

# EXTRACCIÓN DE MACRONUTRIMENTOS EN CHILE DE AGUA (*Capsicum annuum* L.)

**María Celedonia Valentín-Miguel; Rogelio Castro-Brindis\*;  
Juan Enrique Rodríguez-Pérez; Mario Pérez-Grajales**

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura. km 38.5 Carretera México-Texcoco.  
Chapingo, Estado de México. MÉXICO. C. P. 56230.  
Correo-e: rcbrindis69@gmail.com (\*Autor para correspondencia)

## RESUMEN

Con el objetivo de conocer los requerimientos nutrimentales del cultivo de chile de agua, se determinó la absorción y la curva de extracción de N, P, K, Ca y Mg. Para ello la colecta denominada 'Ocotlán', proveniente del estado de Oaxaca, se estableció en un sistema hidropónico abierto con sustrato de espuma volcánica (tezontle rojo). Se empleó la solución nutritiva de Steiner bajo cinco potenciales osmóticos (0.018, 0.036, 0.054, 0.072 y 0.090 MPa). La unidad experimental fue una planta y el diseño experimental usado fue completamente al azar con tres repeticiones. Se determinó la acumulación de materia seca, el rendimiento de fruto y la extracción de N, P, K, Ca y Mg, y se aplicaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias. Mediante regresión se estimaron los parámetros de modelos no lineales, para realizar un análisis de crecimiento, los cuales determinaron que la presión osmótica de 0.054 fue la adecuada para obtener el mayor rendimiento del cultivo. La extracción nutrimental (g·planta<sup>-1</sup>) obtenida al final del ciclo de crecimiento fue 16.93, 1.12, 16.62, 3.54 y 1.27 de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. La cantidad de nutrimento para producir una tonelada de fruto fue 7.7, 0.5, 7.64, 1.6 y 0.6 kg de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. La máxima tasa de absorción de los nutrimentos se observó durante la fructificación.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** Extracción nutrimental, tasa de absorción, hidroponia.

## MACRONUTRIENT EXTRACTION IN PEPPER 'CHILE DE AGUA' (*Capsicum annuum* L.)

## ABSTRACT

Absorption and extraction of N, P, K, Ca and Mg were determined to meet the nutritional requirement of the crop, known in Mexico as "chile de agua". For this purpose the collection called 'Ocotlán', from the state of Oaxaca, was established in an open hydroponic system with red volcanic rock. The Steiner nutrient solution was used under five osmotic potentials (0.018 0.036, 0.054, 0.072 and 0.090 MPa). The experimental unit was a plant and the experimental design used was completely randomized with three repetitions. Accumulation of dry matter, fruit yield and N, P, K, Ca and Mg were determined. Analysis of variance and mean comparison test of Tukey ( $P \leq 0.05$ ) were performed. Parameters of nonlinear models were estimated using regression for growth analysis, which determined that the osmotic pressure of 0.054 was adequate to obtain the highest yield of the crop. The nutrient extraction (g·plant<sup>-1</sup>) obtained at the end of the cycle was 16.93, 1.12, 16.62, 3.54 and 1.27 for N, P, K, Ca and Mg, respectively. The amount of nutrients to produce a ton of fruit was: 7.7, 0.5, 7.64, 1.6 and 0.6 kg of N, P, K, Ca and Mg, respectively. The maximum nutrient absorption rate was observed during fruiting.

**ADDITIONAL KEYWORDS:** Nutrient extraction, absorption rate, hydroponics.

## INTRODUCCIÓN

Entre la diversidad de tipos de chile que se producen en México se encuentra el chile de agua (*Capsicum annuum* L.), el cual es cultivado en el estado de Oaxaca y posee un excelente valor de comercialización, por lo que representa una alternativa para manejarse bajo sistemas de producción intensivos. No obstante, la falta de información necesaria que permita realizar de manera racional la aplicación de fertilizantes repercute en la obtención de bajos rendimientos de  $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (López, 2007).

El conocimiento de los requerimientos nutrimentales y de la dinámica de absorción de éstos por la planta, atendiendo las diferentes etapas fenológicas y su crecimiento, permitirá el diseño adecuado de calendarios para la aplicación de fertilizantes de acuerdo con las necesidades específicas del cultivo. Esto permitirá aumentar el potencial productivo y la calidad de los productos agrícolas, así como la optimización del uso de fertilizante. Con lo anterior se mejorará la rentabilidad del cultivo y la conservación del recurso suelo. La forma para establecer las necesidades de fertilizante de los cultivos se basa en el cálculo de la cantidad de los diferentes nutrimentos requeridos por la planta para expresar un rendimiento esperado (Castro *et al.*, 2004).

A partir de la evaluación de la producción de biomasa, es posible estimar la extracción de nutrimentos durante el desarrollo del cultivo. Con ello, es posible obtener la curva de extracción nutrimental, la cual determina, por un lado, la cantidad de nutrimentos extraída por la planta y por otro, el comportamiento de la extracción durante el ciclo de cultivo. Con esta información es posible conocer la etapa de mayor absorción de cada nutrimento y definir un programa de fertilización adecuado para el cultivo (Etchevers, 1999), en el cual se considera tanto la cantidad de fertilizante requerido como el momento idóneo para su aplicación, lo que finalmente favorecerá el rendimiento y la calidad de la producción.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el contenido, la extracción nutrimental y la tasa de absorción de N, P, K, Ca y Mg, en plantas de chile de agua, con la hipótesis de que el requerimiento de N, P, K, Ca y Mg en el cultivo de chile de agua es mayor en la etapa de fructificación, en virtud de que en esta etapa de desarrollo ocurre la máxima tasa absoluta de absorción nutrimental.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo bajo condiciones de invernadero en un sistema hidropónico abierto, con sustrato de espuma volcánica (tezontle rojo). Se utilizó la colecta de chile de agua nombrada 'Ocotlán', colectada en los valles centrales de Oaxaca.

El trasplante se realizó 50 días después de la siembra en macetas de 12.0 litros, colocadas a 0.9 y 0.5 m entre hileras y macetas, respectivamente, que corresponde a una densidad de  $2.2 \text{ plantas} \cdot \text{m}^{-2}$ . Veinte días después del trasplante (ddt), se tutoró el cultivo.

## INTRODUCTION

Among the diversity of peppers produced in Mexico, we found "chile de agua" (*Capsicum annuum* L.), which is grown in the state of Oaxaca and has excellent marketing value, so it is an alternative to be managed under intensive production systems. However, the lack of information needed to make a rational fertilizer application affects the low yields of  $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (López, 2007).

Knowledge of nutritional requirements and absorption dynamics by the plant, meeting the different phenological stages and growth will allow the proper design of calendars for fertilizer application according to the specific needs of the crop. This will increase the productive potential and the quality of agricultural products, as well as optimizing the use of fertilizer. With the above, the profitability of the crop and soil resource conservation will improve. The way to set fertilizer needs of crops is based on calculating the amount of the different nutrients required by the plant to express an expected yield (Castro *et al.*, 2004).

From the estimation of the biomass production, it is possible to estimate the extraction of nutrients during the crop development. Thus, it is possible to obtain the nutrient extraction curve, which determines, on one hand, the amount of nutrient extracted by the plant and on the other hand, the extraction behavior during the growing cycle. With this information, it is possible to know the stage of greater absorption of each nutrient and define a proper fertilization program for the crop (Etchevers, 1999), which considers both the amount of fertilizer required as the perfect time to be used, which eventually will favor yield and quality of the production.

Based on the above, the aim of this study was to determine the content, nutrient extraction and absorption rate of N, P, K, Ca and Mg in plants of "chile de agua", with the hypothesis that the requirement of N, P, K, Ca and Mg in "chile de agua" is higher in the fruiting stage, considering that at this stage occurs the highest absolute rate of nutrient absorption.

## MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted at the Universidad Autónoma Chapingo under greenhouse conditions in an open hydroponic system using red volcanic rock. We used the collection of the pepper "chile de agua" called 'Ocotlan', collected in the Central Valleys of Oaxaca.

Transplanting was carried out 50 days after planting in pots of 12.0 liters, placed at 0.9 to 0.5 m between rows and pots, respectively, corresponding to a density of  $2.2 \text{ plants} \cdot \text{m}^{-2}$ . Wiring was conducted twenty days after transplanting (dat).

The nutrient source of the hydroponic system was the Steiner's nutrient solution (1984) and the effects of five osmotic potentials were evaluated (Table 1).

**CUADRO 1.** Contenido de nutrimentos en las soluciones nutritivas empleadas como tratamientos para determinar la absorción y extracción nutrimental en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Chapingo, México. 2009.

**TABLE 1.** Nutrient content in the nutrient solutions used as treatments to determine the absorption and nutrient extraction of “chile de agua” (*Capsicum annuum* L.). Chapingo, Mexico. 2009.

Tratamiento / Treatment	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ψ <sub>s</sub> (MPa)
	(mol <sub>(2)</sub> )						
1	3	0.25	1.75	2.25	1.00	1.75	0.018
2	6	0.50	3.50	4.50	2.00	3.50	0.036
3	9	0.75	5.25	6.75	3.00	5.25	0.054
4	12	1.00	7.00	9.00	4.00	7.00	0.072
5	15	1.25	8.75	11.25	5.00	8.75	0.090

Ψ<sub>s</sub>: Potencial osmótico de la solución nutritiva. / Osmotic potential of the nutrient solution.

La fuente de nutrimentos del sistema hidropónico fue la solución nutritiva formulada por Steiner (1984) y fueron evaluados los efectos de cinco concentraciones osmóticas de ésta (Cuadro 1).

Las soluciones nutritivas del Cuadro 1 fueron preparadas con nitrato de calcio (2 N), nitrato de potasio (1 N), sulfato de potasio (1 N), sulfato de magnesio (1 N) y fosfato monopotásico (0.5 N). La concentración (mg·kg<sup>-1</sup>) de micronutrientes en cada solución nutritiva fue Fe 0.6, Mn 0.3, Zn 0.08, Cu 0.06, Mo 0.05 y B 0.9. El pH de las soluciones fue 5.5.

La unidad experimental consistió en una maceta con una planta y se utilizó el diseño experimental completamente al azar con tres repeticiones. Se hicieron 10 muestreos quincenales a partir de los 15 días después del trasplante (ddt), en los que se cuantificó la materia seca total y el rendimiento de fruto (g·planta<sup>-1</sup>).

En cada muestreo se determinaron los contenidos (%) en materia seca de N (método Microkjeldahl), y los de P, K, Ca y Mg (método de espectrometría de inducción de plasma acoplado, ICP).

Se realizaron análisis de varianza y comparaciones de medias para concentraciones osmóticas (Tukey,  $P \leq 0.05$ ). Mediante técnicas de regresión se estimaron los parámetros del modelo logístico y posteriormente se realizó un análisis de crecimiento del cultivo y con ello se generaron modelos de la extracción de nutrimentos de la planta. Se empleó el paquete de análisis estadístico SAS versión 9.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A medida que se incrementó el potencial osmótico en las soluciones nutritivas, la magnitud de los caracteres evaluados también se incrementó. Sin embargo, a partir de 0.054 MPa de potencial osmótico, la expresión en las variables fue estadísticamente igual ( $P \leq 0.05$ ), a pesar de que la disponibilidad de nutrimentos fue mayor en las so-

Nutrient solutions of Table 1 were prepared with calcium nitrate (2 N), potassium nitrate (1 N), potassium sulfate (1 N), magnesium sulfate (1 N) and monopotassium phosphate (0.5 N). The concentration (mg·kg<sup>-1</sup>) of micronutrients in each nutrient solution was Fe 0.6, Mn 0.3, Zn 0.08, Cu 0.06, Mo 0.05 and B 0.9. The pH of the solutions was 5.5.

The experimental unit consisted of a pot with a plant and we used a completely randomized design with three replications. A total of 10 sampling every two weeks were conducted starting 15 days after transplanting (dat), total dry matter and yield of the fruit (g·plant<sup>-1</sup>) were recorded.

The contents (%) in dry matter of N (Microkjeldahl method), and P, K, Ca and Mg (spectrometry method of induction coupled plasma, ICP) were determined in each sample.

Analysis of variance and mean comparisons for osmotic potentials (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) were performed. Logistic model parameters were estimated using regression techniques. Then, an analysis of crop growth was performed, and thus models of plant nutrient extraction were generated. The statistical analysis package SAS version 9 was used.

## RESULTS AND DISCUSSION

As the osmotic potential in nutrient solutions increased, the magnitude of the traits evaluated also increased. However, from 0.054 MPa osmotic potential, the expression in variables were statistically similar ( $P \leq 0.05$ ), although nutrient availability was higher in nutrient solutions with 0.072 and 0.90 MPa (Table 2). Based on the above, for growing “chile de agua” in hydroponic system, to apply during the first 75 dat a nutrient solution with osmotic potential of 0.036 MPa and then for the rest of the cycle, one with 0.054 MPa, is generated as technological proposal, since under these nutritional conditions the plant produced about 2 kg of fruit (Table 2). Moreover, from the economic and ecological point of view, it is advantageous to use nutrient

luciones nutritivas con 0.072 y 0.90 MPa (Cuadro 2). Con base en lo anterior, para el cultivo de chile de agua en sistema hidropónico, se genera como propuesta tecnológica el aplicar durante los primeros 75 ddt una solución nutritiva con potencial osmótico de 0.036 MPa y, posteriormente durante el resto del ciclo, una con 0.054 MPa, ya que bajo estas condiciones nutrimentales la planta produjo alrededor de 2 kg de fruto (Cuadro 2). Por otra parte, desde el punto de vista económico y ecológico, es conveniente el empleo de soluciones nutritivas con menor concentración de nutrimentos, ya que el costo por adquisición disminuye al igual que el riesgo de liberar al ambiente excedentes de sales, sobre todo cuando se emplea un sistema hidropónico abierto.

De acuerdo con los resultados del Cuadro 2, se determinó el contenido de nutrimentos en la biomasa de las plantas que se desarrollaron en la condición nutrimental

solutions with lower concentration of nutrients, because the acquisition cost decreases just as the risk of releasing salts surplus into the environment, especially when an open hydroponic system is used.

According to the results of Table 2, we determined the nutrient content in the biomass of plants that were developed in the nutritional status of 0.054 MPa (Table 3). Thus, values of absorption, nutrient extraction rates of the crop and model extraction parameters were obtained. The peak of greater absorption of nutrients (Table 4) was also identified.

### Nutrient content

In relation to the content of nutrients in the aerial tissue of the plant of "chile de agua", with the exception of N, certain elements had an effect of dilution, because as the plant development occurred, the concentration of the

**CUADRO 2.** Producción de materia seca, número de frutos, rendimiento e índice de cosecha de chile de agua (*Capsicum annuum* L.) en cinco potenciales osmóticos de la solución nutritiva. Chapingo, México. 2009.

**TABLE 2.** Dry matter production, number of fruits, yield and harvest index of "chile de agua" (*Capsicum annuum* L.) in five osmotic potential of the nutrient solution. Chapingo, Mexico. 2009.

$\Psi_s$ (MPa) / (MPa)	MST / TDM (g·planta <sup>-1</sup> ) / (g·plant <sup>-1</sup> )	NFP / NFP	REND / YIELD (g·planta <sup>-1</sup> ) / (g·plant <sup>-1</sup> )	IC / HI	
				Biológico / Biological	Comercial / Commercial
0.018	347.0 c	34.2 c	991.7 c	0.64 a	0.27 a
0.036	484.2 b	63.8 bc	1815.5 b	0.69 a	0.34 a
0.054	626.8 a	82.0 ab	2192.9 ab	0.64 a	0.32 a
0.072	591.4 a	68.9 ab	1896.9 b	0.69 a	0.29 a
0.090	667.4 a	100.3 a	2601.5 a	0.65 a	0.36 a
CV	14.4	16.1	10.4	4.33	9.58
DMSH/HSD	97.2	31.7	559.4	0.08	0.09

PO: potencial osmótico de la solución nutritiva; MST: materia seca total; NFP: número de frutos por planta; REND: rendimiento; IC: índice de cosecha; IC Biológico, se obtuvo con biomasa total de frutos producidos en la planta; IC Comercial, se obtuvo con biomasa de frutos comerciales en la planta. DMSH: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de Variación. Valores que comparten la misma letra en la misma columna no difieren estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

OP: osmotic potential of the nutrient solution; TDM: total dry matter; NFP: number of fruits per plant; YIELD: yield; HI: harvest index; HI Biological, obtained by total fruit biomass produced at the plant; HI Commercial, obtained by biomass of commercial fruits of the plant. HSD: least significant difference; CV: coefficient of variation. Values sharing the same letter in the same column are not statistically different (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

**CUADRO 3.** Contenido de macronutrimentos (%) en plantas de chile de agua bajo hidroponía y solución nutritiva con 0.054 MPa de potencial osmótico. Chapingo, México. 2009.

**TABLE 3.** Macronutrient content (%) in plants of "chile de agua" under hydroponics and nutrient solution with 0.054 MPa of osmotic potential. Chapingo, Mexico. 2009.

Nutrimento / Nutrient	Días después del trasplante / Days after transplanting				
	30	60	90	120	150
N	2.56	2.71	2.64	2.52	2.87
P	0.37	0.31	0.21	0.21	0.17
K	3.45	3.20	2.87	2.51	2.82
Ca	0.83	0.55	0.56	0.61	0.59
Mg	0.43	0.32	0.27	0.23	0.21



**CUADRO 4.** Absorción, extracción y parámetros estimados de los modelos de acumulación de N, P, K, Ca y Mg, en el cultivo de chile de agua (*Capsicum annuum* L.). Chapingo, México. 2009.

**TABLE 4.** Absorption, extraction and parameter estimated of the models of accumulation of N, P, K, Ca and Mg in "chile de agua" (*Capsicum annuum* L.). Chapingo, Mexico. 2009.

Nutrimento / Nutrient	Absorción / Absorption (g·planta <sup>-1</sup> ) / (g·plant <sup>-1</sup> )	IEN / NER (kg·t <sup>-1</sup> )	Modelo y parámetros / Model and parameters			Pi / Pi
			A	B	C	
N	16.9	7.7	$y = 9.246 / (1 + 68.148e^{-0.019 \cdot \text{ddt}/\text{dat}})$			117
P	1.1	0.5	$y = 0.526 / (1 + 67.192e^{-0.04879 \cdot \text{ddt}/\text{dat}})$			102
K	16.6	7.5	$y = 8.463 / (1 + 63.312e^{-0.020 \cdot \text{ddt}/\text{dat}})$			112
Ca	3.5	1.6	$y = 1.704 / (1 + 317.275e^{-0.029 \cdot \text{ddt}/\text{dat}})$			104
Mg	1.3	0.6	$y = 0.596 / (1 + 128.190e^{-0.026 \cdot \text{ddt}/\text{dat}})$			96

IEN: índice de extracción nutricional; Pi: punto de inflexión que corresponde con la máxima tasa de absorción del nutrimento.  
NER: nutrient extraction rate; Pi: point of inflection corresponding to the maximum rate of nutrient absorption.

de 0.054 MPa (Cuadro 3). Con ello se obtuvieron los valores de absorción, los índices de extracción nutricional del cultivo y los parámetros de los modelos de extracción. También se identificó el momento de mayor absorción de nutrimentos (Cuadro 4).

### Contenido nutricional

En relación al contenido de nutrimentos en el tejido aéreo de la planta de chile de agua, con excepción del N, los elementos determinados tuvieron un efecto de dilución, ya que a medida que transcurrió el desarrollo de la planta, disminuyó la concentración de los elementos nutriente en el tejido. Esta tendencia se asoció con el momento en que ocurrió la mayor tasa de extracción del nutrimento. Para el caso de N y K, la mayor tasa se dio a los 117 y 112 ddt, respectivamente (Cuadro 4), cuando había transcurrido 75 % del ciclo del cultivo, por lo que su concentración en el tejido, en general fue alto, y K sólo disminuyó 18 % durante las cinco fechas de muestreo (Cuadro 3). Este comportamiento del N se debe a que es esencial en la división y expansión celular, y en el crecimiento de estructuras vegetativas, como tallos y hojas, principalmente (Barker y Pilbeam, 2006).

En el caso de P, Ca y Mg, al final del ciclo, mostraron concentraciones menores a 50 %, respecto a la primera fecha de muestreo. En ellos la máxima tasa de extracción ocurrió en 96, 102 y 104 ddt, respectivamente, antes que N y K, debido a que tallos, hojas jóvenes y meristemos se encuentran en activo crecimiento y contienen altas cantidades de P orgánico en forma de ácidos nucleicos y fosfolípidos. Asimismo, el Ca participa en el almacenamiento de azúcares en los frutos y mejora la firmeza de los mismos (Mengel *et al.*, 2001). Esto ocasionó la disminución en las concentraciones de P y Ca.

Con respecto a Mg, entre el 15 y 30 % está asociado con la molécula de clorofila, por lo que su mayor absorción ocurre en las hojas. Entre 70 y 85 % restante está asociado como cofactor en diversos procesos enzimáticos de la fotosíntesis y respiración, y en la asimilación de carbono y transformaciones de energía (Mengel *et al.*, 2001).

nutrient elements in tissue decreased. This trend was associated with the time when the most nutrient extraction rate occurred. For the case of N and K, the highest rate occurred at 117 and 112 dat, respectively (Table 4), when 75 % of the crop cycle had passed, so that its concentration in the tissue was generally high, and K decreased only 18 % during the five sampling dates (Table 3). N behavior is because it is essential in the division and expansion of the cell, and growth of vegetative structures such as stems and leaves, mainly (Barker and Pilbeam, 2006).

P, Ca and Mg, at the end of the cycle, showed concentrations below 50 %, with respect to the first sampling date. Their maximum extraction rate occurred 96, 102 and 104 dat, respectively, before N and K, because stems, young leaves and meristem are actively growing and contain high amounts of organic P in the form of nucleic acids and phospholipids. Also, the Ca participates in the storage of sugars in the fruits and improves the firmness of them (Mengel *et al.*, 2001). This caused the decrease in the concentrations of P and Ca.

With respect to Mg, between 15 and 30 % is associated with the chlorophyll molecule so its greater absorption occurs in the leaves. Between 70 and 85 % is associated as a cofactor in various enzymatic processes of photosynthesis and respiration, and carbon assimilation and energy conversion (Mengel *et al.*, 2001).

Another aspect that influenced the decrease in concentration of elements in the tissue is that after half of the growing season of the crop fruits were harvested, which means losses of elements in the plant. Additionally, the magnitude of the total content of nutrients in the plant, obtained in samples (Table 3), can be directly used as criteria to establish critical levels and concentration ranges for diagnostic purposes (Westerman, 1990).

Some authors show higher nutrient content values for other members of the same species (Terbe *et al.*, 2006). However, it should be considered that the results of this study correspond to a sample of dry matter of the whole plant.

Otro aspecto que influyó en la disminución de la concentración de elementos en el tejido es que después de la mitad del ciclo de cultivo se cosecharon frutos, que implica pérdidas de elementos en la planta. Adicionalmente, la magnitud de los contenidos totales de nutrimentos en la planta, obtenidos en los muestreos (Cuadro 3), pueden ser utilizados directamente como criterios para establecer niveles críticos y rangos de concentración con propósitos de diagnóstico (Westerman, 1990).

Algunos autores presentan valores superiores de contenido nutrimental para otros miembros de la misma especie (Terbe *et al.*, 2006). Sin embargo, debe considerarse que los resultados de este trabajo corresponden a una muestra de materia seca de la planta completa.

### Extracción nutrimental

La extracción de N, P, K, Ca y Mg siguió la misma tendencia que la acumulación de materia seca (Figura 1). En orden decreciente, la extracción de nutrimentos fue  $N > K > Ca > Mg > P$  (Cuadro 4).

La máxima extracción del N (Cuadro 4) se debe a que en el tejido verde las proteínas representan entre 80 y 85 %; los ácidos nucleicos, 10 %, y el amino soluble, 5 % (Mengel *et al.*, 2001). En los cloroplastos de las células foliares, 75 % del nitrógeno orgánico se encuentra como proteínas enzimáticas (Marshner, 1995).

La cantidad extraída de K fue semejante a la de N (Figura 1), debido a que los procesos de formación y crecimiento de frutos llegan a constituir el principal órgano de demanda, con valores entre 70 y 80 % de la cantidad total extraída por la planta (Bugarín *et al.*, 2002).

A partir de los contenidos de nutrimentos, del rendimiento de fruto comercial por planta y de la cantidad de materia seca acumulada en éstos, se calcularon los índices de extracción nutrimental (IEN), que indican la cantidad necesaria de cada nutrimento para producir una tonelada de fruto comercial (Cuadro 4). En estas determinaciones, no se consideraron frutos no comerciales para evitar subestimar dichos índices.

Los IEN ofrecen la información necesaria para diseñar programas de fertilización en campo abierto, ya que junto con el valor de rendimiento esperado es posible calcular la demanda nutrimental del cultivo. Es decir, la cantidad de nutrimentos (en  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) que el cultivo debe extraer del suelo e incorporar a sus tejidos para alcanzar el rendimiento esperado (Castro *et al.*, 2004).

Para otros tipos de chile, Terbe *et al.* (2006) establecieron que el requerimiento de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  para producir una tonelada de fruto se encuentra en los intervalos de 2.4 a 3.8, de 0.7 a 1.1 y de 4.9 a 6.9, respectivamente. Insunza *et al.* (2010) en chile jalapeño observó extracciones de 3.55, 0.54 y  $6 \text{ g} \cdot \text{planta}^{-1}$  de N, P y K, respectivamente, valores inferiores a los obtenidos en chile de agua (Cuadro 4).

### Nutrient extraction

Extraction of N, P, K, Ca and Mg followed the same trend that dry matter accumulation (Figure 1). In decreasing order, the extraction of nutrients was  $N > K > Ca > Mg > P$  (Table 4).

The maximum extraction of N (Table 4) is because in green tissue, proteins represents between 80 and 85 %; nucleic acids 10 %, and soluble amino 5 % (Mengel *et al.*, 2001). In chloroplasts of leaf cells, 75 % of organic nitrogen is found as enzyme proteins (Marshner, 1995).

The amount removed from K was similar to N (Figure 1), because the processes of formation and growth of fruits are considered the principal organ demand, with values between 70 and 80 % of the total amount extracted by the plant (Bugarín *et al.*, 2002).

Nutrient extraction rates (NER) were calculated from nutrient contents, commercial fruit yield per plant and the amount of dry matter accumulated in them, which indicate the amount required of each nutrient to produce a ton of commercial fruit (Table 4). Noncommercial fruits are not considered to avoid underestimating these rates.

NER provides the information needed to design programs of fertilization in open fields, since along with the expected yield value is possible to calculate the nutrient demand of the crop. That is, the amount of nutrients (in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) that the crop has to extract from the soil and incorporated into the tissues to achieve the expected yield (Castro *et al.*, 2004).

For other types of pepper, Terbe *et al.* (2006) established that the requirement of N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  and  $\text{K}_2\text{O}$  to produce a ton of fruit is in the ranges of 2.4 to 3.8, from 0.7 to 1.1 and from 4.9 to 6.9, respectively. Insunza *et al.* (2010) observed extractions of 3.55, 0.54 and  $6 \text{ g} \cdot \text{plant}^{-1}$  of N, P and K, respectively, in jalapeño pepper, lower values than those obtained in "chile de agua" (Table 4).

Higher absolute rates of extraction of N, K, Ca, P and Mg occurred at 117, 102, 112, 104 and 96 dat, respectively (Table 4), at which the plant was in full fructification, indicating that fruits are the main nutrient demand.

Most systems of production for field crops usually use significant amounts of fertilizer at the beginning of the cycle, from one third to half of the total dose of fertilization. This practice is not recommended because in the initial stage of the crop, the poor development of the root system of the plant prevents to have a large proportion of nutrients, since it is out of reach. Furthermore, the amount removed and the rate of extraction of nutrients during the initial stage is low (Figure 1).

Las mayores tasas absolutas de extracción de N, K, Ca, P y Mg ocurrieron en 117, 102, 112, 104 y 96 ddt, respectivamente (Cuadro 4), momento en que la planta se encontraba en plena fructificación, lo que indica que los frutos constituyen la principal demanda de nutrientes.

En la mayoría de los sistemas de producción de cultivos en campo, generalmente se aplican cantidades significativas de fertilizante al inicio del ciclo, desde una tercera parte y hasta la mitad de la dosis de fertilización total. Esta práctica no es recomendable debido a que en la etapa inicial del cultivo el escaso desarrollo del sistema de raíces de la planta impide disponer de una gran proporción de nutrientes, puesto que queda fuera de su alcance. Además, la cantidad extraída y la velocidad de extracción de nutrientes en la etapa inicial es baja (Figura 1).

### CONCLUSIONES

Los índices de extracción nutricional y las curvas de extracción nutricional, estimadas a partir de modelos de regresión, permitieron generar la información necesaria para diseñar en forma adecuada, programas de fertilización para el cultivo de chile de agua en campo.

Se determinó que para el cultivo de chile de agua bajo un sistema hidropónico abierto y con el uso de solución nutritiva con concentración osmótica menor a 0.054 Mpa es posible la obtención de rendimientos mayores de 2 kg de fruto comercial por planta.

El N y K son los nutrientes extraídos en mayor cantidad por la planta de chile de agua a través del ciclo de cultivo, en tanto que los mayores contenidos de P, K y Mg ocurren en la etapa de floración y formación de fruto.

Durante la etapa de crecimiento y maduración de frutos (a partir de 90 días después del trasplante), ocurrió la mayor tasa de extracción de N, P, K, Ca y Mg.

### LITERATURA CITADA

- BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. 2006. Handbook of plant nutrition. CRC Press. Boca Raton, Florida, United States of America. 613 p.
- BUGARIN-MONTOYA, R.; GALVIS-SPINOLA, A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; GARCÍA-PAREDES, D. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra Latinoamericana* 20(4): 391-399. [www.chapingo.mx/terra/contenido/20/4/art391-399](http://www.chapingo.mx/terra/contenido/20/4/art391-399).
- CASTRO-BRINDIS, R.; GALVIS-SPINOLA, A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; PEÑA-LOMELÍ, A.; SANDOVAL-VILLA, M.; ALCANTAR-GONZÁLEZ, G. 2004. Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10(2): 147-152. [http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf?pdf\\_file=46a7e2c5f1ec9e4735c56d6023c50e57.pdf](http://www.chapingo.mx/revistas/viewpdf?pdf_file=46a7e2c5f1ec9e4735c56d6023c50e57.pdf)
- ETCHEVERS B., J. D. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutricional de

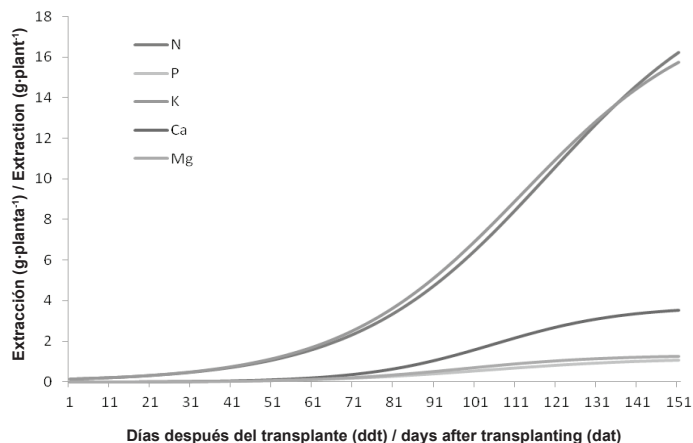


FIGURA 1. Curvas de extracción de macronutrientes en plantas de chile de agua durante un ciclo de cultivo. Chapingo, México. 2009.

FIGURE 1. Curves of macronutrient extraction in plants of "chile de agua" during one growing season. Chapingo, Mexico. 2009.

### CONCLUSIONS

The nutrient extraction rates and nutrient extraction curves, estimated from regression models allowed generating the information needed to properly design fertilization programs to cultivate "chile de agua" in fields.

It was determined that for the crop "chile de agua" under open hydroponic system and using nutrient solution with osmotic concentration lower than 0.054 Mpa it is possible to obtain higher yields of 2 kg of commercial fruits per plant.

N and K are the nutrients extracted in greater amounts by the plant of "chile de agua" through the growing season, while higher contents of P, K and Mg occur at the flowering stage and fruit development.

A higher rate of extraction of N, P, K, Ca and Mg occurred during the growing stage and fruit ripening (from 90 days after transplanting).

### End of English Version

los cultivos. *Terra Latinoamericana* 17(3): 209-219. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317305>

INZUNZA-IBARRA, M. A.; VILLA-CASTORENA, M.; CATALÁN-VALENCIA, E. A.; ROMÁN-LÓPEZ, A. 2010. Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoamericana* 28(3):211-218. <http://www.chapingo.mx/terra/download.php?file=completo&id=MjgzMjEx>

LÓPEZ-LÓPEZ, P. 2007. El Chile de agua: Un chile típico de los Valles Centrales de Oaxaca INIFAP-CRUSO. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Oaxaca, México. 36 p.

- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. San Diego, CA, USA. 889 p.
- MENGEL, K., E. A. KIRKBY, H. KOSEGARTEN, AND T. APPEL. 2001. Principles of plant nutrition. 5th ed. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 635 p.
- STEINER, A. A. 1984. The universal solution. pp. 633-649. *In*: Proceedings of 6th International Congress on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, The Netherlands.
- TERBE, I.; SZABO, ZS.; KAPPEL, N. 2006. Macronutrient accumulation in green pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by different production technologies. *International Journal of Horticultural Science* 12(1):13-19. [http://www.agroinform.com/files/aktualis/pdf\\_agroinform\\_20070215112528\\_03Terbe\\_Szabo.pdf](http://www.agroinform.com/files/aktualis/pdf_agroinform_20070215112528_03Terbe_Szabo.pdf)
- WESTERMAN, R. L. 1990. Soil testing and plant analysis. 3rd ed. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. 812 p.