 2003) y conforme avanza el ciclo de cultivo, parte del N presente en la planta se moviliza a los tejidos de mayor crecimiento como los frutos, por lo que disminuye la concentración en hojas y tallos (Carpena *et al.*, 1987; Feller y Fisher, 1994; Villarreal *et al.*, 1999). En jitomate, previo a la etapa de fructificación, las hojas y el tallo son los órganos de mayor acumulación de nutrientes, después los frutos presentan la mayor demanda, éstos llegan a acumular del 60 al 70 % del N al final del ciclo de desarrollo de la planta (Dumas, 1990). La disminución en la concentración de N también puede ser influenciada por el efecto de dilución, que ocurre al haber incremento en la biomasa de la planta y por consecuencia el o los nutrimentos se distribuyen en mayor número de órganos y tejidos (Salgado *et al.*, 2001). El tomate de cáscara alcanza su máximo crecimiento vegetativo entre los 50 y 60 ddt, período en el que también se logra el mayor contenido nutrimental (Castro *et al.*, 2004). En la presente investigación el desarrollo del cultivo fue acelerado (75 días de transplante a fin de cosecha, por lo general el ciclo se completa en 90 ddt o más para esta variedad), lo cual influyó en la duración del ciclo y probablemente en la ganancia de materia seca y el rendimiento del fruto.

CUADRO 2. Cuadros medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en cuatro determinaciones durante el ciclo de cultivo de tomate de cáscara.

F.V.	GL ^y	Muestreo 1				Muestreo 2				Muestreo 3				Muestreo 4			
		CN	NIS	PS		CN	NIS	PS		CN	NIS	PS		CN	NIS	PS	
TRATAMIENTO	6	0.142	2690.30 *	3.719	0.050	0.050	2234.66 *	136.42	0.046	0.046	5078.60 *	954.25	0.035	0.035	5106.37 *	1533.86	
REPETICION	5	0.014	115.852	6.013	0.043	0.043	56.328	460.18	0.031	0.031	21.867	435.75	0.023	0.023	48.095	1152.56	
ERROR	30	0.519	97.797	3.816	0.044	0.044	40.202	120.45	0.029	0.029	87.156	554.98	0.039	0.039	86.240	1641.89	
C.V. (%)		11.72	30.251	30.525	15.24	15.24	16.727	32.382	12.78	12.78	21.264	50.017	20.64	20.64	15.753	75.658	
MEDIA		1.943		6.40	1.376	1.376	37.905	33.893	1.329	1.329	43.905	47.10	0.957	0.957	58.952	53.557	

F.V: Fuente de variación; C.V: Coeficiente de variación; ^y GL: Grados de libertad; CN: concentración de N en biomasa aérea a los 29, 43, 56 y 70 ddt; NIS: Nitrógeno inorgánico en suelo a los 30, 43, 57 y 71 ddt; PS: Peso seco de la parte aérea de la planta a los 18, 29, 43 y 61 ddt. * Significativo con $\alpha = 0.05$.

CUADRO 3. Cuadros medios del análisis de varianza para las variables evaluadas en tres determinaciones durante el ciclo de cultivo de tomate de cáscara.

F.V.	GL ^y	Muestreo 1				Muestreo 2				Muestreo 3				TM			
		RP	NO ₃	PF		RP	NO ₃	PF		RP	NO ₃	PF		RP	NO ₃	PF	
TRATAMIENTO	6	0.0029	146298.3*	10.66	0.0020	0.0020	548244.9*	2.01	0.0088	0.0088	207702.8	7.84	0.0098	0.0098	665416.0*	8.38	
REPETICION	5	0.0028	112638.9	66.78	0.0068	0.0068	82139.3	38.22	0.0219	0.0219	64139.0	13.42	0.0598	0.0598	86918.7	78.25	
ERROR	30	0.0009	55193.2	13.66	0.0056	0.0056	75149.3	12.02	0.0086	0.0086	49357.9	15.21	0.0263	0.0263	68499.9	12.99	
C.V. (%)		22.4250	17.6	9.78	28.3180	28.3180	48.9	11.80	61.9890	61.9890	30.4	18.44	29.3980	29.3980	29.9	12.42	
MEDIA		0.1370	1334.2	37.80	0.2650	0.2650	560.9	29.39	0.1500	0.1500	731.5	19.87	0.5520	0.5520	875.5	29.02	

F.V: Fuente de variación; C.V: Coeficiente de variación; ^y GL: Grados de libertad; RP: Rendimiento por planta a los 51, 65 y 75 ddt; NO₃: Concentración de nitratos en extracto tisular a los 30, 43 y 67 ddt; PF: Peso fresco de fruto a los 51, 65 y 75 ddt; TM: todos los muestreos. * Significativo con $\alpha = 0.05$.

Sin embargo, los valores de la concentración de N obtenidos en los distintos muestreos y tratamientos evaluados son bajos comparados con los reportados en chile poblano y chile manzano, cuyos valores se ubican de 1.9 a 3.9 % y de 2.12 a 4.35 %, respectivamente, en la biomasa aérea de las plantas con manejo hidropónico (Martínez, 2006; Carlos y Hernández, 2006). Los valores de suficiencia en tejido foliar para otras especies de la familia Solanácea se ubican entre 3.3 a 6.0 % a la mitad de su ciclo (Jones *et al.*, 1991), sin embargo, en tomate de cáscara, estos niveles no se alcanzaron en las determinaciones realizadas en el presente estudio, con excepción de la primera en la que hubo tratamientos cuya concentración fue mayor o igual a 2.0 % (Cuadro 4).

La concentración de nitratos en el extracto tisular (NO_3) obtuvo diferencias significativas a los 30, 43 y 67 ddt y en la suma de muestreos (Cuadro 3). Las determinaciones indican que la dosis de $300 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ alcanzó la mayor concentración de NO_3 y fue superior a las dosis de 22, 100 y $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ a los 43 ddt, en tanto a los 67 ddt superó a las dosis de 22 y $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ y a las dosis de 22, 50, 100 y $150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ en todos los muestreos (Cuadro 5). En los cultivos de papa (Saluzzo, 2001) y brócoli (Karitonas, 2003) la fertilización nitrogenada afectó la concentración de NO_3 en la savia de los pecíolos, aunque los mayores niveles se obtuvieron en dosis intermedias (120 y $182 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente).

El comportamiento de los nitratos durante el ciclo de cultivo tuvo altibajos debido a que a los 30 ddt se alcanzó el mayor nivel, posteriormente la concentración de NO_3 bajó a los 43 ddt en todas las dosis evaluadas y, a los 67 ddt, subió en algunos tratamientos y bajó en otros (Cuadro 5). Lo anterior pudo ser debido al efecto de la

segunda fertilización (efectuada 44 ddt) y a la alta movilidad del NO_3 en la planta; por ejemplo, en la savia del pecíolo de hojas jóvenes de jitomate son comunes las variaciones en la concentración de NO_3 (Lara, 1999), aunque éstas no sólo dependen del suplemento del fertilizante nitrogenado al suelo sino del régimen de humedad y las condiciones ambientales presentes (Karitonas, 2003).

De acuerdo con los niveles de nitratos en tomate de cáscara reportados por Castro *et al.* (2000), la concentración de NO_3 encontrada a los 30 ddt fue deficiente en las dosis de 22 y 100 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, se ubicó en niveles de suficiencia en las dosis de 50, 150, 200 y 250 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ y fue excesiva en la dosis de 300 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$; sin embargo, la concentración de NO_3 observada a los 43 y 67 ddt fue deficiente en las dosis evaluadas (Cuadro 5). Estos resultados indican que la absorción de nitratos por la planta de tomate fue adecuada durante el primer tercio del ciclo de cultivo, pero ésta fue disminuyendo hasta que se realizó la segunda fertilización (44 ddt), después de la cual los niveles de NO_3 observados aumentaron ligeramente pero no lograron llegar a niveles óptimos debido a que la planta entró a la fase de senescencia después del segundo corte (65 ddt). En jitomate, las relaciones fuente-demanda, una vez iniciada la floración, y sobre todo en la fructificación, los nutrientes de hojas y tallos son canalizados a éstos órganos, razón por la cual la concentración de NO_3 en la savia aumenta del inicio de la floración hasta mediados de la cosecha (138 ddt) y posteriormente disminuye (Armenta, *et al.*, 2001); en el caso de brócoli (Karitonas, 2003) y papa (Saluzzo, 2001) la concentración de NO_3 en savia de pecíolos disminuye a los 46 y 51 ddt, respectivamente.

CUADRO 4. Efecto de las dosis de N sobre las variables de crecimiento evaluadas en cuatro oportunidades durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.

DOSIS (kg N ha ⁻¹)	Muestreo 1				Muestreo 2				Muestreo 3				Muestreo 4				TM			
	CN ^y	NIS	PS	CN	NIS	PS	CN	PS	CN	NIS	PS	CN	NIS	PS	CN	PS	NIS	CN	PS	PS
22	1.72 b ^z	6.83 d	5.73 a	1.36 a	13.83 d	40.32 a	1.18 a	15.00 c	30.20 a	1.02 a	27.67 e	35.80 a	1.32 b	15.83 e	28.65 a					
50	1.80 ab	16.00 cd	7.28 a	1.42 a	26.17 c	33.67 a	1.31 a	18.00 c	42.43 a	0.94 a	31.67 e	43.52 a	1.37 ab	22.96 de	31.96 a					
100	1.89 ab	24.83 cd	5.43 a	1.32 a	24.00 cd	25.93 a	1.40 a	29.00 bc	41.28 a	0.87 a	38.50 de	50.30 a	1.37 ab	29.08 d	30.74 a					
150	1.94 ab	29.00 c	6.33 a	1.21 a	34.00 bc	35.92 a	1.41 a	35.33 b	35.62 a	0.86 a	55.00 cd	59.43 a	1.36 ab	38.33 c	34.33 a					
200	2.10 ab	33.83 bc	7.22 a	1.41 a	41.33 b	34.10 a	1.32 a	41.67 b	57.72 a	1.03 a	68.67 c	35.80 a	1.47 ab	46.38 c	33.71 a					
250	2.13 a	47.67 b	7.07 a	1.40 a	58.67 a	37.37 a	1.26 a	80.33 a	62.38 a	0.93 a	86.33 b	77.42 a	1.43 ab	68.25 b	46.06 a					
300	2.03 ab	70.67 a	5.73 a	1.50 a	67.33 a	29.95 a	1.42 a	88.00 a	59.07 a	1.04 a	104.83 a	70.07 a	1.50 a	82.71 a	41.20 a					
DMS	0.415	18.023	3.560	0.382	11.555	20.002	0.309	17.014	42.934	0.360	16.925	73.848	0.174	8.561	20.358					

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey; $p \leq 0.05$); DMS: Diferencia mínima significativa; ^y CN: Concentración de Nitrógeno (%) a los 29, 43, 56 y 70 ddt; NIS: Contenido de N inorgánico en suelo (mg Kg⁻¹) a los 30, 43, 57 y 71 ddt; PS: Peso seco de la parte aérea de la planta (g) a los 18, 29, 43 y 61 ddt; TM: Todos los muestreos.

CUADRO 5. Efecto de las dosis de N sobre las variables de crecimiento evaluadas en tres oportunidades durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.

DOSIS (kg N ha ⁻¹)	Muestreo 1				Muestreo 2				Muestreo 3				TM			
	RP ^y	NO ₃	PF	RP	NO ₃	PF	RP	NO ₃	PF	RP	NO ₃	PF	RP	NO ₃	PF	PF
22	0.132 a ^z	1161.2 a	36.93 a	0.275 a	160.0 d	29.29 a	0.125 a	537.5 bc	20.24 a	0.531 a	619.6 d	28.82 a				
50	0.129 a	1218.6 a	39.09 a	0.289 a	484.2 abcd	29.77 a	0.160 a	426.7 c	19.32 a	0.578 a	709.8 d	29.39 a				
100	0.140 a	1162.0 a	37.12 a	0.269 a	324.1 cd	28.52 a	0.114 a	783.7 abc	18.71 a	0.523 a	756.6 cd	28.12 a				
150	0.143 a	1460.7 a	37.01 a	0.247 a	389.8 bcd	30.21 a	0.189 a	759.1 abc	19.29 a	0.579 a	869.9 bcd	28.84 a				
200	0.147 a	1333.5 a	36.20 a	0.253 a	869.9 ab	29.74 a	0.105 a	857.5 ab	19.03 a	0.504 a	1020.3 ab	28.32 a				
250	0.141 a	1477.1 a	39.88 a	0.241 a	718.0 abc	29.31 a	0.149 a	791.9 abc	20.49 a	0.531 a	995.7 abc	29.89 a				
300	0.130 a	1526.3 a	38.35 a	0.280 a	980.6 a	28.86 a	0.208 a	964.2 a	22.02 a	0.618 a	1157.1 a	29.74 a				
DMS	0.056	428.16	6.736	0.137	499.61	6.317	0.169	404.90	6.677	0.296	261.95	3.608				

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey; $p \leq 0.05$); DMS: Diferencia mínima significativa; ^y RP: Rendimiento por planta (kg) a los 51, 65 y 75 ddt; NO₃: Concentración de nitratos en extracto tisular (mg litro⁻¹) a los 30, 43 y 67 ddt; PF: Peso fresco de fruto (g) a los 30, 43 y 67 ddt; TM: todos los muestreos.

Las dosis de fertilización nitrogenada afectaron el contenido de nitrógeno inorgánico en suelo (NIS) a los 29, 43, 57 y 71 ddt, y en la suma de los muestreos (Cuadro 2). En la prueba de comparación de medias la dosis de 300 kg N·ha⁻¹ presentó mayor NIS en todos los muestreos, aunque sólo a los 29 y 71 ddt superó estadísticamente al resto de las dosis empleadas, ya que a los 43 y 57 ddt fue similar a la de 250 kg N·ha⁻¹ pero superior a las dosis de 22, 50, 100, 150 y 200 kg N·ha⁻¹ (Cuadro 4). Lo anterior indica que las dosis de 250 y 300 kg N·ha⁻¹ resultaron elevadas para las condiciones en las que se desarrollo el cultivo y aunque no provocaron toxicidad en las plantas dejaron una cantidad elevada de N inorgánico en el suelo una vez finalizada la investigación (104.8 y 86.3 mg·kg⁻¹, respectivamente). El comportamiento del NIS a lo largo del ciclo de cultivo fue en aumento y alcanzó el mayor valor a los 71 ddt en las dosis evaluadas, además superaron al contenido inicial (46.96 mg·kg⁻¹) en las dosis de 150 a 300 kg N·ha⁻¹ (Cuadro 4). Resultados similares se observaron en jitomate al emplear dosis de 250-450 kg N·ha⁻¹, ya que el contenido de N-NO₃ en el suelo aumentó con las dosis aplicadas y el desarrollo del cultivo (Villarreal *et al.*, 1999).

El empleo de dosis altas de fertilizante nitrogenado afectan el rendimiento de cultivos como tomate de cáscara (Ramos *et al.*, 2002) o jitomate (Armenta *et al.*, 2001; González *et al.*, 2005), incrementan los costos de producción, se tiene menor eficiencia en el uso del fertilizante y se aumenta la posibilidad de contaminación de los suelos y mantos freáticos. En este caso las dosis altas no afectaron el rendimiento del fruto pero si afectaron negativamente el contenido de NIS por la cantidad cuantificada al final del ciclo de cultivo.

El volumen (VOL) y peso fresco (PF) del fruto no fueron afectados por las dosis empleadas de fertilizante nitrogenado en los cortes realizados (Cuadro 6). Las variables de calidad del fruto: color (COL) y firmeza (FIR) presentaron efecto de tratamientos (Cuadro 6), el color verde fue más intenso en las dosis de 150 a 300 kg N·ha⁻¹ que superaron a la dosis de 50 kg N·ha⁻¹ en el primer corte; al considerar todos los cortes, el color más intenso se presentó en la dosis de 150 kg N·ha⁻¹ que superó a las dosis de 22 y 50 kg N·ha⁻¹.

Para el caso de la variable FIR, las dosis de 22, 50 y 200 kg N·ha⁻¹ superaron a las dosis de 250 y 300 kg N·ha⁻¹ sólo en el primer corte. En el transcurso del periodo de cosecha, la firmeza promedio del fruto fue disminuyendo, en tanto que el color promedio del fruto fue similar en los dos primeros cortes y aumentó ligeramente en el último (Cuadro 7).

La firmeza del fruto de jitomate es afectada por el incremento en la dosis de fertilizante nitrogenado al suministrar más de 350 kg N·ha⁻¹, debido al posible efecto del N sobre los constituyentes de las paredes celulares relacionadas con la firmeza (Villarreal *et al.*, 1999), en tomate de cáscara la firmeza pudo ser afectada por las dosis elevadas solo en el primer corte, puesto que en los posteriores la disminución en esta variable pudo ser debida a la senescencia de la planta, en la que la absorción nutrimental disminuye; respecto al color, las dosis altas pudieron influir en la intensidad de color en el fruto sólo al inicio de la cosecha ya que en los cortes subsecuentes la intensidad del color se mantuvo, debido a que el material vegetal empleado presenta como característica distintiva la coloración uniforme de los frutos durante el periodo de cosecha.

Al considerar los resultados obtenidos no es posible señalar que alguna de las dosis evaluadas sea superior al resto; sin embargo, lo que se puede asegurar es que las dosis superiores a $200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ pueden afectar el ambiente, en este tipo de suelo y bajo éstas condiciones de manejo, debido a que el fertilizante que no es aprovechado por las plantas se puede perder en el suelo o en la atmósfera.

4.6. CONCLUSIONES

- Las dosis de 22 a $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ del fertilizante nitrogenado no tuvieron efecto sobre el rendimiento de fruto y los pesos fresco y seco de la planta debido al aporte de N del suelo.
- Las concentraciones de N en materia seca vegetal y de NO_3 en el extracto tisular fueron afectadas por las dosis de N, se observaron mayores niveles en las dosis de 300 y $250 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$, sin embargo, no se alcanzaron niveles óptimos de suficiencia para la especie, lo que influyó en el bajo rendimiento de fruto (promedio de $15.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).
- Las dosis de 200 a $300 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ promovieron la acumulación de N inorgánico en el suelo al final del ciclo de cultivo, lo que indica que éstas pueden ser excesivas y contribuir a la pérdida de N y la contaminación edáfica cuando se aplican sin considerar el posible aporte del suelo.
- Las variables peso fresco y volumen de fruto no fueron afectados por la fertilización nitrogenada, en tanto que el color y la firmeza del fruto sólo resultaron afectados en el primer corte.

4.7. LITERATURA CITADA

- ALCANTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- ARMENTA-BOJÓRQUEZ, A. D.; BACA-CASTILLO, G. A.; ALCÁNTAR GONZÁLEZ, G.; KOHASHI-SHIBATA, J.; VALENZUELA-URETA, J. G.; MARTÍNEZ-GARZA, A. 2001. Relaciones entre nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. Rev. Chapingo Serie Horticultura 7(1): 61-75.
- BUOZO, C. A.; FAVARO, J. C. 2002. Curva de crecimiento adimensional en lechuga para el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada. Agronomía Trop. 52(2): 187-196.
- CARLOS M., R.; HERNÁNDEZ H., A. 2006. Contenido de nitrógeno total en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.) y su relación con rendimiento y caracteres morfológicos. Tesis de Licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 62 p.
- CARPENA, O.; RODRÍGUEZ A., M.; SARRO, M., J. 1987. Evaluación de los contenidos minerales de raíz, tallo y hoja de plantas de tomate como índices de nutrición. An. Edafol. Agribiol. 46: 117-127.
- CASTRO-BRINDIS, R.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; PEÑA-LOMELÍ, A.; BACA-CASTILLO, G. A.; LÓPEZ-ROMERO, R. M. 2000. Nitratos en el extracto celular de pecíolos y tallo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento. Rev. Chapingo Serie Horticultura 6(1): 33-88.

- CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. F.; YOUNGS, V. L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun. Soil Science and Plant Analysis* 6(1): 71-80.
- DUMAS, Y. 1990. Tomatoes for processing in 90's: nutrition and crop fertilization. *Acta Horticulturae* 277: 155-166.
- ENRIQUEZ-REYES, S. A.; ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, G.; CASTELLANOS-RAMOS, J. A.; GONZÁLEZ-EGUIARTE, D.; LAZCANO-FERRAT, I. 2003. Nutrición mineral acoplada al crecimiento (NUMAC): nutrición con N para tomate en invernadero. 2. Curva de concentración crítica y demanda de nitrógeno. *Terra* 21(2): 177-183.
- FELLER, U.; FISHER, A. 1994. Nitrogen metabolism in senescing leaves. *Critical Rev. in Plant Sci.* 13: 241-273.
- GONZÁLEZ-RAYA, E.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; RAMÍREZ, H.; ROBLEDO-TORRES, V.; MAITI, R.; REYES-LÓPEZ, A.; AGUILERA-CARBO, A. F.; FUENTES-LARA, L. A.; HERNÁNDEZ-VALENCIA, R. E. M. 2005. Crecimiento de jitomate y calidad de frutos con diferentes concentraciones de nitrato. *Terra Latinoamericana* 23(1): 105-111.
- JANSSEN, B.H. 1998. Efficient use of nutrients: an art of balancing. *Field Crop Res.* 56: 197-201.
- JONES Jr., B. J.; WOLF, J.B.; MILLIS A.H. 1991. *Plant Analysis Hand Book*. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia, USA. 535 p.
- KARITONAS, R. 2003. Development of a nitrogen management tool for broccoli. *Acta Horticulturae* 627: 125-129.
- LARA H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229.

- MARTÍNEZ A., N. 2006. Análisis de crecimiento y dinámica nutrimental del chile poblano (*Capsicum annuum* L. var. Grossum sendt.) en cuatro soluciones nutritivas bajo invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto de Horticultura: Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- McGUIRE, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience 27(12): 1254-1255.
- PEÑA L., A.; MOLINA G., J. D.; CERVANTES S., T.; MARQUEZ S., F.; SAHAGUN C., J.; ORTIZ C., J. 1998. Heterosis intervartietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo Serie Horticultura 4(1): 31-37.
- RAMÍREZ-MORALES, P.; CASTELLANOS R., J. Z.; SÁNCHEZ G., P.; GALVIS S., A.; MARTÍNEZ G., A.; TIJERINA CH., L. 2003. Fertilización nitrogenada y patrón de absorción nutrimental del apio en fertirriego. Terra 21(1): 101-108.
- RAMOS-LARA, C.; ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, G.; GALVIS-SPINOLA, A.; PEÑA-LOMELÍ, A.; MARTÍNEZ-GARZA, A. 2002. Eficiencia de uso de nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. Terra 20: 465-469.
- ROMERO B., V. 2000. Fertilización y fechas de transplante en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis de Maestría en Ciencias. Programa de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 82 h.
- SALGADO G., S.; NUÑEZ E., R.; PEÑA C., J.J.; ETCHEVERS B., J.D.; PALMA L., D.J.; SOTO H., M. 2001. Eficiencia de recuperación del nitrógeno fertilizante en soca de caña de azúcar sometida a diferentes manejos de fertilización. Terra 19: 155-162.

- SALUZZO, J. A. 2001. Concentración de nitratos en pecíolos y rendimiento de los cultivares de papa Kennebec y Shepody en relación a la fertilización nitrogenada. *Agriscientia* 18: 21-26.
- SALUZZO, J. A. 2003. Nutrición nitrogenada, crecimiento y rendimiento de ajo (*Allium sativum* L.) en respuesta a la fertilización nitrogenada en el SE de Buenos Aires, Argentina. *Agriscientia* 20: 53-60.
- VILLARREAL R., M.; PÉREZ R., V.; SILLER C., J.H. 1999. Fertirrigación nitrogenada y potásica, y su efecto en la producción y calidad de tomate, en el Valle de Culiacán, Sinaloa. *Horticultura Mexicana* 7(2): 358-367.

CAPÍTULO V

EFFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DEL FERTILIZANTE NITROGENADO
SOBRE EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis*
ixocarpa Brot.).

V. EFECTO DEL FRACCIONAMIENTO DEL FERTILIZANTE NITROGENADO SOBRE EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE TOMATE DE CÁSCARA (*Physalis ixocarpa* Brot.).

5.1. RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de cuatro formas de fraccionamiento del fertilizante nitrogenado ($200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$) durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara con riego por goteo bajo condiciones de invernadero en Chapingo, México. El fertilizante fue dividido en dos aplicaciones de $100 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ a los 11 y 46 días después del transplante (ddt); tres aplicaciones de $66.67 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (11, 32 y 56 ddt); cuatro aplicaciones de $50 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (11, 28, 46 y 60 ddt) y aplicaciones semanales con dosis variables. Los cuatro tratamientos fueron establecidos con un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. Se cuantificó el movimiento del N en el sistema suelo-planta durante el desarrollo del cultivo. No se observaron diferencias estadísticas en las variables peso fresco, materia seca, nitratos en extracto tisular y rendimiento de fruto por planta; sin embargo, la concentración de N en materia vegetal y el contenido de N inorgánico en el suelo fueron afectados por las formas de fraccionar el fertilizante, donde el mayor nivel en materia vegetal se alcanzó con tres aplicaciones y el mayor contenido de N inorgánico en el suelo ocurrió con tres y cuatro aplicaciones. En general, la dosis de $200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ fue excesiva debido a la cantidad de N remanente en el suelo al final del ciclo de cultivo, sin observar niveles tóxicos en las plantas.

Palabras clave: nitratos, N total.

EFFECT OF THE NITROGEN FERTILIZER DISTRIBUTION ON HUSK TOMATO (*Physalis ixocarpa* Brot.) DEVELOPMENT.

5.2. ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of four fractionation forms of N fertilizer ($200 \text{ kg N} \cdot \text{hectare}^{-1}$) during the husk tomato development with drop irrigation under greenhouse conditions in Chapingo, Mexico. The N fertilizer was divided in two applications of $100 \text{ kg N} \cdot \text{hectare}^{-1}$ at 11 and 46 days after the transplanting (dat), three applications of $66.67 \text{ kg N} \cdot \text{hectare}^{-1}$ (11, 32 y 56 dat), four applications of $50 \text{ kg N} \cdot \text{hectare}^{-1}$ (11, 28, 46 y 60 dat) and weekly applications with variable dosage. The four treatments were established in a random blocks experimental design with five replications. The N movement was quantified in the soil-plant system during the crop development. There were no statistical differences in the variables fresh weight, dry matter, nitrates in tissue extract and fruit yield for plant; although the N concentration in vegetable matter and the content of inorganic N in soil were affected by fractionation forms of N fertilizer, where the highest concentration in vegetable matter was obtained with three applications; and the highest content of inorganic N in soil occurred when three and four applications were carried out. In general, the dosage of $200 \text{ kg N} \cdot \text{hectare}^{-1}$ was high due to the quantity inorganic N remaining in soil at the end of the cultivation cycle, without observe toxic levels in plants.

Key words: nitrates, N total.

5.3. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es esencial para el crecimiento de las plantas, forma parte de cada célula viviente, por lo cual éstas demandan grandes cantidades para crecer normalmente. Es el cuarto nutrimento más abundante en las plantas. Es un constituyente esencial de proteínas, ácidos nucleicos, hormonas, clorofila y otros compuestos primarios y secundarios en las plantas (Hopkins y Hüner, 2004).

De los nutrimentos necesarios para las plantas, el N es el elemento más difícil de manejar en un sistema de fertilización para asegurar un suministro óptimo en la zona radicular, desde el momento del establecimiento hasta finalizar el ciclo agrícola (Sorensen, 1993). Lo anterior se debe a que las formas iónicas presentes en la solución del suelo pueden perderse con facilidad como consecuencia de su movilidad al tener condiciones de excesivas de humedad (lixiviación de nitratos); pueden reaccionar con el medio y perderse por desnitrificación al existir falta de oxígeno, proceso mediante el cual el nitrato (NO_3^-) se reduce a formas gaseosas como el óxido nitroso (N_2O) o N_2 que se pierden a la atmósfera; o se volatiliza (NH_3^+) al haber pH elevado en el suelo, lo cual disminuye la cantidad de N que el cultivo puede aprovechar (Ramos *et al.*, 2002). Debido a esto, es necesario que las recomendaciones de fertilización favorezcan el rendimiento y calidad de los cultivos, asegurando que la cantidad de N que el cultivo puede aprovechar sea mayor, con lo cual se minimiza el riesgo de afectar negativamente al ambiente, debido a la pérdida de N por aplicación excesiva de fertilizante; de esta manera, el reto en el manejo de la fertilización nitrogenada es garantizar un óptimo suministro para la obtención de

beneficios económicos y evitar riesgos de contaminación ambiental (Castro *et al.*, 2004).

Las cantidades de N empleadas en la producción de tomate de cáscara en México se basan en recomendaciones generadas en centros de investigación como el INIFAP o la Universidad Autónoma Chapingo, sin considerar la fertilidad y características o propiedades de los suelos en los que se desarrollan los procesos productivos, las necesidades nutrimentales del cultivo o las condiciones microclimáticas de la zona, siendo éstas algunas de las causas por las cuales la eficiencia de los fertilizantes nitrogenados sea baja (50 %), aunado a otros procesos involucrados en el ciclo del N como la mineralización, inmovilización, lixiviación, y la volatilización (Janssen, 1998; Karitonas, 2003; Castro *et al.*, 2004).

En la zona centro de México se emplean cantidades de 120 a 200 kg de N·ha⁻¹, las que probablemente no son las adecuadas para la producción de tomate de cáscara; porque éstas pueden contaminar los suelos, debido a las pérdidas de N ocasionadas por el exceso en la fertilización nitrogenada, ya que la planta absorbe únicamente el N que necesita quedando el resto libre, inmovilizado por los organismos del suelo o fijado en las arcillas como illita y motmorillonita (Ramos *et al.*, 2002).

Con base en lo anterior, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de cuatro formas de fraccionar la dosis de 200 kg N·ha⁻¹, durante el ciclo de cultivo de tomate de cáscara sobre la acumulación de peso fresco, materia seca y el rendimiento del fruto; así mismo, cuantificar y relacionar la concentración del elemento en forma de

NO_3 y N total en la planta y el contenido de N inorgánico en el suelo con riego por goteo bajo condiciones de invernadero, con el supuesto de que el fraccionamiento de la dosis de N en un mayor número de aplicaciones, considerando la demanda por etapa fenológica, es la mejor forma de aplicar la fertilización nitrogenada en el cultivo.

5.4. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se desarrolló durante el periodo del 26 de febrero al 2 de julio de 2005 bajo condiciones de invernadero en el Campo Agrícola Experimental de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, en un suelo de textura franco-arenosa, con densidad aparente de $1.12 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, pH de 6.86, CE de $0.78 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, CC de 20.37 % (0.3 atm), PMP de 9.77 % (15 atm) y contenido de N inorgánico de $29.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Se empleó la variedad CHF-1 Chapingo de tomate de cáscara, obtenida por selección de la raza Rendidora, con crecimiento rastrero y semierecto, de mayor precocidad que la original, con frutos homogéneos en tamaño y forma (Peña *et al.*, 1998).

El transplante se efectuó el día 5 de abril de 2005, fueron colocadas dos plántulas en cada recipiente de plástico de 20 litros de capacidad y se dejó sólo una a los 11 días después del transplante (ddt), misma que permaneció durante el desarrollo del cultivo.

Se evaluó la dosis de 200 kg N ha^{-1} en cuatro formas de fraccionamiento del fertilizante durante el ciclo de cultivo: dos aplicaciones de 100 unidades de N cada

una, realizadas a los 11 y 46 ddt; tres aplicaciones de 66.67 unidades de N cada una, realizadas a los 11, 32 y 56 ddt; cuatro aplicaciones de 50 unidades de N cada una, realizadas a los 11, 28, 46 y 60 ddt; y aplicaciones semanales variables de acuerdo al modelo de extracción de N propuesto por Castro *et al.* (2004) para tomate de cáscara (Cuadro 1). Estos cuatro tratamientos se evaluaron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 12 recipientes, con separación de 50 cm dentro de hileras y 80 cm entre hileras; en ellos se colocaron tres litros de grava mediana (3.8 kg) al fondo del recipiente para favorecer el drenaje, y 15 litros (16.86 kg) de suelo agrícola, obtenido de los terrenos del Campo Agrícola Experimental de la UACH, los materiales fueron separados por un plástico perforado. Los recipientes empleados se perforaron a un costado de la parte inferior para permitir el drenaje, se colocó un sistema de conducción, constituido por un tubo de PVC de 1.5" que desembocaba en un recipiente colector en cada hilera de plantas, para tener la posibilidad de recuperar el drenaje cuando fuera necesario.

La cantidad de fertilizante aplicado a cada planta se calculó con base en el volumen de suelo empleado por una planta en campo, con profundidad de 30 cm, densidad aparente de $1.12 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ y densidad de plantación de 25,000 plantas extrapolado a una hectárea. La aplicación de N se realizó de forma manual y se empleó urea como fuente nitrogenada. Posterior a cada fertilización se realizó un riego para disolver el fertilizante. Se emplearon superfosfato de calcio triple y sulfato de potasio como fuentes de fósforo y potasio, respectivamente, ambos a dosis de $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en todos los tratamientos, éstos se suministraron en forma manual el día del transplante. Los riegos por goteo fueron realizados con volúmenes de agua variables en función de la evaporación del tanque tipo "A" instalado dentro del

invernadero y reponiendo el 100 % de la humedad pérdida. Se efectuaron dos o tres riegos diarios.

CUADRO 1. Cantidad de N aplicado en el tratamiento semanal.

ddt ^z	N (%)	N aplicado (g·planta ⁻¹)	Dosis (Kg·ha ⁻¹)
12	7.59	1.32	15.18
19	9.71	1.69	19.42
26	12.59	2.19	25.18
33	15.46	2.69	30.92
40	14.88	2.59	29.76
47	11.55	2.01	23.10
54	7.53	1.31	15.06
61	4.66	0.81	9.32
68	4.31	0.75	8.62
75	4.02	0.70	8.04
82	5.00	0.87	10.00
89	2.70	0.47	5.40
total	100	17.4	200

^z días después de transplante. Calculado con base en el modelo de extracción de Castro *et al.* (2004).

El manejo fitosanitario fue preventivo contra insectos (Imidacloprid, 1.0 mL·litro⁻¹ de agua, a los 4 y 26 ddt; Biocrack ®, 3.0 mL·litro⁻¹ de agua a los 26 ddt) y hongos (Phyton ®, 1.0 mL·litro⁻¹ de agua a los 4 ddt; Thiabendazol, 2 g·litro⁻¹ de agua a los 26 ddt); correctivo contra mosquita blanca y gusano del fruto al inicio de la fructificación (Biocrack ® y Methomyl 3 mL y 1.0 g·litro⁻¹ de agua, respectivamente a los 60 ddt) y contra cenicilla durante las últimas tres semanas del experimento (Triadimefon 0.5 g·litro⁻¹ de agua a los 60, 70 y 80 ddt). Para favorecer la polinización dentro del invernadero se generó aire con una bomba aspersora de polvos cada semana durante los primeros 40 ddt, después se abrieron las cortinas laterales y se

quitó la malla antiáfidos permitiendo la entrada de insectos y la circulación de aire dentro del invernadero durante el día (9:00 a 18:00 h).

La medición de las variables fue realizada en distintas fechas para permitir su ejecución de forma correcta. A continuación se describe la metodología de cada una:

- **Peso Fresco (PF, g).** Se realizaron cuatro determinaciones a los 11, 31, 60 y 88 ddt. En la primera se extrajo una planta con raíz de cada recipiente (12 plantas por unidad experimental), se limpió y pesó con una balanza granataria. En los siguientes muestreos el registro de PF sólo consideró la parte aérea de la planta.
- **Materia Seca (MS, g).** Las plantas muestreadas para el PF se llevaron a la estufa de secado a 65 °C, en la que se mantuvieron hasta obtener peso constante. Posteriormente se cuantificó el porcentaje de materia seca (MS) de la biomasa aérea con base en la ecuación propuesta por Rodríguez y Pire (2004): $MS = PF (100 - \% \text{ Humedad})/100$
- **Concentración de N total en la biomasa aérea (CN, %).** Se realizaron tres determinaciones a los 31, 60 y 88 ddt considerando la parte aérea de la planta incluyendo el fruto. Para ello se emplearon las muestras que se secaron en la estufa, mismas que fueron pulverizadas en un molino de acero inoxidable y procesadas de acuerdo a la metodología microkjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999).
- **Concentración de nitratos en extracto tisular (NO_3 , $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$).** Se realizaron tres muestreos a los 31, 64 y 89 ddt. Se cortaron cuatro o cinco tallos y pecíolos donde se ubican la tercera, cuarta y quinta hoja numeradas a partir

del ápice. Los muestreos se efectuaron entre las 9:00 y las 10:00 h, los órganos cortados se colocaron en bolsas de polietileno y se trasladaron inmediatamente al laboratorio en un recipiente con hielo. Después de limpiar la muestra con agua destilada se obtuvo el extracto tisular por maceración en mortero de porcelana a partir de un mL de extracto (Castro *et al.*, 2000). La cuantificación de NO_3 se realizó por el método de Cataldo *et al.* (1975).

- Nitrógeno inorgánico en suelo (NIS, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Se hicieron tres determinaciones a los 31, 64 y 91 ddt. Se extrajo una muestra de suelo de la maceta donde previamente se había eliminado una planta, se secó a la sombra durante una semana, se pulverizó con un martillo de madera, se tamizó con un tamiz de acero Tall-mont N° 10 de prueba física de dos mm de apertura y se llevo al laboratorio para la cuantificación del NIS (NH_4^+ , NO_3^-), extraído con cloruro de potasio 2 N y determinado por arrastre de vapor.
- Rendimiento de fruto por planta (kg). Se realizaron tres cortes a los 70, 78 y 90 ddt, se obtuvo el peso de los frutos cosechados y el número de plantas en cada unidad experimental para promediar el rendimiento de frutos por planta en cada uno de los cortes, así mismo se obtuvo el rendimiento de fruto total al sumar el de cada corte.

El análisis de datos se realizó con el paquete estadístico SAS para Windows versión 8.0, se realizaron análisis de varianza, de correlación y prueba de comparación de medias para las variables evaluadas como experimento simple.

5.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 2) las variables peso fresco (PF) y contenido de materia seca (MS) no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos a los 11, 31, 60 y 88 ddt. Lo anterior pudo ser debido a que la dosis empleada fue la misma en los tratamientos evaluados y la forma de fraccionar el fertilizante no afectó la ganancia de PF y MS, puesto que las plantas probablemente tuvieron suficiente disponibilidad de N para satisfacer sus necesidades fisiológicas. Existen reportes donde no se observaron diferencias en el PF en muestreos realizados a lo largo del ciclo de cultivo de jitomate hidropónico al variar la dosis de N de 79 a 169 mg·litro⁻¹ (González *et al.*, 2004), lo mismo ocurrió en el cultivo de apio en condiciones de campo al emplear dosis de 150 a 500 unidades de N por hectárea (Ramírez *et al.*, 2003). Así mismo, el contenido de MS no presentó diferencias estadísticas en los cultivos de jitomate (González *et al.*, 2005), ajo (Saluzzo, 2003) y apio (Ramírez *et al.*, 2003), al emplear dosis variadas de N. Otras investigaciones sugieren que la aplicación de fertilizante nitrogenado tiene efecto en el PF en el cultivo de betabel cultivado en campo (Feller y Fink, 2002); así mismo, al incrementar la concentración de amonio se promueve la acumulación de MS en la planta de melón (Preciado *et al.*, 2004), y el aumento en la dosis de N incrementa la acumulación de MS total en papa (Saluzzo, 2001).

En la prueba de medias se aprecia tendencia en el peso fresco, donde el tratamiento en que se hicieron aplicaciones semanales obtuvo los valores promedio más altos a los 11, 31 y 60 ddt y fue segundo más alto en a los 88 ddt (Cuadro 3);

esto permite inferir que la fertilización nitrogenada dividida en mayor número de aplicaciones y considerando la demanda de la planta, puede ser la dosificación más efectiva en la ganancia de peso fresco en tomate de cáscara. Con respecto al contenido de MS, el mayor promedio ocurrió en el tratamiento con aplicaciones semanales en los dos primeros muestreos, en tanto en los dos últimos el valor más alto se presentó en el tratamiento con tres aplicaciones de N durante el ciclo de cultivo (Cuadro 3). La producción de materia seca es condicionada, principalmente, por la radiación interceptada y la temperatura, ya que la primera incide directamente con el crecimiento y la segunda con el desarrollo (Enríquez *et al.*, 2003), en este caso no se apreciaron diferencias en el contenido de MS entre tratamientos ya que el experimento fue conducido bajo invernadero, donde la radiación incidente y sobre todo la temperatura son homogéneas y con menos fluctuación que a la intemperie.

La prueba de comparación de medias indicó que el tratamiento con tres aplicaciones presentó la mayor concentración de N (CN), superó estadísticamente ($\alpha=0.05$) al tratamiento con aplicaciones semanales a los 60 ddt y al resto de los tratamientos a los 88 ddt (Cuadro 3). El tratamiento con aplicaciones semanales, en teoría más eficiente, presentó el mayor valor de la CN (4.78 %) a los 31 ddt, aunque estadísticamente fue igual al resto de los tratamientos, y en los muestreos subsecuentes tuvo los niveles más bajos (3.15 y 2.94 % a los 60 y 88 ddt, respectivamente) aunque cerca de los límites de suficiencia reportados por Jones *et al.* (1991) para hortalizas de la familia Solanácea.

CUADRO 2. Cuadrados medios del análisis de varianza para las variables peso fresco (PF), materia seca (MS) y concentración de N total (CN) a los 11, 31, 60 y 88 días después de trasplante (ddt).

F.V.	GL	11 ddt			31 ddt			60 ddt			88 ddt		
		PF	MS	CN	PF	MS	CN	PF	MS	CN	PF	MS	CN
TRATAMIENTO	3	1752	9.17	-	11969	115.8	0.089	38561	532.2	0.063*	84765	3626.7	1.23*
REPETICIÓN	4	1632	8.04	-	20793	241.1	0.120	31883	4337	0.138	149434	4202.9	0.324
ERROR	12	988	4.53	-	15541	161.2	0.075	88118	2245	0.109	116430	3626.7	0.064
C.V. (%)		17.1	12.63	-	26.52	25.4	5.882	23.93	25.7	9.450	23.35	20.3	7.416
MEDIA		184.9	16.85	-	470.15	50.1	4.668	1240	184.2	3.498	1461.30	286.1	3.401

F.V: Fuente de variación; C.V: Coeficiente de variación; GL: Grados de libertad.* Significativo con $\alpha = 0.05$.

CUADRO 3. Efecto de diferente número de aplicaciones de N (urea) sobre el peso fresco (PF, g), materia seca (MS, g) y concentración de N total (CN, %) durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.

TRATAMIENTO	11 ddt			31 ddt			60 ddt			88 ddt		
	PF	MS	CN	PF	MS	CN	PF	MS	CN	PF	MS	CN
Dos aplicaciones	198.1 a ^z	17.3 a	-	484.4 a	51.3 a	4.49 a	1256 a	179.4 a	3.24 ba	1466 a	304 a	3.45 b
Tres aplicaciones	167.4 a	15.8 a	-	493.8 a	50.6 a	4.63 a	1289 a	199.6 a	3.85 a	1612 a	304 a	4.08 a
Cuatro aplicaciones	170.2 a	15.7 a	-	397.8 a	43.4 a	4.76 a	1112 a	180.3 a	3.75 ba	1294 a	247 a	3.14 cb
Aplicaciones semanales	203.7 a	18.6 a	-	504.5 a	54.9 a	4.78 a	1304 a	177.7 a	3.15 b	1473 a	289 a	2.94 c
DMS	59.32	3.99	-	234.1	23.84	0.516	557.4	88.97	0.621	640.7	108.8	0.383

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

Lo anterior pudo deberse a que el suministro en bajas cantidades fue suficiente para el flujo normal de N dentro de la planta. A medida que transcurrió el ciclo de cultivo, la CN disminuyó en los tratamientos donde se fraccionó más la dosis, algo esperado ya que a medida que la planta desarrolla la CN llega a un máximo y posteriormente disminuye debido a que el N es empleado durante el crecimiento y la concentración en hojas y tallos se reduce con la senescencia (Lara, 2000; Ramírez *et al.*, 2002; Saluzzo, 2003). Esta disminución es causada por el incremento relativo del material estructural (paredes celulares y ligninas) y compuestos almacenados (almidones) en la materia seca (Marschner, 1995). Por otro lado, los tratamientos con menor fraccionamiento de la dosis (dos y tres aplicaciones) presentaron comportamiento atípico en la CN, puesto que el valor máximo fue alcanzado a los 31 ddt, posteriormente la concentración bajó a los 64 ddt y se incrementó de nuevo a los 88 ddt (Cuadro 3), lo cual pudo deberse a que las cantidades de fertilizante empleadas en estos tratamientos (100 y 66.7 kg N·ha⁻¹, respectivamente) fueron elevadas y afectaron la absorción de N en la etapa final de desarrollo del cultivo una vez realizada la última aplicación del fertilizante.

La concentración de nitratos (NO₃) no fue afectada por el número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado a los 31, 64 y 89 ddt (Cuadro 4). La comparación de medias indicó que los tratamientos donde se hicieron tres y cuatro aplicaciones tendieron a presentar los mayores niveles de nitratos al considerar todos los muestreos (1388.6 y 1363.9 mg·litro⁻¹, respectivamente) y el tratamiento donde se aplicó el N semanalmente el más bajo (1148.9 mg·litro⁻¹), aunque estadísticamente no tuvieron diferencias (Cuadro 5). Respecto al comportamiento de la concentración de los nitratos durante el ciclo de cultivo, se tuvo baja concentración

a los 31 ddt ($548 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$), alcanzó el mayor valor a los 64 ddt ($2295 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) y finalmente disminuyó a los 89 ddt ($1015 \text{ mg}\cdot\text{litro}^{-1}$), lo cual pudo ser debido a que la concentración de nitratos está relacionada con el crecimiento vegetativo, ya que en esta etapa del ciclo de cultivo (65 ddt) se alcanza el máximo crecimiento en esta especie.

CUADRO 4. Cuadrados medios del análisis de varianza para la concentración de nitratos en extracto tisular (NO_3) y el contenido de N inorgánico en el suelo (NIS) durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.

F.V.	GL ^y	Muestreo 1 ^x		Muestreo 2		Muestreo 3	
		NO_3	NIS	NO_3	NIS	NO_3	NIS
TRATAMIENTO	3	22697.1	28880.0*	333131.4	25163.0	80728.2	10849.7*
REPETICIÓN	4	92623.4	6513.9	381295.6	20847.6	81595.8	3217.8
ERROR	12	46852.4	4939.2	157513.5	20711.0	32812.4	2854.5
C.V. (%)		39.5	66.0	17.3	91.0	17.8	58.4
MEDIA		548.1	106.5	2295.9	158.2	1015.3	91.4

F.V: Fuente de variación; C.V: Coeficiente de variación; ^y GL: Grados de libertad; ^x

Muestreos efectuados a los 31, 64 y 89 ddt para NO_3 y a los 32, 64 y 91 ddt para NIS.

* Significativo con $\alpha = 0.05$.

De acuerdo con los niveles de nitratos reportados por Castro *et al.* (2000), la concentración de NO_3 es deficiente a los 31 ddt, es excesiva a los 64 ddt y se ubica dentro del rango normal a los 89 ddt. En jitomate, la concentración de NO_3 en savia se incrementó desde el transplante hasta el primer corte y después del sexto corte fue disminuyendo (Armenta *et al.*, 2001), de igual manera se reporta incremento en la concentración de NO_3 en pecíolos de papa hasta los 40 o 50 ddt y posteriormente disminuye (Saluzzo, 2001). Otro reporte señala que la concentración de $\text{NO}_3\text{-N}$ en pecíolos de brócoli puede variar rápidamente y ésta no sólo depende de la disponibilidad de N sino del régimen de humedad y las

condiciones ambientales (Karitonas, 2003), lo cual puede explicar en parte los resultados obtenidos, puesto que estos factores fueron similares entre los tratamientos evaluados debido a que la investigación se desarrolló bajo condiciones de invernadero y con riego por goteo. Es decir, que no hubo variación importante en las condiciones ambientales y en la humedad del suelo por el sistema de producción empleado.

El contenido de N inorgánico en suelo (NIS) presentó diferencias significativas a los 32 y 91 ddt, no así a los 64 ddt (Cuadro 4). La prueba de medias indicó que el tratamiento con cuatro aplicaciones tuvo el mayor contenido de NIS ($213.7 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) a los 32 ddt y fue estadísticamente superior ($\alpha=0.05$) a los tratamientos con dos aplicaciones y aplicaciones semanales. A los 91 ddt, el tratamiento con mayor contenido de NIS ($80.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) fue donde se realizaron tres aplicaciones durante el ciclo de cultivo y superó significativamente ($\alpha=0.05$) sólo al tratamiento de dos aplicaciones (Cuadro 5).

En general, el tratamiento en el que se fraccionó la dosis en cuatro aplicaciones presentó el mayor contenido de NIS ($182.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), fue superior a los tratamientos con dos aplicaciones y aplicaciones semanales en todos los muestreos y estadísticamente fue similar al de tres aplicaciones (Cuadro 5). Lo anterior pudo deberse a que los muestreos de suelo se efectuaron después de haberse suministrado el fertilizante en el tratamiento de cuatro aplicaciones (11, 28, 46 y 60 ddt); lo que probablemente influyó en los contenidos de NIS encontrados.

No obstante, las cantidades de NIS fueron importantes en cada muestreo realizado y en los tratamientos evaluados, puesto que superaron por lo menos en 18, 71 y 43 % al contenido inicial de NIS ($29.7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a los 32, 64 y 91 ddt, respectivamente (Cuadro 5), lo anterior permite inferir que la dosis empleada fue excesiva, sin llegar a niveles de toxicidad para las plantas, puesto que aún el tratamiento con mayor fraccionamiento de ésta superó 61 % al contenido de NIS inicial al considerar todos los muestreos, por lo que el N residual en el suelo al aplicar $200 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ puede resultar perjudicial cuando existen condiciones que favorecen la pérdida del elemento en el perfil del suelo como la lixiviación o la desnitrificación.

CUADRO 5. Efecto de diferente número de aplicaciones de N (urea) sobre la concentración de nitratos en extracto tisular (NO_3 , $\text{mg}\cdot\text{litro}^{-1}$) y el contenido de nitrógeno inorgánico en suelo (NIS, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) durante el desarrollo del cultivo de tomate de cáscara.

TRATAMIENTO	Muestreo 1 ^x		Muestreo 2		Muestreo 3		TM	
	NO_3	NIS	NO_3	NIS	NO_3	NIS	NO_3	NIS
Dos aplicaciones	556.4 a	77.2b ^z	2093.5 a	101.84 a	1083.2 a	51.76 b	1244.4 a	76.9 b
Tres aplicaciones	491.9 a	98.7ba	2515.0 a	158.32 a	1159.0 a	158.79 a	1388.6 a	138.6 a
Cuatro aplicaciones	640.1 a	213.7a	2522.9 a	258.16 a	928.6 a	74.88 ba	1363.9 a	182.2 a
aplicaciones semanales	504.2 a	36.4 b	2052.2 a	114.27 a	890.2 a	80.25 ba	1148.9 a	77.0 b
DMS	406.42	131.96	745.20	270.22	340.12	100.32	340.12	94.76

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$);

^x Muestreos efectuados a los 31, 64 y 89 ddt para NO_3 y a los 32, 64 y 91 ddt para NIS; TM: todos los muestreos; DMS: diferencia mínima significativa.

El rendimiento por planta (RP) no resultó afectado por el número de aplicaciones del fertilizante nitrogenado en los tres cortes y el total (Cuadro 6). Sin embargo, la prueba de comparación de medias muestra tendencia en el RP, donde el tratamiento con aplicaciones semanales obtuvo el mayor RP en los dos primeros

cortes y el total (0.16, 0.44 y 1.18 kg·planta⁻¹, respectivamente), en tanto que el tratamiento con menor rendimiento total (0.99 kg·planta⁻¹) fue el de tres aplicaciones de fertilizante nitrogenado durante el ciclo de cultivo (Cuadro 7). Resultados similares se obtuvieron en el cultivo de pimiento al fraccionar la dosis en una, dos o tres partes, ya que no afectaron el rendimiento, aunque el promedio de éste fue mayor al dividir más la fertilización (Pire y Colmenares, 1996).

CUADRO 6. Cuadrados medios del análisis de varianza para el rendimiento por planta en tres cortes y el total de tomate de cáscara.

F.V.	GL	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total
TRATAMIENTO	3	0.0037	0.0151	0.0021	0.0328
REPETICION	4	0.0079	0.0144	0.0145	0.0353
ERROR	12	0.0060	0.0067	0.0240	0.0251
C.V.(%)		63.3100	20.5790	26.8100	14.4600
MEDIA		0.1220	0.3960	0.5770	1.0960

F.V: Fuente de variación; GL: Grados de libertad; C.V: Coeficiente de variación.* Significativo con $\alpha = 0.05$.

La similitud del RP entre los tratamientos pudo ser debido a la falta de polinización durante la primer etapa de la floración (de la primera a la tercera bifurcación), en la que muchas flores abortaron al no ser polinizadas, esto pudo deberse al escaso flujo de aire dentro del invernadero y a la nula presencia de insectos polinizadores, y la característica de la especie de no autofecundarse por presentar autoincompatibilidad gametofítica (Peña *et al.*, 1998), de ahí la variación del rendimiento por planta. Como consecuencia, los coeficientes de variación del RP fueron altos en el primer corte (Cuadro 6), problema que se resolvió a partir de los 40 ddt, al quitarse las cortinas laterales del invernadero. Además de lo anterior, se presentó la compactación del suelo ocasionada por los riegos frecuentes y el

tamaño del contenedor, problema que aumentó a partir de los 30 ddt ya que no se podía remover el suelo sin ocasionar daño en las raíces, lo que pudo afectar la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes de manera normal.

Otros estudios reportan que concentraciones intermedias de nitratos (75 %) en la solución nutritiva son adecuadas puesto que concentraciones menores (25 y 50 %) o mayores (125 %) provocan disminución en el rendimiento por planta en tomate de cáscara (Castro *et al.*, 2000). En lechuga la mejor forma de distribución del fertilizante nitrogenado es fraccionando la dosis lo más posible, lo que permite el uso más eficiente del fertilizante y disminuir el riesgo de contaminación del suelo (Buozy y Favaro, 2002).

CUADRO 7. Efecto de diferente número de aplicaciones de N (urea) sobre el rendimiento por planta (kg) de tres cortes y el total de tomate de cáscara.

TRATAMIENTO	Corte 1	Corte 2	Corte 3	Total
Dos aplicaciones	0.1048 a	0.3680 a	0.6057 a	1.0784 a
Tres aplicaciones	0.0966 a	0.3327 a	0.5618 a	0.9912 a
Cuatro aplicaciones	0.1326 a	0.4415 a	0.5618 a	1.1368 a
Aplicaciones semanales	0.1558 a	0.4430 a	0.5793 a	1.1780 a
DMS	0.1456	0.1531	0.2907	0.2976

^z Medias con la misma letra dentro de columnas son iguales estadísticamente de acuerdo (Tukey, $p \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

En general, el empleo de dosis altas de fertilizante nitrogenado afectan el rendimiento de cultivos como tomate de cáscara (Lara *et al.*, 2002) o jitomate (Armenta *et al.*, 2001; González *et al.*, 2005), ya que además de incrementar los costos de producción, se logra menor eficiencia en el uso del fertilizante y se aumenta la probabilidad de contaminación de los suelos y mantos freáticos. El

dividir la dosis en el mayor número de aplicaciones posible permite reducir las pérdidas de N debido a que las plantas absorben mayor porcentaje del elemento disponible en la solución del suelo (Buoza y Favaro, 2002). El suministro del fertilizante nitrogenado dividiendo la dosis en el mayor número de aplicaciones posibles con base a la demanda por cada etapa fenológica, puede ser considerado como la mejor forma de fraccionar la fertilización nitrogenada en tomate de cáscara, aunque en este trabajo no se pudo comprobar estadísticamente esta aseveración por los problemas antes citados.

El análisis de correlación no mostró relación entre el rendimiento por planta (RP), la concentración de N (CN), la concentración de nitratos (NO_3) y el contenido de N inorgánico en suelo (NIS) a los 31 y 60 ddt; sin embargo, a los 90 ddt presentaron correlación positiva las variables NO_3 vs. CN, CN vs. NIS, y negativa entre las variables NO_3 vs. RP, cuyos coeficientes de determinación fueron de 0.56, 0.51 y 0.46, respectivamente, con $p \leq 0.05$. Para las variables NO_3 y CN la relación es directa puesto que la CN depende de los contenidos de nitratos y amonio, como las formas de absorción del N por las plantas (Taiz y Zeiger, 2002). Entre tanto, la relación entre CN y NIS, pudo ser influenciada por el momento de la aplicación que fue próximo a la determinación de estas variables, ya que en teoría deberían presentar correlación negativa. Para el caso de las variables NO_3 y RP, la relación negativa indica que cuando aumenta el RP disminuye la concentración de NO_3 en la planta, lo que puede ser normal por el flujo de nutrientes dentro de la planta; el N existente en la savia de la planta se encuentra principalmente en forma de aminoácidos, que son traslocados vía floema de las hojas senescentes hacia las semillas de los frutos en plantas herbáceas (Taiz y Zeiger, 2002).

5.6. CONCLUSIONES

- El peso fresco, el contenido de materia seca y la concentración de nitratos en extracto tisular en tomate de cáscara no fueron afectados por la forma de fraccionar el fertilizante nitrogenado.
- La concentración de N en materia seca vegetal fue mayor al suministrar el fertilizante nitrogenado en tres aplicaciones; sin embargo, las diferencias se deben probablemente a la coincidencia de las determinaciones con el momento de la aplicación del fertilizante.
- El contenido de N inorgánico en el suelo resultó mayor que el inicial en las tres determinaciones realizadas para las cuatro formas de fraccionamiento de fertilizante nitrogenado evaluadas, lo que indica que la dosis empleada puede reducirse para evitar la pérdida de N.
- El rendimiento de fruto por planta no fue afectado por el fraccionamiento de la dosis de N empleada, aunque se aprecia la tendencia de mayor rendimiento al aplicar el fertilizante semanalmente considerando las necesidades de la planta por etapa fenológica.

5.7. LITERATURA CITADA

ALCANTAR G., G.; SANDOVAL V., M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.

- ARMENTA-BOJÓRQUEZ, A. D.; BACA-CASTILLO, G. A.; ALCÁNTAR GONZÁLEZ, G.; KOHASHI-SHIBATA, J.; VALENZUELA-URETA, J. G.; MARTÍNEZ-GARZA, A. 2001. Relaciones entre nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. Rev. Chapingo Serie Horticultura 7(1): 61-75.
- BUOZO, C. A.; FAVARO, J. C. 2002. Curva de crecimiento adimensional en lechuga para el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada. Agronomía Trop. 52(2): 187-196.
- CASTRO-BRINDIS, R.; GALVIS-SPINOLA, A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; PEÑA-LOMELÍ, A.; SANDOVAL-VILLA, M.; ALCANTAR-GONZÁLEZ, G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Rev. Chapingo Serie Horticultura 10(2): 147-152.
- CASTRO-BRINDIS, R.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; PEÑA-LOMELÍ, A.; BACA-CASTILLO, G. A.; LÓPEZ-ROMERO, R. M. 2000. Nitratos en el extracto celular de pecíolos y tallo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento. Rev. Chapingo Serie Horticultura 6(1):33-88.
- CATALDO, D. A.; HAROON, M.; SCHRADER, L. F.; YOUNGS, V. L. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. Commun. Soil Science and Plant Analysis 6(1): 71-80.
- ENRIQUEZ-REYES, S. A.; ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, G.; CASTELLANOS-RAMOS, J. A.; GONZÁLEZ-EGUIARTE, D.; LAZCANO-FERRAT, I. 2003. Nutrición mineral acoplada al crecimiento (NUMAC): nutrición con N para tomate en invernadero. 3. Evaluación del modelo. Terra 21(2):185-193.
- FELLER, C.; FINK, M. 2002. Nitrogen uptake by table beet-validation model. J. Am. Soc. Hort. Sci. 127(6): 1013-1017.

- GONZÁLEZ-RAYA, E.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; RAMÍREZ, H.; ROBLEDO-TORRES, V.; MAITI, R.; REYES-LÓPEZ, A.; AGUILERA-CARBO, A. F.; FUENTES-LARA, L. A.; HERNÁNDEZ-VALENCIA, R. E. M. 2005. Crecimiento de jitomate y calidad de frutos con diferentes concentraciones de nitrato. *Terra Latinoamericana* 23(1):105-111.
- HOPKINS, W. G.; HÜNER, N. P. A. 2004. *Introduction to Plant Physiology*. 3rd Edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. USA. 560 p.
- JANSSEN, B.H. 1998. Efficient use of nutrients: An art of balancing. *Field Crop Res.* 56: 197-201.
- JONES Jr., B.; WOLF, J.B.; MILLIS A.H. 1991. *Plant Analysis Hand Book*. Micro-Macro Publishing, Inc. U.S.A. 535 p.
- KARITONAS, R. 2003. Development of a nitrogen management tool for broccoli. *Acta Horticulturae* 627:125-129.
- LARA H., A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229.
- MARSCHNER, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd Edition. Ed. Academia Press. San Diego, Ca. USA. 889 p.
- PEÑA L., A.; MOLINA G., J. D.; CERVANTES S., T.; MARQUEZ S., F.; SAHAGUN C., J.; ORTIZ C., J. 1998. Heterosis intervarietal en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 4(1): 31-37.
- PRECIADO-RANGEL, P.; BACA-CASTILLO, G. A.; TIRADO-TORRES, J. L.; KOHASHI-SHIBATA, J.; TIJERINA-CHÁVEZ, L.; MARTÍNEZ-GARZA, A. 2004. Fertirrigación nitrogenada, fosfórica y sus efectos en melón y suelo. *Terra Latinoamericana* 22(2): 175-186.

- RAMOS-LARA, C.; ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, G.; GALVIS-SPINOLA, A.; PEÑALOMELÍ, A.; MARTÍNEZ-GARZA, A. 2002. Eficiencia de uso de nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra* 20: 465-469.
- RAMÍREZ-MORALES, P.; CASTELLANOS R., J. Z.; SÁNCHEZ G., P.; GALVIS S., A.; MARTÍNEZ G., A.; TIJERINA CH., L. 2003. Fertilización nitrogenada y patrón de absorción nutrimental del apio en fertirriego. *Terra* 21(1):101-108.
- RODRÍGUEZ, Z.; PIRE, R. 2004. Extracción de N, P, K, Ca y Mg por plantas de melón (*Cucumis melo* L.) híbrido Packstar bajo condiciones de Tarabana, Estado Lara. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 21: 141-154.
- SALUZZO, J. A. 2003. Nutrición nitrogenada, crecimiento y rendimiento de ajo (*Allium sativum* L.) en respuesta a la fertilización nitrogenada en el SE de Buenos Aires, Argentina. *Agriscientia* 20: 53-60.
- SALUZZO, J. A. 2001. Concentración de nitratos en pecíolos y rendimiento de los cultivares de papa Kennebec y Shepody en relación a la fertilización nitrogenada. *Agriscientia* 18: 21-26.
- SORENSEN, J. N. 1993. Use of the N-min method for optimization of vegetable nitrogen nutrition. *Acta Horticulturae* 339:179-192.
- TAIZ, L.; ZIEGER, E. 2002. *Plant Physiology*. Third Edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers. Sunderland, Massachusetts. U.S.A. 690 p.

DISCUSIÓN GENERAL

La presente investigación abordó dos aspectos generales. El primero de ellos relacionado con la producción de plántulas, en el que se desarrollaron tres trabajos: 1) la evaluación de sustratos y cubiertas plásticas; 2) la evaluación de soluciones nutritivas con distintas concentraciones y, 3) la evaluación de volúmenes y frecuencias de riego. El segundo aspecto se relacionó con el manejo de la fertilización nitrogenada durante el ciclo de cultivo del tomate de cáscara, en el que se consideraron dos fases de la investigación: 1) la evaluación de dosis de fertilizante nitrogenado en campo con riego por goteo y, 2) la evaluación de cuatro formas de fraccionamiento del fertilizante nitrogenado en suelo con riego por goteo bajo condiciones de invernadero.

Producción de plántulas

De acuerdo a los resultados de la evaluación de sustratos, la fibra de coco tuvo comportamiento similar o superior al sustrato de turba y ambos produjeron plántulas con mejores características para el trasplante que el sustrato de vermicomposta; en tanto que el uso de cubiertas plásticas, independientemente del color, no afectaron la germinación y el desarrollo de las plántulas. Lo anterior se explica por las propiedades físicas y químicas de los sustratos empleados, ya que la fibra de coco y la turba presentaron características favorables como: la densidad aparente, la conductividad eléctrica y el pH, además de tener una adecuada capacidad de retención de humedad y suficiente espacio poroso que les permite tener buena aireación; en contraste, la

vermicomposta presentó valores altos en estas propiedades que influyeron de forma negativa sobre el desarrollo de las plántulas, sobre todo por la compactación que presentó este sustrato y que limitó de manera considerable la aireación, a pesar de que su contenido nutrimental inicial fue igual o superior a los otros sustratos empleados. De acuerdo con Adams (2000) la fibra de coco posee características similares a la turba, excepto que humidifica de manera lenta.

Las propiedades que debe reunir un sustrato para la producción de plántulas son importantes, ya que la calidad que se puede lograr en éstas depende de la selección adecuada del mismo antes de la siembra. Además de las propiedades químicas, tales como el contenido de materia orgánica, el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la conductividad eléctrica, la concentración nutrimental, etc., las propiedades físicas de importancia en un sustrato son: la proporción de espacio poroso y material sólido (4:1) y la capacidad de absorción de agua (120 % o más). El espacio poroso debe estar constituido por 30-40 % de aire, 40-50 % de agua (de la que 20-30 % debe ser agua fácilmente disponible), y de 10-30 % de material sólido (Verdonck *et al.*, 1981),

Por lo anterior, la fibra de coco es un sustrato que puede emplearse en la producción de plántula de tomate de cáscara como sustituto de la turba, con la ventaja de que se produce en México.

Sobre la evaluación de soluciones nutritivas y sus concentraciones, las plántulas obtenidas con el empleo de soluciones nutritivas presentaron características favorables para el transplante y superiores al testigo sin solución, lo que demostró que el sustrato

de turba, aunque presenta materia orgánica y nutrientes en su composición química, no son suficientes para satisfacer las necesidades nutrimentales de las plántulas durante su desarrollo; lo anterior es debido a que las plántulas presentan alta demanda de nutrientes durante esta etapa, producto de su alta tasa de crecimiento (Widers y Lorenz, 1982), sobre todo cuando inician el desarrollo de hojas verdaderas, aproximadamente 10 días después de siembra, por lo que es necesario iniciar la fertilización de las mismas (Muñoz, 2004).

Con respecto a la concentración de la solución nutritiva, ésta debe ser igual a la empleada en la producción bajo cultivo en invernadero, pero diluida para evitar daños en las plántulas (Muñoz, 2004). Se puede emplear solución variada cada semana, de 25 a 75 % de concentración durante las tres semanas después de la emergencia, o bien, usar la concentración de 50 % durante toda la etapa de plántula, ya que no hubo diferencias con las concentraciones mayores (75 y 100 %) y se puede tener ahorro en la cantidad de fertilizante empleado y con ello reducir los costos de producción.

La comparación entre las soluciones nutritivas evaluadas indicó que la solución Steiner fue superior a la de Triple 18 en la concentración nutrimental, excepto en fósforo, debido a que la primera presenta un balance adecuado entre aniones y cationes, lo que favorece su absorción (Lara, 2000). En contraste, para las variables de crecimiento ambas soluciones tuvieron comportamiento similar, lo cual indica que la solución de Triple 18 puede ser una alternativa en la producción de plántulas de tomate de cáscara, sobre todo en zonas donde no haya disponibilidad de los

fertilizantes necesarios para preparar soluciones nutritivas completas, o para reducir los costos de producción.

Con relación a los volúmenes y frecuencias de riego, las plántulas con características menos favorables para el transplante fueron obtenidas al emplear las menores cantidades de agua (0.5 litros) y frecuencia de riego (1 riego diario), lo que fue notorio al final de la etapa (26 días después de siembra), debido a que en la última fase las plántulas sometidas al mayor estrés hídrico limitaron su desarrollo general y presentaron menor concentración nutrimental. Lo anterior se debe al efecto del estrés sobre varias funciones de la planta como el cierre estomático que origina reducción en la actividad fotosintética (Woldetsadik *et al.*, 2003), la disminución de la turgencia celular que provoca el crecimiento lento de las plántulas (Liptay *et al.*, 1998), el aumento en el gasto de energía por las plantas para absorber agua, y por consecuencia, la reducción en la absorción de nutrientes, por la relación que guardan éstas (Duchein *et al.*, 1995).

Las necesidades hídricas de las plántulas cambiaron durante el desarrollo de las mismas, por lo que es conveniente aplicar el volumen de agua y la frecuencia de riego adecuado conforme la planta desarrolla; lo anterior, permite tener ahorro en la cantidad de agua y por consecuencia en el fertilizante empleado para la nutrición de éstas. Las plántulas de tomate de cáscara producidas en contenedores de 200 cavidades requieren de 1.0 litro de agua diario por charola durante la primera fase después de la emergencia (4 a 10 DDS), en una sola aplicación; 2.0 litros de agua en dos aplicaciones de un litro cada una, durante la segunda fase (11 a 18 DDS) y 3.0 litros de agua por día en dos o tres aplicaciones durante la última fase de plántula (19 a 26 DDS).

Fertilización nitrogenada en el cultivo de tomate de cáscara

Las dosis de fertilizante nitrogenado de 22 a 300 kg N·ha⁻¹ no tuvieron efecto sobre el rendimiento del cultivo y la ganancia de peso seco de la planta de tomate de cáscara; sin embargo, afectaron la concentración de nitrógeno en materia vegetal, la concentración de nitratos en extracto tisular y el contenido de nitrógeno inorgánico del suelo. Lo anterior puede explicarse debido a que el suelo en el que se desarrolló el experimento contenía una cantidad considerable de N inorgánico (195.8 kg·ha⁻¹) y junto con las dosis suministradas fue suficiente para cubrir la necesidad de éste elemento por las plantas bajo el sistema de producción empleado, lo que permitió la menor dosis (22 kg N·ha⁻¹) alcanzara el rendimiento similar a las otras dosis empleadas.

Las dosis de 250 y 300 kg N·ha⁻¹ se relacionaron con las mayores concentraciones de N en materia vegetal y nitratos en extracto tisular; aunque los valores de concentración obtenidos en la mayoría de los tratamientos estuvieron por debajo de los rangos de suficiencia reportados para la especie (Castro *et al.*, 2000) u otras especies de la familia solanácea (Jones *et al.*, 1991; Martínez, 2006), pero también fueron las de mayor contenido de N inorgánico en el suelo al final del ciclo de cultivo. Lo anterior indica que dosis superiores a 200 kg N·ha⁻¹ pueden tener efecto negativo en el suelo, cuando no se considera la cantidad de N existente y que puede aportar el suelo, y llegar a ocasionar contaminación edáfica al emplear sistemas de producción deficientes o mal manejados que impiden la obtención de rendimientos aceptables (mayores a 20 t·ha⁻¹).

Con relación al fraccionamiento de la dosis de fertilizante nitrogenado, no se observó efecto sobre el rendimiento de fruto, el peso fresco, el contenido de materia seca en la planta y la concentración de nitratos en extracto tisular. Lo anterior puede explicarse porque se empleó una sola dosis de fertilizante nitrogenado, el aporte de N que pudo proporcionar el suelo ($99.8 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) y los coeficientes de variación obtenidos en estas variables impidieron observar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

El fraccionamiento de la dosis de N en tres partes presentó la mayor concentración de N en tejido vegetal, aunque en general las cuatro formas ensayadas presentaron concentraciones cercanas o dentro de los niveles normales reportados para tomate de cáscara (Castro, *et al.*, 2000) u otras solanáceas (Jones *et al.*, 1991; Martínez, 2006). Por otro lado, el mayor contenido de N inorgánico en suelo se presentó en el fraccionamiento de tres y cuatro veces durante el ciclo. En ambos casos, las concentraciones de N obtenidas en tejido vegetal y de N inorgánico en el suelo pudieron ser influenciadas por las fechas de aplicación del fertilizante que fueron próximas al momento en el que se realizó la determinación de estas variables.

En términos generales, la forma de fraccionar la dosis semanalmente presentó el mayor rendimiento promedio de fruto y el segundo menor contenido de N inorgánico en el suelo, lo que indica que esta forma de aplicación puede ser considerada como una buena opción en el sistema de fertilización nitrogenada del cultivo de tomate de cáscara, ya que con ello se garantiza que la mayor parte del N que se aplica al suelo sea aprovechado por el cultivo (Castro *et al.*, 2004); el dividir la dosis en el mayor número de aplicaciones posible permite reducir las pérdidas de N, debido a que las

plantas absorben mayor porcentaje del elemento disponible en la solución del suelo (Buoza y Favaro, 2002).

CONCLUSIONES GENERALES

Producción de plántulas

Las características que deben reunir las plántulas de tomate de cáscara antes del transplante, para considerarse de buena calidad son: diámetro de tallo mayor o igual a 3.5 mm; altura de 15 cm; número de hojas verdaderas de cuatro a cinco y estar exentas de floración.

La fibra de coco y la turba son sustratos con características similares que permitieron la obtención de plántulas de tomate de cáscara de buena calidad, con ventaja de que el primero se produce en México.

Las cubiertas plásticas, independientemente del color, no tuvieron efecto significativo en la producción de plántulas de tomate de cáscara de buena calidad.

Las concentraciones de 50 a 100 % de la solución nutritiva Universal de Steiner favorecieron de manera similar la obtención de plántulas de tomate de cáscara de buena calidad, por lo que resulta conveniente emplear la concentración de 50 % o variar la

concentración cada semana para hacer uso eficiente de los fertilizantes y reducir los costos de producción.

La solución nutritiva de fertilizante Triple 18 a concentración de 100 % puede ser empleada en situaciones de baja disponibilidad de fertilizantes para preparar soluciones completas, sin que se afecten de manera importante las características de calidad de las plántulas.

La necesidad hídrica de la plántula de tomate de cáscara cambia de acuerdo con el desarrollo de la misma y las condiciones ambientales existentes, por lo cual resulta conveniente aplicar un litro de agua diario por charola durante la primera fase después de la emergencia (4 a 10 DDS), en una sola aplicación; dos litros diarios con dos aplicaciones de un litro en la segunda fase (11 a 18 DDS) y tres litros por día con dos o tres aplicaciones durante la última fase de plántula (19 a 26 DDS).

Fertilización nitrogenada en el cultivo de tomate de cáscara

Las dosis de 22 a 300 kg·ha⁻¹ de fertilizante nitrogenado no tuvieron efecto significativo sobre el rendimiento de fruto, la concentración de N en la materia seca y el peso seco de la planta, debido al aporte de N existente en el suelo donde se desarrolló la investigación (195.8 kg·ha⁻¹).

La concentración de NO_3 en el extracto tisular fue mayor en las dosis de 300, 200 y 250 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$; sin embargo, no se alcanzaron niveles óptimos de suficiencia para la especie, lo que influyó en el bajo rendimiento de fruto (promedio de 15.2 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Las dosis de 200 a 300 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ promovieron la acumulación de N inorgánico en el suelo al final del ciclo de cultivo, lo que indica que éstas pueden ser excesivas, si no se toma en cuenta la cantidad existente en el suelo, y pueden contribuir en la pérdida de N y la contaminación edáfica.

El fraccionamiento de la dosis de N no tuvo efecto sobre el rendimiento de fruto por planta, el peso fresco, el contenido de materia seca y la concentración de nitratos en extracto tisular de tomate de cáscara.

La concentración de N en materia seca vegetal fue mayor al suministrar el fertilizante nitrogenado en tres aplicaciones; sin embargo, las diferencias se deben probablemente a la coincidencia de las determinaciones con el momento de la aplicación del fertilizante.

El contenido de N inorgánico en el suelo resultó mayor que el inicial en las tres determinaciones realizadas para las cuatro formas de fraccionamiento de fertilizante nitrogenado, lo que indica que la dosis empleada puede reducirse para evitar la pérdida de N.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, P. 2000. Aspectos del manejo de los diferentes sustratos, su comparación, elección y factores medioambientales a considerar. pp: 255-261. *In*: Manual de Cultivo sin Suelo. URRESTARAZU G., M. (Ed.). Mundi-Prensa. Madrid, España.
- BUOZO, C. A.; FAVARO, J. C. 2002. Curva de crecimiento adimensional en lechuga para el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada. *Agronomía Trop.* 52(2): 187-196.
- CASTRO-BRINDIS, R.; GALVIS-SPINOLA, A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; PEÑA-LOMELÍ, A.; SANDOVAL-VILLA, M.; ALCANTAR-GONZÁLEZ, G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 10(2): 147-152.
- CASTRO-BRINDIS, R.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; PEÑA-LOMELÍ, A.; BACA-CASTILLO, G. A.; LÓPEZ-ROMERO, R. M. 2000. Nitratos en el extracto celular de pecíolos y tallo de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) y su relación con el rendimiento. *Rev. Chapingo Serie Horticultura* 6(1): 33-88.
- DUCHEIN, M. C.; BAILLE, M.; BAILLE, A. 1995. Water use efficiency and nutrient consumption of a greenhouse rose crop grown in rockwool. *Acta Horticulturae* 408: 129-135.
- JONES Jr, B.; WOLF, J. B.; MILLIS, A. H. 1991. *Plant Analysis Hand Book*. Micro-Macro Publishing, Inc. U.S.A. 535 p.
- LARA H., A. 2000. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229.