

Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura

Effects of substrate and plant spacing on growth of pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in hydroponic system without cover

G.J. Valles Rigió¹, J.G. Lugo González¹, Z.F. Rodríguez G.² y L.T. Díaz T.³

¹Departamento de Fitotecnia, Decanato de Agronomía, UCLA. Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela.

²Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía de LUZ. Apdo. Postal 526, Maracaibo, Venezuela.

³Departamento de Ingeniería Agrícola. Decanato de Agronomía, UCLA. Apdo. 400. Barquisimeto, Venezuela.

Resumen

Los sistemas hidropónicos son alternativas importantes para sustituir métodos tradicionales en la producción comercial de pimentón (*Capsicum annuum* L.). Para analizar el crecimiento vegetativo en función de distancias de siembra y uso de sustratos se determinaron en pimentón híbrido XP 12401 las variables de crecimiento: materia seca de la hoja, tallo, raíz y total, índice de área foliar y tasa de crecimiento, cada 15 días, en un sistema hidropónico sin cobertura, en Lara, Venezuela. Los tratamientos utilizados fueron: sustrato 100% fibra de coco y la mezcla de 50% fibra de coco + 50% pergamino de café y dos distancias de siembra 30 y 60 cm entre planta. El diseño estadístico fue completamente al azar, con un arreglo factorial 2 x 2 (dos sustratos y dos distancias de siembra), con 5 repeticiones. La materia seca de hoja, tallo, raíz y total fueron mayores con el sustrato de 100% fibra y 60 cm entre plantas, todos los períodos. La masa seca incrementó con la edad de la planta. El índice de área foliar presentó valores crecientes hasta los 62 días y disminuyeron hacia los 77 días y la tasa de crecimiento se incrementó marcadamente hacia los 47 días, para disminuir drásticamente a los 62 e incrementarse ligeramente hacia

Recibido el 23-10-2007 • Aceptado el 4-2-2009

Autor de correspondencia e-mail: zulrodriguez@luz.edu.ve; zuliro@hotmail.com

los 77. Las plantas presentaron una curva de crecimiento sigmoideal, con un rápido crecimiento vegetativo desde trasplante hasta los 47 días posteriores a este, momento a partir del cual el ritmo de crecimiento disminuyó hacia los 62 días después del trasplante.

Palabras clave: espaciamiento, *Capsicum annuum*, fibra de coco, hidroponía.

Abstract

The hydroponic systems are important alternatives for substituting the traditional methods in the pepper (*Capsicum annuum* L) commercial production. In order to analyze vegetative growth as a function of plant spacing and substrate use, in pepper plants hybrid XP 12401, the following growth variables were determined: dry matter of leaf, stem, root and total, leaf area index, and growth rate every 15 days, in hydroponic system without cover, in Lara, Venezuela. Treatments used were: substrate 100% of coconut fiber and the mixer 50% coconut fiber + 50% coffee parchment and two plant spacing, 30 and 60 cm between plants. A split plot design with factorial arrangement 2 x 2 (two substrates and two plant densities) with 5 replicates was used. The dry matter of leaf, stem, root and total were higher with the substrate of 100% fiber and plant spacing of 60 cm all the period. With plant age increase the dry weight. The leaf area index increased until 62 days, by decreasing drastically to 77 days and the growth rate increased toward 47 days to drastically diminish toward the 62 days and subsequently increase in a lightly way toward the 77 days. The plants showed a sigmoidal growth curve, with a rapid vegetative growth from transplanted until 47 after that, from this moment, the growth rate decrease toward the 62 days after transplanting.

Key words: spacing, *Capsicum annuum*, coconut fiber, hydroponic.

Introducción

En Venezuela los métodos tradicionales que se aplican a la producción del pimentón (*Capsicum annuum* L.), son poco eficientes y costosos, especialmente en cuanto a prácticas como la fertilización y la aplicación de agua para riego, por lo que es común observar una disminución en el rendimiento, debido principalmente al mal manejo agronómico. La producción en cultivos hidropónicos bajo condiciones controladas, son una alternativa viable para solucionar estos pro-

Introduction

In Venezuela, the traditional methods that are applied to the pepper (*Capsicum annuum* L.) production, are inefficient and expensive, especially in relation to practices like fertilization and application of irrigation water, it is common to observe a diminishing on yield, mainly because to the bad agronomical management. Production of hydroponic crops under controlled conditions, are one viable alternative to solve these problems,

blemas, ya que las plantas se cultivan en soluciones nutritivas con o sin el uso de sustratos, pero haciendo un uso eficiente de los recursos agua y fertilizante (Ramos y Luna, 2006). Sin embargo, a pesar de ser los cultivos hidropónicos una estrategia muy aceptada para la producción de pimentón a nivel mundial (Resh, 2002), en el país, no existen evidencias importantes de cultivos de esta especie bajo el sistema hidropónico.

A parte de los costos, una de las causas que podría limitar el uso de los sistemas hidropónicos en la siembra de pimentón es la dificultad que ofrece el manejo de estas plantas bajo este sistema, debido a una sensibilidad particular que presentan sus raíces al contacto directo con el agua (Rodríguez, 2001). Para solventar estos problemas se recomienda el uso de sustratos, materiales de diversas naturalezas que son empleados para proveer soporte físico, promover un eficiente intercambio de gases, una buena retención y disponibilidad de agua y de nutrientes a la plantas, los cuales han demostrado que dependiendo de su naturaleza pueden intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de las plantas y que definitivamente afectan el desarrollo medido en producción (Smiderle *et al.*, 2001; De Grazia *et al.*, 2006).

El estudio de la densidad de siembra es importante en el pimentón, por ser una planta de crecimiento dicotómico con cuajado de frutos en los puntos de ramificación, donde, la competencia por nutrientes suele causar un desbalance entre el crecimiento

because plants are cultivated in nutritive solutions with or without the use of substrates, but making an efficient use of resources water and fertilizer (Ramos and Luna, 2006). However, despite the hydroponic crops, a very accepted strategy for the pepper production at world level (Resh, 2002); in the country, there are no important evidences about crops of this specie under the hydroponic system.

Besides of costs, one of causes that could limit the hydroponic systems use in pepper sowing is the difficulty that offers the management of these plants under this system, because a particular sensitivity that its roots shows when the contact with water is direct (Rodríguez, 2001). To solve these problems, the use of substrates and materials of different nature is recommended, which are used to give physical support, to promote an efficient gases exchange, a good retaining and water and nutrients availability to plants, which have shows that depending on its nature can takes part or not in the complex process of plants mineral nutrition and definitively affect the development measured in production (Smiderle *et al.*, 2001; De Grazia *et al.*, 2006).

The study of sowing density is important in pepper, because it is a plant of dichotomous growth with ripe fruits in ramification points, in where, the competence for nutrients cause an unbalance between growth of vegetative and reproductive part (Vitoria *et al.*, 2001), which have a negative effect on development and

to de la parte vegetativa y la reproductiva (Vitoria *et al.*, 2001), con lo cual, se ejerce un efecto negativo sobre el desarrollo y el rendimiento de las plantas; sin embargo, esa competencia puede ser manipulada por cambios en la densidad de plantas (Russo, 2003). De allí, que algunas experiencias revelen que la densidad de plantas por unidad de área fue un factor importante, el cual, es responsable de un adecuado crecimiento y rendimiento de las plantas (Vitoria *et al.*, 2001; Russo, 2003; García *et al.*, 2006).

Consciente de la importancia de incorporar nuevos sistemas de producción de pimentón y establecer distancias de siembras que garanticen un adecuado desarrollo del cultivar seleccionado y tomando como referencia algunos componentes del crecimiento, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el crecimiento vegetativo y establecer el patrón de distribución de la materia seca en el tiempo, en plantas de pimentón híbrido XP 12401 en función de la distancia de siembra y el uso de sustrato en un sistema hidropónico sin cobertura.

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el área de propagación de plantas, del Departamento de Fitotecnia del Decanato de Agronomía de la Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado", localizado en Cabudare, municipio Palavecino del estado Lara, ubicado geográficamente 10°01' LN y 06°17' LO y una altitud de 510 msnm. La zona corresponde a un bosque seco

yield of plants; however, this competence could be manipulated by changes in plants density (Russo, 2003). Therefore, some experiences shows that plants density per area unit was an important factor, which is responsible of an adequate growth and plant yield (Vitoria *et al.*, 2001; Russo, 2003; García *et al.*, 2006).

Being conscious of the importance to incorporate new pepper production systems and to establish sowing distances that guarantee an adequate development of selected cultivar and taking as a reference some growth components, this research had as objective to evaluate the vegetative growth and to establish the distribution pattern of dry matter on time, in pepper plants hybrid XP 12401 as a function of sowing distance and the use of substrate in a hydroponic system without cover.

Materials and methods

Essay was carried out in the plants propagation area of Fitotecnia Department, Agronomy DECANATO, Centroccidental University "Lisandro Alvarado", located in Cabudare, Palavecino municipality, Lara state, geographically located at 10°01' NL, 06°17' WL and altitude of 510 msnm. Region correspond to a dry tropical forest (bs-T) according to the Holdridge life region classification (1986); and according to the registers of the climatological station, located inside of experimental field, the mean rainfall for 2004 was of 927 mm, with a regime of bimodal distribution. The annual mean temperature was of

tropical (bs-T) según la clasificación de las zonas de vida de Holdridge (1986). De acuerdo a los registros de la estación climatológica, ubicada dentro del campo experimental, la precipitación promedio para el año 2004 fue de 927 mm, con un régimen de distribución bimodal. La temperatura media anual fue de 26°C, la humedad relativa promedio fue de 69% y la evaporación de 2102 mm.año⁻¹ con 7,9 horas.día⁻¹ de insolación (Rodríguez y Pire, 2004).

Para evaluar el crecimiento de las plantas de pimentón híbrido XP 12401, se probaron dos distancias de siembra 30 (D1) y 60 cm (D2) y dos sustratos, fibra de coco 100% (S1) y una mezcla 50% fibra de coco + 50% pergamino de café (S2). Para ello se estableció un sistema hidropónico de circuito cerrado, en un área de 90 m², sin cobertura, es decir, expuesto a las condiciones ambientales locales. El trasplante se realizó con plantas de 35 días de edad, colocadas sobre canales realizados con tubería de PVC de 4" de diámetro, y 6 m de longitud, que contenían los diferentes sustratos. Los canales se colocaron en hileras dobles con separación de 1,5 m y 40 cm entre hileras simples, estos estaban soportados por una base metálica en forma de "T", dispuestos tres por hilera doble, este soporte permitió orientar la pendiente para garantizar el drenaje de la solución nutritiva.

El riego se realizó por periodos de 15 min, empleando cintas de goteo ubicadas sobre el canal de cultivo, con una frecuencia diaria controlada por un reloj programable y aplicando la solución de Howard Resh para el trópico (Resh, 2002) contenida en un tan-

que 26°C, the mean relative moisture was 69% and the evaporation 2102 mm.año⁻¹ with 7.9 hours.day⁻¹ of sunlight (Rodríguez and Pire, 2004).

To evaluate the growth of hybrid pepper XP 12401, two sowing distances were evaluated 30 (D1) and 60 cm (D2) and two substrates, coconut fiber 100% (S1) and a mixture of 50% coconut fiber + 50% coffee parchment (S2). For this, a hydroponic system of closed circuit was established, on an area of 90 m², without cover, it means, exposed to local environmental conditions. Transplanting was carried out with plants of 35 days old, placed on channel made by using PVC pipes of 4" diameter and 6m length, having the different substrates. Channels were placed in double rows with separation of 1.5 m and 40 cm between simple rows, which was supported by a metallic base with "T" shape, three by each double row, this support permitted to guide the slope to guarantee the drainage of nutritive solution.

Irrigation was accomplished by periods of 15 min, by using dripping tapes located on the crop channel, with a daily frequency controlled by a programmable watch and by applying the solution of Howard Resh for the tropic (Resh, 2002) contained in a tank of 500 L and drive by the action of an electric bomb of ½ HP. The nutritive solution was controlled by the measurement of its electrical conductivity (EC) and after to be discharged on the substrate contained in the crop channels, it drained toward a collector channel that carried out the solution to the tank.

que de 500 L de capacidad e impulsada por la acción de una bomba de $\frac{1}{2}$ HP eléctrica. La solución nutritiva se controló por medio de la medición de su conductividad eléctrica (CE) y posterior a ser descargada sobre el sustrato contenido en los canales de cultivo drenaba hacia un canal recolector que llevaba la solución nuevamente al tanque.

El control de plagas y enfermedades se realizó según su incidencia mediante la colocación de trampas y la aplicación de productos químicos cuando fue estrictamente necesario.

El diseño experimental fue completamente al azar, bajo un arreglo factorial 2×2 (dos distancias de siembra y dos sustratos), para cuatro tratamientos y cinco repeticiones para un total de 20 unidades experimentales. El análisis estadístico se realizó mediante la utilización de los programas Microsoft Excel, Statistix 7.0 y 8.0. Se aplicó transformación de datos, $\text{Log}(y)$, para las variables: materia seca de hoja y materia seca total y $\text{Log}(y+0.5)$, para las variables: materia seca de tallo y materia seca de raíz. Durante el transcurso del experimento se cuantificaron las siguientes variables:

Crecimiento vegetativo: la evaluación se realizó a los 32, 47, 62 y 77 días posteriores al trasplante (DPT), determinándose para ello:

Materia seca de hoja, tallo, raíz y total de la planta: el material discriminado por órgano de la planta y por repetición, se colocó en bolsas de papel y se introdujeron a una estufa a 70°C , donde el material permaneció aproximadamente 48 horas hasta alcanzar peso seco constante.

Índice de área foliar: el área

Pest and disease control was accomplished according to the incidence through the traps placing and the chemical products application when necessary.

A complete random design, under a factorial arrangement 2×2 (two sowing distances and two substrates) was used, to 4 treatments and five replications for a total of 20 experimental units. The statistical analysis was accomplished through the use of Microsoft Excel, Statistix 7.0 and 8.0 programs. Data transformation was applied; $\text{Log}(y)$, for the variables: dry matter of leaf and total dry matter and $\text{Log}(y+0.5)$, for the variables: dry matter of stem and dry matter of root. During the experiment the following variables were quantified:

Vegetative growth: the evaluation was done at 32, 47, 62 and 77 days after transplanting (DAT), being determined for that:

Dry matter of leaf, stem, root and total of plant: material discriminate by plant organ and by replicate, it was placed into paper bags and it were taken to an oven at 70°C , where the material remained approximately 48 hours until reaching a constant dry weight.

Foliar area index: it was measured taking as a reference the squares of coordinate graph paper. With the foliar area and the land unitary area, the foliar area index was calculated through the following equation:

$L = S/P$; in where L = foliar area index, S is foliar area (cm^2) and P surface (cm^2) in where plant developed, being L dimensionless (Beadle, 1989).

foliar se midió tomando como referencia las cuadrículas de hojas de papel milimetrado. Con el área foliar y el área unitaria del terreno se calculó el índice de área foliar a través de la ecuación:

$L = S/P$; donde L = índice de área foliar, S es área foliar (cm^2) y P superficie (cm^2) donde se desarrolló la planta, siendo L adimensional (Beadle, 1989).

Tasa de crecimiento del cultivo (C): se calculó desde trasplante y cada 15 días hasta los 60 días, la tasa de crecimiento del cultivo (Beadle, 1989), a través de la ecuación:

$$C = E * L \quad (1)$$

$$\text{Donde } E = \frac{(w_2 - w_1) * (\ln_2 - \ln_1)}{(S_2 - S_1) * (T_2 - T_1)} =$$

$$\text{Tasa foliar unitaria} \quad (2)$$

$$\text{y } L = \frac{S1}{P} = \text{Índice de área foliar} \quad (3)$$

Materia seca.planta⁻¹ (W), área foliar (S), tiempo (T), logaritmo neperiano (ln), superficie (P).

Curvas de crecimiento de la planta: para evaluar el crecimiento de la planta después de medir la materia seca de cada órgano y la total, se determinaron ecuaciones de regresión polinómicas y cúbicas, con la finalidad de caracterizar la dinámica de crecimiento en función de la densidad, sustrato y edad de las plantas. Las ecuaciones de estimación se seleccionaron sobre la base de las pruebas de significación de los coeficientes de regresión y de la bondad de ajuste, expresada mediante los coeficientes de determinación.

Crop growth rate (C): was calculated from transplanting and each 15 days until 60 days, the crop growth rate (Beadle, 1989), through the following equation:

$$C = E * L \quad (1)$$

$$\text{In where } E = \frac{(w_2 - w_1) * (\ln_2 - \ln_1)}{(S_2 - S_1) * (T_2 - T_1)} =$$

$$\text{Unitary foliar rate} \quad (2)$$

$$\text{and } L = \frac{S1}{P} = \text{foliar area index} \quad (3)$$

Dry matter.plant⁻¹ (W), foliar area (S), time (T), Neperian logarithm (ln), and surface (P).

Plant growth curves: In order to evaluate the plant growth after measuring the dry matter of each organ and the total, polynomial and cubic regression equations were determined, to characterize the growth dynamics as a function of density, substrate and plant age. Estimation equations were selected on the base of significance tests of regression coefficients and the adjustment goodness, expressed by the determination coefficients.

Results and discussion

Dry matter of leaf

The higher value of leaves dry matter per plant was 8.26 g in S1 to 60 cm separation between plants, in relation to 5.27 g in plants subdue to D1 in the same substrate (table 1). These results agree with those obtained by Vilorio *et al.* (2001) who pointed out a decrease on dry matter of leaves when plant density increases in different periods after

Resultados y discusión

Materia seca de hoja

El mayor valor de la materia seca de hojas por planta fue 8,26 g en S1 a 60 cm de separación entre planta, con respecto al 5,27 g en plantas sometidas a D1 en el mismo sustrato (cuadro 1). Estos resultados coincidieron con los obtenidos por Viloría *et al.* (2001) quienes señalaron disminución en la materia seca de las hojas a medida que se incrementó la densidad de plantas en diferentes periodos posteriores al trasplante, independientemente de la edad del cultivo.

Este comportamiento observado pudo ser el resultado de un aumento en la competencia entre plantas por agua, luz y/o nutrientes a medida que se incrementó la densidad de siembra. Por otra parte se observó que en S2 el patrón de comportamiento fue completamente diferente, la mayor materia seca se observó en plantas separadas 30 cm, posiblemente la mezcla de sustrato proporcionó mejores condiciones de humedad, aireaciones nutrientes, para el desarrollo de las plantas a menor separación.

Materia seca de tallo

En cuanto a la materia seca del tallo, a los 77 días después del trasplante, el tratamiento S1 a 60 cm de separación entre planta presentó la mayor acumulación de materia seca con 9,18 g, con respecto a los 5,93 g en D1 (cuadro 1), estos resultados coincidieron con los obtenidos por Viloría *et al.* (2001) al evaluar el efecto de la distancia de siembra sobre el desarrollo de plantas de pimentón, además observaron que la biomasa del tallo fue superior en plantas con la

transplantando, independientemente de crop age.

This observed behavior could be the result of an increase on competence between plants by water, light and/or nutrients when sowing density increased. On the other hand, it was observed that in the S2 the behavior pattern was completely different, the higher dry matter was observed in plants separated 30 cm, possibly the substrate mixture gave better moisture conditions, aeration, nutrients, for the plants development to lower separation.

Dry matter of stem

At 77 days after transplanting, treatment S1 to 60 cm separation between plants showed the higher accumulation of dry matter with 9.18 g, respect to the 5.93 g in D1 (table 1); these results agree with those obtained by Viloría *et al.* (2001) who evaluated the effect of sowing distance on pepper plants development; also, they observed that the stem biomass was superior in plants with the higher separation, possibly because under these conditions decreased the competence between plants by water, light and/or nutrients, favoring the dry matter accumulation on plant stem.

Dry matter of root

Mean values of dry matter in root by plant, were higher ($P < 0.05$) in a significant way with 3.38 g in S1 in plants separated 60 cm (table 1). Similar results were found by Páez (2004) who obtained the higher dry matter accumulation in roots of cultivated seedlings on coconut fiber, these results permit to establish a strong relationship between the

Cuadro 1. Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre la materia seca de hoja, tallo y raíz en plantas de pimentón híbrido XP 12401 en diferentes períodos posteriores a la emergencia.

Table 1. Effect of substrate and sowing distance between plants on dry matter of leaf, stem and root in pepper plants XP 12401 hybrid in different periods after emergence.

Sustrato	Distancia de siembra	Días después del trasplante	Materia seca hoja ¹ (g)	Materia seca tallo ² (g)	Materia seca raíz ² (g)		
Fibra de coco	30 cm	32	0,31 ^j	0,31 ^h	0,28 ^k		
		47	3,46 ^e	2,69 ^d	1,90 ^d		
		62	3,52 ^d	3,10 ^d	2,10 ^e		
		77	5,27 ^b	5,93 ^b	2,39 ^b		
		32	0,66 ^h	0,36 ^g	0,33 ⁱ		
		47	4,37 ^c	4,15 ^c	2,36 ^b		
	60 cm	62	4,44 ^b	5,23 ^b	2,44 ^b		
		77	8,26 ^a	9,18 ^a	3,38 ^a		
		Mezcla	30 cm	32	0,10 ^k	0,20 ⁱ	0,30 ^j
				47	1,71 ^g	1,32 ^f	1,17 ^g
				62	1,81 ^g	1,40 ^f	1,42 ^f
			60 cm	77	2,41 ^f	2,60 ^d	1,66 ^e
32	0,34 ⁱ			0,28 ^h	0,30 ^j		
47	1,60 ^g			1,15 ^f	0,72 ^h		
60 cm	62	1,64 ^g	1,33 ^f	0,86 ^h			
	77	1,65 ^g	2,10 ^e	1,33 ^f			

¹Promedios convertidos (10^Y). ²Promedios convertidos (10^{-0,5}). Medias con distintas letras difirieron significativamente (P<0,05), según la prueba de los rangos múltiples de Tukey. Los datos representan la media de cinco repeticiones.

mayor separación, posiblemente porque bajo estas condiciones disminuyó la competencia entre plantas por agua, luz y/o nutrientes, favoreciendo la acumulación de materia seca en el tallo de la planta.

Materia seca de raíz

Los valores promedios de materia seca en la raíz por planta, fueron significativamente ($P < 0,05$) mayores con 3,38 g en S1 en plantas separadas 60 cm (cuadro 1). Resultados similares encontró Páez (2004) quien obtuvo la mayor acumulación de materia seca en raíces de plántulas cultivadas sobre fibra de coco, estos resultados permiten establecer una fuerte asociación entre el sustrato y las distancias de siembra sobre la acumulación de materia seca posiblemente relacionado con un aumento en la disponibilidad de agua, luz y nutrientes.

Materia seca total de planta

La mayor acumulación de materia seca se observó en plantas que crecieron sobre el sustrato S1, donde, a partir de los 32 y hasta los 77 días todas las medias fueron significativamente superiores que las obtenidas cuando se utilizó la mezcla S2 (cuadro 2), estos resultados coincidieron con Páez (2004), el cual describió al evaluar diferentes mezclas de sustratos en la producción de plántulas de pimentón, que aquellas crecidas sobre los sustratos que contenían pergamino de café, manifestaron los menores valores de crecimiento vegetativo, de lo cual, se podría inferir que la naturaleza del pergamino de café interfirió con el crecimiento de las plantas. En líneas generales las plantas cultivadas en S1 se obser-

substrate and sowing distances on the dry matter accumulation possibly related to an increase in the water, light and nutrients availability.

Total dry matter of plant

The higher dry matter accumulation was observed in plants growing on the S1 substrate in where from 32 days and until the 77 days, all the averages were significantly higher than those obtained when the S2 mixture was used (table 2); these results agreed with Páez (2004), who evaluated different substrates mixtures on the pepper seedlings production and described that those grown on substrates having coffee parchment, showed the lower values of vegetative growth, and it would be possible to infer that the nature of coffee parchment interfered to the plants growth. In general terms, plants cultivated in S1 were more vigorous, reflecting this vigor into higher dry matter accumulation.

In relation to total dry matter, and to the distance between plants and age, it was observed that the higher values with 20.82 g corresponded to the S1 treatment in plants subdue to D2 77 DAT, by showing that this had an important effect of population pressure on pepper plants development. Similar results were reported by Decoteau and Hatt (1994), who evaluated the "Campana" and "Cayena" pepper plants development respectively, subdue to several sowing distances between plants, and found, higher total dry matter accumulation at the moment of harvest, in plants separated to 60 cm and they reported that when separation between plants increased, the dry matter also increased.

Cuadro 2. Efecto del sustrato y distancias de siembra entre plantas sobre la materia seca total del pimentón híbrido XP 12401 en diferentes períodos posterior al trasplante.

Table 2. Effect of substrate and sowing distances between plants on total dry matters of pepper XP 12401 hybrid in different periods after transplanting.

Sustrato	Distancia de siembra (cm)	Materia seca total (g.planta ⁻¹) Días después del trasplante							
		32		47		62		77	
Fibra de coco	30	0,9 ^b	A	8,05 ^b	A	8,62 ^b	A	13,59 ^b	A
	60	1,35 ^a		10,88 ^a		12,11 ^a		20,82 ^a	
Mezcla	30	0,6 ^b	B	4,20 ^a	B	4,63 ^a	B	6,67 ^a	B
	60	0,92 ^a		3,47 ^b		3,83 ^b		5,08 ^b	

Medias con distintas letras difieren significativamente ($P \leq 0,05$) de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey. Letras minúsculas efecto de distancia de siembra y mayúsculas del sustrato. Los datos representan la media de 5 repeticiones.

varon más vigorosas, reflejando ese vigor en mayor acumulación de materia seca.

Con respecto a la materia seca total y a la distancia entre planta y la edad, se observó que los valores más altos con 20,82 g pertenecieron al tratamiento S1 en plantas sometidas a D2 77 DPT, indicando esto un efecto importante de la presión de población en el desarrollo de las plantas de pimentón. Resultados similares reportaron Decoteau y Hatt (1994), los cuales al evaluar el desarrollo de plantas de pimentón campana y pimentón cayena respectivamente, sometidos a varias distancias de siembra entre plantas, encontraron mayor acumulación de materia seca total al momento de la cosecha, en plantas separadas 60 cm y señalaron que a medida

Likewise, Popescu *et al.*, (1995), in relation to the dry matter accumulation of pepper plant under management controlled conditions, they pointed out that when the plantation age is older, its dry matter increased in a significant way, whereas, Fontes *et al.* (2005) established that the dry matter distribution is mainly determined by the crop age, genotype, translocation in plant and management.

Foliar area index

Foliar area is the usual measure of plant photo synthesizer, also, it determines the solar energy quantity that is absorbed and changed into organic materials (Azofeifa and Moreira, 2004). The foliar area index, for all the treatments showed a progressive increase from 32 until 62

que se incrementó la separación entre plantas la materia seca incrementó linealmente.

Así mismo, Popescu *et al.* (1995), en cuanto a la acumulación de materia seca de planta de pimentón bajo condiciones controladas de manejo, señalaron que a mayor edad de la plantación su materia seca aumentó significativamente, mientras que, Fontes *et al.* (2005) señaló que la distribución de la materia seca esta determinada principalmente por la edad del cultivo, genotipo, traslocación en la planta y el manejo.

Índice de área foliar

El área foliar es la medida usual del tejido fotosintetizador de una planta, además, determina la cantidad de energía solar que es absorbida y convertida en materiales orgánicos (Azoifeifa y Moreira, 2004). El índice de área foliar, para todos los tratamientos presentó un aumento progresivo desde los 32 hasta los 62 DPT para luego disminuir hacia los 77 días, posiblemente asociado con una fuerte traslocación de fotoasimilados hacia otros sitios de demanda (cuadro 3).

También se observó que el mayor índice, con aproximadamente 0,42 se registró a los 62 DPT, para la combinación S1 con D2, y disminuyó levemente hacia los 77 días, coincidiendo con lo señalado por Fontes *et al.* (2005) al observar el mismo patrón de desarrollo del área foliar con un descenso en su ritmo de crecimiento hacia el final del ciclo, para diferentes épocas de muestreo.

Por otra parte, los valores promedios para la variable de crecimiento vegetativo índice de área foliar, fue-

DAT for after decrease toward 77 days, possibly related to a strong translocation of photo assimilates toward other requirement places.

Also, the higher index was observed with approximately 0.42 was registered at 62 DAT, for the combination S1 and D2, and slightly decreased toward the 77 days, in agreement with those reported by Fontes *et al.* (2005) when observing the same development pattern of foliar area with a decrease in its growth rhythm toward the end of cycle, for different sampling times.

On the other hand, the average values for the foliar area index variable, were higher for the combination S1 and D2, this higher development could be related with the little competence between plants because the low sowing density. Similar results were obtained by Lorenzo and Castilla (1995), who established foliar area index in plants cultivated to the lower density. Also, it was observed that the foliar area development of plants growing in S2 in both sowing densities, was significant inferior ($P \geq 0.05$) to those obtained by plants developed in substrate only with coconut fiber, these results agreed with those found by Páez (2004), when testing several sub agricultural products said that cultivated seedlings on coffee parchment substrate showed the lower vegetative growth values.

Growth rate

The lower growth rate in both substrates was observed at 62 DAT. In the S1 substrate this effect was more marked in plants to D1, these

Cuadro 3. Efecto del sustrato y distancias de siembra entre plantas sobre el índice de área foliar del pimentón híbrido XP 12401 en diferentes periodos posterior al trasplante.

Table 3. Effect of substrate and sowing distances between plants on the foliar area index of pepper XP 12401 hybrid in different periods after transplanting.

Sustrato	Distanciade siembra (cm)	Índice de Área Foliar Días después del trasplante			
		32	47	62	77
Fibra de coco	30	0,0085 ^a A	0,2192 ^b A	0,2872 ^b A	0,2765 ^a A
	60	0,0059 ^a	0,2823 ^a	0,4183 ^a	0,3002 ^a
Mezcla	30	0,0061 ^b B	0,1345 ^c B	0,1563 ^c B	0,1104 ^b B
	60	0,0043 ^b	0,0528 ^d	0,0606 ^d	0,0515 ^c

Medias con distintas letras difirieron significativamente ($P \leq 0,05$) de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey. Letras minúsculas efecto de distancia de siembra y mayúsculas del sustrato. Los datos representan la media de cinco repeticiones.

ron superiores para la combinación S1 y D2, este mayor desarrollo podría relacionarse con la poca competencia entre planta debido a la baja densidad de siembra. Similares resultados fueron obtenidos por Lorenzo y Castilla (1995), quienes señalaron índice de área foliar en plantas cultivadas a la menor densidad. También se observó que el desarrollo del área foliar de plantas creciendo en S2 en ambas densidades de siembra, fue significativamente inferior ($P \geq 0,05$) a la obtenida por plantas desarrolladas en sustrato con sólo fibra de coco, estos resultados coincidieron con los encontrados por Páez (2004), al probar varios subproductos agrícolas señaló que las plántulas cultivadas sobre sustrato que contuvieron pergamino de café manifestaron los menores valores de crecimiento vegetativo.

results agreed with those reported by Zúñiga-Estrada *et al.* (2004) who observed a decrease in growth rate and pepper plant height under hydroponic conditions, that matched with the flowering time in plants with the higher sowing density. This behavior pattern differed with those observed in the substrates mixing, in where the lower growth rate was reported in the plants at lower density.

The behavior of growth rate, at 32 DAT the S1 treatment showed the higher average with $0.78 \text{ g.cm}^{-2}.\text{day}^{-1} \times 10^{-5}$, respect to $0.38 \text{ in g.cm}^{-2}.\text{day}^{-1} \times 10^{-5}$ of S2 treatment (table 4). At the 47 and 77 DAT according to the averages observed, the combination of S1 substrate with D1 showed in a significant way the higher growth rate with $26.68 \text{ and } 5.30 \text{ g.cm}^{-2}.\text{day}^{-1} \times 10^{-5}$,

Tasa de crecimiento

La menor tasa de crecimiento en ambos sustratos se observó a los 62 DPT. En el sustrato S1 este efecto fue más marcado en plantas a D1, estos resultados coincidieron con lo reportado por Zúñiga-Estrada *et al.* (2004) que observaron una disminución en la tasa de crecimiento y altura de la planta de pimentón bajo condiciones hidropónicas, que coincidieron con la etapa de floración en plantas con la mayor densidad de siembra. Este patrón de comportamiento difirió con el observado en la mezcla de sustratos, donde la menor tasa de crecimiento se reportó en las plantas a la menor densidad.

El comportamiento de la tasa de crecimiento, a los 32 DPT el tratamiento S1 presentó la media más alta con $0,78 \text{ g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}\times 10^{-5}$, con respecto al $0,38$ en $\text{g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}\times 10^{-5}$ del tratamiento S2 (cuadro 4). A los 47 y los 77 DPT según las medias observadas, la combinación del sustrato S1 con D1 presentó significativamente la mayor tasa de crecimiento con $26,68$ y $5,30 \text{ g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}\times 10^{-5}$, en comparación con los $20,75$ y $3,43 \text{ g.cm}^{-2}.\text{día}^{-1}\times 10^{-5}$ del tratamiento S1 con D2. Similar patrón de comportamiento se observó en las plantas cultivadas bajo el sustrato S2; sin embargo, con valores muy por debajo de los observados en el sustrato S1.

Finalmente, la tasa de incremento en la materia seca planta⁻¹ en la mayoría de los casos fue menor a mayor densidad de siembra, tal y como lo confirmaron Viloría *et al.* (2001), que señalaron que la materia seca promedio disminuyó a medida que las distancias se acortaron, debido a que

in comparison to 20.75 and $3.43 \text{ g.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}\times 10^{-5}$ of S1 treatment with D2. Similar behavior pattern was observed in plants cultivated under the S2 substrate; however, with values below those observed in the S1 substrate.

Finally, the increase rate in the dry matter plant⁻¹ in most of cases was lower when the sowing density was lower, as established by Viloría *et al.* (2001), who showed that the mean dry matter decreased when distances become short, because the competence between plants by light, CO₂, water and nutrients; besides of considering that this index was expressed in dry matter production by surface unit sowed by time ($\text{g.cm}^{-2}.\text{day}^{-1}$).

Vegetative growth curves

The functional relationship between the vegetative variables and the crop age was evaluated through cubic functions, those that better explained the growth response and where they were selected by considering the values of determination coefficient (R²) and variation coefficient (VC). Estimation equations generated for explaining the behavior of vegetative variable growth, between 32 and 77 DAT are shown in table 5, with determination coefficients (R²) that fluctuated between 0.9874 and 0.9524 , which represented adequate adjustment goodness for the relationships established between treatments, by showing reliability in results.

For the dry matter of leaf, stem, root and total dry matter of plant variables, cubic polynomial equations were established with change points in the response curve at 32, 47, 62 and

Cuadro 4. Efecto del sustrato y distancias de siembra entre plantas sobre la tasa de crecimiento del pimentón híbrido XP 12401 en diferentes periodos posterior al trasplante.

Table 4. Effect of substrate and sowing distances between plants on the pepper XP 12401 hybrid growth rate in different periods after transplanting.

Sustrato	Distanciade siembra (cm)	Tasa de Crecimiento (g.cm ⁻² .díax10 ⁻⁵) Días después del trasplante			
		32	47	62	77
Fibradecoco	30	0,78 ^a	26,68 ^a	0,73 ^b	5,30 ^a
	60		20,75 ^b	1,16 ^a	3,43 ^b
Mezcla	30	0,38 ^b	12,15 ^c	0,46 ^{bc}	2,04 ^c
	60		3,86 ^d	0,25 ^c	0,54 ^d

Medias con diferentes letras difirieron significativamente ($P \leq 0,05$) de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey.

aumentó la competencia entre las plantas por luz, CO₂, agua y nutrientes; además, de considerar que este índice fue expresado en producción de masa seca por unidad de superficie sembrada por tiempo (g.cm⁻².día⁻¹).

Curvas de crecimiento vegetativo

La relación funcional entre las variables vegetativas y la edad del cultivo, se evaluó mediante funciones cúbicas, las que explicaron mejor la respuesta del crecimiento y donde se seleccionaron considerando los valores del coeficiente de determinación (R²) y coeficiente de variación (CV). Las ecuaciones de estimación generadas para explicar el comportamiento de la variable de crecimiento vegetativo, entre 32 y 77 DPT se muestran en el cuadro 5, con coeficientes de determinación (R²) que fluctua-

77 DAT respectivamente (figure 1) by being observed positive slopes for the age effect, by showing that when increase the crop age also there were increases on dry matter of leaves, stems, root and total, until a point from which began a marked decrease of growth, for after being increase toward the 77 DAT.

On the other hand, pepper plants showed a sigmoidal growth curve in where a rapid vegetative growth from the transplanting until 47 DAT, moment from which the growth rhythm decreased toward 62 DAT. This change point in growth rate corresponded with the formation of reproductive structures, which confirmed the undetermined growth of pepper plant as established by Gaye *et al.* (1992) who concluded that plants continue growing through time with

ron entre 0,9874 y 0,9524, lo cual representó una adecuada bondad de ajuste para las relaciones establecidas entre los tratamientos, indicando confiabilidad de los resultados.

Para las variables materia seca de hoja, tallo, raíz y materia seca total de planta se establecieron ecuaciones polinómicas cúbicas con puntos de cambio en la curva de respuesta a los 32, 47, 62 y 77 DPT respectivamente (figura 1) observándose pendientes positivas para el efecto de la edad, indicando que al aumentar la edad del cultivo se produjeron incrementos en la materia seca de hojas, tallos, raíz y total, hasta un punto a partir del cual comenzó una disminución marcada del crecimiento, para luego incrementarse ligeramente hacia los 77 DPT.

Por otra parte, las plantas de pimentón presentaron una curva de crecimiento sigmoideal donde, se observó un rápido crecimiento vegetativo desde el trasplante hasta los 47 DPT, momento a partir del cual el ritmo de

production of photosynthetic substances and whose distribution corresponded with places of higher requirements.

Results obtained in this research in relation to the vegetative growth agreed with findings of Hartz *et al.* (1993), who working with pepper plants cv. Júpiter, obtained the higher matter at 77 DAT. In a similar way, Vilorio *et al.* (2001) pointed out that changes as a function of age had a positive behavior between 36 and 102 DAT, it means, in pepper, the growth of vegetative part continues, after forming continuously the reproductive structures and the harvest can be extended by a long period.

It can be observed that the growth rate showed by pepper in this essay was typical of this cultivar, showing growth fluxes interrupted by the fruits formation and maturity. According to Nuez *et al.* (15), during the swelling fruits process decreased the growth rhythm, because the

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión de los tratamientos sustratos y distancias de siembra entre plantas para la variable tasa de crecimiento vegetativo en función de la edad (X) de la planta.

Table 5. Regression equations of substrates treatments and sowing distances between plants for the vegetative growth rate variable as a function of plant age (X).

Tratamientos	Ecuaciones	R ²
100% Fibra de coco 30 cm	$y = 4E-08x^3 - 7E-06x^2 + 0,0004x - 0,0061$	0,9874
100% Fibra de coco 60 cm	$y = 3E-08x^3 - 5E-06x^2 + 0,0003x - 0,0047$	0,9868
Mezcla 30 cm	$y = 2E-08x^3 - 3E-06x^2 + 0,0002x - 0,0027$	0,9633
Mezcla 60 cm	$y = 6E-09x^3 - 9E-07x^2 + 5E-05x - 0,0008$	0,9524

E: Notación científica

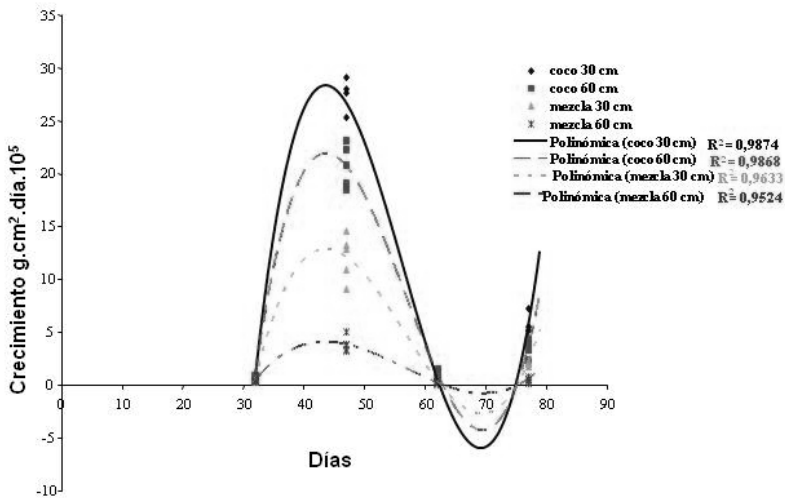


Figura 1. Curvas de crecimiento vegetativo del pimentón híbrido XP 12401 en diferentes periodos posterior al trasplante.

Figure 1. Vegetative growth curves of pepper XP 12401 hybrid in different periods after transplanting.

crecimiento disminuyó hacia los 62 DPT. Este punto de cambio en la tasa de crecimiento se correspondió con la formación de estructuras reproductivas, lo cual confirmó el crecimiento indeterminado de la planta de pimentón, tal como lo señaló Gaye *et al.* (1992) que concluyeron que las plantas continuaron creciendo a través del tiempo con producción de sustancias fotosintéticas y cuya distribución se correspondió con los sitios de mayor demanda.

Los resultados obtenidos en esta investigación en cuanto al crecimiento vegetativo coincidieron con los hallazgos de Hartz *et al.* (1993), quienes trabajando con plantas de pimentón cv. Júpiter, obtuvieron la mayor materia a los 77 DPT. De manera similar, Vilorio *et al.* (2001) señaló que

higher part of synthesized products was stored by themselves.

Conclusions

Biomass distribution in pepper plants evaluated under the hydroponic production system was continuous and was joined to its phenology. The vegetative variables, dry matter of leaves, stems, roots and total were influenced by the substrate and by the sowing distance between plants in the different sampling ages, by being showing the higher values the 77 days after transplantation, the combination of 100% of coconut fiber and 60 cm of separation between plants.

The foliar area index showed an increasing behavior toward the 62

los cambios en función de la edad tenían un comportamiento positivo entre los 36 y 102 DPT, es decir, en el pimentón continúa el crecimiento de la parte vegetativa, después de formarse continuamente las estructuras reproductivas y las cosechas pueden prolongarse por un largo periodo.

Así, se pudo observar que la tasa de crecimiento presentado por el pimentón en el ensayo fue típica del cultivar, mostrando flujos de crecimiento interrumpidos por el proceso de formación y maduración de los frutos. Según Nuez *et al.* (15), durante el período de llenado de los frutos disminuyó el ritmo de crecimiento, debido a que la mayor parte de los productos sintetizados fueron almacenados en los mismos.

Conclusiones

La distribución de la biomasa en las plantas de pimentón evaluadas bajo el sistema de producción hidropónica, fue continua y estuvo ligada a su fenología. Las variables vegetativas materia seca de hojas, tallos, raíz y total fueron influenciadas tanto por el sustrato como por la distancia de siembra entre plantas en las diferentes edades de muestreo, presentándose los mayores valores 77 días después del trasplante para la combinación 100% fibra de coco y 60 cm de separación entre planta.

El índice de área foliar presentó un comportamiento creciente hasta los 62 DPT, momento a partir del cual se observó una leve disminución, como producto de una fuerte traslocación hacia otros sitios de demanda.

DAT, in where a light diminishing was observed, as a product of a strong translocation toward other requirement places.

The crop response measured in the increase rate of dry matter per plant for the different treatments, was lower when sowing distances were reduced because the dry matter decreased with the higher competence.

The functional equations established showed that sowing distance, the substrate and the plant age were determinant factors in the growth dynamics of pepper plant.

End of english version

La respuesta del cultivo medida en la tasa de incremento de la materia seca por planta para los diferentes tratamientos, fue menor a medida que se acortaron las distancias de siembra, debido a que la materia seca disminuyó al generarse mayor competencia.

Las ecuaciones funcionales establecidas indicaron que la distancia de siembra, sustrato y edad de la planta fueron factores determinantes en la dinámica de crecimiento de la planta de pimentón.

Literatura citada

- Azofeifa, A. y M.A. Moreira. 2004. Análisis de crecimiento del chile Jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot), en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1):57-67.
- Beadle, C. 1988. Análisis de crecimiento vegetal. p:17-21. En: Coombs, J.,

- D.O. Hall, S.P. Long y J.M. Scurlock (Eds.). Técnicas en fotosíntesis y bioproduktividad. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Edo. de Mexico. Mexico.
- Decoteau, D.R. y H.A. Hatt G. 1994. Plant spatial arrangement affects growth, yield, and pod distribution of cayenne peppers. Hortscience 29(3):149-151.
- De Grazia, J., P.A. Tiftonnell y A. Chiesa. 2006. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annuum*). Cien. Inv. Agr. 34(3):195-204.
- Fontes P., C.R., E.N. Días, y D.J.H. Silva. 2005. Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira*, Brasília 23(1):94-99.
- García, J., Z. Rodríguez y L. Lugo. 2006. Efecto del cultivar y la distancia entre plantas sobre el comportamiento agronómico y rendimiento del melón. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 23 (4):448-458.
- Gaye, M.M., G.W. Eaton y P.A. Joliffe. 1992. Recovers and plant architecture influence development and spatial distribution of bell pepper fruit. HortScience 27 (5):397-399.
- Hartz, T., M. Lestrangle y D. May. 1993. Nitrogen requirement of drip-irrigated peppers. HortScience 28 (11):1097-1099.
- Holdrige, L. 1986. Ecología basada en las zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José. Costa Rica. 214 p.
- Lorenzo, P. y N. Castilla. 1995. Bell pepper yield response to plant density and radiation in unheated plastic greenhouse. Acta Horticultura 412:330-334.
- Milthorpe F. y J. Moorby. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Hemisferio Sur. H. González (Trad.) Buenos Aires, Argentina. 259 p.
- Nuez, F., G. Ortega y J. Costa. 2003. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ed. Mundi-prensa. Madrid, España. 95 p.
- Páez, Y. 2004. Evaluación de subproductos agrícolas como sustratos en la producción de plántulas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en bandejas. Trabajo de grado. Decanato de Agronomía. UCLA. Barquisimeto. Venezuela. 92p. Disponible en: <http://bibarg.ucla.edu.ve>.
- Popescu, N., V. Lacatus y V. Voican. 1995. Sweet pepper grown on organic substrate compared to soil under high plastic tunnels. Acta Hort. 412:349-354.
- Ramos G., F. y A. de Luna J. 2006. Evaluación de tres variedades de chile (*Capsicum annuum* L.) en cuatro concentraciones de una solución hidropónica bajo invernadero. Investigación y Ciencia. 14(034):6-11.
- Resh, H. 2002. Cultivos hidropónicos. 5^{ta} Edición. Ediciones Mundo-prensa. Madrid. 287 p.
- Rodríguez, D. 2001. Láminas de água e diferentes tipos de cobertura do solo na cultura do pimentão amarelo sob cultivo protegido. Tesis Titulo de Doctor. Brasil. UNESP. Facultad de Ciencias Agronómicas. 186 p.
- Rodríguez, Z. y R. Pire. 2004. Extracción de N, P, K, Ca y Mg por plantas de melón (*Cucumis melo* L.) híbrido Packstar bajo condiciones de Tarabana, estado, Lara. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 21:141-154.
- Russo, V.M. 2003. Planting date and plant density affect yield of pungent and nonpungent jalapeños peppers. HortScience 38(4):520-523.
- Sánchez, V.M., F.J. Sundstrom, y N.S. Lang. 1993. Plant size influences bell pepper seed quality and yield. Hort. Sci. 28(8):809-811.
- Smiderle, O.J., A. Busch S., A. Hissae Hayashi y K. Minami. 2001. Produção de mudas de alface,

- pepino e pimentão em sustratos combinado areia, solo e Plantmax®. *Hortic. Brás.* 19(3):386-390.
- Viloria de Z., A., L. Arteaga de R. y L.T. Díaz T. 2001. Crecimiento del pimentón (*Capsicum annum* L.) en respuesta a diferentes niveles de N P K y densidad de siembra. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 43:24-29.
- Zuñiga-Estrada, L., J. de J. Martínez, G.A. Baca, A. Martínez, J.L. Tirado y J.K. Shibata. 2004. Producción de chile pimiento en dos sistemas de riego bajo condiciones hidropónicas. *Agrociencia* 38(002):207-218.