



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO
Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO DEL PEPINO
(*Cucumis sativus* L.)**

TESIS



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Que como requisito parcial para obtener el grado de

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

FERNANDO VICENTE BARRAZA ALVAREZ

Chapingo, México, julio de 2008



**ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO
Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO DEL PEPINO
(*Cucumis sativus* L.)**

Tesis realizada por Fernando Vicente Barraza Alvarez, 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:



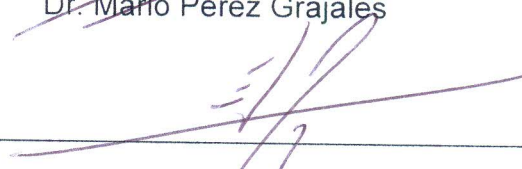
Dr. Rogelio Castro Brindis

ASESOR:



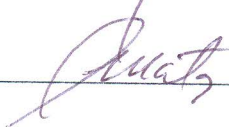
Dr. Mario Pérez Grajales

ASESOR:



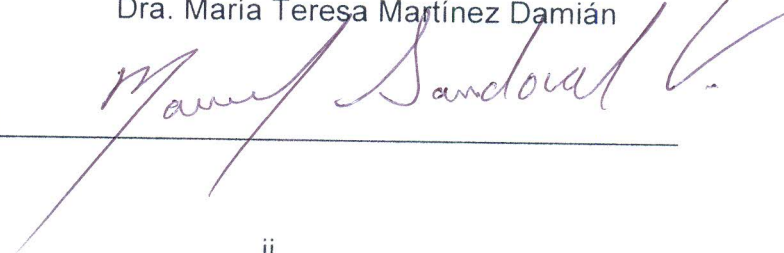
Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

ASESOR:



Dra. María Teresa Martínez Damián

LECTOR EXTERNO



AGRADECIMIENTOS

- Dr. Rogelio Castro Brindis, por su enseñanza y dirección del trabajo.
- Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez, por su apoyo y asesoría.
- Dra. María Teresa Martínez Damián, por su amistad, enseñanza y asesoría.
- Dr. Mario Pérez Grajales, por su apoyo y asesoría.

DEDICATORIA

A mi familia.

Esta tesis corresponde a los estudios realizados con una beca otorgada por la Secretaría de Relaciones Exteriores del Gobierno de México.

DATOS BIOGRÁFICOS DEL AUTOR

Nacido en Barranquilla, Colombia. Bachiller Académico egresado en 1985 del Colegio La Salle de Montería, Córdoba. Ingeniero Agrónomo de la Universidad de Córdoba, Montería, año de 1995. En 1996 obtuvo en la misma institución el título de Especialista en Manejo de Suelos y Aguas. En el periodo 1999-2000 realizó estudios de Maestría en Ciencias en Horticultura en la Universidad Autónoma Chapingo, México.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
TABLA DE CONTENIDO	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xiv
RESUMEN GENERAL	xvi
GENERAL ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
 CAPÍTULO I. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL PEPINO (<i>Cucumis sativus</i> L.) EN CUATRO CONCENTRACIONES NUTRIMENTALES. I. VARIABLES MORFOLÓGICAS.	 4
1.1. RESUMEN	5
1.2. ABSTRACT	5
1.3. INTRODUCCIÓN	6
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS	7
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
1.6. CONCLUSIONES	23
1.7. LITERATURA CITADA	24

CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL PEPINO (<i>Cucumis sativus</i> L.) EN CUATRO CONCENTRACIONES NUTRIMENTALES. II. ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA E ÍNDICES DE EFICIENCIA.	26
2.1. RESUMEN	27
2.2. ABSTRACT	27
2.3. INTRODUCCIÓN	28
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
2.6. CONCLUSIÓN	44
2.7. LITERATURA CITADA	44
CAPÍTULO III. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN CULTIVO DE PEPINO (<i>Cucumis sativus</i> L.).	46
3.1. RESUMEN	47
3.2. ABSTRACT	47
3.3. INTRODUCCIÓN	48
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	49
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.6. CONCLUSIONES	66
3.7. LITERATURA CITADA	67
DISCUSIÓN GENERAL	68

	Página
CONCLUSIONES GENERALES	71
LITERATURA CITADA GENERAL	73

LISTA DE CUADROS

Página

CAPÍTULO I. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CUATRO CONCENTRACIONES NUTRIMENTALES. I. VARIABLES MORFOLÓGICAS.

Cuadro 1. Modelos logísticos para estimar longitud y diámetro del tallo principal de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.	10
Cuadro 2. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de longitud y diámetro del tallo principal de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.	13
Cuadro 3. Comparación de medias de longitud y diámetro del tallo principal de la planta de pepino, en diferentes muestreos. Chapingo, México, 2006.	14
Cuadro 4. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de número de hojas, área foliar y número de flores de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.	16
Cuadro 5. Comparación de medias de número de hojas, área foliar y número de flores de la planta de pepino, en diferentes muestreos. Chapingo, México, 2006.	17

Cuadro 6. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de rendimiento acumulado por planta y número de frutos acumulados por planta del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.	19
--	----

Cuadro 7. Comparación de medias del rendimiento acumulado por planta y número de frutos acumulados por planta del cultivo de pepino, en diferentes muestreos. Chapingo, México, 2006.	20
---	----

Cuadro 8. Modelos logísticos para estimar número de frutos y rendimiento acumulado por planta del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.	21
---	----

CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CUATRO CONCENTRACIONES NUTRIMENTALES. II. ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA E ÍNDICES DE EFICIENCIA.

Cuadro 1. Modelos logísticos para estimar materia seca de tallos, hojas, zarcillos y total de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.	33
---	----

Cuadro 2. Comparación de medias de materia seca de tallos, hojas y zarcillos de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.	35
---	----

Cuadro 3. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de materia seca de tallos, hojas y zarcillos de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.	36
---	----

Cuadro 4. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de materia seca de flores, frutos inmaduros y total de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006. 38

Cuadro 5. Comparación de medias de materia seca de flores, frutos inmaduros y total de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006. 39

Cuadro 6. Comparación de medias del rendimiento acumulado por planta del cultivo de pepino, a los 120 días después del trasplante, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006. 40

CAPÍTULO III. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.)

Cuadro 1. Modelos logísticos para estimar la extracción por planta de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006. 52

Cuadro 2. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios para extracción por planta de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006. 55

Cuadro 3. Comparación de medias de la extracción de N, P y K de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006. 56

Cuadro 4. Comparación de medias de la extracción de Ca y Mg de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006. 58

Cuadro 5. Comparación de medias del rendimiento acumulado por planta del cultivo de pepino, a los 120 días después del trasplante, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

65

Cuadro 6. Cantidades de nutrimentos extraídas para producir una tonelada de frutos de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

65

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO I. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CUATRO CONCENTRACIONES NUTRIMENTALES. I. VARIABLES MORFOLÓGICAS.

Figura 1. Crecimiento del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, representado mediante modelos logísticos: a) Longitud del tallo principal; b) Diámetro del tallo principal. Chapingo, México, 2006.

11

Figura 2. Rendimiento acumulado por planta del cultivo de pepino en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

22

Figura 3. Crecimiento del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, representado mediante modelos logísticos: número de frutos acumulados por planta. Chapingo, México, 2006.

23

CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL PEPINO (*Cucumis sativus* L.) EN CUATRO CONCENTRACIONES NUTRIMENTALES. II. ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA E ÍNDICES DE EFICIENCIA.

Figura 1. Acumulación de materia seca de tallos, hojas, zarcillos y total del cultivo pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, representada mediante modelos logísticos. Chapingo, México, 2006.

34

Figura 2. Índices de eficiencia del cultivo del pepino. Tasa absoluta de crecimiento y Tasa relativa de crecimiento, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

41

CAPÍTULO III. EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN CULTIVO DE PEPINO (*Cucumis sativus* L.).

Figura 1. Extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, representada mediante modelos logísticos. Chapingo, México, 2006.

53

Figura 2. Síntomas de deficiencia de Mg en hojas de plantas de pepino establecidas con la solución nutritiva del 25 %. Chapingo, México, 2006.

59

Figura 3. Tasa de absorción absoluta (TAA) de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

60

ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO Y EXTRACCIÓN NUTRIMENTAL EN EL CULTIVO DEL PEPINO (*Cucumis sativus* L.)

RESUMEN GENERAL

La investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo (19° 29'N, 98° 53'O y 2,240 m de altitud), México, en condiciones de hidroponía, durante abril a agosto de 2006. Se cultivó en invernadero el híbrido de pepino “Saber[®]” tipo slicer, americano, ginoico, color verde oscuro, con longitud de 18 a 20 cm, producido por la compañía Enza Zaden de Israel, bajo cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (25, 75, 125 y 175 %), con el propósito de: generar información sobre el comportamiento del crecimiento de la planta; determinar la acumulación de materia seca total y por órganos; conocer algunos índices de eficiencia sobre el crecimiento del cultivo; y determinar la extracción de N, P, K, Ca y Mg.

La longitud y diámetro del tallo principal, número de frutos acumulados por planta, materia seca de tallos, hojas y zarcillos, materia seca total, y

rendimiento acumulado por planta, tuvieron comportamiento sigmoide, explicado a través del modelo logístico; en tanto que el número de hojas, área foliar, número de flores, materia seca de flores y materia seca de frutos inmaduros, no siguieron el mismo comportamiento. Las concentraciones del 75, 125 y 175 % produjeron mayor crecimiento y rendimiento.

Con las soluciones nutritivas del 75, 125 y 175 %, se obtuvieron mayores valores de acumulación de materia seca total y por órganos, tasa absoluta de crecimiento y tasa relativa de crecimiento.

La producción de una tonelada de frutos con la solución nutritiva de Steiner demanda la extracción por parte del cultivo de 1.65 kg de N, 0.33 kg de P, 1.78 kg de K, 3.79 kg de Ca y 0.98 kg de Mg.

La información generada en la presente investigación sirve como referencia básica para el diseño de nuevas técnicas de manejo nutrimental y de fertilización del cultivo del pepino.

GROWTH ANALYSIS AND NUTRIENT UPTAKE OF THE CUCUMBER CROP

(*Cucumis sativus* L.)

GENERAL ABSTRACT

The investigation was carried out in the “Universidad Autónoma Chapingo” (19° 29'N, 98° 53'O and 2,240 meters of altitude), Mexico, under hidroponic conditions, from April to August of 2006. The slicer, american and ginoecious type, dark green color and longitude of fruit of 18 to 20 cm, hybrid of cucumber "Saber[®]", of the Enza Zaden company of Israel, was cultivated in greenhouse. Four concentrations of the nutrient solution of Steiner (25, 75, 125 and 175 %) were utilized to generate information on the plant growth; determine the accumulation of total dry matter and by organs; to know some indexes of efficiency regarding the crop growth, and to determine N, P, K, Ca and Mg extraction by the crop.

The longitude and diameter of the main stem, number of fruit accumulated by plant, dry matter of stems, leaves and earrings, total dry matter, and accumulated yield by plant, had a sigmoid response explained through the logistical pattern; as long as the number of leaves, foliar area, number and dry matter of flowers, and immature fruits dry matter, did not follow the same

response. The concentrations of 75, 125 and 175 % produced the highest growth and yield.

By the using nutritive solutions of 75, 125 and 175 %, it was obtained the highest value in accumulation of total dry matter and for organs, absolute growth rate, and relative growth rate.

The production of a ton of fruit with the nutrient solution of Steiner extracted 1.65 kg of N, 0.33 kg of P, 1.78 kg of K, 3.79 kg of Ca, and 0.98 kg of Mg.

The information generated in the present investigation serves as a basic reference to design of new techniques of nutrimental handling and fertilization of the cucumber crop.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Para la economía agrícola del país, el subsector de producción de hortalizas reviste una particular importancia. La contribución de divisas y la generación de empleo rural, lo ubica como una de las actividades más relevantes dentro de la producción agrícola. Entre otras, la producción de pepino es, sin duda, una de las más notables. Actualmente México es el segundo exportador mundial de esta hortaliza y el primer proveedor del mercado americano (Anónimo, 2007).

Uno de los aspectos más importantes en la producción de pepino es el suministro de nutrimentos que debe hacerse durante su ciclo de cultivo, ya que de ello depende en gran medida la obtención de los mejores rendimientos, que para el caso de producción en invernaderos se encuentra potencialmente entre 26 y 39 kg·m⁻² (Maroto, 1992).

De acuerdo con lo anterior, hay antecedentes de que el crecimiento y el rendimiento de los cultivos están regulados por las condiciones ambientales, las nuevas variedades de plantas y por la disponibilidad de agua y nutrimentos.

Respecto a la demanda de nutrimentos de cada cultivo, la misma está basada principalmente en la habilidad de los cultivos para absorberlos y obtener una meta de producción. Dichos nutrimentos se cuantifican por su concentración en la materia seca de la planta o de sus productos cosechados (Grageda, 1999).

Los análisis de plantas muestran la presencia de pequeñas cantidades de 90 o más elementos minerales, de los cuales, cualquiera que se encuentre en el medio en que crecen las raíces puede entrar en la composición de los vegetales (Fageria *et al.*, 1991). Esto no significa que todos sean necesarios para el crecimiento y desarrollo normales de las plantas, pues sólo 16 son esenciales. Estos nutrimentos están divididos en dos grupos, teniendo en cuenta la cantidad requerida por las plantas (Resnik, 1986): macronutrimentos y micronutrimentos.

La aplicación de macro y micro nutrimentos ha contribuido de forma sustancial al enorme incremento de la producción de alimentos que ha tenido lugar en los últimos cien años (Gárate y Bonilla, 1998). Para el caso de las hortalizas, las exigencias de calidad como son tamaño, textura, firmeza, sabor, son mayores. Por ello, generalmente tienen una demanda intensiva de la mayoría de los nutrimentos esenciales (Grageda, 1999).

El cultivo de pepino requiere de mantener un balance nutrimental adecuado para su desarrollo, sin embargo, es altamente susceptible a pequeñas modificaciones de dicho balance, tanto durante el desarrollo de órganos vegetativos como reproductivos. Por tal motivo es necesario explorar los requerimientos de nutrimentos que demanda esta especie durante su desarrollo fenológico, con fines de generar recomendaciones sobre manejo de fertilización para lograr una producción óptima, mediante la manipulación y estudio del crecimiento para maximizar el rendimiento, especialmente en condiciones de invernadero.

Por lo anterior, la presente investigación se realizó con el objetivo de generar información sobre el proceso de crecimiento, acumulación de materia seca, índices de eficiencia y extracción de macro nutrimentos (N, P, K, Ca y Mg) del cultivo del pepino, para contar con información que permita generar recomendaciones precisas sobre el manejo de la nutrición durante su ciclo de cultivo, y con ello obtener el mejor rendimiento de frutos.

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL PEPINO

**(*Cucumis sativus* L.) EN CUATRO CONCENTRACIONES NUTRIMENTALES. I. VARIABLES
MORFOLÓGICAS**

Análisis de crecimiento del cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.) en cuatro concentraciones nutrimentales. I. Variables morfológicas

Growth analysis of the cucumber crop (*Cucumis sativus* L.) in four nutrient concentrations. I. Morphological variables

Fernando Vicente Barraza Alvarez¹ y Rogelio Castro Brindis²

Resumen

Durante abril a agosto de 2006 en la Universidad Autónoma Chapingo, México, se cultivó en invernadero el híbrido de pepino 'Saber[®]' en hileras de 1.0 m y 0.30 m entre plantas, con el objetivo de evaluar el crecimiento del cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en cuatro concentraciones nutrimentales (25, 75, 125 y 175 %) de la solución nutritiva de Steiner, y generar información que permita hacer ajustes a los programas de fertilización que se manejan en la actualidad de forma empírica. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones. Durante 135 días después del trasplante, se registraron cada 15 días la longitud y diámetro del tallo principal, número de hojas, flores y frutos, así como área foliar y el rendimiento de fruto fresco por planta. Con la aplicación de las soluciones del 75, 125 y 175 % se obtuvo el mayor desarrollo de los caracteres evaluados en un periodo de 135 días.

Palabras clave: solución nutritiva de Steiner, crecimiento, rendimiento.

Abstract

From April to August of 2006 in the "Universidad Autónoma Chapingo", México, was cultivated the cucumber hybrid "Saber[®]" in arrays of 1.0 m and 0.30 m among plants, with the objective of evaluating the growth of the cucumber crop (*Cucumis sativus* L.) in four nutrimental concentrations (25, 75, 125 and 175 %) of the nutrient solution of Steiner, in order to generate information that allows to make adjustments to the fertilization programs that are managed at the present time in an empiric way. The experimental design was at random of blocks with three replications. During 135 days after the transplant we registered every 15 days the longitude and diameter of the main stem, number of leaves, flowers and fruit, as well as foliar area and fruit yield by plant. With the application of the solutions to 75, 125 and 175 % the highest value for each variable and a yield were obtained for a period of 135 days.

Key words: nutrient solution of Steiner, growth, yield.

¹ Tesista

² Director

1.3. INTRODUCCIÓN

En México, el pepino tiene uno de los mercados internacionales con mayor potencialidad de expansión. El país es el segundo exportador mundial de esta hortaliza y el primer proveedor del mercado americano (Anónimo, 2007). Esta especie se puede producir en nuevos sistemas de agricultura intensiva, tanto en campo abierto como con mallas de sombra e invernaderos. En los invernaderos modernos se han obtenido rendimientos alrededor de los 65 kg por metro cuadrado, como resultado del mejoramiento en las técnicas de producción, la introducción de sustratos artificiales, control computarizado del clima e introducción de genotipos de alta productividad (Marcelis, 1994 a).

Uno de los factores que sustentan el proceso de producción agrícola es la nutrición mineral, misma que tiene influencia directa en el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos (Fageria *et al.*, 1991). Debido a la esencialidad de los nutrimentos para la formación de nuevas moléculas y células, existe una relación importante entre la nutrición mineral y el crecimiento de la planta (Pérez y Martínez, 1994).

La absorción continua de nutrimentos solamente se produce si aumenta el tamaño de la planta (Wild, 1992), por lo que en sistemas de cultivo intensivo, como las hortalizas, es indispensable que las plantas cuenten con los elementos nutritivos necesarios, en la cantidad y época apropiada, de lo contrario, se dejaría de aprovechar su potencial productivo (Güenkov, 1974).

Cuando se altera en forma negativa algún factor externo durante el ciclo vital de la planta, se producirá una disminución irreversible en el rendimiento. En este sentido, la escasez de unos u otros elementos minerales, o la proporción anormal entre ellos, influye desfavorablemente sobre el crecimiento y la formación de los órganos (Pérez y Martínez, 1994; Krug, 1985).

En vista de que la información que existe sobre nutrición mineral en el cultivo de pepino, es insuficiente para su manejo adecuado, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (25, 75, 125 y 175 %) sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo, en términos del crecimiento y rendimiento, con el fin de generar información básica mediante el estudio y modelación del crecimiento, para facilitar el manejo adecuado de la nutrición mineral, de la cual depende en gran medida la obtención de los rendimientos potenciales que pueden obtenerse con los diversos genotipos, especialmente en los sistemas de producción intensiva de hortalizas.

1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo (19°29' N, 98°53' O y 2,240 m de altitud), en el periodo del 14 de abril al 18 de agosto de 2006, bajo condiciones de hidroponia en invernadero. Se utilizó el híbrido de pepino "Saber[®]", tipo slicer, americano, ginoico, color verde oscuro, con longitud de 18 a 20 cm, producido por la compañía Enza Zaden, de Israel. Se obtuvieron

plántulas a través de la siembra de semillas en charolas de unisel con turba (Peat-Moss®). Veinticinco días después de la siembra, se realizó el trasplante, cuando las plántulas tuvieron la primera hoja verdadera completamente expandida. La unidad experimental consistió en una planta de pepino sembrada en una bolsa de polietileno negro, calibre 700, de 0.40 m x 0.45 m. El sustrato fue tezontle rojo. La separación entre hileras de plantas fue de 1.0 m, y de 0.30 m entre plantas, lo que correspondió a una densidad de población de 3.3 plantas m⁻². Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, con tres repeticiones. Se evaluaron cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (1961): 25 %, 75 %, 125 % y 175 %. Durante 30 días después del trasplante, se aplicaron 150 mL diarios de la respectiva solución por planta, distribuidos en tres riegos de 50 mL; de los 31 a los 60 días después del trasplante se aplicaron 300 mL diarios por planta, en tres riegos de 100 mL; del día 61 al 135, se aplicaron 600 mL diarios por planta distribuidos en tres riegos de 200 mL. El intervalo entre riegos fue de 4 horas. Se utilizó un sistema hidropónico abierto con riego por goteo. Cada ocho días los riegos se realizaron con agua acidulada con pH 5.5, para evitar la salinización del sustrato. El cultivo se desarrolló a libre crecimiento, sin realizar podas, y se hizo tutorado de espaldera 15 días después del trasplante mediante malla plástica con cuadrícula de 10 x 10 cm. Se hicieron aplicaciones cada 15 días de oxiclورو de cobre con mancozeb, en dosis de 0.5 g litro⁻¹, y cuando fue necesario malathión para el control de plagas, en dosis de 0.5 mL litro⁻¹.

A partir del trasplante y hasta los 135 días después, se realizaron muestreos destructivos cada 15 días, en los que se registraron longitud del tallo principal (en cm, desde la base de la planta hasta el punto distal de crecimiento), diámetro del tallo principal (en mm, a 1 cm de la base de la planta), número de hojas, área foliar (en cm², con integrador Li-Cor Li-3100®), número de flores y número de frutos, el rendimiento de fruto fresco (kg planta⁻¹) se evaluó entre los 49 y 120 días después del trasplante.

El análisis estadístico se llevó a cabo con análisis de varianza (ANAVA), pruebas de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$). Por las características de la información obtenida en las variables longitud, diámetro del tallo principal, número de frutos y rendimiento, se aplicó regresión no lineal basada en el modelo logístico: $y = \frac{A}{(1 + B \cdot e^{-C \cdot x})}$, donde y: variable respuesta; A: máximo valor observado; B: no tiene significado biológico, y solo toma lugar en el tiempo inicial, cuando x=0; x=días después del trasplante; C: parámetro relacionado con el valor de x para el punto de inflexión; e: constante matemática, base del logaritmo natural= 2.718281828.

1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Longitud y diámetro del tallo principal

Los modelos logísticos obtenidos se presentan en el Cuadro 1. El comportamiento del crecimiento a través del tiempo, en longitud y diámetro del tallo principal (Figura 1), describió una forma sigmoide, y se hizo estable, en general, desde los 90 días después del trasplante, ya que en esa etapa, los frutos son el principal sitio de demanda de fotoasimilados, y las estructuras vegetativas disminuyen su crecimiento, para dar prioridad al desarrollo de estructuras reproductivas, lo que coincidió con lo encontrado por otros investigadores (Marcelis, 1992 a; Marcelis, 1994 a).

Cuadro 1. Modelos logísticos para estimar longitud y diámetro del tallo principal de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución de Steiner (%)		PV
Longitud del tallo principal		
25	$y = 248.475 / (1 + 38.2037e^{-0.065001 * ddt})$	0.99
75	$y = 262.402 / (1 + 24.6020e^{-0.056791 * ddt})$	0.99
125	$y = 239.928 / (1 + 34.0977e^{-0.071345 * ddt})$	0.99
175	$y = 279.502 / (1 + 26.0061e^{-0.057949 * ddt})$	0.99
Diámetro del tallo principal		
25	$y = 14.8279 / (1 + 3.4892e^{-0.026822 * ddt})$	0.99
75	$y = 14.3848 / (1 + 2.9776e^{-0.029453 * ddt})$	0.99
125	$y = 13.6924 / (1 + 3.3340e^{-0.040375 * ddt})$	0.99
175	$y = 18.3567 / (1 + 4.7054e^{-0.035676 * ddt})$	0.99

y: longitud del tallo principal, diámetro del tallo principal, número de hojas; ddt: días después del trasplante; PV: proporción de variabilidad que indica la confiabilidad del modelo=suma de cuadrados de regresión/suma de cuadrados total.

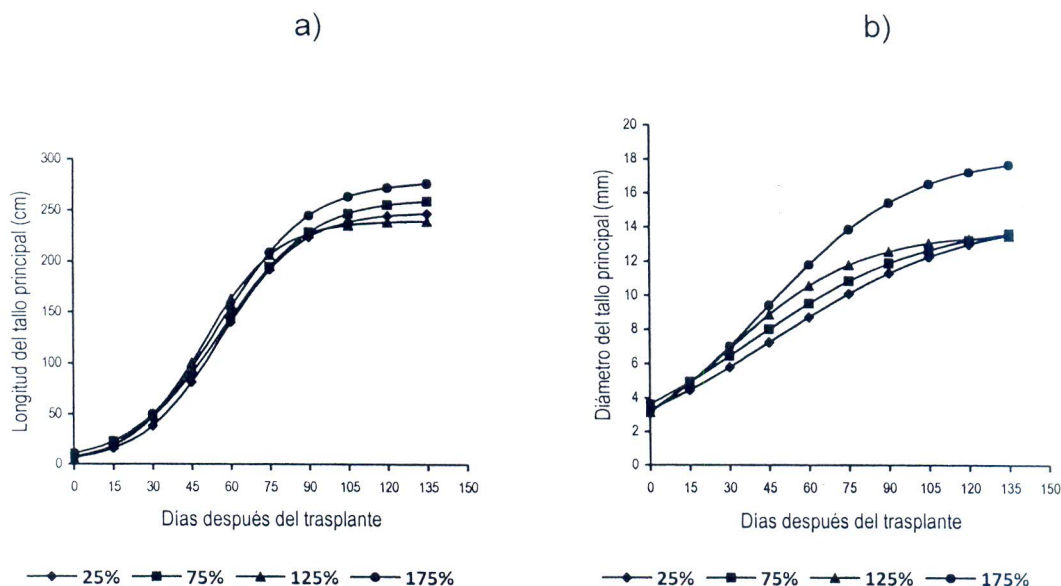


Figura 1. Crecimiento del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, representado mediante modelos logísticos: a) Longitud del tallo principal; b) Diámetro del tallo principal. Chapingo, México, 2006.

Respecto a la longitud del tallo principal, en términos generales no hubo diferencias significativas por efecto de concentración de la solución nutritiva. A los 30, 120 y 135 DDT la concentración del 175 % superó a las demás (Cuadro 2). En las dos últimas fechas, las soluciones del 25 y 75 % disminuyeron el desarrollo del cultivo con relación al logrado con la concentración del 175 % (Figura 1a). La mayor disponibilidad de nutrimentos en dicha concentración, provocó en el cultivo mayor crecimiento, lo cual muestra la capacidad de la planta para interaccionar con los factores ambientales a los que se encuentra expuesta (Hunt, 1982) durante su desarrollo.

En cuanto al diámetro del tallo principal, hasta los 45 DDT no hubo diferencias entre concentraciones (Cuadro 2). A los 60 DDT y entre los 90 y 135 DDT las concentraciones del 25, 75 y 125 % tuvieron menor expresión de dicha variable con respecto a la concentración del 175 % (Cuadro 3).

La menor disponibilidad de nutrimentos de las soluciones del 25, 75 y 125 %, fue el factor más importante que afectó el crecimiento durante el ciclo biológico de la planta, lo que hace que su desarrollo se separe considerablemente de lo que se espera como óptimo, al producir daños fisiológicos irreversibles (Pérez y Martínez, 1994).

Número de hojas, área foliar y número de flores

En el caso de estas variables no se encontraron modelos que explicaran de manera adecuada su comportamiento real, situación encontrada en otras especies de la misma familia, como el melón (Barraza, 2005), debido a que la aparición de estas estructuras es afectada por las relaciones fuente demanda de la planta, al haberse desarrollado a libre crecimiento, lo que está influenciado principalmente por la presencia de frutos y senescencia general como ocurre en otros cultivos (Gifford y Evans, 1981).

Cuadro 2. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de longitud y diámetro del tallo principal de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.

FV	GL	Días después del trasplante									
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135
Concentración	3	Longitud del tallo principal									
		0.0067 ^z	1.08	55.41*	712.47	143.78	94.08	433.42	735.67	700.22*	638.00*
Bloque	2	0.0108	4.67	21.06	122.33	776.08	288.08	261.58	31.08	64.33	6.33
Error	6	0.1050	0.61	54.71	261.56	40.19	478.75	365.58	210.75	82.89	120.67
Total	11										
CV		4.51	9.11	7.00	16.32	3.95	11.74	8.26	6.05	3.55	4.08
		Diámetro del tallo principal									
Concentración	3	0.0053	0.06	1.20	3.52	2.96**	8.90	16.85**	11.86**	10.78**	9.56*
Bloque	2	0.0133	0.04	0.14	0.27	0.09	0.49	0.27	0.25	0.25	1.00
Error	6	0.0044	0.15	0.30	0.94	0.30	1.88	0.27	0.36	0.36	0.22
Total	11										
CV		2.25	8.27	7.65	11.45	5.61	11.94	4.07	4.37	4.14	3.14

^zValores de cuadrados medios; CV: coeficiente de variación; * significativo con $\alpha \leq 0.05$; ** significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 3. Comparación de medias de longitud y diámetro del tallo principal de la planta de pepino, en diferentes muestreos. Chapingo, México, 2006.

DDT	Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)								DMS
	25		75		125		175		
Longitud del tallo principal									
0	2.97	a ^z	2.87	a	2.93	a	2.97	a	0.3739
15	9.00	a	8.17	a	8.67	a	8.50	a	2.2096
30	37.83	b	42.00	a	44.67	ab	48.00	a	8.5348
45	71.17	a	104.00	a	108.83	a	107.33	a	45.712
60	156.33	a	154.00	a	169.33	a	163.00	a	17.920
75	183.33	a	180.33	a	189.33	a	192.67	a	61.844
90	221.33	a	224.67	a	231.33	a	248.33	a	54.043
105	224.00	a	245.00	a	231.00	a	259.33	a	41.033
120	251.33	ab	259.67	ab	239.67	b	276.00	a	25.733
135	266.33	ab	267.33	ab	254.33	b	289.33	a	31.048
Diámetro del tallo principal									
0	2.97	a	3.00	a	2.97	a	2.90	a	0.1844
15	4.53	a	4.80	a	4.60	a	4.80	a	1.0947
30	6.33	a	7.35	a	7.35	a	7.83	a	1.5601
45	7.00	a	8.33	a	9.00	a	9.50	a	2.7367
60	8.67	b	9.33	ab	10.37	a	10.87	a	1.5546
75	10.00	a	10.17	a	12.07	a	13.63	a	3.8709
90	11.33	b	11.83	b	11.67	b	16.33	a	1.4709
105	12.33	b	12.67	b	13.33	b	16.67	a	1.6985
120	13.67	b	13.67	b	13.33	b	17.33	a	1.6985
135	14.00	b	14.00	b	14.33	b	17.67	a	1.3324

^z Valores con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DDT: días después del trasplante; DMS: diferencia mínima significativa.

Con relación al número de hojas, en todo el ciclo del cultivo las concentraciones del 125 y 175 % presentaron igual comportamiento, y fueron superiores a las concentraciones del 25 y 75 % entre los 60 y 75 DDT, y entre los 105 y 120 DDT (Cuadros 4 y 5).

El mayor número de hojas que se presentó con la solución del 175 %, es favorable en la producción, ya que la cantidad de fotosíntesis y el crecimiento están íntimamente relacionados (Fogg, 1967).

En vista de la mayor cantidad de nutrimentos disponibles, como en el caso de la solución del 175 %, se obtuvo mayor número de hojas y en consecuencia mayor superficie foliar que contribuyó a que el proceso fotosintético incrementara, lo que se manifestó en mayor crecimiento, ya que la fotosíntesis de la planta, depende del área foliar y de la actividad fotosintética por unidad de área de este tejido (Fogg, 1967).

Respecto al área foliar, no hubo diferencias entre concentraciones hasta los 45 DDT (Cuadro 4). En esta fase juvenil, el crecimiento fue lento, posiblemente porque las hojas recién expandidas del cultivo se comportan más como sitios de demanda, e importan asimilados procedentes de otras hojas (Peil y Galvez, 2005). Posteriormente, en la concentración del 25 % se observaron valores más bajos a partir de los 60 DDT; en cambio, la concentración del 175 %, tuvo la mayor expresión de esta variable (Cuadro 5).

En lo concerniente al número de flores, solamente hubo diferencias entre los 45 y 60 DDT (Cuadro 4), en donde la concentración del 25 % presentó la menor expresión de esta variable, mientras que la concentración del 175 % tuvo, en general, mayores valores (Cuadro 5).

Cuadro 4. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de número de hojas, área foliar y número de flores de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.

FV	GL	Días después del trasplante										
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	
Concentración	3	Número de hojas										
Bloque	2	5.1 ^z	481.64	1019.56**	1591.56*	1140.56	3440.89**	5887.19**	355.64			
Error	6	0.08	4.3333	36.75	453.08	381.58	238.58	97.58	106.58			
Total	11	1.528	121.22	20.31	183.97	485.47	255.47	585.36	192.14			
CV		11.32	30.51	17.39	16.61	24.26	19.34	29.48	38.95			
Concentración	3	Área foliar										
Bloque	2	5.91x10 ⁻⁹	1.38x10 ⁻⁶	0.00116	0.43	0.23**	0.38*	0.47**	0.28*	1.01**	0.04	
Error	6	5.58x10 ⁻⁹	1.63x10 ⁻⁶	0.0002	0.08	0.0014	0.07	0.014	0.03	0.03	0.0002	
Total	11	2.56x10 ⁻⁹	0.0000014	0.0019	0.05	0.0012	0.043	0.009	0.03	0.03	0.02	
CV		13.13	12.69	18.70	53.26	14.22	12.29	18.05	20.67	21.24	47.19	
Concentración	3	Número de flores										
Bloque	2	0.31	94.53**	496.56**	407.22	264.08	141.64	604.67	12.67			
Error	6	0.58	4.08	72.75	343.58	118.75	10.33	467.58	10.58			
Total	11	0.14	5.86	129.14	1.88	288.75	52.56	441.58	47.92			
CV		10.40	13.77	31.42	11.94	46.24	46.52	90.06	74.17			

^zValores de cuadrados medios; CV: coeficiente de variación; * significativo con $\alpha \leq 0.05$; ** significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 5. Comparación de medias de número de hojas, área foliar y número de flores de la planta de pepino, en diferentes muestreos. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)									
DDT	25		75		125		175		DMS
Número de hojas									
0	1.00	a ^z	1.00	a	1.00	a	1.00	a	0.000
15	4.00	a	4.00	a	4.00	a	4.00	a	0.000
30	9.00	a	11.00	a	11.33	a	12.33	a	3.494
45	18.33	a	39.67	a	38.00	a	48.33	a	31.120
60	39.00	c	54.33	b	69.00	a	81.67	a	12.737
75	50.67	b	78.67	ab	103.33	a	94.00	a	38.337
90	69.67	a	79.00	a	105.33	a	109.33	a	62.277
105	36.00	b	82.67	a	96.67	a	115.33	a	45.177
120	24.67	b	75.67	ab	98.00	a	130.00	a	68.384
135	22.33	a	35.33	a	49.00	a	35.67	a	39.179
Área foliar									
0	0.0016	a	0.0016	a	0.0017	a	0.0017	a	0.0001
15	0.0088	a	0.0091	a	0.0104	a	0.0093	a	0.0034
30	0.0681	a	0.0973	a	0.1039	a	0.1130	a	0.0505
45	0.1547	a	0.4794	a	0.4303	a	0.6846	a	0.6582
60	0.4689	c	0.8491	b	0.9490	b	1.2717	a	0.1012
75	0.5439	b	1.2013	a	1.3270	a	1.2049	a	0.5828
90	0.6869	c	1.0782	b	1.3305	b	1.6268	a	0.2686
105	0.3886	b	0.9151	a	0.9934	a	1.0532	a	0.4893
120	0.0830	c	0.7437	b	1.1091	ab	1.4345	a	0.5058
135	0.1216	a	0.3243	a	0.3632	a	0.3136	a	0.3743
Número de flores									
30	3.33	a	3.33	a	3.67	a	4.00	a	1.05
45	9.67	b	20.00	a	18.00	a	22.67	a	6.84
60	24.00	b	33.67	b	42.00	ab	54.33	a	18.67
75	26.33	a	35.67	a	52.67	a	30.00	a	32.12
90	23.67	a	38.67	a	38.67	a	46.00	a	48.03
105	5.33	a	18.33	a	18.67	a	20.00	a	20.49
120	5.33	a	19.00	a	37.00	a	32.00	a	59.40
135	12.00	a	9.33	a	9.00	a	7.00	a	19.57

^z Valores con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DDT: días después del trasplante; DMS: diferencia mínima significativa.

Es posible que con la concentración del 25 % se presentara un alto porcentaje de aborto de flores, lo que trajo como consecuencia el escaso desarrollo posterior de frutos, en virtud del poco crecimiento general presentado por las plantas sometidas a esa concentración nutrimental, ya que la cantidad de nutrimentos suministrada a los cultivos de explotación intensiva como las hortalizas, influye sobre el crecimiento y la formación de órganos (Güenkov, 1974).

Además de lo anterior, la poca cantidad de flores que se presentó con la aplicación de la solución nutritiva del 25 %, es resultado de la poca fotosíntesis debida a las limitaciones del crecimiento referidas (De Lint y Heij, 1980). Por otra parte, las condiciones nutrimentales del cultivo con solución del 175 %, propiciaron que las plantas expresaran de manera óptima su potencial productivo, ya que con los cultivares ginoicos utilizados en la actualidad se obtienen incrementos considerables en rendimiento, mientras se brinden las condiciones nutrimentales adecuadas (Visser, 1980; Skierkowski y Dobrzanska, 1980).

Respecto al rendimiento acumulado por planta, se obtuvo un comportamiento similar en las concentraciones del 75, 125 y 175 % (Cuadro 6). Por otra parte, la concentración del 25 % provocó los menores valores (Cuadro 7). Esta situación muestra que para obtener óptimo rendimiento y calidad en pepino, es necesario que los nutrimentos en el sustrato estén en cantidad suficiente (Güenkov, 1974).

Cuadro 6. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de rendimiento acumulado por planta y número de frutos acumulados por planta del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.

FV	GL	Días después del trasplante											
		49	54	59	64	75	80	87	92	99	105	114	120
Rendimiento acumulado por planta													
Concentració	3	0.00064**	0.0050 ^z	0.0237*	0.5090 ^z	0.1230**	0.2989**	0.6035**	1.0793**	1.7942**	3.2061**	5.8898**	9.8260***
Bloque	2	0.00023	0.0003	0.001	0.0005	0.00015	0.0050	0.0072	0.0110	0.0233	0.0261	0.0183	0.0108
Error	6	0.00004	0.0011	0.0031	0.0063	0.0147	0.0252	0.0338	0.0493	0.0757	0.1333	0.2080	0.3024
Total	11												
CV		40.00	43.55	25.66	20.39	18.43	15.00	11.28	9.90	9.43	9.59	18.95	8.86
Número de frutos acumulados por planta													
Concentració	3	0.19*	1.52	3.86*	2.15	7.71*	14.42**	13.20**	14.84**	22.30**	36.19**	47.91**	54.28**
Bloque	2	0.27	0.02	0.12	0.15	0.18	0.51	0.15	0.62	1.54	0.22	0.009	0.07
Error	6	0.018	0.52	0.52	0.53	1.10	0.90	0.77	1.54	1.54	2.30	1.85	5.04
Total	11												
CV		23.08	46.52	22.20	18.40	18.55	11.70	8.69	1126	9.98	10.93	9.09	13.72

^zValores de cuadrados medios; CV: coeficiente de variación; * significativo con $\alpha \leq 0.05$; ** significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 7. Comparación de medias del rendimiento acumulado por planta y número de frutos acumulados por planta del cultivo de pepino, en diferentes muestreos. Chapingo, México, 2006.

DDT	Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)								DMS
	25		75		125		175		
Rendimiento acumulado por planta									
49	0.00	c	0.01	bc	0.02	ab	0.03	a	0.019
54	0.03	a	0.06	a	0.10	a	0.12	a	0.096
59	0.11	b	0.18	ab	0.29	a	0.29	a	0.157
64	0.23	b	0.33	ab	0.50	a	0.50	a	0.224
75	0.39	b	0.61	ab	0.80	a	0.83	a	0.343
80	0.62	b	1.05	ab	1.26	a	1.31	a	0.449
87	0.98	b	1.69	a	1.90	a	1.95	a	0.520
92	1.36	b	2.37	a	2.58	a	2.66	a	0.628
99	1.78	b	3.12	a	3.31	a	3.47	a	0.778
105	2.28	b	4.08	a	4.30	a	4.57	a	1.032
114	2.91	b	5.28	a	5.62	a	6.03	a	1.289
120	3.58	b	6.56	a	7.01	a	7.67	a	1.554
Número de frutos acumulados por planta									
49	0.00	c	0.33	b	0.57	ab	0.83	a	0.388
54	0.80 ^z	a	1.13	a	1.97	a	2.33	a	2.049
59	1.73	b	3.10	ab	4.30	a	3.89	a	2.042
64	2.84	a	3.76	a	4.60	a	4.63	a	2.058
75	3.34	b	6.01	ab	6.18	ab	7.05	a	2.959
80	4.84	b	9.10	a	9.01	a	9.50	a	2.684
87	6.98	b	11.38	a	10.97	a	11.12	a	2.484
92	7.74	b	11.95	a	11.77	a	12.65	a	3.509
99	8.51	b	13.67	a	12.92	a	14.70	a	3.511
105	8.83	b	14.83	a	15.14	a	16.75	a	4.290
114	9.30	b	15.43	a	16.47	a	18.62	a	3.846
120	10.50	b	16.90	a	17.34	a	20.68	a	6.344

^z Valores con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DDT: días después del trasplante; DMS: diferencia mínima significativa.

Las soluciones del 75, 125 y 175 % tuvieron estadísticamente el mismo comportamiento en cuanto a mayor rendimiento por planta; lo cual indica, que

en esas condiciones nutrimentales la planta de pepino formó una arquitectura y estructura con mayor longitud y diámetro del tallo principal, número de hojas, área foliar y número de flores, capaces de sostener más frutos, que se manifestaron en mayor rendimiento.

El Cuadro 8 presenta los modelos logísticos obtenidos para rendimiento acumulado por planta, y su comportamiento se observa en la Figura 2.

Cuadro 8. Modelos logísticos para estimar número de frutos y rendimiento acumulado por planta del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución (%)		PV
Número de frutos acumulados por planta		
25	$y = 9.82522 / (1 + 950.463e^{-0.087017 \cdot ddt})$	0.99
75	$y = 15.8799 / (1 + 1,301.680e^{-0.091786 \cdot ddt})$	0.99
125	$y = 18.4843 / (1 + 227.664e^{-0.065568 \cdot ddt})$	0.99
175	$y = 22.0150 / (1 + 217.971e^{-0.062236 \cdot ddt})$	0.99
Rendimiento acumulado por planta		
25	$y = 4.10422 / (1 + 2,869.69e^{-0.078042 \cdot ddt})$	0.99
75	$y = 7.94243 / (1 + 3,436.22e^{-0.078112 \cdot ddt})$	0.99
125	$y = 10.2436 / (1 + 1,491.59e^{-0.066526 \cdot ddt})$	0.99
175	$y = 10.989 / (1 + 1,702.98e^{-0.067679 \cdot ddt})$	0.99

y: longitud del tallo principal, diámetro del tallo principal, número de hojas; ddt: días después del trasplante; PV: proporción de variabilidad que indica la confiabilidad del modelo=suma de cuadrados de regresión/suma de cuadrados total.

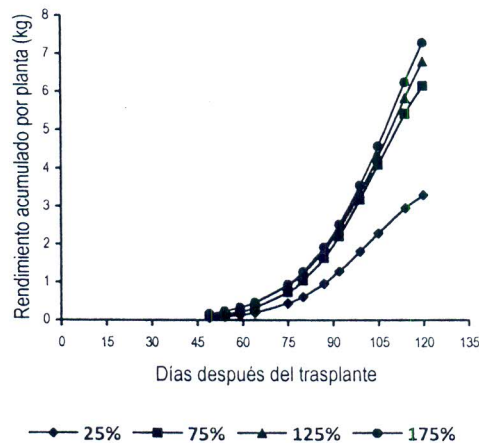


Figura 2. Rendimiento acumulado por planta del cultivo de pepino en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Número de frutos acumulados por planta

Los modelos logísticos obtenidos se presentan en el Cuadro 8. El comportamiento del número de frutos acumulados por planta fue sigmoide (Figura 3), al igual que lo encontrado por otros autores (Marcelis, 1992 b; Schapendonk y Challa, 1980; Davies y Kempton, 1976).

El comportamiento de esta variable fue igual en las concentraciones del 75, 125 y 175 % a partir de los 75 días después del trasplante (Cuadro 6). La concentración del 25 % fue la que provocó menor expresión (Cuadro 7). Lo anterior se debió al poco suministro nutrimental.

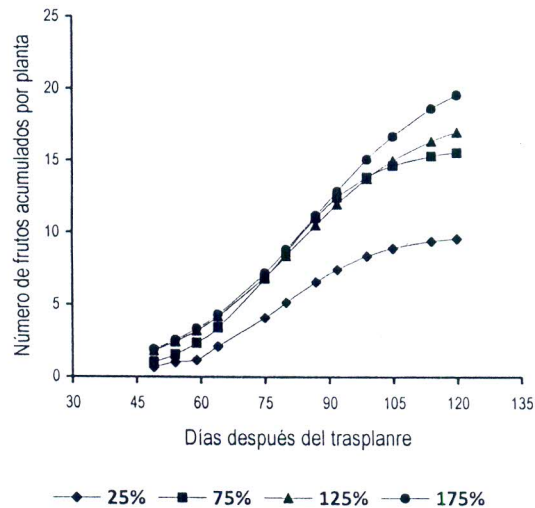


Figura 3. Crecimiento del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, representado mediante modelos logísticos: número de frutos acumulados por planta. Chapingo, México, 2006.

1.6. CONCLUSIONES

El mayor crecimiento y rendimiento se obtuvo con la aplicación de las soluciones nutritivas de Steiner del 75, 125 y 175 % de concentración en el sistema hidropónico, debido a que éstas proveen mayor disponibilidad de nutrimentos.

Con la aplicación de la solución nutritiva de Steiner del 25 % de concentración, el proceso de crecimiento se vio afectado, lo que influyó en bajo rendimiento.

Con la aplicación de la solución nutritiva de Steiner del 25 %, hubo retraso de cinco días en la llegada a madurez comercial de los frutos.

1.7. LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 2007. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Exportaciones Agropecuarias de México. Coordinación General de Comunicación Social. D.F. México. 70 p.
- BARRAZA, F. 2005. Fisiología del Cultivo del Melón. Editorial Compugráficas y Comunicaciones. Montería, Córdoba, Colombia. 163 p.
- DAVIES, J.; KEMPTON, R. 1976. Some changes in the composition of the fruit of the glasshouse cucumber (*Cucumis sativus*) during growth, maturation and senescence. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 27 (5): 413-418.
- DE LINT, P. J. A. L.; HEIJ, G. 1980. Glasshouse cucumber, effects of planting date and night temperature on flowering and fruit development. *Acta Horticulturae* 118: 123-133.
- FAGERIA, N.; BALIGAR, V.; JONES, CH. 1991. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Ed. Marcel Decker, Inc. New York, USA. 476 p.
- FOGG, G. E. 1967. El Crecimiento de las Plantas. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). Buenos Aires, Argentina. 327 p.
- GIFFORD, R. M.; EVANS, L. T. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. *Annual Review of Plant Physiology* 32: 485-509.
- GÜENKOV, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 355 p.
- HUNT, R. 1982. Plant growth analysis: second derivatives and compounded second derivatives of splined plant growth curves. *Annals of Botany* 50(3): 317-328.
- KRUG, H. 1985. Growth processes and crop growth modelling. *Acta Horticulturae* 174: 193-204.
- MARCELIS, L.F.M. 1992 a. Non-destructive measurements and growth analysis of the cucumber fruit. *Journal of Horticultural Science* 67: 457-464.
- MARCELIS, L.F.M., 1992 b. The dynamics of growth and dry matter distribution in cucumber. *Annals of Botany* 69: 487-492.

- MARCELIS, L.F.M., 1994 a. Effect of fruit growth, temperature and irradiance on biomass allocation to the vegetative parts of cucumber. Netherlands Journal of Agricultural Science 42: 115-123.
- MARCELIS, L.F.M. 1994 b. Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber. L.F.M. MARCELIS (ed.). The DLO-Research Institute of Agrobiology and Soil Fertility. Wageningen, The Netherlands. 173 p.
- PEIL, R.; GALVEZ, J. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. R. bras. Agrociência 11 (1): 5-11.
- PÉREZ G., F.; MARTÍNEZ L., J. 1994. Introducción a la Fisiología Vegetal. Mundi-Prensa. Madrid, España. 218 p.
- SCHAPENDONK, A.H.C.M.; CHALLA, H. 1980. Assimilate requirements for growth and maintenance of the cucumber fruit. Acta Horticulturae 118: 73-82.
- SKIERKOWSKI, J.; DOBRZANSKA, J. 1980. Greenhouse cucumber production and research in Poland. Acta Horticulturae 118: 41-55.
- STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. Reprint from Plant and Soil. XV(1961): 134-154.
- VISSER, A. J. 1980. Economic aspects of cucumber growing in the Netherlands. Acta Horticulturae 118: 11-16.
- WILD, A. 1992. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Russel. Mundi-Prensa. Madrid, España. 1045 p.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DEL PEPINO

(*Cucumis sativus* L.) EN CUATRO CONCENTRACIONES NUTRIMENTALES.

II. ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA E ÍNDICES DE EFICIENCIA

Análisis de crecimiento del pepino (*Cucumis sativus* L.) En cuatro concentraciones nutrimentales. II. Acumulación de materia seca e índices de eficiencia

Growth analysis of the cucumber crop (*Cucumis sativus* L.) in four nutrient concentrations. II. Dry matter accumulation and efficiency indexes

Fernando Vicente Barraza Alvarez¹ y Rogelio Castro Brindis²

Resumen

Con el propósito de generar información sobre algunos aspectos fisiológicos que permitan mejorar el manejo actual que recibe la nutrición mineral en el ciclo de cultivo del pepino (*Cucumis sativus* L.), durante abril a agosto de 2006 en la Universidad Autónoma Chapingo, México, se cultivó en invernadero el híbrido "Saber[®]" en hileras de 1.0 m y 0.30 m entre plantas, bajo cuatro concentraciones nutrimentales (25, 75, 125 y 175 %) de la solución nutritiva de Steiner, con el diseño experimental de bloques al azar con tres repeticiones. Durante 135 días después del trasplante, se registró cada 15 días la materia seca de tallos, hojas, zarcillos, flores, frutos y total, con los que se calcularon los índices de eficiencia: tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento e índice de cosecha. Con la concentración del 175 % de la solución nutritiva de Steiner se obtuvo la mayor acumulación de materia seca en las diferentes estructuras, así como una mayor eficiencia en su desarrollo.

Palabras clave: materia seca, tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento.

Abstract

With the purpose of generating information on some physiologic aspects that allow us to improve the current mineral nutrition handling of the cucumber (*Cucumis sativus* L.), during April to August of 2006 in the "Universidad Autónoma Chapingo", México, it was cultivated in greenhouse the cucumber hybrid "Saber[®]" in arrays of 1.0 m and 0.30 m among plants, under four nutrimental concentrations (25, 75, 125 and 175 %) of the nutrient solution of Steiner. The experimental design was at random of blocks with three replications. During 135 days after the transplant, we registered every 15 days the dry matter of stems, leaves, earrings, flowers, fruit and total dry matter, and using them we calculated the efficiency indexes: absolute growth rate, relative growth rate and harvest index. The concentration of 175 % of the nutrient solution of Steiner showed the highest accumulation of dry matter in the different structures, as well as a higher efficiency in its development.

Key words: dry matter, absolute growth rate, relative growth rate.

¹ Tesista

² Director

2.3. INTRODUCCIÓN

Para la economía agrícola del país, el sector de las hortalizas tiene particular importancia por su contribución en la generación de divisas y empleo en el sector rural. En el caso del pepino, México es el segundo exportador mundial (Anónimo, 2007). Este potencial y por otra parte, la necesidad del conocimiento sobre el cultivo para llevar a cabo prácticas agronómicas adecuadas y mejorar los sistemas de producción, hacen que se requiera del estudio de los procesos básicos de acumulación de materia seca e índices de eficiencia a los cuales se relaciona la obtención de altos rendimientos debido al potencial productivo de los genotipos empleados y a los diversos niveles de aplicación de tecnologías para su producción.

Por medio del análisis de crecimiento se detecta la influencia del ambiente y del genotipo sobre el desarrollo y productividad de los cultivos, mediante el estudio de la acumulación de materia seca y los índices de eficiencia, lo cual explica el comportamiento de las especies en condiciones ambientales específicas, así como la relación entre el aparato asimilatorio y la producción de biomasa. Por ejemplo, la tasa absoluta de crecimiento, como medida indirecta de la fotosíntesis representa el incremento en tamaño de la planta por unidad de tiempo; y la tasa relativa de crecimiento expresa el incremento en peso seco de la planta en un intervalo de tiempo, con relación al peso seco inicial (Mora *et al.*, 2006).

En el cultivo del pepino, uno de los niveles del ambiente en los cuales tiene marcada respuesta la acumulación de materia seca, es el contenido nutrimental del suelo o sustrato donde crece. Está documentado que la acumulación de materia seca, el rendimiento y calidad responden de manera positiva al incremento en el suministro de nutrimentos (Peil y Galvez, 2005).

Por lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo estudiar la respuesta de la acumulación de materia seca por órganos y total, en cuatro niveles de disponibilidad nutrimental con la solución nutritiva de Steiner, para determinar la concentración que maximice la acumulación de materia seca, los índices de eficiencia fisiológica: tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento e índice de cosecha, y rendimiento.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo (19°29' N, 98°53' O y 2,240 m de altitud), en el periodo del 14 de abril al 18 de agosto de 2006, bajo condiciones de hidroponía en invernadero. Se utilizó el híbrido de pepino "Saber[®]", tipo slicer, americano, ginoico, color verde oscuro, con longitud de 18 a 20 cm, producido por la compañía Enza Zaden, de Israel. Se obtuvieron plántulas a través de la siembra de semillas en charolas de unisel con turba (Peat-Moss[®]). Veinticinco días después de la siembra, se realizó el trasplante, cuando las plántulas tuvieron la primera hoja verdadera completamente expandida. La unidad experimental consistió en una planta de pepino sembrada

en una bolsa de polietileno negro, calibre 700, de 0.40 m x 0.45 m. El sustrato fue tezontle rojo. La separación entre hileras de plantas fue de 1.0 m, y de 0.30 m entre plantas, lo que correspondió a una densidad de población de 3.3 plantas m⁻². Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, con tres repeticiones. Se evaluaron cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (1961): 25 %, 75 %, 125 % y 175 %. Durante 30 días después del trasplante, se aplicaron 150 mL diarios de la respectiva solución por planta, distribuidos en tres riegos de 50 mL; de los 31 a los 60 días después del trasplante se aplicaron 300 mL diarios por planta, en tres riegos de 100 mL; del día 61 al 135, se aplicaron 600 mL diarios por planta distribuidos en tres riegos de 200 mL. El intervalo entre riegos fue de 4 horas. Se utilizó un sistema hidropónico abierto con riego por goteo. Cada ocho días los riegos se realizaron con agua acidulada con pH 5.5, para evitar la salinización del sustrato. El cultivo se desarrolló a libre crecimiento, sin realizar podas, y se hizo tutorado de espaldera a los 15 días después del trasplante (DDT) mediante malla plástica con cuadrícula de 10 cm. Se hicieron aplicaciones cada 15 días de oxiclورو de cobre con mancozeb, en dosis de 0.5 g litro⁻¹, y cuando fue necesario malathión para el control de plagas, en dosis de 0.5 mL litro⁻¹.

A partir del trasplante y hasta los 135 días después, se realizaron muestreos destructivos cada 15 días, en los que se registraron: peso seco de tallos, hojas, zarcillos, flores, frutos inmaduros, frutos comerciales y peso seco total, expresados en gramos. Las muestras se secaron hasta peso constante a 65 °C.

Se calculó el índice de cosecha, mediante la expresión $IC = \left(\frac{r_{\text{económico}}}{r_{\text{biológico}}} \right) \times 100$,

donde r es rendimiento.

Para el análisis estadístico se realizó análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$). A las variables materia seca de tallos, hojas, zarcillos y total, se les aplicó regresión no lineal con el modelo

logístico: $y = \frac{A}{(1 + B \cdot e^{-C \cdot x})}$, donde y : variable respuesta; A : máximo valor

observado; B : no tiene significado biológico, y solo toma lugar en el tiempo inicial, cuando $x=0$; x =días después del trasplante; C : parámetro relacionado con el valor de x para el punto de inflexión; e : constante matemática, base del logaritmo natural= 2.718281828.

A partir de los modelos obtenidos de materia seca total se obtuvieron los índices de eficiencia del análisis de crecimiento para cada tratamiento: tasa absoluta de crecimiento= MS' y tasa relativa de crecimiento= MS'/MS , donde

MS , es la variable respuesta materia seca total y $MS' = \frac{A \cdot B \cdot C \cdot e^{-Cx}}{(1 + B \cdot e^{-Cx})^2}$ es la

primera derivada del modelo logístico de la materia seca total.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Materia seca

Los modelos logísticos obtenidos para materia seca de tallos, hojas, zarcillos y total, se presentan en el Cuadro 1. En la Figura 1 se aprecia que su comportamiento a través del tiempo fue sigmoide (Marcelis, 1992).

La materia seca de tallos presentó su menor expresión con la concentración del 25 %, entre los 30 y 75 DDT y a los 135 DDT. Con la solución del 75 % hubo menores valores a los 30, 60 y 75 DDT; igual situación ocurrió con la solución del 125 % a los 60 y 75 DDT (Cuadro 2). En todas las fechas anteriores, la concentración del 175 % fue superior (Cuadro 3). Esto se relaciona con la mayor cantidad de nutrimentos suministrados con la solución del 175 %, que favorece el crecimiento para la formación de tallos fuertes y con floema bien formado para transportar los carbohidratos y demás productos elaborados hacia los sitios de demanda, lo que en cultivo de pepino tiene importancia en la cantidad y calidad de la producción (Marcelis, 1994).

Con respecto a materia seca de hojas, el menor comportamiento se presentó a los 30 DDT en las concentraciones de 25 y 75%, a los 45 y 105 DDT en las concentraciones del 25, 75 y 125%.

Cuadro 1. Modelos logísticos para estimar materia seca de tallos, hojas, zarcillos y total de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución nutritiva (%)		PV
Materia seca de tallos		
25	$y = 15.46 / (1 + 57.3793e^{-0.0637 \cdot \text{ddt}})$	0.98
75	$y = 26.36 / (1 + 27.6516e^{-0.0476 \cdot \text{ddt}})$	0.96
125	$y = 31.44 / (1 + 26.3684e^{-0.0437 \cdot \text{ddt}})$	0.97
175	$y = 23.40 / (1 + 51.2402e^{-0.0765 \cdot \text{ddt}})$	0.94
Materia seca de hojas		
25	$y = 42.41 / (1 + 584.7e^{-0.1236 \cdot \text{ddt}})$	0.96
75	$y = 70.52 / (1 + 23.8e^{-0.0478 \cdot \text{ddt}})$	0.96
125	$y = 77.98 / (1 + 31.6e^{-0.0548 \cdot \text{ddt}})$	0.95
175	$y = 81.98 / (1 + 19.9e^{-0.0473 \cdot \text{ddt}})$	0.95
Materia seca de zarcillos		
25	$y = 1.61 / (1 + 177.5e^{-0.0859 \cdot \text{ddt}})$	0.94
75	$y = 2.42 / (1 + 57.0e^{-0.0859 \cdot \text{ddt}})$	0.96
125	$y = 2.63 / (1 + 38.8e^{-0.0600 \cdot \text{ddt}})$	0.96
175	$y = 2.36 / (1 + 155.0e^{-0.0973 \cdot \text{ddt}})$	0.95
Materia seca total		
25	$y = 231.366 / (1 + 97.1809e^{-0.054099 \cdot \text{ddt}})$	0.99
75	$y = 467.455 / (1 + 112.358e^{-0.049863 \cdot \text{ddt}})$	0.99
125	$y = 472.763 / (1 + 113.972e^{-0.0522 \cdot \text{ddt}})$	0.99
175	$y = 585.034 / (1 + 78.7891e^{-0.044108 \cdot \text{ddt}})$	0.99

y: longitud del tallo principal, diámetro del tallo principal, número de hojas; ddt: días después del trasplante; PV: proporción de variabilidad que indica la confiabilidad del modelo=suma de cuadrados de regresión/suma de cuadrados total.

En todas esas fechas la concentración del 175 % superó a las demás, excepto a los 120 DDT, en donde el mayor valor se obtuvo con la concentración del 125 % (Cuadros 2 y 3), lo que se vio reflejado en mayor crecimiento foliar de la planta, cuya capacidad para producir hojas es una parte esencial del aumento del rendimiento y productividad en pepino, con lo que posiblemente se propició

intensa respiración, gran actividad fotosintética y mayor absorción de agua y elementos minerales del suelo (Liebig, 1980).

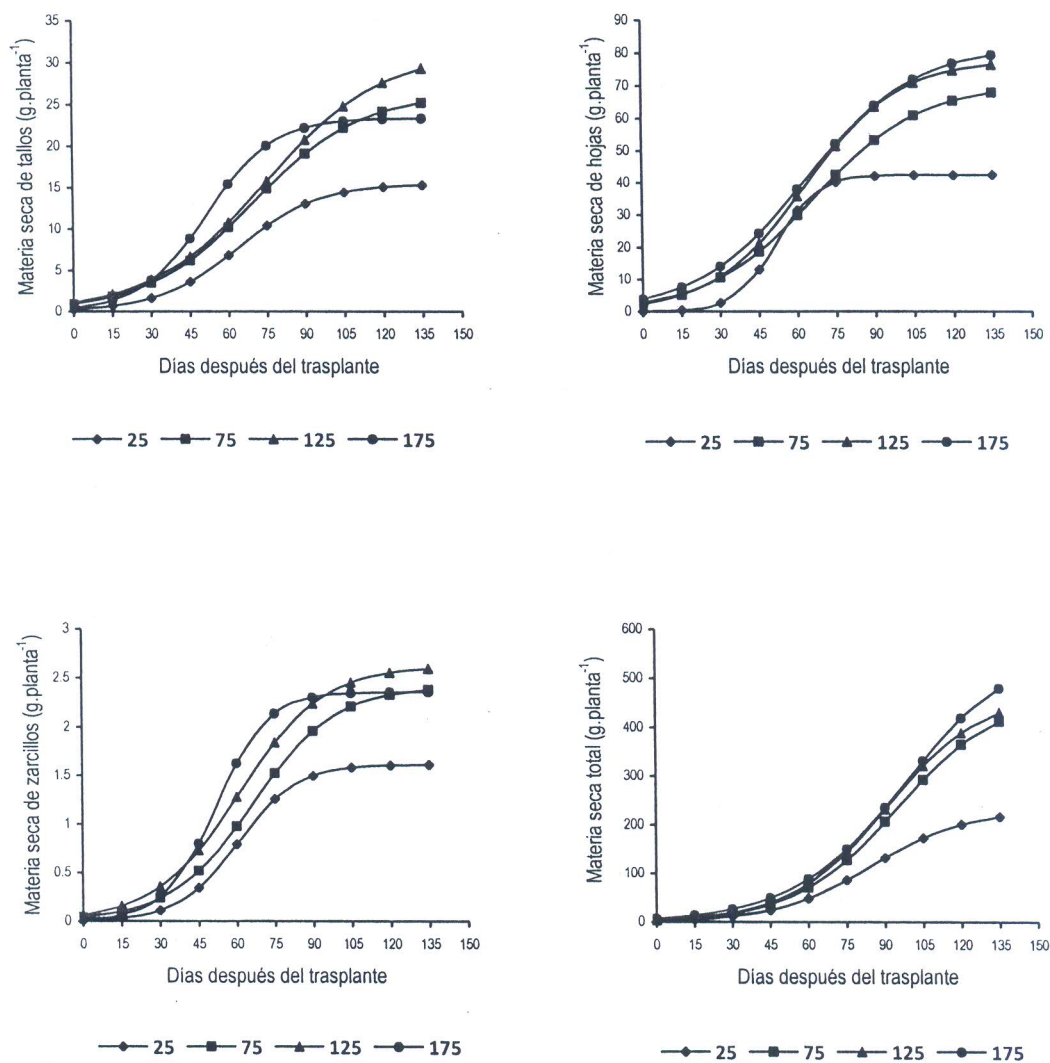


Figura 1. Acumulación de materia seca de tallos, hojas, zarcillos y total del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, representada mediante modelos logísticos. Chapingo, México, 2006.

Cuadro 2. Comparación de medias de materia seca de tallos, hojas y zarcillos de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)									
DDT	25		75		125		175		DMS
Materia seca de tallos									
0	0.02 ^z	a	0.02	a	0.02	a	0.02	a	0.008
15	0.08	a	0.07	a	0.08	a	0.08	a	0.049
30	0.97	b	1.33	ab	1.56	a	1.59	a	0.565
45	3.57	b	8.27	a	8.22	a	10.14	a	3.750
60	8.40	b	10.86	b	13.67	ab	17.46	a	5.634
75	9.05	b	16.66	ab	15.95	ab	18.35	a	8.925
90	13.09	a	14.90	a	17.88	a	18.26	a	10.353
105	14.36	a	25.10	a	25.37	a	24.00	a	13.243
120	16.14	a	21.14	a	27.52	a	21.33	a	15.488
135	14.62	b	27.35	a	29.98	a	28.21	a	7.223
Materia seca de hojas									
0	0.05	a	0.06	a	0.06	a	0.05	a	0.015
15	0.39	a	0.42	a	0.45	a	0.41	a	0.175
30	3.26	b	4.16	ab	5.16	a	5.22	a	1.812
45	12.01	b	28.52	ab	26.13	ab	35.11	a	21.481
60	33.7	a	35.59	a	44.84	a	48.16	a	15.866
75	33.48	a	35.24	a	43.57	a	42.16	a	22.705
90	51.79	a	46.49	a	57.68	a	60.04	a	39.055
105	41.87	b	67.44	ab	68.95	ab	75.51	a	30.917
120	44.65	b	71.72	ab	98.74	a	71.90	ab	38.742
135	35.94	c	62.27	b	60.66	b	84.88	a	18.762
Materia seca de zarcillos									
30	0.04	a	0.07	a	0.07	a	0.08	a	0.049
45	0.34	a	0.78	a	0.96	a	0.83	a	0.662
60	0.94	b	1.03	b	1.46	ab	1.83	a	0.679
75	0.96	a	1.33	a	1.69	a	1.78	a	0.897
90	1.77	a	1.83	a	2.04	a	2.16	a	1.340
105	1.70	a	2.66	a	2.38	a	2.67	a	1.178
120	1.49	a	2.20	a	3.10	a	2.45	a	1.671
135	1.52	a	2.26	a	2.30	a	2.27	a	1.682

^z Valores con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DDT: días después del trasplante; DMS: diferencia mínima significativa.

Cuadro 3. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de materia seca de tallos, hojas y zarcillos de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.

FV	GL	Días después del trasplante									
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135
Materia seca de tallos											
Concentración	3	5.3x10 ^{-7z}	0.00007	0.25*	23.50**	45.42**	50.21*	18.32	83.11	65.16	148.48**
Bloque	2	4.08x10 ⁻⁶	0.00008	0.09	0.88	3.54	7.00	26.35	2.67	22.78	20.48
Error	6	0.000009	0.0003	0.040	1.76	3.97	9.97	13.42	21.95	30.03	6.53
Total	11										
CV		17.09	22.33	14.64	17.58	15.83	21.05	22.85	21.10	25.50	16.21
Materia seca de hojas											
Concentración	3	0.00006	0.0014	2.61*	283.81*	147.80	74.85	111.33	657.44*	1463.04*	1199.92**
Bloque	2	0.00003	0.004	1.17	42.97	9.52	56.69	146.83	265.04	208.99	62.25
Error	6	0.00003	0.0038	0.41	57.76	31.51	64.53	190.93	119.65	187.88	44.06
Total	11										
CV		19.96	14.84	14.41	29.87	13.84	20.80	25.59	17.24	19.10	10.89
Materia seca de zarcillos											
Concentración	3			0.001	0.22	0.51*	0.42	0.10	0.62	1.32	0.43
Bloque	2			0.0004	0.006	0.03	0.19	0.27	0.27	0.02	0.14
Error	6			0.0003	0.055	0.06	0.100	0.22	0.17	0.35	0.35
Total	11										
CV				25.95	32.29	18.27	22.05	24.33	17.71	25.58	28.51

^zValores de cuadrados medios; CV: coeficiente de variación; * significativo con $\alpha \leq 0.05$; ** significativo con $\alpha \leq 0.01$.

La materia seca de zarcillos prácticamente no fue afectada por la variación de las concentraciones nutrimentales. Solo a los 60 DDT tuvo su menor expresión en las concentraciones del 25 y 75 % (Cuadros 2 y 3).

Debido a la variación ocurrida en la cantidad de flores y frutos, su peso seco no tuvo un comportamiento que pudiera ser representado mediante un modelo de regresión adecuado.

La menor expresión de materia seca de flores se presentó con la concentración del 25 % a los 30 y 45 DDT. Con el 75% de concentración la menor expresión ocurrió a los 30, 45 y 120 DDT, mientras que con la concentración del 175 %, la menor expresión se dio a los 30 y 120 DDT (Cuadros 4 y 5).

Los periodos en los que se observa menor materia seca de flores en las bajas concentraciones se deben a un alto porcentaje de aborto de flores, que conduce después a un menor número de frutos, debido al reducido crecimiento general (De Lint y Heij, 1980).

En lo que concierne a materia seca de frutos inmaduros, a los 45 DDT hubo menor expresión con las concentraciones del 25, 75 y 125 %. Con la solución del 25 % sucedió igual situación a los 75, 120 y 135 DDT. En esta última fecha se presentó la menor expresión con las concentraciones del 75 y 125 %. La concentración del 175 % en todas las fechas anteriores superó a las demás.

Cuadro 4. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios de materia seca de flores, frutos inmaduros y total de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.

FV	GL	Días después del trasplante											
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135		
Concentración	3			0.008 ^z	0.87 ^{**}	0.39	0.27	0.48	0.23	3.99	0.81		
	2			0.003	0.006	0.31	0.34	0.56	0.84	1.66	0.10		
	6			0.0009	0.07	1.07	0.38	0.57	0.17	0.92	0.37		
	Total	11											
	CV		22.31	20.71	53.82	35.64	36.40	24.36	35.62	30.82			
Concentración	3			Materia seca de frutos inmaduros									
	2			50.22 ^{**}	259.92	1777.61 ^{**}	100.64	355.54	1448.17 ^{**}	151.91 ^{**}			
	Bloque	2		0.71	340.67	75.77	180.75	293.86	52.58	0.94			
	Error	6		0.16	106.82	32.26	178.71	76.06	419.19	41.61			
	Total	11											
CV		9.10	38.76	11.17	51.97	38.05	66.67	88.64					
Concentración	3			Materia seca total									
	2			0.00006	0.0015	4.92 [*]	827.13 ^{**}	1081.02 ^{**}	5163.07 ^{**}	2386.91	17583.14 ^{**}	44.770.11 ^{**}	35975.15 ^{**}
	Bloque	2		0.00003	0.005	2.02	26.90	481.67	281.46	615.62	467.67	268.25	243.47
	Error	6		0.00003	0.006	0.72	73.22	105.24	195.89	952.08	424.06	1440.53	295.72
	Total	11											
CV		9.75	15.56	14.15	21.72	11.06	10.24	17.99	17.36	19.46	14.65		

^zValores de cuadrados medios; CV: coeficiente de variación; * significativo con $\alpha \leq 0.05$; ** significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 5. Comparación de medias de materia seca de flores, frutos inmaduros y total de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)									
DDT	25		75		125		175		DMS
Materia seca de flores									
30	0.08 ^z	b	0.11	b	0.19	a	0.15	ab	0.082
45	0.58	b	1.32	ab	1.48	a	1.86	a	0.767
60	1.53	a	1.70	a	2.18	a	2.27	a	2.922
75	1.28	a	1.85	a	1.91	a	1.88	a	1.742
90	1.62	a	2.53	a	1.88	a	2.25	a	2.131
105	1.38	a	1.61	a	1.87	a	2.01	a	1.182
120	1.19	b	2.54	ab	3.91	a	3.16	ab	2.718
135	1.34	a	2.45	a	1.73	a	2.33	a	1.709
Materia seca de frutos inmaduros									
45	0.18	d	1.58	c	7.24	b	8.45	a	1.123
60	17.70	a	37.80	a	20.50	a	30.80	a	29.21
75	15.10	b	57.70	a	60.90	a	69.60	a	16.05
90	23.40	a	23.50	a	34.30	a	21.60	a	37.79
105	6.70	a	25.10	a	28.60	a	31.00	a	24.65
120	0.00	b	48.60	a	30.00	a	44.30	a	57.87
135	3.48	d	9.41	c	0.00	b	16.20	a	18.23
Materia seca total ^y									
0	0.06	a	0.07	a	0.07	a	0.07	a	0.02
15	0.47	a	0.49	a	0.52	a	0.49	a	0.22
30	4.35	b	5.66	ab	6.98	a	7.05	a	2.40
45	16.68	b	40.47	ab	44.03	a	56.38	a	24.19
60	67.32	b	94.83	ab	95.38	ab	113.31	a	28.99
75	77.40	b	139.47	a	159.32	a	170.27	a	39.56
90	135.17	a	163.53	a	197.20	a	190.02	a	87.21
105	166.99	b	299.74	a	316.66	a	335.48	a	58.20
120	220.56	b	432.73	a	471.60	a	479.86	a	107.28
135	220.56	b	432.72	a	471.59	a	479.85	a	48.61

^z Valores con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DDT: días después del trasplante; DMS: diferencia mínima significativa.

^y incluye frutos cosechados comercialmente.

Con respecto a la expresión de la materia seca total, con las concentraciones del 75, 125 y 175 % se observó un comportamiento desde los 30 DDT hasta el

final del ciclo. Con la concentración del 25 %, se presentó la menor expresión de materia seca desde los 30 DDT en adelante (Cuadros 4 y 5).

La magnitud más alta de materia seca total acumulada en las concentraciones del 75, 125 y 175 %, indica que la mayor cantidad de nutrimentos suministrada a los cultivos hortícolas, como pepino, influyó de manera favorable sobre el crecimiento y formación de órganos, de tal forma que favoreció el crecimiento y desarrollo de la planta, lo cual condujo al aumento del rendimiento acumulado (Cuadro 6) y calidad de la producción, por la interacción del cultivo con las condiciones de nutrición y ambiente en donde se desarrolló (Gifford *et al.*, 1984).

Cuadro 6. Comparación de medias del rendimiento acumulado por planta del cultivo de pepino, a los 120 días después del trasplante, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)	Rendimiento (kg·planta ⁻¹)
25	3.58 b ^z
75	6.56 a
125	7.01 a
175	7.67 a
DMS	1.554

^z Valores con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

Índices de eficiencia

De acuerdo con la Figura 2, la tasa absoluta de crecimiento aumentó progresivamente para todas las concentraciones; sin embargo, el máximo valor se alcanzó a los 100 DDT con la concentración del 175 %. En las concentraciones del 25, 75 y 125 %, el máximo valor se obtuvo antes; es decir, a los 85, 95 y 90 DDT, respectivamente. Esto constituyó una ventaja para la solución del 175 % debido a que se acumuló mayor cantidad de biomasa; y aunque se obtuvo bajo esta condición mayor rendimiento, no fue estadísticamente diferente a lo obtenido en las condiciones del 75 y 125 % (Cuadros 5 y 6).

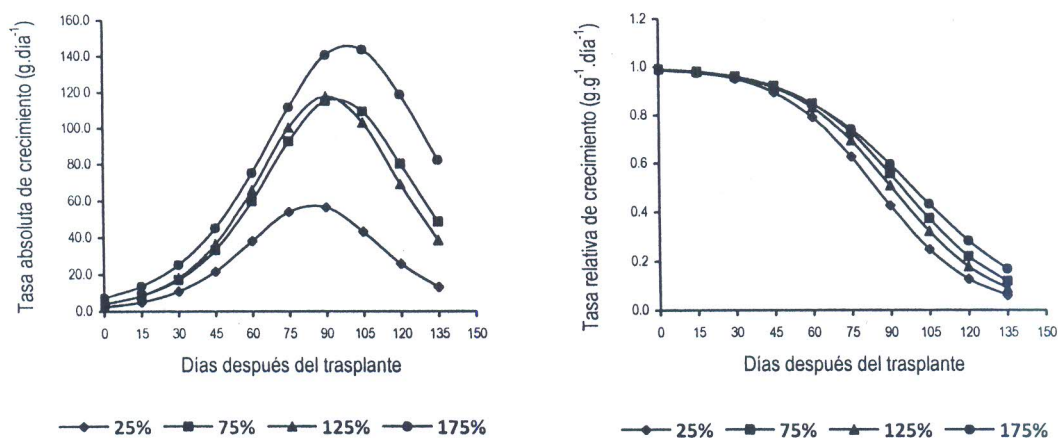


Figura 2. Índices de eficiencia del cultivo del pepino. Tasa absoluta de crecimiento y Tasa relativa de crecimiento, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Lo anterior concuerda con los resultados de otros investigadores, en cuanto a que en pepino hay un descenso considerable en la tasa absoluta de crecimiento después de que se alcanza el máximo valor, lo cual se da durante el periodo de producción y llenado de frutos, donde los mismos demandan gran cantidad de fotoasimilados y se da la partición de materia seca principalmente hacia estos órganos de interés (Gómez *et al.*, 2003) y en esta especie, los frutos representan hasta un 60 % del peso seco total de la planta, o el 80 % del peso fresco (Marcelis, 1994).

Con el mayor valor de la tasa absoluta de crecimiento obtenido en las concentraciones del 75, 125 y 175 % (116.86, 118.18, 146.25 y 146.25 g·planta día⁻¹), cercanos a los 100 DDT, se puede deducir que el cultivo de pepino pudo canalizar hasta antes de esa fecha, una mayor cantidad de asimilados en estructuras vegetativas como hojas y tallos, en comparación con la concentración del 25 %, que para esa fecha, se encontraba en proceso de llenado de frutos, y la alta demanda de los mismos por fotoasimilados, redujo el crecimiento de la parte vegetativa (Jarma *et al.*, 2006), lo que disminuyó el número de frutos por planta y el rendimiento (Cuadro 7).

La tasa relativa de crecimiento presentó un comportamiento similar en las cuatro concentraciones al inicio del ciclo y hasta los hasta los 30 DDT. En adelante disminuyó a través del tiempo, y se observaron los valores más bajos con la solución del 25 % de concentración.

Lo anterior se puede atribuir a la proporción diferencial de órganos en crecimiento durante las etapas iniciales del desarrollo de la planta (Mora *et al.*, 2006), ya que durante el desarrollo temprano, los tejidos meristemáticos se encuentran en mayor proporción con respecto a la materia seca total, y en la etapa reproductiva disminuyen, de manera que durante el crecimiento y madurez comercial de los frutos, es mínima la proporción de meristemas con respecto a la biomasa total.

Con respecto al índice de cosecha, se tuvo un comportamiento similar para las concentraciones del 25, 75, 125 y 175 %, con valores de 71.10, 66.18, 65.40 y 71.51 %, respectivamente. A pesar de que con las concentraciones nutrimentales del 75, 125 y 175 % se observó mayor acumulación de materia seca en la planta (Cuadro 5), no se vio reflejado este hecho en mayores índices de cosecha, ya que estadísticamente fueron iguales al obtenido con la concentración del 25 %.

A partir de lo anterior, se deduce que el requerimiento nutrimental de esta planta, para lograr un rendimiento comercialmente aceptable, puede cubrirse con el uso de la solución nutritiva de Steiner del 75 %; el uso de soluciones nutritivas más concentradas, representa un mayor costo por concepto de adquisición de fuentes de nutrimentos, en relación a la concentración del 75 %, del orden de 66.7 y 133.3 %, para las concentraciones del 125 y 175 %, respectivamente. Además, el incremento en rendimiento que se logra, al

aumentar la concentración de la solución nutritiva hasta 125 y 175 %, es de solo 6.86 y 16.92 %, respectivamente.

2.6. CONCLUSIÓN

Con las concentraciones del 75, 125 y 175 % de la solución nutritiva de Steiner, el cultivo de pepino mostró un comportamiento similar en la tasa absoluta de crecimiento, tasa relativa de crecimiento, materia seca total, número de frutos y rendimiento, lo que indica que es viable utilizar la solución del 75 % de concentración para conducir el proceso de producción de pepino en sistema hidropónico.

2.7. LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 2007. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Exportaciones Agropecuarias de México. Coordinación General de Comunicación Social. D.F. México. 70 p.
- DE LINT, P.J.A.L.; HEIJ, G. 1980. Glasshouse cucumber, effects of planting date and night temperature on flowering and fruit development. *Acta Horticulturae* 118: 123-133.
- GIFFORD, R.M.; THORNE, J.H.; HITZ, W.D.; GIAQUINTA, R.T. 1984. Crop Productivity and Photoassimilate Partitioning. *Science* 225 (4644): 801-808.
- GÓMEZ, M.D.; BAILLE, A.; GONZÁLEZ-REAL, M.M.; MERCADER, J.M. 2003. Dry matter partitioning of greenhouse cucumber crops as affected by fruit load. *Acta Horticulturae (ISHS)* 614: 573-578.
- JARMA, A.; RENGIFO, T.; ARAMENDIZ, H. 2006. Fisiología de estevia (*Stevia rebaudiana*) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. *Agronomía Colombiana* 24(1): 38-47.

- LIEBIG, H.P. 1980. Physiological and economical aspects of cucumber crop density. *Acta Horticulturae* 118: 149-163.
- MARCELIS, L.F.M., 1992. The dynamics of growth and dry matter distribution in cucumber. *Annals of Botany* 69: 487-492.
- MARCELIS, L.F.M. 1994. Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber. The DLO-Research Institute of Agrobiology and Soil Fertility. Wageningen, The Netherlands. 173 p.
- MORA, R.; ORTIZ, J.; RIVERA, A.; MENDOZA, A.; COLINAS, M.; LOZOYA, H. 2006. Índices de eficiencia de genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. *Revista Chapingo serie Horticultura* 12 (1): 85-94.
- PEIL, R.; GALVEZ, J. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R. Bras. Agrociência* 11 (1): 5-11.
- SCHAPENDONK, A.H.C.M.; CHALLA, H. 1980. Assimilate requirements for growth and maintenance of the cucumber fruit. *Acta Horticulturae* 118: 73-82.
- STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. Reprint from *Plant and Soil*. XV(1961): 134-154.

CAPÍTULO III

EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN CULTIVO DE PEPINO

(*Cucumis sativus* L.)

Extracción de macronutrientes en cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.)

Macronutrients uptake in cucumber crop (*Cucumis sativus* L.)

Fernando Vicente Barraza Alvarez¹ y Rogelio Castro Brindis²

Resumen

Durante abril a agosto de 2006 en la Universidad Autónoma Chapingo, México, se cultivó en invernadero el híbrido "Saber[®]" en hileras de 1.0 m y 0.30 m entre plantas, con el objetivo de evaluar la extracción y tasa absoluta de absorción de macronutrientes en el cultivo de pepino (*Cucumis sativus* L.) en cuatro concentraciones nutrimentales (25, 75, 125 y 175 %) de la solución nutritiva de Steiner, y generar información que permita mejorar el manejo de la nutrición mineral del cultivo. El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones. Durante 135 días después del trasplante, se colectaron cada 15 días plantas enteras sin raíz, se secaron y se molieron para determinar el contenido y extracción de N, P, K, Ca y Mg. La mayor extracción de nutrimentos ocurrió de la siguiente manera: N, en las concentraciones del 75, 125 y 175 %; P, en la concentración del 175 %; K, en las concentraciones del 125 y 175 %; Ca, en las concentraciones del 125 y 175 %; y Mg en las concentraciones del 75, 125 y 175 %.

Palabras clave: nutrición mineral, extracción nutrimental, tasa absoluta de absorción, nitrógeno, fósforo, potasio.

Abstract

During April to August of 2006 in the "Universidad Autónoma Chapingo", México, it was cultivated in greenhouse the hybrid "Saber[®]" in arrays of 1.0 m and 0.30 m among plants, with the objective of evaluating the extraction and absolute rate of absorption of N, P, K, Ca and Mg in the cucumber cultivation (*Cucumis sativus* L.) in four nutrimental concentrations (25, 75, 125 and 175 %) of the nutrient solution of Steiner, and to generate information that allows us to improve the handling of the mineral nutrition of cucumber crop. The experimental design was at random of blocks with three replications. During 135 days after the transplant, every 15 days, whole plants without root were collected, dried and milled to determine the content and extraction of N, P, K, Ca and Mg. The highest extraction of nutrients happened in the following way: N, with the concentrations of 75, 125 and 175 %; P, with the concentration of 175 %; K, the concentrations of 125 and 175 %; Ca, the concentrations of the 125 and 175 %; and Mg, the concentrations of 75, 125 and 175 %.

Key words: mineral nutrition, nutriment uptake, absolute rate of absorption, nitrogen, phosphorus and potassium.

¹ Tesista

² Director

3.3. INTRODUCCIÓN

La nutrición mineral incluye el suministro, absorción y utilización de los nutrimentos esenciales para el crecimiento y producción de los cultivos (Fageria *et al.*, 1991). La demanda de cada cultivo está basada principalmente en la habilidad para absorber una cantidad de nutrimentos necesarios para obtener una meta de producción, los cuales se contabilizan por la concentración en la materia seca de la planta o de sus productos cosechados.

Los análisis de plantas revelan la presencia de pequeñas cantidades de 90 o más elementos minerales, de los cuales, cualquiera que se encuentre en el medio en que crezcan las raíces puede formar parte de la composición de los vegetales (Resnik, 1986). Sin embargo, no todos son necesarios para el crecimiento y desarrollo normales de las plantas, pues sólo 16 son esenciales.

En las hortalizas como el pepino las exigencias de calidad como tamaño, textura, firmeza y sabor son mayores; por lo que generalmente tienen una demanda intensiva de nutrimentos.

Debido a que México es el segundo exportador mundial de pepino (Anónimo, 2007), y que para esto se produce en invernadero, con sustratos, riego por goteo y solución nutritiva, es necesario conocer los requerimientos nutrimentales del cultivo, ya que bajo este sistema de producción se requiere un adecuado suministro de nutrimentos para optimizar el crecimiento

(Papadopoulos *et al.*, 2001) y obtener el mayor rendimiento potencial de los genotipos utilizados.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue cuantificar la extracción y tasa absoluta de absorción de N, P, K, Ca y Mg en el cultivo del pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (25, 75, 125 y 175 %), con el empleo del modelo logístico, y obtener información que muestre el comportamiento de la planta en las condiciones referidas, lo cual permitirá que la nutrición mineral sea brindada al cultivo de manera racional y en función de las tasas absolutas de absorción estimadas por los modelos.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Universidad Autónoma Chapingo (19°29' N, 98°53' O y 2,240 m de altitud), en el periodo del 14 de abril al 18 de agosto de 2006, bajo condiciones de hidroponia en invernadero. Se utilizó el híbrido de pepino "Saber[®]", tipo slicer, americano, ginoico, color verde oscuro, con longitud de 18 a 20 cm, producido por la compañía Enza Zaden, de Israel. Se obtuvieron plántulas a través de la siembra de semillas en charolas de unisel con turba (Peat-Moss[®]). Veinticinco días después de la siembra, se realizó el trasplante, cuando las plántulas tuvieron la primera hoja verdadera completamente expandida. La unidad experimental consistió en una planta de pepino sembrada en una bolsa de polietileno negro, calibre 700, de 0.40 m x 0.45 m. El sustrato fue tezontle rojo. La separación entre hileras de plantas fue

de 1.0 m, y de 0.30 m entre plantas, lo que correspondió a una densidad de población de 3.3 plantas m⁻². Se utilizó un diseño experimental en bloques al azar, con tres repeticiones. Se evaluaron cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner (1961): 25 %, 75 %, 125 % y 175 %. Durante 30 días después del trasplante, se aplicaron 150 mL diarios de la respectiva solución por planta, distribuidos en tres riegos de 50 mL; de los 31 a los 60 días después del trasplante se aplicaron 300 mL diarios por planta, en tres riegos de 100 mL; del día 61 al 135, se aplicaron 600 mL diarios por planta distribuidos en tres riegos de 200 mL. El intervalo entre riegos fue de 4 horas. Se utilizó un sistema hidropónico abierto con riego por goteo. Cada ocho días los riegos se realizaron con agua acidulada con pH 5.5, para evitar la salinización del sustrato. El cultivo se desarrolló a libre crecimiento, sin realizar podas, y se hizo tutorado de espaldera 15 días después del trasplante mediante malla plástica con cuadrícula de 10 x 10 cm. Se hicieron aplicaciones cada 15 días de oxiclورو de cobre con mancozeb, en dosis de 0.5 g litro⁻¹, y cuando fue necesario malathión para el control de plagas, en dosis de 0.5 mL litro⁻¹.

A partir del trasplante, y hasta los 135 días posteriores, se realizaron muestreos destructivos cada 15 días, en los que se colectaron plantas sin raíz, se secaron a 65 °C hasta la obtención de peso constante en estufa Blue-M[®] POM-326-F, se molieron en molino Wiley Mill Thomas[®] ED-5, y se pesaron en balanza digital Sartorius 1205 MP[®], y se enviaron a análisis del contenido de N, por medio del método destilador micro Kjeldahl; P, K, Ca y Mg por medio de espectrometría de inducción de plasma acoplado (ICP) con equipo Varian, al

Laboratorio de Nutrición Vegetal del programa de Edafología del Colegio de Posgraduados de Montecillo, Estado de México. A partir del contenido nutrimental, se calculó la extracción (g planta^{-1}).

Se realizaron análisis de varianza (ANAVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha \leq 0.05$). La información de extracción nutrimental se ajustó mediante regresión no lineal con el modelo logístico: $y = \frac{A}{(1 + B \cdot e^{-C \cdot x})}$, donde y : variable respuesta; A : máximo valor observado; B : no tiene significado biológico, y solo toma lugar en el tiempo inicial, cuando $x=0$; x =días después del trasplante; C : parámetro relacionado con el valor de x para el punto de inflexión; e : constante matemática, base del logaritmo natural= 2.718281828. Con el fin de obtener la tasa de absorción absoluta, se aplicó

$$MS' = \frac{A \cdot B \cdot C \cdot e^{-Cx}}{(1 + B \cdot e^{-Cx})^2}, \text{ la primera derivada del modelo logístico.}$$

3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se presentan los modelos logísticos para estimar la extracción de N, P, K, Ca y Mg, y explicar su comportamiento a través del ciclo del cultivo. Los valores cercanos a 1, indican la confiabilidad de dichos modelos. En la Figura 1 se representan dichas regresiones, que mostraron un comportamiento de tipo sigmoide, situación similar a la observada en chile “jalapeño” (*Capsicum annuum*) (Báez *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Modelos logísticos para estimar la extracción por planta de N, P, K, Ca y Mg en cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución nutritiva (%)		PV
N		
25	$y = 5.03305 / (1 + 286.277e^{-0.071527 \cdot \text{ddt}})$	0.97
75	$y = 11.9064 / (1 + 84.4068e^{-0.049350 \cdot \text{ddt}})$	0.99
125	$y = 15.7085 / (1 + 65.1063e^{-0.041716 \cdot \text{ddt}})$	0.98
175	$y = 11.4290 / (1 + 152.715e^{-0.061842 \cdot \text{ddt}})$	0.96
P		
25	$y = 0.37914 / (1 + 153.545e^{-0.076837 \cdot \text{ddt}})$	0.96
75	$y = 2.58637 / (1 + 83.1829e^{-0.044845 \cdot \text{ddt}})$	0.98
125	$y = 2.77196 / (1 + 33.7194e^{-0.038520 \cdot \text{ddt}})$	0.98
175	$y = 6.66015 / (1 + 120.149e^{-0.048428 \cdot \text{ddt}})$	0.98
K		
25	$y = 5.51979 / (1 + 47.5920e^{-0.042575 \cdot \text{ddt}})$	0.98
75	$y = 11.8651 / (1 + 97.2039e^{-0.054326 \cdot \text{ddt}})$	0.99
125	$y = 21.8935 / (1 + 84.5903e^{-0.039564 \cdot \text{ddt}})$	0.98
175	$y = 17.5572 / (1 + 69.9517e^{-0.045578 \cdot \text{ddt}})$	0.99
Ca		
25	$y = 7.00075 / (1 + 300.439e^{-0.071125 \cdot \text{ddt}})$	0.98
75	$y = 23.9717 / (1 + 409.73e^{-0.067012 \cdot \text{ddt}})$	0.98
125	$y = 33.6170 / (1 + 178.509e^{-0.058309 \cdot \text{ddt}})$	0.98
175	$y = 39.7890 / (1 + 188.566e^{-0.056609 \cdot \text{ddt}})$	0.99
Mg		
25	$y = 3.43315 / (1 + 231.581e^{-0.066991 \cdot \text{ddt}})$	0.96
75	$y = 6.31009 / (1 + 148.042e^{-0.058057 \cdot \text{ddt}})$	0.98
125	$y = 8.52651 / (1 + 135.004e^{-0.052573 \cdot \text{ddt}})$	0.99
175	$y = 8.38580 / (1 + 222.933e^{-0.060783 \cdot \text{ddt}})$	0.97

y: extracción del elemento (g planta^{-1}); ddt: días después del trasplante; PV: proporción de variabilidad que indica la confiabilidad del modelo=suma de cuadrados de regresión/suma de cuadrados total.

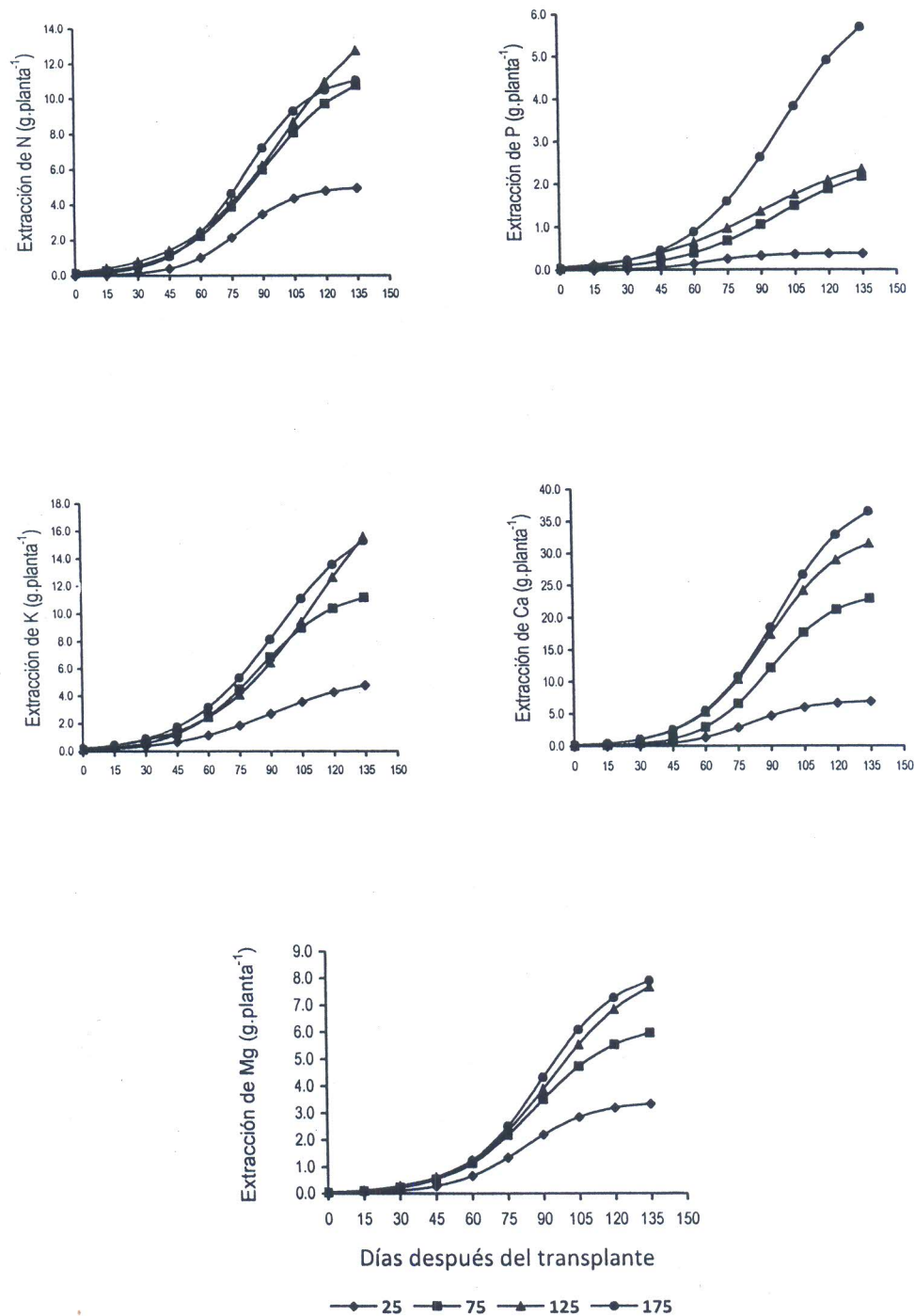


Figura 1. Extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, representada mediante modelos logísticos. Chapingo, México, 2006.

La extracción de N y P tuvo efecto de las concentraciones a través del ciclo del cultivo, a excepción los 15 DDT para P, de acuerdo el análisis de varianza (Cuadro 2).

De acuerdo con las comparaciones de medias de Tukey ($\alpha=0.05$), a excepción de 45 y 135 DDT, las concentraciones de solución nutritiva del 75, 125 y 175 % fueron iguales en cuanto a la extracción de N; la concentración del 25 % siempre tuvo la menor extracción de este elemento (Cuadro 3).

En lo concerniente a P, este elemento fue extraído en mayor cantidad con la concentración de solución del 175 % a partir de los 75 DDT; al inicio del cultivo (15 DDT) no hubo diferencias con respecto a las demás concentraciones. En general, a medida que disminuyó la concentración de la solución nutritiva, fue menor la extracción de P.

En cuanto a K, en las etapas tempranas, hasta los 30 DDT la extracción fue similar. En adelante se observaron diferencias significativas, donde las soluciones del 75, 125 y 175 % tuvieron mayor extracción de este elemento y su comportamiento fue estadísticamente igual, a excepción de los 60, 120 y 135 DDT (Cuadro 3). Lo anterior tiene relación con el incremento de la demanda de este nutrimento a medida que se desarrolla la planta y ocurre el llenado de frutos, de tal manera que la solución del 25 % a partir de los 45 DDT siempre fue superada por las concentraciones más altas, ya que éstas permitieron mayor disponibilidad nutrimental.

Cuadro 2. Fuentes de variación (FV), grados de libertad (GL) y cuadrados medios para extracción de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, Chapingo, México, 2006.

FV	GL	Días después del trasplante									
		15	30	45	60	75	90	105	120	135	
Tratamiento Bloque Error Total CV	3		0.010*	1.25**	1.76**	3.86**	4.87**	16.84**	32.83**	72.95**	
	2		0.003 ^z	0.10	0.13	0.31	0.86	0.06	1.46	0.30	
	6		0.002	0.05	0.10	0.21	0.86	0.46	1.84	0.68	
	11										
		15.95	18.1	12.35	13.40	18.56	8.21	13.24	8.13		
	Extracción de P										
Tratamiento Bloque Error Total CV	3	1.1x10 ⁻⁷	0.002*	0.17**	0.314**	0.930*	2.81**	5.44**	11.71**	15.11**	
	2	0	20.8x10 ⁻⁷	0.009	0.004	0.012	0.27	0.15	0.13	0.11	
	6	7.78x10 ⁻⁷	0.0003	0.012	0.016	0.003	0.08	0.13	0.19	0.07	
	11										
		58.79	29.43	32.55	22.58	16.9	21.89	20.07	18.28	10.13	
	Extracción de K										
Tratamiento Bloque Error Total CV	3	46.7x10 ⁻⁷	0.020	1.19*	2.83**	5.17**	16.83*	36.13**	56.77**	81.79**	
	2	40.8x10 ⁻⁷	0.007	0.07	0.22	0.17	0.57	0.37	3.54	0.03	
	6	13.4x10 ⁻⁶	0.006	0.22	0.04	0.13	2.29	146	0.87	4.18	
	11										
		47.78	31.04	37.42	16.60	9.46	26.16	14.47	18.60	17.08	
	Extracción de Ca										
Tratamiento Bloque Error Total CV	3	7.5x10 ⁻⁷	0.012	1.72**	12.64**	37.81**	146.19**	238.93**	388.94**	573.11**	
	2	2.5x10 ⁻⁷	0.001	0.12	1.16	4.55	4.27	15.77	25.63	5.73	
	6	29.2x10 ⁻⁷	0.004	0.15	0.21	1.30	5.14	14.04	12.98	15.47	
	11										
		52.55	26.34	27.07	11.04	15.83	16.66	20.42	15.53	15.45	
	Extracción de Mg										
Tratamiento Bloque Error Total CV	3	1.22x10 ⁻⁵	18.8x10 ⁻⁵	0.07*	0.20*	0.63*	4.44**	3.91*	11.11*	17.00**	
	2	5.83x10 ⁻⁷	7.0x10 ⁻⁵	0.006	0.04	0.01	0.28	0.38	1.58	0.67	
	6	14.7x10 ⁻⁷	0.0002	0.008	0.04	0.10	0.45	0.71	1.26	1.21	
	11										
		56.00	17.34	17.86	15.79	16.23	19.35	18.16	16.83	18.16	

^zValores de cuadrados medios; CV: coeficiente de variación; * significativo con $\alpha \leq 0.05$; ** significativo con $\alpha \leq 0.01$.

Cuadro 3. Comparación de medias de la extracción de N, P y K de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)									
DDT	25		75		125		175		DMS
Extracción de N									
30	0.191 ^z	b	0.262	ab	0.326	a	0.283	ab	0.120
45	0.467	c	1.267	b	1.322	b	2.045	a	0.649
60	1.451	b	2.865	a	3.182	a	2.778	a	0.897
75	1.807	b	3.525	a	4.137	a	4.278	a	1.303
90	3.112	b	5.606	ab	5.459	ab	5.852	a	2.627
105	5.077	c	8.196	b	9.236	ab	10.658	a	1.926
120	5.472	b	10.836	a	11.588	a	13.055	a	3.834
135	5.471	b	10.836	a	16.484	a	13.055	a	2.340
Extracción de P									
15	0.002	a	0.001	a	0.001	a	0.002	a	0.002
30	0.022	b	0.049	ab	0.087	a	0.076	a	0.049
45	0.056	c	0.263	bc	0.398	ab	0.631	a	0.310
60	0.181	c	0.443	bc	0.668	ab	0.941	a	0.356
75	0.209	d	0.661	c	1.056	b	1.511	a	0.148
90	0.345	c	0.995	bc	1.374	b	2.642	a	0.830
105	0.488	c	1.436	bc	1.685	b	3.691	a	1.036
120	0.489	c	1.990	b	1.984	b	5.106	a	1.223
135	0.489	c	2.173	b	2.634	b	5.730	a	0.777
Extracción de K									
15	0.009	a	0.008	a	0.006	a	0.008	a	0.010
30	0.143	a	0.221	a	0.270	a	0.336	a	0.213
45	0.366	b	1.399	ab	1.348	ab	1.867	a	1.317
60	1.643	c	3.194	b	3.354	ab	3.913	a	0.565
75	1.888	b	4.062	a	4.182	a	4.944	a	1.008
90	2.830	b	6.595	ab	5.272	ab	8.464	a	4.282
105	3.273	b	9.004	a	10.703	a	10.444	a	3.148
120	4.791	c	11.696	b	11.831	b	15.138	a	2.644
135	4.889	c	11.697	b	16.446	a	15.143	a	2.361

^z valores con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DDT: días después del trasplante; DMS: diferencia mínima significativa.

Con respecto a la extracción de Ca, hubo efecto de las concentraciones de la solución nutritiva durante el ciclo del cultivo, excepto a los 15 y 30 DDT. A partir de los 45 DDT las soluciones de más alta concentración permitieron mayor extracción de este elemento, lo cual concuerda con un incremento en la demanda nutrimental de la planta, como resultado del crecimiento y llenado de frutos que se presentó a partir de esa fecha, ya que este elemento forma parte de la estructura de la pared celular para la formación de nuevo tejido, en contraste con las primeras etapas de crecimiento vegetativo, en donde no se observaron diferencias en el nivel de extracción, aun con alta disponibilidad de este elemento en la solución nutritiva (Cuadro 4).

En el caso de Mg, hubo efecto de las concentraciones, a excepción de los 15 y 30 DDT (Cuadro 2), y en general al igual que en Ca se observó que las concentraciones más altas permitieron mayor extracción de Mg a medida que transcurrió el ciclo del cultivo, lo cual se encuentra asociado a la producción de frutos en la planta. Para el caso de la concentración del 25 %, la disponibilidad de este elemento no fue suficiente, y presentó los valores más bajos de extracción a partir de los 45 DDT, lo cual llevó a la manifestación de síntomas visuales de deficiencias de este elemento (Figura 2).

Cuadro 4. Comparación de medias de la extracción de Ca y Mg de la planta de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

DDT	Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)								
	25		75		125		175		DMS
Extracción de Ca									
15	0.004 ^z	a	0.003	a	0.003	a	0.002	a	0.005
30	0.147	a	0.254	a	0.295	a	0.249	a	0.176
45	0.426	b	1.442	ab	1.736	a	2.219	a	1.114
60	1.607	c	3.353	b	5.825	a	5.804	a	1.294
75	2.926	b	5.689	b	10.416	a	9.830	a	3.228
90	4.184	c	12.730	b	17.413	ab	20.099	a	6.406
105	6.277	b	17.021	a	24.153	a	25.949	a	10.591
120	8.042	c	21.803	b	28.342	ab	34.635	a	10.185
135	6.227	c	24.851	b	33.404	ab	37.281	a	11.116
Extracción de Mg									
15	0.003	a	0.002	a	0.002	a	0.002	a	0.003
30	0.065	a	0.075	a	0.084	a	0.071	a	0.036
45	0.277	b	0.532	a	0.621	a	0.571	a	0.253
60	0.922	b	1.348	ab	1.406	ab	1.501	a	0.578
75	1.341	b	2.017	ab	2.429	a	2.137	ab	0.909
90	1.786	b	3.605	ab	3.862	a	4.668	a	1.903
105	3.145	b	4.496	ab	5.186	ab	5.805	a	2.391
120	4.175	b	6.413	ab	7.371	a	8.751	a	3.178
135	4.174	b	6.412	ab	7.806	a	8.750	a	3.116

^z Valores con la misma letra en cada hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). DDT: días después del trasplante; DMS: diferencia mínima significativa.

Por otra parte, la tasa de absorción absoluta, obtenida a partir de la primera derivada de los modelos de extracción de nutrimentos, representa la eficiencia o velocidad de absorción durante el ciclo del cultivo, así como la etapa de desarrollo en donde es mayor dicha velocidad de absorción, la cual puede considerarse como una etapa crítica dentro de los programas de manejo nutrimental en los sistemas de producción hortícola (Figura 3).

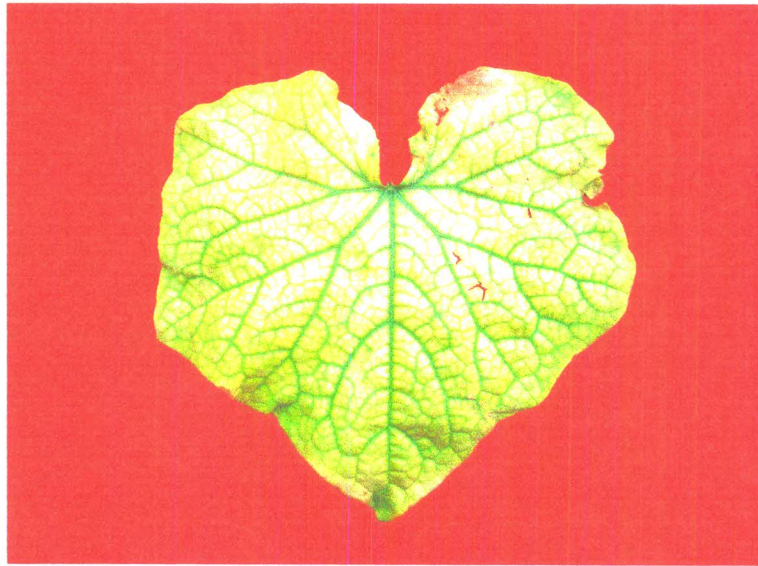


Figura 2. Síntomas de deficiencia de Mg en hojas de plantas de pepino establecidas con la solución nutritiva del 25 %. Chapingo, México, 2006.

Con respecto al N se observó que la concentración del 125 % presentó la mayor velocidad de absorción absoluta durante todo el ciclo de cultivo, y alcanzó su punto máximo ($3.36 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$) a los 100 DDT, seguido de las concentraciones del 75 y 175 %, las cuales mostraron un comportamiento similar, y alcanzaron su punto máximo de absorción absoluta a los 90 y 81 DDT, respectivamente, con valores de 2.98 y $2.86 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, respectivamente. La concentración del 25 % presentó la menor tasa de absorción absoluta durante todo el ciclo, con el valor máximo de $1.26 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 79 DDT.

No obstante que las concentraciones del 25 y 175 % alcanzaron el punto máximo de absorción absoluta de N de manera muy similar, en esta última se obtuvo mayor rendimiento (Cuadro 5), lo cual indica que en las plantas que

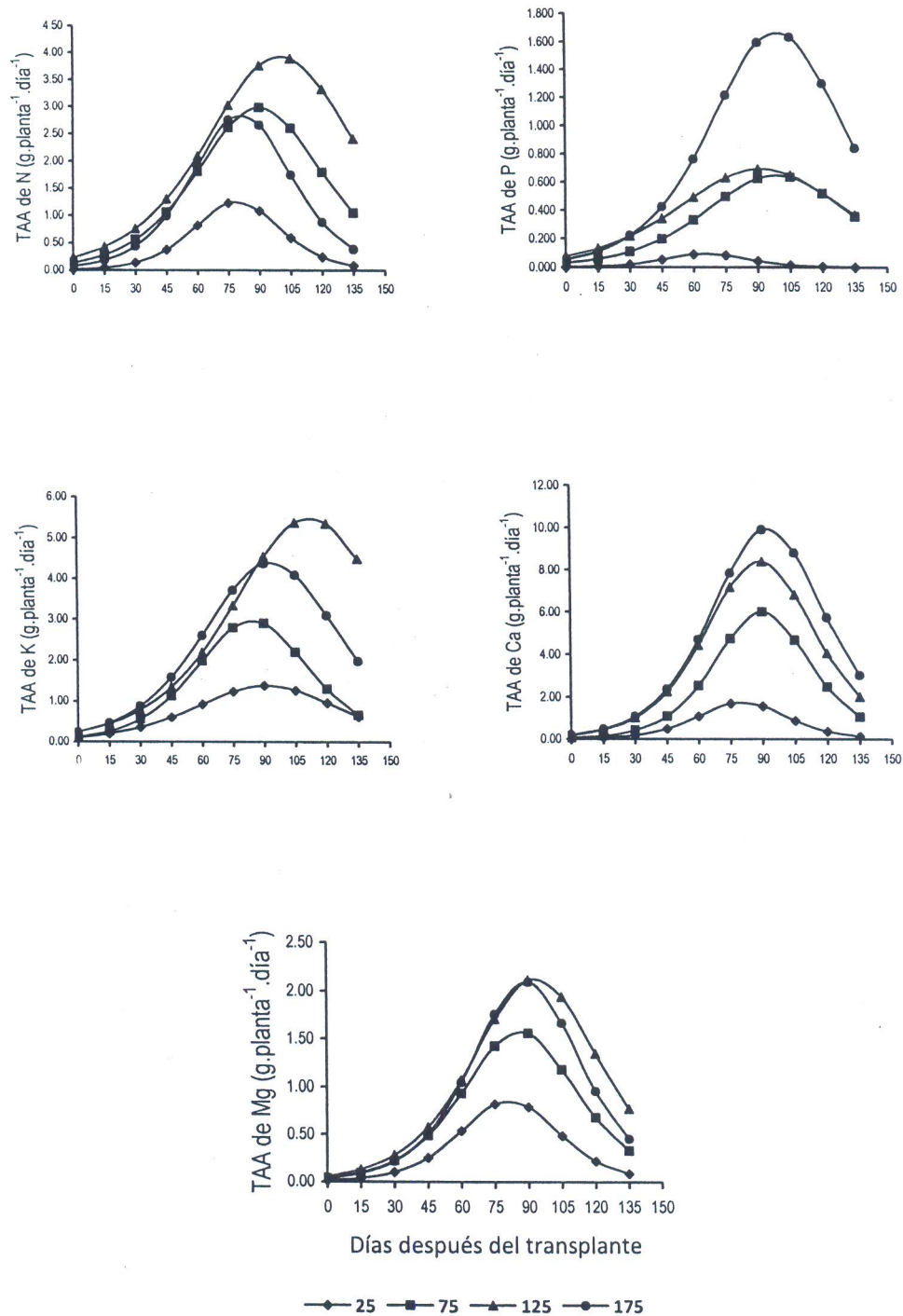


Figura 3. Tasa de absorción absoluta (TAA) de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio del cultivo de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

crecieron con mayor disponibilidad nutrimental, contenían reservas de N que traslocaron posteriormente hacia los puntos de crecimiento de la planta (Feller y Fink, 1996), con lo que disminuyó la velocidad de absorción absoluta, sin afectar la producción de biomasa. En el caso de la concentración del 25 % la planta no contó con esas reservas de N, y en general mostró la menor velocidad de absorción absoluta durante todo el ciclo y tuvo menor producción de biomasa y rendimiento (Cuadro 5).

Las concentraciones del 75 y 125 %, alcanzaron su punto máximo de absorción absoluta en etapas más avanzadas del cultivo, con magnitudes muy similares, lo que indica que el abastecimiento suficiente y constante de N permite una tasa de producción de biomasa constante, que implica una tasa absoluta de absorción creciente durante más tiempo, lo que permitió obtener mayor rendimiento (Cuadro 5).

Respecto a la tasa de absorción absoluta de P, la concentración del 175 % superó al resto de concentraciones durante todo el ciclo del cultivo, con un valor máximo de $1.66 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$ a los 99 DDT (Figura 3), seguido de las concentraciones del 75 y 125 %, con valores máximos de 0.046 y $0.693 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 99 y 91 DDT, respectivamente. La concentración del 25 % tuvo los valores más bajos de absorción absoluta, con un máximo de $0.095 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 66 DDT.

La mayor disponibilidad de P para las plantas, como en las concentraciones del 75, 125 y 175 %, favoreció el adecuado funcionamiento del sistema de raíces, lo que permitió la absorción activa y transporte de sustancias, procesos que requieren energía y permiten mejor desarrollo (Thomson y Bolger, 1993), con mayor expresión del rendimiento (Cuadro 5). Sin embargo, se observó que en las plantas que se desarrollaron en la concentración del 175 %, hubo consumo de lujo de P, ya que el rendimiento fue igual al obtenido con las concentraciones del 75 y 125 % (Cuadro 5).

En lo que concierne a K, con la concentración del 125 % se observó la mayor tasa de absorción absoluta durante el ciclo del cultivo, con un valor máximo de $5.47 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$ a los 112 DDT. Para las concentraciones del 75 y 175 %, los mayores valores fueron 2.97 y $4.39 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 84 y 93 DDT, respectivamente. La concentración del 25 % tuvo los valores más bajos de tasa de absorción absoluta durante todo el ciclo, y alcanzó su valor máximo ($1.38 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$) a los 91 DDT (Figura 3).

En general la mayor disponibilidad de K de las concentraciones del 75, 125 y 175 % favorecieron la expresión de mayor rendimiento en el cultivo (Cuadro 5).

Respecto a la tasa de absorción absoluta de Ca, la concentración del 175 % superó a las demás durante todo el ciclo del cultivo, y alcanzó su valor más alto ($9.95 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$) a los 93 DDT. Con las concentraciones del 75 y 125 % el valor máximo ocurrió a los 90 y 89 DDT, con 5.99 y $8.40 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$,

respectivamente. Por otra parte, en la concentración del 25 % se presentaron los valores más bajos de tasa de absorción absoluta de Ca, con un máximo de $1.75 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 80 DDT.

Con las concentraciones del 75, 125 y 175 % se observó un periodo de máxima extracción muy similar, que coincidió con la época de desarrollo y llenado de frutos, los cuales demandan este nutrimento en cantidades significativas (Figura 3), en contraste con lo ocurrido en la concentración del 25 %, en el que la máxima absorción de Ca se dio a los 80 DDT, lo cual limitó el desarrollo en etapas posteriores.

Con respecto a Mg, la tasa de absorción absoluta más alta se obtuvo en las plantas que crecieron en las concentraciones del 125 y 175 %, con valores máximos de 2.13 y $2.10 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 93 y 89 DDT, respectivamente. Con la concentración del 75 % se observó un comportamiento intermedio con valor máximo de $1.58 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$ a los 86 DDT. Para el caso de la concentración del 25 %, el valor máximo de absorción absoluta de Mg fue de $0.86 \text{ g planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$, a los 81 DDT (Figura 3); en general, en esta condición nutrimental se observaron los valores más bajos de absorción absoluta durante el ciclo de cultivo, cantidades que no cubrieron la demanda de este elemento y ocasionaron su deficiencia (Cuadro 4 y Figura 2).

Cabe mencionar que desde el punto de vista estadístico, el Mg fue extraído en magnitudes similares en las concentraciones del 75, 125 y 175 % (Cuadro 4), lo

que sugiere que con la concentración del 75 % es suficiente para cubrir la demanda de este nutrimento sin detrimento del rendimiento (Cuadro 5). Sin embargo, es necesario realizar más estudios al respecto que permitan reconsiderar las recomendaciones de su suministro en la solución nutritiva de los sistemas hidropónicos.

Al comparar la magnitud de las tasas de absorción absoluta de los diferentes macronutrientes (Figura 3), es necesario señalar que el Ca presentó la mayor tasa de absorción absoluta a N, P, K y Mg en todas las concentraciones de la solución nutritiva estudiadas. Esto muestra que pepino es una planta con alta demanda de Ca, y acumula dicho nutrimento en las hojas más viejas, no como un requerimiento fisiológico sino como una adaptación al ambiente (Ingestad, 1973), para evitar excesos que reduzcan drásticamente el rendimiento.

El mayor rendimiento acumulado por planta se obtuvo con las concentraciones del 75, 125 y 175 % (Cuadro 5), mientras que el menor valor fue obtenido con la concentración del 25 %, lo que muestra que la cantidad de nutrimentos minerales suministrados al cultivo de pepino (Adams *et al.*, 1992) es uno de los factores más importantes en la obtención de alta productividad, de acuerdo con el potencial del genotipo cultivado (Alt y Rimmek, 1996) y el manejo agronómico realizado.

Cuadro 5. Comparación de medias del rendimiento acumulado por planta del cultivo de pepino, a los 120 días después del trasplante, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Concentración de la solución nutritiva de Steiner (%)	Rendimiento (kg·planta ⁻¹)
25	3.58 b ^z
75	6.56 a
125	7.01 a
175	7.67 a
DMS	1.554

^z Valores con la misma letra en la columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

En el Cuadro 6 se presentan los índices de extracción de N, P, K, Ca y Mg para producir una tonelada de frutos en las cuatro concentraciones de la solución nutritiva evaluadas.

Cuadro 6. Cantidades de nutrimentos extraídas para producir una tonelada de frutos de pepino, en cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner. Chapingo, México, 2006.

Nutrimento	Extracción (kg t ⁻¹)								DMS
	Concentración de la solución nutritiva (%)								
	25		75		125		175		
N	1.53	b	1.65	b	2.35	a	1.70	b	0.572
P	0.14	c	0.33	b	0.38	b	0.75	a	0.117
K	1.37	c	1.78	b	2.35	a	1.98	b	0.357
Ca	1.74	b	3.79	a	4.76	a	4.86	a	1.621
Mg	1.17	a	0.98	a	1.05	a	1.14	a	0.420

^z Valores con la misma letra en la hilera son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha \leq 0.05$); DMS: diferencia mínima significativa.

Con la concentración del 125 %, se observaron los mayores índices de extracción de N y K, mientras que con la concentración del 175 % se obtuvieron los índices de extracción más altos en P y Ca. Para el caso del Mg, el mayor índice de extracción se obtuvo con la concentración del 25 %. Sin embargo, teniendo en cuenta que el rendimiento obtenido fue estadísticamente igual en las concentraciones del 75, 125 y 175 %, para fines prácticos se podrían establecer los siguientes índices de extracción: N: 1.65; P: 0.33; K: 1.78; Ca: 3.79; Mg: 0.98 kg ton⁻¹ de fruto (Cuadro 6).

3.6. CONCLUSIONES

El comportamiento de la extracción de N, P, K, Ca y Mg para el cultivo de pepino en invernadero en hidroponía y riego por goteo, fue sigmoide, y se observó efecto de las concentraciones utilizadas, en el rendimiento.

La mayor tasa de absorción absoluta de macronutrientes, en todas las concentraciones estudiadas, se observó de la siguiente manera: N, entre 80 y 100 días después del trasplante; P, entre 91 y 99 días después del trasplante; K, entre 84 y 112 días después del trasplante; Ca, entre 80 y 93 días después del trasplante; y Mg, entre 81 y 93 días después del trasplante.

3.7. LITERATURA CITADA

- ADAMS, P.; GRAVES, C.J.; WINSOR, G.W. 1992. Some responses of cucumber, grown in beds of peat, to N, K and Mg. *Journal of Horticultural Science* 67(6): 877-884.
- ALT, D.; RIMMEK, J. 1996. Calculation of fertilizer demand for vegetable crops in private gardens. *Acta Horticulturae* 428: 165-169.
- ANÓNIMO. 2007. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Exportaciones Agropecuarias de México. Coordinación General de Comunicación Social. D.F. México. 70 p.
- BÁEZ, M.A; TIJERINA, L.; SÁNCHEZ, P.; MARTÍNEZ, A.; ACEVES, L.; ESCALANTE, J. 2003. Modelo logístico: herramienta para diagnosticar el cuánto y cuándo fertirrigar. *Terra* 21 (2): 225-231.
- FAGERIA, N.; BALIGAR, V.; JONES, CH. 1991. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Marcel Decker, Inc. New York, USA. 476 p.
- FELLER, C.; FINK, M. 1996. Nitrogen uptake of vegetable crops estimated by means of simple mathematical models. *Acta Horticulturae* 428: 243-251.
- INGESTAD, T. 1973. Mineral nutrient requirements of *Cucumber* seedlings. *Plant Physiology* 52: 332-338.
- PAPADOPOULOS, A.P.; DORAIS, M.; HAO, X.; TURCOTTE, G.; GOSSELIN, A. 2001. Growing media and plant nutrition: searching for environmental and product quality. *Acta Horticulturae* 559: 487-494.
- RESNIK, M.E. 1986. Nutrición mineral, pp. 245-284. *In: Fisiología Vegetal Volumen II*. SIVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; CASO, O.H. (eds.). Editorial Hemisferio Sur, S.A. Buenos Aires, Argentina.
- STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. Reprint from *Plant and Soil*. XV(1961): 134-154.
- THOMSON, C.J.; BOLGER, T. 1993. Effects of seed phosphorus concentration on the emergence and growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum*), pp. 353-356. *In: Plant Nutrition-from Genetic Engineering to Field Practice. Proceedings of the Twelfth International Plant Nutrition Colloquium. Volume 45*. BARROW, N.J. (Ed.). Kluwer Academic Publishers. Australia.

DISCUSIÓN GENERAL

Con la aplicación diferencial de nutrimentos en el cultivo del pepino, a través de cuatro concentraciones de la solución nutritiva de Steiner, se estableció que el suministro de nutrimentos y el crecimiento se encuentran estrechamente relacionados, en el sentido de que a medida que la planta crece, aumenta su extracción de nutrimentos (Wild, 1992). El adecuado suministro de nutrimentos permite a la planta mayor producción de fotoasimilados que conduce a la multiplicación, expansión y especialización celular.

En el cultivo manejado con la concentración del 25 %, el crecimiento se vio afectado con menor longitud y diámetro del tallo principal, número de hojas, área foliar, número de flores, número de frutos, materia seca total y por órganos y rendimiento, además menor tasa absoluta de crecimiento. También el ciclo biológico se acortó, ya que la entrada a madurez comercial de los frutos tuvo un retraso de cinco días con respecto a las demás concentraciones.

El bajo rendimiento obtenido con la concentración del 25 % se debió al alto porcentaje de aborto de flores y frutos. En el pepino, hasta un 70 % de los frutos que aparecen es abortado, lo que parece estar determinado, sobre todo por la disponibilidad de asimilados durante un corto periodo de tiempo, anterior y posterior a la antesis. Esto explica el efecto negativo que tuvo el poco suministro nutrimental (Peil y Galvez, 2005).

Las deficiencias en el crecimiento del cultivo fueron corregidas de tal forma que con las concentraciones del 75, 125 y 175 % se logró el mejor desarrollo en términos de acumulación de materia seca y rendimiento y duración del ciclo. Además del suministro adecuado de nutrimentos, se necesita que los mismos sean aplicados en la época apropiada o etapas críticas de demanda de acuerdo con el desarrollo del cultivo, las que están asociadas a los puntos máximos de tasa de absorción absoluta de cada nutrimento.

El desarrollo de número de hojas, área foliar, número de flores, materia seca de flores y materia seca de frutos inmaduros, no presentó la posibilidad de representarse mediante el modelo logístico. Quizá ello se fundamenta en que por su crecimiento indeterminado, la planta manifestó la caída de hojas senescentes y flores, las cuales se reemplazan a medida que el cultivo crece, lo que imposibilita el conteo de estructuras que ya no se encuentran presentes.

Además de lo anterior, la escasez de nutrimentos influye desfavorablemente sobre el crecimiento y formación de órganos en la planta, lo que implicó que al alterar las concentraciones de la solución nutritiva, las curvas de crecimiento se separaran paulatinamente, y aunque después se vuelvan a alcanzar valores normales, se producirá una disminución irreversible en el rendimiento, como sucedió con la menor concentración estudiada.

En el cultivo de pepino, los frutos representan entre el 60 y 70 % del peso seco total acumulado por la planta. El mayor suministro de nutrimentos con las concentraciones del 75, 125 y 175 % condujo a mayor crecimiento y rendimiento, lo cual muestra que este cultivo exige un adecuado suministro nutrimental para coordinar correctamente el crecimiento de los órganos vegetativos y la fructificación (Güenkov, 1974), de allí la importancia del estudio del crecimiento en distintas condiciones nutrimentales.

Con los resultados obtenidos se pretendía hacer una propuesta de combinar diferentes concentraciones de la solución nutritiva de Steiner durante el ciclo del cultivo, como una alternativa de manejo, pero se observó que la mayor aportación de nutrimentos garantizó un desarrollo inicial sobresaliente, lo que condujo de manera permanente a un mayor crecimiento y en consecuencia a mayor productividad; esto sugiere que la concentración del 75 % sea un

tratamiento económicamente viable, debido al alto costo que representaría la preparación de soluciones nutritivas más concentradas.

CONCLUSIONES GENERALES

La longitud y diámetro del tallo principal y número de frutos acumulados por planta, presentaron curvas de crecimiento sigmoide. Estas variables, junto con el número de hojas, área foliar y rendimiento acumulado, fueron superiores en las plantas cultivadas con las concentraciones del 75, 125 y 175 %, mientras que tuvieron menores valores con la concentración del 25 %.

Con las concentraciones del 75, 125 y 175 %, el cultivo de pepino acumuló la mayor cantidad de materia seca por órganos y total, pero no se observó un efecto significativo en el índice de cosecha, el cual fue igual para todas las concentraciones estudiadas (71.10, 66.18, 65.54 y 71.51 %, para las concentraciones del 25, 75, 125 y 175 %, respectivamente).

Los mayores valores de la tasa absoluta de crecimiento encontrados con las concentraciones del 75, 125 y 175 % muestran que se acumuló mayor cantidad

de fotoasimilados en el tiempo, los cuales a su vez permitieron mayor producción de frutos.

El comportamiento de la tasa relativa de crecimiento en etapas iniciales de desarrollo del cultivo en general fue alto para las cuatro concentraciones estudiadas, situación que se explica por la mayor proporción de meristemas con respecto a la biomasa presente.

Se obtuvieron los índices de extracción de N, P, K, Ca y Mg para producir una tonelada de frutos de pepino, en condiciones de invernadero, hidroponía y riego por goteo.

LITERATURA CITADA GENERAL

- ADAMS, P.; GRAVES, C.J.; WINSOR, G.W. 1992. Some responses of cucumber, grown in beds of peat, to N, K and Mg. *Journal of Horticultural Science* 67(6): 877-884.
- ALT, D.; RIMMEK, J. 1996. Calculation of fertilizer demand for vegetable crops in private gardens. *Acta Horticulturae* 428: 165-169.
- ANÓNIMO. 2007. SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Exportaciones Agropecuarias de México. Informe Anual 2007. México. 70 p.
- BÁEZ, M.A.; TIJERINA, L.; SÁNCHEZ, P.; MARTÍNEZ, A.; ACEVES, L.; ESCALANTE, J. 2003. Modelo logístico: herramienta para diagnosticar el cuánto y cuándo fertirrigar. *Terra* 21 (2): 225-231.
- BARRAZA, F. 2005. Fisiología del Cultivo del Melón. COMPU Gráficas & Comunicaciones. Montería, Colombia. 163 p.
- DAVIES, J.; KEMPTON, R. 1976. Some changes in the composition of the fruit of the glasshouse cucumber (*Cucumis sativus*) during growth, maturation and senescence. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 27 (5): 413-418.
- DE LINT, P.J.A.L.; HEIJ, G. 1980. Glasshouse cucumber, effects of planting date and night temperature on flowering and fruit development. *Acta Horticulturae* 118: 123-133.

FAGERIA, N.; BALIGAR, V.; JONES, CH. 1991. Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. Marcel Decker, Inc. New York, USA. 476 p.

FELLER, C.; FINK, M. 1996. Nitrogen uptake of vegetable crops estimated by means of simple mathematical models. *Acta Horticulturae* 428: 243-251.

FOGG, G.E. 1967. El crecimiento de las plantas. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA), Argentina. 327 p.

GIFFORD, R.M.; EVANS, L.T. 1981. Photosynthesis, carbon partitioning, and yield. *Annual Review of Plant Physiology* 32: 485-509.

GIFFORD, R.M.; THORNE, J.H.; HITZ, W.D.; GIAQUINTA, R.T. 1984. Crop Productivity and Photoassimilate Partitioning. *Science* 225 (4644): 801-808.

GÓMEZ, M.D.; BAILLE, A.; GONZÁLEZ-REAL, M.M.; MERCADER, J.M. 2003. Dry matter partitioning of greenhouse cucumber crops as affected by fruit load. *Acta Horticulturae (ISHS)* 614: 573-578.

GÜENKOV, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba. 355 p.

HUNT, R. 1982. Plant Growth Curves. The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold (Publishers) Limited. London, U.K. 248 p.

INGESTAD, T. 1973. Mineral nutrient requirements of *Cucumber* seedlings. *Plant Physiology* 52: 332-338.

JARMA, A.; RENGIFO, T.; ARAMENDIZ, H. 2006. Fisiología de estevia (*Stevia rebaudiana*) en función de la radiación en el Caribe colombiano. II. Análisis de crecimiento. *Agronomía Colombiana* 24(1): 38-47.

- KRUG, H. 1985. Growth processes and crop growth modelling. *Acta Horticulturae* 174: 193-204.
- LIEBIG, H.P. 1980. Physiological and economical aspects of cucumber crop density. *Acta Horticulturae* 118: 149-163.
- MARCELIS, L.F.M. 1992. Non-destructive measurements and growth analysis of the cucumber fruit. *Journal of Horticultural Science* 67 (4): 457-464.
- MARCELIS, L.F.M., 1992. The dynamics of growth and dry matter distribution in cucumber. *Annals of Botany* 69: 487-492.
- MARCELIS, L.F.M. 1994. Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber. The DLO-Research Institute of Agrobiology and Soil Fertility. Wageningen, The Netherlands. 173 p.
- MARCELIS, L.F.M., 1994. Effect of fruit growth, temperature and irradiance on biomass allocation to the vegetative parts of cucumber. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 42: 115-123.
- MAROTO, J.V. 1992. *Horticultura Herbácea Especial*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 568 p.
- MORA, R.; ORTIZ, J.; RIVERA, A.; MENDOZA, A.; COLINAS, M.; LOZOYA, H. 2006. Índices de eficiencia de genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. *Revista Chapingo serie Horticultura* 12 (1): 85-94.
- PAPADOPOULOS, A.P.; DORAIS, M.; HAO, X.; TURCOTTE, G.; GOSSELIN, A. 2001. Growing media and plant nutrition: searching for environmental and product quality. *Acta Horticulturae* 559: 487-494.

- PEIL, R.; GALVEZ, J. 2005. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. R. bras. Agrociência 11 (1): 5-11.
- PÉREZ G., F.; MARTÍNEZ L., J. 1994. Introducción a la Fisiología Vegetal. Mundi-Prensa. Madrid, España. 218 p.
- RESNIK, M.E. 1986. Nutrición mineral, pp. 245-284. *In: Fisiología Vegetal Volumen II.* SIVORI, E.M.; MONTALDI, E.R.; CASO, O.H. (eds.). Editorial Hemisferio Sur, S.A. Buenos Aires, Argentina.
- SCHAPENDONK, A.H.C.M.; CHALLA, H. 1980. Assimilate requirements for growth and maintenance of the cucumber fruit. *Acta Horticulturae* 118: 73-82.
- SKIERKOWSKI, J.; DOBRZANSKA, J. 1980. Greenhouse cucumber production and research in Poland. *Acta Horticulturae* 118: 41-55.
- STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Horticultural Experiment Station, Naaldwijk, Netherlands. Reprint from *Plant and Soil*. XV(1961): 134-154.
- THOMSON, C.J.; BOLGER, T. 1993. Effects of seed phosphorus concentration on the emergence and growth of subterranean clover (*Trifolium subterraneum*), pp. 353-356. *In: Plant Nutrition-from Genetic Engineering to Field Practice. Proceedings of the Twelfth International Plant Nutrition Colloquium. Volume 45.* BARROW, N.J. (Ed.). Kluwer Academic Publishers. Australia.
- VISSER, A.J. 1980. Economic aspects of cucumber growing in the Netherlands. *Acta Horticulturae* 118: 11-16.
- WILD, A. 1992. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Russel. Mundi-Prensa. Madrid, España. 1045 p.