

ABSORCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE NUTRIMENTOS EN PLANTAS DE CHILE DULCE (*Capsicum annuum* CV. UCR 589) EN ALAJUELA, COSTA RICA¹

Álvaro Azofeifa, Marco A. Moreira^{2/*}

Palabras clave: *Capsicum annuum*, fisiología, nutrición, absorción de nutrientes, Costa Rica.

Keywords: *Capsicum annuum*, physiology, nutrition, nutrient uptake, Costa Rica.

Recibido: 15/02/05

Aceptado: 16/03/05

RESUMEN

Entre mayo y noviembre de 1995, se analizó la absorción y distribución de los nutrientes durante el ciclo de cultivo en plantas de chile dulce, cultivar UCR 589, en Alajuela, Costa Rica. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 4 repeticiones. Se realizaron 11 muestreos a intervalos de 14 días. Se determinó el peso seco y se analizó el contenido de N, P, K, Ca, Mg y S, en cada sección de la planta. Con base en el peso seco y la concentración de nutrientes, se estimó la absorción de los elementos por cada tejido y en total de la planta; además, se calculó la extracción de los nutrientes con una densidad de siembra de 20833 plantas ha⁻¹ y un rendimiento de 46,3 t ha⁻¹ de fruta comercial fresca. El orden de extracción de nutrientes fue K > N > P > Ca > S y Mg, con valores de 180, 139, 26, 38 y 13 kg ha⁻¹, respectivamente. Las cantidades de nutrientes en las distintas partes de la planta variaron durante el ciclo de crecimiento. Al final del ciclo, la planta acumula el N, P, Mg, K, y S, en mayor cantidad en los frutos y el Ca especialmente en la parte aérea. El principal evento fenológico que modula estas fluctuaciones es la fructificación. Las mayores tasas de absorción de nutrientes ocurrieron durante las etapas de formación y llenado de los frutos.

ABSTRACT

Nutrient uptake and partitioning of sweet pepper plants (*Capsicum annuum* cv. UCR 589) in Alajuela, Costa Rica. The nutrient uptake and partitioning in sweet pepper plants, cultivar UCR 589, was analyzed from May through November 1995, in Alajuela, Costa Rica. A complete-randomized-block experimental design with 4 replications was used. Eleven samplings at 14 days interval were carried out to measure the dry weight and the content of N, P, K, Ca, Mg and S in each plant section (root, foliage, flower and fruit) and total in the plant. Nutrient absorption by each section and the plant total was determined on the basis of the dry weight and the concentration of nutrients. Besides, the nutrient extraction for a plant density of 20833 plants ha⁻¹ and a yield of 46.3 t ha⁻¹ of fresh commercial fruit was estimated. The nutrient extraction order was K > N > P > Ca > S and Mg; with values of 180, 139, 26, 38 y 13 kg ha⁻¹, respectively. Nutrient amounts in the different plant sections varied during the growing cycle. The main phenological event that regulates those fluctuations is fructification. At the end of the crop cycle, the plant accumulated N, P, Mg, K, and S, in higher amounts in the fruits and Ca mainly in the aerial part. The highest rates of nutrient absorption occurred during the stages of fruit formation and accelerated fruit growth.

1/ Parte de la tesis de grado del primer autor presentada a la Escuela de Agronomía, Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José Costa Rica.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: mmoreira@cariari.ucr.ac.cr

* Estación Experimental Fabio Baudrit, Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica.

INTRODUCCIÓN

En Costa Rica, existen condiciones agroclimáticas apropiadas para la producción comercial de chile dulce, así como, para lograr altos rendimientos por área. Sin embargo, hay muy poca información sobre los requerimientos nutricionales durante el ciclo de la planta y sobre los períodos de máxima absorción de los diferentes nutrimentos (Barrientos 1988).

Según Bertsch (1993), la absorción de nutrimentos es un fenómeno que ocurre día a día y cada proceso metabólico de la planta requiere nutrimentos cualitativa y cuantitativamente diferentes. La definición clara de la duración y los cambios en peso de cada una de las etapas fenológicas, y su relación con los cambios en las concentraciones de elementos en los diferentes tejidos de la planta, permitirá familiarizarse con los requisitos nutricionales del cultivo.

En un experimento para determinar las necesidades de N, P y Mg en chile dulce en asocio con café, Barrientos (1988) obtuvo los mayores rendimientos de frutos comerciales con las dosis de 150, 250 y 0,5 kg ha⁻¹ de N, P y Mg, respectivamente.

Según Rylski (1986), la cantidad y el peso promedio de los frutos se incrementan con altos niveles de N. Por su parte Achhireddy *et al.* (1982), observaron una tendencia creciente del contenido total de N en el fruto hasta los 55 días después de la antesis floral y que aproximadamente el 90% del N total del fruto, se acumula en el pericarpio.

Alers-Alers y Orengo-Santiago (1977) evaluaron dosis, fraccionamiento y formas de aplicación de N, P y K, y obtuvieron los mejores rendimientos de frutos, con la aplicación de la mitad del N al trasplante y el resto en la floración y el P₂O₅ colocado alrededor de la planta al trasplante.

Fernández y Haag (1972), determinaron que para un rendimiento de 421875 frutos ha⁻¹, las plantas de chile requirieron de 51, 5, 84, 65, 8, 5, kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente.

En el cuadro 1, se presenta los niveles foliares de nutrimentos, citados por (Jones *et al.* 1991), y considerados como adecuados, según el estado de desarrollo de la planta de chile. En el cuadro 2, se muestra la extracción de nutrimentos por la planta de chile, según su rendimiento (Valadez 1993).

El objetivo de este trabajo fue determinar la absorción y la distribución de los nutrimentos mayores y secundarios en plantas de chile dulce cultivar UCR 589, durante el ciclo del cultivo, en condiciones de campo.

Cuadro 1. Niveles foliares adecuados de nutrimentos para chile dulce (Jones *et al.* 1991).

Nutrimento	Inicio del desarrollo	Formación de Frutos
NO ₃ -N (%)	1,20	0,50
PO ₄ -P (%)	0,40	0,25
K (%)	6,0	5,0

MATERIALES Y MÉTODOS

De mayo a noviembre de 1995, se realizó un experimento en la Estación Experimental Fabio Baudrit Moreno (EEFBM), localizada en

Cuadro 2. Extracción de nutrimentos por diferentes órganos de la planta de chile (kg ha⁻¹), según su rendimiento (Valadez 1993).

Parte de la planta	Rendimiento t ha ⁻¹	N	P	K	Ca	Mg
Frutos	4,48	6,72	11,2	6,72	1,12	3,36
Hojas y tallo	6,72	20,16	19,04	14,56	20,16	22,4
Frutos	1,35	34,72	10,08	24,64	4,48	3,36
Hojas y tallo	2,02	57,12	8,96	38,08	53,76	36,96

el Barrio San José de Alajuela, a una elevación de 840 msnm., cuyas condiciones climáticas durante ese período, se presentan en el cuadro 3.

Se realizó 3 análisis químicos completos de suelo al terreno donde se realizó el experimento; al momento del trasplante, al inicio de la cosecha y al inicio de la senescencia de las plantas (Cuadro 4).

El tipo de suelo donde se estableció el experimento es de textura franca (arena 44%, arcilla 22% y limo 37%).

La siembra del almácigo se realizó el 3 de mayo de 1995, en bandejas de estereofón de 128 celdas. Se sembraron 2 semillas por celda, a una profundidad de 1-1,5 cm. Luego de la emergencia, se raleó dejando la mejor plántula.

El trasplante se hizo el 6 de junio de 1995, a una distancia de 0,40 m entre plantas y 1,2 m entre hileras (20833 plantas ha⁻¹).

Al fondo del hoyo de trasplante se colocaron 20 g de la fórmula 10-30-10 (1ª fertilización).

A los 15 días se realizó la segunda fertilización, aplicando nuevamente 20 g de la fórmula anterior más 5 g de la fórmula 18-5-15-6-2 por planta. A los 30 días del trasplante, se fertilizó por tercera vez, con una mezcla de nitrato de amonio 2,5 g más 2,5 g de la fórmula 18-5-15-6-2 por planta. A los 45 días después del trasplante, se aplicó nuevamente las fórmulas mezcladas 18-5-15-6-2 y nitrato de amonio a razón de 2,5 g y 5,0 g planta⁻¹, respectivamente (4ª fertilización). Posteriormente, se llevaron a cabo 3 fertilizaciones adicionales, con la fórmula 18-5-15-6-2 (20 g por planta) a los 2, 3 y 4 meses después del trasplante. En total se aplicaron 398, 323, 302, 88 y 29 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, K₂O, MgO y B₂O₃, respectivamente. Además, se realizaron aplicaciones foliares, con las fórmulas 21-53-0 y 20-20-20 en el almácigo y después del trasplante, con elementos menores (B, Zn, Fe y Mo) y medios (S, Mg y Ca). Todo esto para garantizar una condición nutricional suficiente al cultivo, que no impusiera límites a la absorción.

Cuadro 3. Promedios mensuales de humedad relativa, temperatura, brillo solar y precipitación durante el experimento. Alajuela, 1995.

Mes	Humedad relativa %	Temperatura °C			Brillo solar hs	Precipitación mm
		Mínima	Promedio	Máxima		
Mayo	86	23,1	23,1	29,2	6,4	332,7
Junio	87	19,3	23,1	28,6	5,7	203,8
Julio	84	19,5	22,9	28,7	5,0	234,2
Agosto	89	18,8	22,4	27,8	6,6	490,1
Setiembre	89	22,6	22,6	28,2	4,8	295,4
Octubre	91	19,0	22,2	27,5	4,5	431,5
Noviembre	78	19,4	23,3	29,3	5,1	95,2

Cuadro 4. Características químicas del suelo donde se realizó el experimento, Alajuela. 1995.

Fecha de Muestreo	pH H ₂ O	cmol (+) l ⁻¹					mg l ⁻¹						
		Ca	Mg	K	Acidez	CICE	P	Cu	Fe	Mn	Zn	B	S
7/6/95	5,7	7,1	2,0	0,67	0,4	10,2	33,5	18,0	278,0	6,3	2,0	0,72	36
31/8/95	4,6	4,2	1,0	0,75	0,6	6,55	60,0	10,1	171,0	15,6	0,9	1,55	34
14/11/95	5,3	2,9	0,7	0,44	1,2	5,24	35,6	11,2	171,0	8,5	2,0	----	----

El control de plagas y enfermedades se realizó según la ocurrencia de estas y con productos específicos.

Para el manejo de malezas durante el primer mes, se realizó una aporca y posteriormente se hicieron aplicaciones dirigidas de paraquat.

La cosecha se realizó cada 4 días, a partir del momento en que se presentaron frutos maduros o "pintones". Se clasificó en las siguientes categorías: **Frutos de primera.** Frutos sanos, con un diámetro no menor a 7,62 cm y un largo mayor a 8,89 cm. **Frutos de segunda.** Frutos sanos, con un diámetro y largo no menor a 6,35 cm. **Frutos de tercera.** Frutos pequeños, sanos, con un diámetro y largo menor a 6,35 cm. **Frutos no comerciales.** Frutos inmaduros o que presentaron daños por patógenos o insectos.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con 4 repeticiones y 11 tratamientos, que correspondieron a las épocas de muestreo: el primero fue 14 días después del 85% de plántulas emergidas (26 días después de la siembra, DDS), luego a los 40, 54, 68, 82, 96, 110, 124, 138, 152 y 166 DDS. La unidad experimental consistió de 3 surcos de 6 m de largo, espaciados 1,2 m. En cada surco se sembraron 15 plantas a una distancia de 0,4 m. Como parcela útil se tomaron las 8 plantas centrales y se dejó como bordes los surcos externos y las 3 y 4 plantas laterales del surco central.

Las plantas se lavaron con agua corriente y se enjuagaron con agua destilada, luego se separaron en a) parte aérea (pecíolo, lámina y tallo), b) raíz, c) flores y d) frutos.

Para determinar el peso seco, el material clasificado en las diferentes secciones de la planta y separado por repetición, se colocó en bolsas de papel y se introdujo en una estufa a 70°C por 24 a 48 h hasta que alcanzó un peso constante.

El análisis químico se realizó en una muestra compuesta formada a partir de las plantas de las 4 repeticiones y según la sección de la planta a analizar.

Para la determinación de la concentración y absorción de nutrimentos, en las secciones de la planta, las muestras secas se molieron y se pasaron por una malla # 40. Luego se utilizó la siguiente metodología según el nutrimento: para

el N, se utilizó la de micro-kjeldahl propuesta por Muller (1961). Para los otros elementos se hizo una digestión nitroperclórica y se determinó el P por colorimetría, el K, Ca y el Mg por espectrofotometría y el S por turbidimetría, según los métodos propuestos por Díaz-Romeau y Hunter (1978).

Con base en el peso seco y la concentración de nutrimentos, se estimó la absorción de los elementos en la planta, además, se calculó la extracción de los nutrimentos con una densidad de siembra de 20833 plantas ha⁻¹ y un rendimiento de 46,3 t ha⁻¹ de fruta comercial fresca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cuadro 5 se presenta los valores para la absorción total de cada nutrimento durante el ciclo de crecimiento de las plantas. El nutrimento que más absorbieron las plantas fue el K, seguido en orden decreciente por el N, P, Ca, S y por último el Mg. La absorción de K fue de 8,66 g planta⁻¹, equivalente a 217 kg ha⁻¹ de K₂O. Luego en orden decreciente, le siguieron el N con 6,69, el P con 1,23, el Ca con 1,12, el S con 0,712 y el Mg con 0,619 g planta⁻¹, respectivamente; que equivalen a 139; 59; 33; 24 y 21 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅, CaO, SO₄ y MgO. Estos resultados concuerdan con los valores mencionados en Bertsch (2003). La relación aproximada de extracción máxima de nutrimentos en las plantas, en el orden N:P₂O₅:K₂O:MgO:SO₄:CaO, sería 6:3:10:1:2:1, respectivamente. Haag *et al.* (1970) y Fernandes y Haag (1972) determinaron un orden similar de absorción para los nutrimentos en las plantas de Chile. En general, los niveles de absorción de nutrientes para el cv. UCR-589, fueron mayores a los encontrados por Fernandes y Haag (1972), para Chile dulce.

En el período entre los 96 y 124 DDS; las plantas absorbieron el 79, 74, 73, 63, 50 y 49% del K, Ca, Mg, N, P y S, respectivamente (Figura 1). Por lo tanto, es muy importante considerar esta etapa para la definición de un programa de fertilización de este cultivo.

Entre los 82 y 124 DDS la planta presenta un crecimiento vegetativo importante y entre los

Cuadro 5. Absorción de nutrientes (g planta^{-1}) en plantas de chile dulce UCR 589 durante su ciclo de crecimiento. Alajuela, 1995.

DDS ^{1/}	N	P	K	Ca	Mg	S
26	0,001 g ^{2/}	0,0001 g	0,0008 g	0,0001 f	0,00005 g	0,0001 g
40	0,009 g	0,0009 g	0,008 g	0,0008 f	0,0004 g	0,0007 g
54	0,04 g	0,0018 g	0,046 g	0,0074 f	0,0029 g	0,0033 g
68	0,16 gf	0,0077 g	0,176 g	0,0386 f	0,0152 g	0,012 g
82	0,521 f	0,0358 g	0,761 f	0,1769 e	0,0672 f	0,0422 g
96	1,576 e	0,1277 f	2,129 e	0,4734 d	0,1903 e	0,1296 f
110	3,554 d	0,3218 e	4,446 d	0,8343 c	0,3624 d	0,2592 e
124	4,693 c	0,6415 d	7,607 bc	1,019 ba	0,4737 c	0,3813 d
138	5,173 b	0,6994 d	8,664 a	1,12 a	0,5527 b	0,4987 c
152	5,336 b	0,8006 c	7,491 bc	0,978 b	0,526 b	0,5358 c
166	6,693 a	1,227 a	7,399 c	1,011 ba	0,6192 a	0,7118 a

1/ DDS = días después de la siembra.

2/ Medias con letras iguales en la misma columna, no difieren según prueba de Duncan ($P=0,05$).

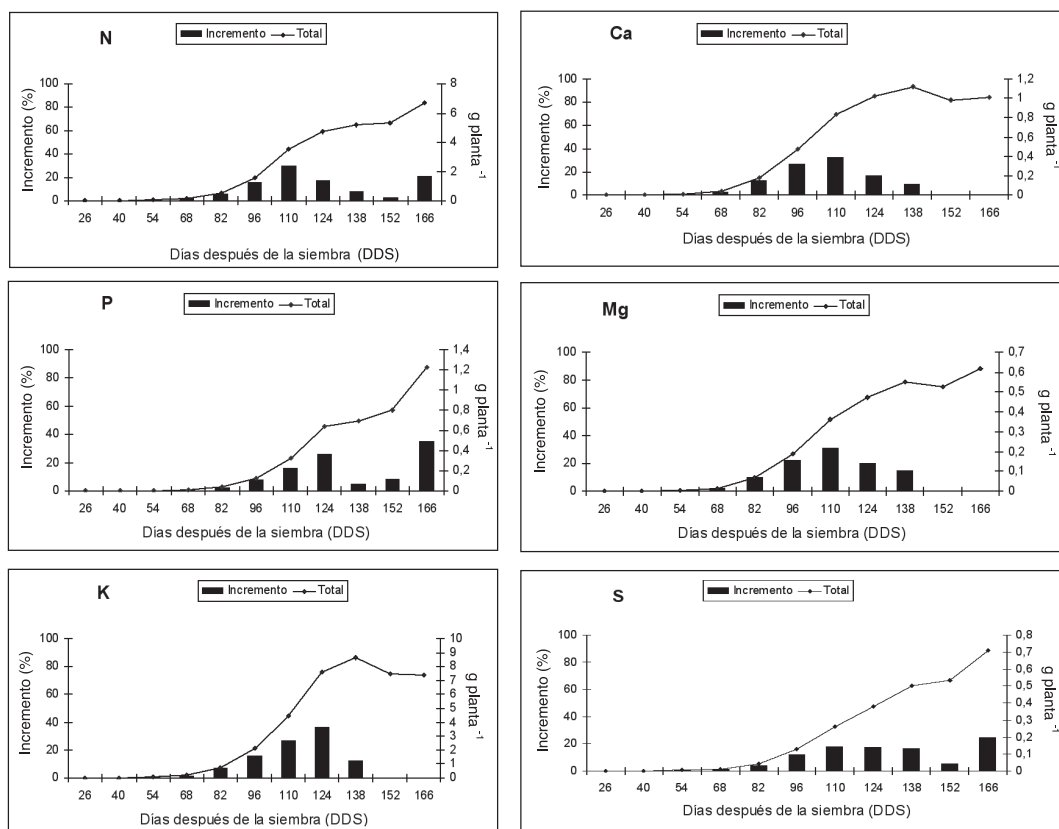


Fig. 1. Curvas de absorción de los principales nutrientes en plantas de chile dulce cultivar UCR 589, durante el ciclo de cultivo. Alajuela, 1995.

96 y 124 DDS, es el período en el cual ocurre la mayor tasa de crecimiento de fruta (Figura 2).

Para el N, el P y el S, se observaron niveles importantes de absorción al final del ciclo de la planta. Según Azofeifa y Moreira (1998), entre los 152 y 166 DDS la planta está iniciando un segundo ciclo de crecimiento y presenta frutos nuevos producto del segundo ciclo de floración. La máxima absorción para los elementos N, P, Mg y S se presentó a los 166 DDS, cuando la planta ha iniciado este segundo ciclo de crecimiento y

presenta una intensa floración, además de frutos jóvenes y el reinicio del crecimiento vegetativo (Azofeifa y Moreira 1998). Para el K y el Ca la absorción máxima ocurrió a los 138 DDS, cuando la planta está en la fase final de su primer ciclo fenológico y las tasas de crecimiento tanto del follaje como de los frutos son bajas.

La concentración de los elementos nutritivos en las distintas partes de las planta varió durante del ciclo de crecimiento (Figura 3). El principal evento fenológico que regula estas

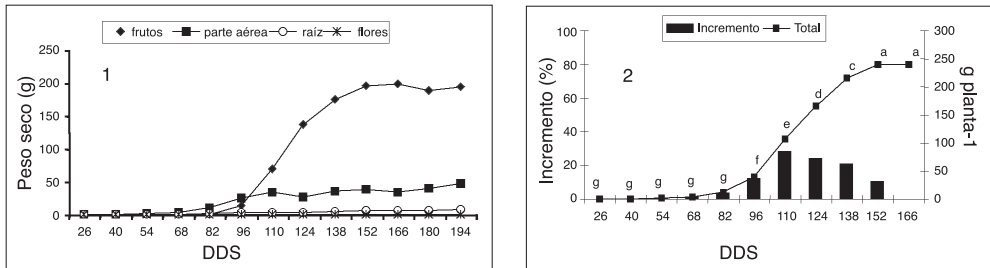


Fig. 2. Peso seco de las diferentes secciones (1) y total (2) durante el ciclo de las plantas de chile dulce, cultivar UCR 589, Alajuela 1995. Medias con letras iguales no difieren según prueba de Duncan (P=0,05).

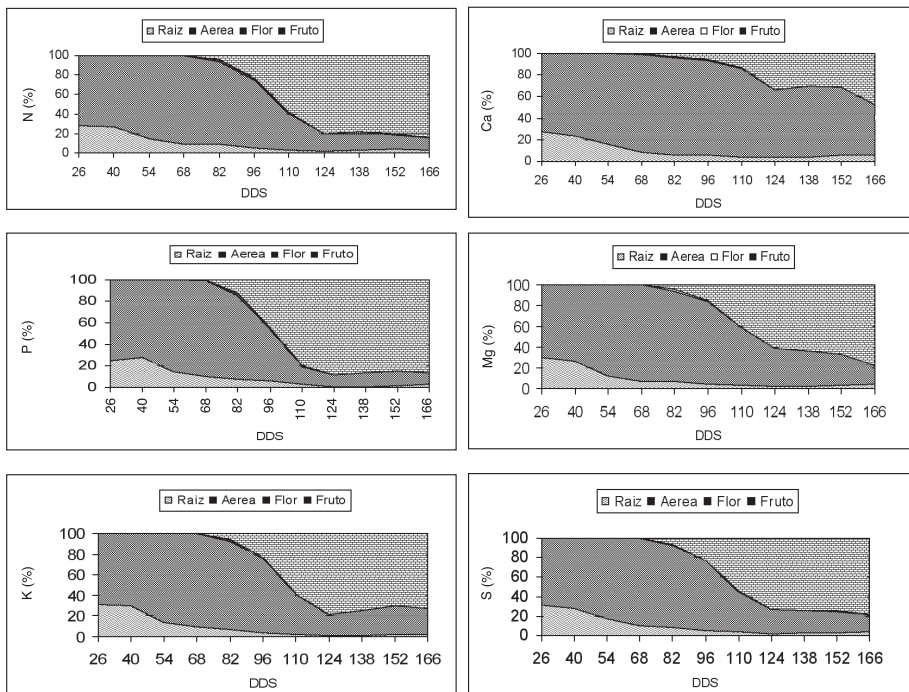


Fig. 3. Distribución porcentual de los principales nutrientes en las diferentes secciones de las plantas de chile dulce cultivar UCR 589, durante el ciclo de cultivo. Alajuela, 1995.

fluctuaciones es la fructificación; las plantas acumulan el N, P, Mg, K y S en mayor porcentaje en los frutos y el Ca en la parte vegetativa.

Dado que la planta absorbe y transloca la mayor cantidad de nutrientes hacia los frutos, los cuales son los órganos comercializables, se deben considerar como salidas importantes de nutrientes del sistema de producción.

para las plantas de chile dulce. Es importante anotar que para la implementación de dicho programa en condiciones específicas, se deberá considerar la eficiencia de aplicación de cada nutriente. Como guía se pueden utilizar los valores de alta y baja eficiencia indicados por Bertsch (1998); a saber: 70–50, 50–30 y 80–60% para el N, P y K, respectivamente. Como primera opción, se puede fraccionar

Cuadro 6. Propuesta de programa de fertilización para las plantas de chile dulce cv. UCR 589, durante el ciclo de cultivo. Curvas de absorción de los principales nutrientes en plantas de chile dulce cultivar UCR 589, durante el ciclo de cultivo. Alajuela, 1995.

Nutriente		Días después de la siembra						total
		40 ^{1/}	68 ^{2/}	82 ^{3/}	96 ^{4/}	110 ^{5/}	124 ^{6/}	
K ₂ O	%	2	7	16	26	37	12	
	kg ha ⁻¹	6,5	15	32,5	56,5	80	26	216,5
N	%	3	6	15	29	17	30	
	kg ha ⁻¹	4,5	8	21	40,5	24	41,5	139,5
P ₂ O ₅	%	2	3	7	16	26	46	
	kg ha ⁻¹	1	2	4	9,4	15,3	27	58,7
SO ₄	%	2	4	12	18	18	46	
	kg ha ⁻¹	1	2	5	8	8	20,5	44,5
CaO	%	3	13	26	33	16	9	
	kg ha ⁻¹	1	4,2	8,5	11	5	3	32,7
MgO	%	2	9	20	28	18	23	
	kg ha ⁻¹	0,5	2	4	6	4	5	21,5

1/ Al transplante.

2/ Inicio de la floración.

3/ Fructificación temprana, floración intensa.

4/ Máxima floración y abundancia de fruta pequeña.

5/ Últimas flores, fruta de diferente tamaño (pequeña y mediana).

6/ Predominio de frutos grandes y medianos.

Los resultados de los análisis de suelo (Cuadro 4), la cantidad de nutrientes aplicados mediante la fertilización y las curvas de absorción indican que las plantas tuvieron un nivel adecuado de nutrición.

Con base en las curvas de absorción de nutrientes durante el ciclo fenológico de la planta, en el cuadro 6 se sugiere un programa de fertilización

la fertilización en 6 aplicaciones, según los estados fenológicos y cantidades de cada elemento, que se presentan en el cuadro 6. Una alternativa para reducir el costo de la mano de obra sería: fraccionarla en 5 aplicaciones, a los 40, 82, 96 110 y 124 DDS. El porcentaje de cada elemento, que correspondería aplicar a los 68 DDS, se puede adicionar a la fertilización a los 40 DDS.

LITERATURA CITADA

- ACHHIREDDY N.R., FLETCHER J.S., BEEVERS L. 1982. The influence of shade on the growth and nitrogen assimilation of developing fruits on bell pepper. *Hortscience* 17: 635-637.
- ALERS-ALERS S., ORENCO-SANTIAGO E. 1977. Lack of response of sweet peppers to P levels, P placement and timing of N application in southern Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 61 (3): 389-391.
- AZOFEIFA A., MOREIRA M. 1998. Análisis del crecimiento del chile dulce (*Capsicum annum* L.) cultivar UCR 589 en Alajuela, Costa Rica. *Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit M.* 31(1): 1-12.
- BARRIENTOS E. 1988. Evaluación de necesidades de N, P y Mg en chile dulce, *Capsicum annum* L, asociado con café, *Coffea arabica*, en siembra nueva. Tesis. Ing. Agr. Centro Regional de Occidente, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia. 49 p.
- BERTSCH F. 1993. Curvas de absorción de nutrimentos en aráceas. *In: Taller sobre aplicaciones de la biotecnología en raíces, tubérculos y pejíbaye.* CIA. UCR. San José, Costa Rica.
- BERTSCH F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, Costa Rica. 157 p.
- BERTSCH F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.* San José, Costa Rica. 307 p.
- DIAZ-ROMEAO R., HUNTER A. 1978. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico del suelo y tejidos vegetales e investigación en invernadero. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 62 p.
- FERNANDEZ P., HAAG H. 1972. Nutrição mineral de hortalizas: XXII. Diferenças nutricionais entre variedades de pimentão (*Capsicum annum* L.). *Anais da Esalq* 28: 145-151.
- HAAG H., HOMA P., KIMOTO T. 1970. Nutrição mineral de hortalizas: V. Absorção de nutrientes pela cultura do pimentão. *O Solo* 62: 7-11.
- JONES J., WOLFB., MILLS H. 1991. *Plant analysis handbook.* Micro-Macro Publishing, Georgia, USA. 213 p.
- MULLER L. 1961. Un aparato micro-Kjeldahl simple para análisis rutinarios de materiales vegetales. *Turrialba (CR)* 11(1): 17-25.
- RYLSKI I. 1986. *Pepper (Capsicum) In: Handbook of fruit set and development.* CRC. UK. p. 341-353.
- VALADEZ A. 1993. *Producción de Hortalizas.* Limusa. México. 298 p.