

EXTRACCIÓN Y REQUERIMIENTO DE FÓSFORO EN CHILE

HABANERO (*Capsicum chinense* JACQ.) 'BIG BROTHER'

Fredy Nieves-González, Gelacio Alejo-Santiago, Gregorio Luna-Esquivel, Clemente Lemus-Flores, Porfirio Juárez-López y Eduardo Salcedo-Pérez

RESUMEN

La demanda nutrimental es uno de los tres factores que permite precisar la dosis de fertilización de cultivos. La falta de este valor puede conducir a un exceso o un déficit de la fertilización; la primera situación implica un efecto negativo sobre el medio ambiente mientras que el segundo no le permite al cultivo expresar su potencial productivo. El objetivo de la presente investigación fue determinar el requerimiento interno de fósforo (P), para estimar la demanda nutrimental en chile habanero 'Big Brother'. En un sistema de producción sin suelo, se evaluó el efecto de cinco tratamientos de $H_2PO_4^-$ (0,25; 0,5; 1,0; 1,5 y 2,0 meq·l⁻¹) sobre las variables: biomasa seca total, producción de frutos, concentración de P en hojas, tallos, raíces, flores y frutos, y extracción de P (g/planta). Las plantas se

colocaron en contenedores de 15 litros y se utilizó roca volcánica como sustrato. Las plantas se cultivaron durante 90 días después del trasplante. Se encontraron diferencias en biomasa seca total, producción de frutos, concentración de P en raíces y frutos, y extracción de P por las plantas. La mayor producción de frutos y biomasa seca total se obtuvo con 1,5 meq·l⁻¹ $H_2PO_4^-$, con 851,71 y 182,26 g/planta, respectivamente. El tratamiento con 2,0 meq·l⁻¹ $H_2PO_4^-$ presentó la mayor concentración de P en raíz con 1,43% y se redujo significativamente la producción de fruto. El requerimiento interno de P para el cultivo de chile habanero fue de 0,22%, el cual se obtuvo con la concentración de 1,5 meq·l⁻¹ $H_2PO_4^-$ y representó una demanda nutrimental de 0,47 kg P/t de fruto fresco.

Introducción

El chile habanero se cultiva en 13 de los estados de México. El rendimiento medio nacional es de 9,9 t·ha⁻¹, aunque en algunos estados se han alcanzado rendimientos >17 t (Noh-Medina *et al.*, 2010; SIAP-SAGARPA, 2012). Los altos precios que puede alcanzar en el mercado lo convierten en un cultivo de interés para los productores.

Una nutrición balanceada en los cultivos permite obtener el máximo rendimiento, evitando contaminar el ambiente. Lo anterior se logra al aplicar sólo la cantidad de

nutrimento que requiere la planta para realizar sus funciones metabólicas; para ello, es necesario conocer la demanda nutrimental del cultivo (Dem), el aporte del suelo (Oferta) y la eficiencia de recuperación de fertilizante (ERF) (Volke *et al.*, 1998; Rodríguez *et al.*, 2001).

La Dem se define como la cantidad de nutrimentos que requiere el cultivo para producir una tonelada del producto de interés; para su estimación se necesita el dato de requerimiento interno (RI), el cual indica la concentración mínima del nutrimento en cuestión en la biomasa total al

momento de la cosecha y así obtener el rendimiento máximo. Según Greenwood *et al.* (1980), el RI es la concentración nutrimental óptima en la biomasa aérea total en el momento de la cosecha, en un sistema en donde todos los nutrimentos han estado en suficiencia para el cultivo. Una metodología para obtener este valor consiste en aportar dosis crecientes del nutrimento que se quiere evaluar, en el cultivo, procurando mantener un nivel de suficiencia en el resto de los nutrimentos. Debido a que esta situación es difícil de controlar bajo condiciones experimentales en

campo, se recomienda realizar este tipo de estudios bajo condiciones controladas, es decir, cultivos sin suelo.

Las dosis de fósforo evaluadas en el género *Capsicum* van desde 30 hasta 180 kg·ha⁻¹ y hay discrepancias en cuanto a la dosis óptima. Vijay *et al.* (2005) reportan que el valor es de 60 kg·ha⁻¹ de P, mientras que Roy *et al.*, (2011) indican que es de 30 kg·ha⁻¹. En términos de extracción nutrimental por tonelada de fruto también existe un intervalo amplio que va de 0,5 a 0,9 kg de P₂O₅. Este intervalo se debe a la variación entre especies del género *Capsicum*, siendo

PALABRAS CLAVE / Cultivo sin Suelo / Nutrición de Cultivos / Rendimiento / Requerimiento Nutrimental /

Recibido: 09/06/2014. Modificado: 23/02/2015. Aceptado: 27/02/2015.

Fredy Nieves-González. Ingeniero Agrónomo y estudiante de posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), México

Gelacio Alejo-Santiago. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Universidad Autónoma Chapingo (UChapingo), México. Maestro y Doctor en Edafología, Colegio de Posgraduados (COLPOS), México. Profesor Investigador, UAN, México.

Unidad Académica de Agricultura. Km. 9 Carretera Tepic-Compostela. Xalisco. Nayarit. CP. 63780. México. e-mail: gelacioalejo@hotmail.com

Gregorio Luna-Esquivel. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Guerrero, México. Maestro en Fitopatología y Doctor en Fruticultura, COLPOS, México. Profesor Investigador, UAN, México.

Clemente Lemus-Flores. Licenciatura en Medicina Veterinaria

y Zootecnia, Universidad Autónoma Metropolitana. México. Doctor en Ciencias Pecuarías, UAN, México. Profesor Investigador, UAN, México.

Porfirio Juárez-López. Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. Maestro en Ciencias en Fisiología Vegetal, COLPOS, México. Doctor en Ciencias en Horticultura, UChapingo, México. Profesor

Investigador, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México.

Eduardo Salcedo-Pérez. Ingeniero Agrónomo, Universidad de Guadalajara (UdeG), México. Maestro en Ciencias, UChapingo, México. Doctor en Ciencias, COLPOS, México. Profesor Investigador, UdeG, México.

PHOSPHORUS EXTRACTION AND REQUIREMENTS IN 'BIG BROTHER' HABANERO PEPPER (*Capsicum chinense* JACQ.)

Fredy Nieves-González, Gelacio Alejo-Santiago, Gregorio Luna-Esquivel, Clemente Lemus-Flores, Porfirio Juárez-López and Eduardo Salcedo-Pérez

SUMMARY

The demand for nutrients is one of the three factors that allow to determine the fertilization of crops. The lack of this value can lead to an excess or deficit of fertilization; the first situation involves a negative effect on the environment while the latter does not allow the crop to express its productive potential. The objective of the present study was to determine the internal phosphorus (P) requirement to estimate nutrient demand in 'Big Brother' habanero pepper. In a production system of soilless culture, the effect of five treatments of $H_2PO_4^-$ (0.25, 0.5, 1.0, 1.5 and $2.0\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$) was assessed on the variables: total dry biomass, fruit production, P concentration in leaves, stems, roots, flowers and fruits, and extraction of P (g/plant). The plants were placed

in 15 liter containers and volcanic rock was used as substrate. The plants were grown for 90 days after transplantation. Differences in total dry biomass, fruit production, P concentration in roots and fruits, and P extraction by plants were found. The increased production of fruit and total dry biomass were obtained with $1.5\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1} H_2PO_4^-$, with 851.71 and 182.26 g/plant, respectively. The treatment with $2.0\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1} H_2PO_4^-$ had the highest P concentration in roots with 1.43% and reduced significantly the fruit production. The internal P requirement for cultivation of habanero pepper was 0.22%, which was obtained with the concentration of $1.5\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1} H_2PO_4^-$ and it represented a nutrient demand of 0.47kg P/t of fresh fruit.

EXTRAÇÃO E REQUERIMENTO DE FÓSFORO NA PIMENTA DE CHEIRO (*Capsicum chinense* JACQ.) 'BIG BROTHER'

Fredy Nieves-González, Gelacio Alejo-Santiago, Gregorio Luna-Esquivel, Clemente Lemus-Flores, Porfirio Juárez-López e Eduardo Salcedo-Pérez

RESUMO

A demanda nutricional é um dos três fatores que permite precisar a dose de fertilização de cultivos. A falta deste valor pode conduzir a um excesso ou um déficit da fertilização; a primeira situação implica um efeito negativo sobre o meio ambiente enquanto que o segundo não lhe permite ao cultivo expressar seu potencial produtivo. O objetivo da presente investigação foi determinar o requerimento interno de fósforo (P), para estimar a demanda nutricional na pimenta de cheiro 'Big Brother'. Em um sistema de produção sem solo, se avaliou o efeito de cinco tratamentos de $H_2PO_4^-$ (0,25; 0,5; 1,0; 1,5 e $2,0\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1}$) sobre as variáveis: biomassa seca total, produção de frutos, concentração de P em folhas, caules, raízes, flores e frutos, e extração de P (g/planta). As plantas foram coloca-

das em contenedores de 15 litros e se utilizou rocha vulcânica como substrato. As plantas foram cultivadas durante 90 dias depois do transplante. Encontraram-se diferenças em biomassa seca total, produção de frutos, concentração de P em raízes e frutos, e extração de P pelas plantas. A maior produção de frutos e biomassa seca total se obteve com $1,5\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1} H_2PO_4^-$, com 851,71 e 182,26 g/planta, respectivamente. O tratamento com $2,0\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1} H_2PO_4^-$ apresentou a maior concentração de P em raiz com 1,43% e se reduziu significativamente a produção de fruto. O requerimento interno de P para o cultivo de pimenta de cheiro foi de 0,22%, o qual se obteve com a concentração de $1,5\text{ meq}\cdot\text{l}^{-1} H_2PO_4^-$ e representou uma demanda nutricional de 0,47kg P/t de fruto fresco.

escasos los estudios para determinar este valor para el caso de *C. chinense* Jacq (Terbe *et al.*, 2006).

La optimización de los nutrientes es necesaria para la obtención del rendimiento máximo en el cultivo (Vijay *et al.*, 2005), además de evitar el efecto negativo de los excesos del nutrimento en el ambiente. El objetivo de la investigación fue determinar el requerimiento interno de fósforo para estimar la demanda nutricional en chile habanero 'Big Brother'.

Materiales y métodos

El experimento se estableció en un invernadero cubierto con plástico ubicado en la

localidad de San José de Costilla, municipio de Xalisco, Nayarit, México, situada a $21^{\circ}21'48.68''\text{N}$ y $104^{\circ}51'13.46''\text{O}$, y 918msnm. El clima según la clasificación Köppen es Aw, con temperatura media anual de 25°C y precipitación media anual de 1200mm.

Se utilizaron plantas de chile habanero variedad Big Brother® (Molina Seed S.A. de C.V). La siembra se estableció en charolas de 200 cavidades, previamente llenadas con turba (Peat Moss®). A los 50 días después de la siembra (dds) las plantas fueron trasplantadas a bolsas de polietileno de 15 litros llenas con tezontle de 3-6mm de diámetro.

Como aporte nutricional se utilizó la solución nutritiva Steiner (1984). Se evaluaron cinco concentraciones de fosfato, las cuales constituyeron los cinco tratamientos (Tabla I). La concentración de N que se utilizó fue elegida con base a los resultados reportados por Medina-Lara *et al.* (2008), quienes indican que no hubo

diferencia significativa en producción de fruto de *C. chinense* por efecto de 105 a $210\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de nitrógeno en la solución nutritiva y, en cuanto a la concentración de K, los mismos autores indican que la producción de este cultivo no se afecta mientras no se exceda de $351\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Las fuentes de nutrientes utilizadas fueron:

TABLA I
BALANCE DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA STEINER (1984) PARA LAS CONCENTRACIONES DE FOSFATO

Tratamiento	Concentración de iones ($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$)					
	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
1	12	0,25	7,75	7	9	4
2	12	0,50	7,50	7	9	4
3	12	1,00	7,00	7	9	4
4	12	1,50	6,50	7	9	4
5	12	2,00	6,00	7	9	4

nitrate de potasio (KNO₃), nitrate de calcio (Ca(NO₃)₂·4H₂O), fosfato potásico (KH₂PO₄), sulfato de potasio (K₂SO₄), sulfato de magnesio (MgSO₄·7H₂O) y mezcla comercial de microelementos (kelatex multi®). La solución nutritiva se mantuvo a un pH de 5,5-6,5 con ácido sulfúrico 10%.

El arreglo experimental fue un diseño completamente al azar con cinco repeticiones; como unidad experimental se consideraron tres plantas. Las variables evaluadas fueron: biomasa seca total, producción de fruto, concentración de P en hojas, tallo, flor, fruto y raíz, así como la extracción de P por planta. Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis de varianza y correlación, usando el paquete SAS para Windows (SAS, 2009).

La cosecha de frutos se realizó cada 7 o 10 días, y después de cinco cosechas las plantas se retiraron de las bolsas y se registró por separado el peso de hojas, tallos, raíces, flores y frutos. Para determinar biomasa seca total, se tomó una sub-muestra de material fresco de cada órgano de las plantas. Esta sub-muestra se colocó dentro de una bolsa de papel, se pesó en fresco y se colocó en una estufa de desecación a 60°C hasta alcanzar peso constante. El valor de la biomasa seca de la sub-muestra se utilizó para cuantificar el contenido de humedad en cada órgano, con lo que se calculó el peso seco de cada órgano; la sumatoria de la biomasa seca de los diferentes órganos se consideró como la biomasa seca total de la planta.

Para cuantificar la producción por planta se cosecharon frutos a punto de cosecha durante cinco cortes, se registró el total acumulado por planta, hasta los 140 dds. Para estimar el rendimiento por ha, se consideró una densidad de población de 25.000 plantas/ha.

Las sub-muestras que se secaron para la determinación de biomasa seca, se utilizaron para determinar por el método colorimétrico de molibdato de amonio (Chapman y Pratt, 1979) la concentración de P en cada órgano, tanto por tratamiento como repetición.

Se cuantificó el P extraído por hoja, tallo, raíz, flor y fruto, considerando la concentración del elemento en cada órgano y su peso seco. Los valores obtenidos se sumaron para obtener la extracción total de P por planta.

Para la determinación de RI se graficó la producción de fruto fresco por planta con la extracción por planta; se identificó el RI mediante el punto de rendimiento máximo de fruto. La demanda nutricional se calculó dividiendo la cantidad de P extraído por planta entre la cantidad de fruto fresco producido, en las mismas plantas utilizadas para la estimación del RI. Con este valor se cuantificó la cantidad de P requerido para obtener una tonelada de fruto fresco (Bugariñ-Montoya *et al.*, 2002).

Resultados y Discusión

Biomasa seca total

Se observaron diferencias significativas para la variable biomasa seca total (Tabla II). El tratamiento 4 acumuló la mayor cantidad de biomasa con 181,93 g/planta. La mayor producción de materia seca es atribuida principalmente a la mayor producción de fruto que registró ese tratamiento (80,39g planta⁻¹), resultado que coincide con lo reportado por Noronha *et al.* (2004) en *Capsicum annum* L. En los tratamientos 3 y 5 la mayor producción de materia seca se presentó en hojas. En tallos, los tratamientos, 3, 4 y 5 fueron los que acumularon el mayor peso, en comparación con el tratamiento 1 (0,5meq·l⁻¹ H₂PO₄⁻), lo que

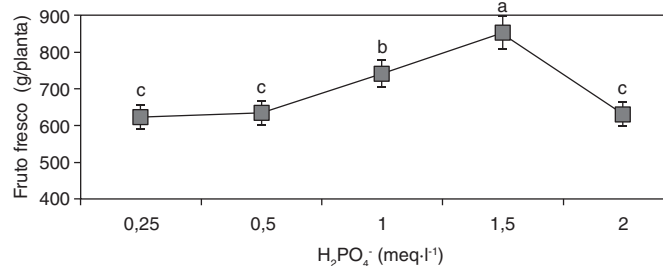


Figura 1. Efecto de las concentraciones de fosfato en el rendimiento de fruto de Chile habanero variedad 'Big Brother'. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey 0,05). Las barras verticales en cada punto indican el error típico con un 5% de probabilidad.

significa que esta concentración de fosfato es deficiente para el crecimiento óptimo de la planta, ya que fue el tratamiento que acumuló menor materia seca total. Azofeifa y Moreira (2008) reportaron que bajo condiciones de campo a cielo abierto, el cultivo de Chile jalapeño presenta menor acumulación de biomasa en las raíces y flores; resultados afines a los de la presente investigación; en todos los tratamientos, los órganos que tuvieron el menor peso fueron las raíces (5,92-11,56 g/planta) y flores (0,08-0,40 g/planta). Vilorio *et al.* (2001) obtuvieron en Chile pimiento la mayor acumulación de materia seca con la mayor dosis utilizada en su investigación; el peso fue de 6,648g en tallos y 5,156g en hojas.

Producción de fruto

El análisis de varianza indicó que los tratamientos afectaron la producción de fruto (Figura 1). El valor más alto con 851,71 g/planta se registró en el tratamiento 4, en el que se utilizó una concentración de H₂PO₄⁻ de 1,5meq·l⁻¹. La solución nutritiva

universal Steiner (1984) aporta una concentración de H₂PO₄⁻ de 1,0meq·l⁻¹, que corresponde al tratamiento 3 del presente estudio, cuya producción de fruto fue inferior al tratamiento 4. Por consiguiente, la concentración de fosfato que permite la mayor producción de fruto es 1,5meq·l⁻¹. El tratamiento con la mayor concentración de H₂PO₄⁻ (2,0meq·l⁻¹) presentó un rendimiento estadísticamente menor al tratamiento 4, efecto que puede atribuirse al antagonismo que presenta el P con otros nutrientes, de tal forma que un exceso de P afecta la absorción de otros nutrientes esenciales y, por ende, el rendimiento de fruto (Fernández, 2007). En el presente trabajo se obtuvo una media de rendimiento de fruto fresco de 21,3t·ha⁻¹ con la concentración de 1,5meq·l⁻¹, rendimiento superior al rendimiento medio nacional, que es de 9,9t·ha⁻¹ (Noh-Medina *et al.*, 2010; SIAP-SAGARPA, 2012).

Concentración de P en órganos

En la Tabla III se observa la concentración de P en los

TABLA II
PESO SECO DE ÓRGANOS DE PLANTA DE CHILE HABANERO 'BIG BROTHER',
TRATADOS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES DE FOSFATO

Tratamiento	H ₂ PO ₄ ⁻ (meq L ⁻¹)	g/planta					
		Hoja	Tallo	Raíz	Flor	Fruto*	PSBT
1	0,25	36,73 c	32,02 c	7,04 c	0,08 c	51,12 c	126,41 c
2	0,50	43,78 b	44,77 b	5,68 d	0,16 b	57,06 bc	157,96 b
3	1,00	54,59 a	47,96 ab	11,71 a	0,08 c	59,56 b	171,61 a
4	1,50	42,34 bc	50,58 a	8,86 b	0,09 c	80,39 a	181,93 a
5	2,00	48,67 a	45,45 ab	7,74 bc	0,38 a	51,12 c	159,66 b
C:V:		4,98	4,74	5,3	4,84	4,72	4,81

* Peso seco acumulado con cinco cortes, PSBT: peso seco de biomasa total. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey 0,05).

diferentes órganos de la planta de chile habanero. Las medias de concentración indican diferencias en la concentración de este elemento en la biomasa total de la planta. El intervalo de concentraciones fue de 0,17 a 0,30%. La mayor concentración, de 0,30%, se considera excesiva, por manifestar un decremento significativo en la producción de fruto; la de 0,17% se considera baja y la de 0,22% como óptima, por ser la concentración con la que se obtuvo el mayor rendimiento de fruto fresco. Sánchez (2007) reportó que una concentración de P de 0,25% en chile pimienta en producción es suficiente. En relación a las concentraciones de P utilizadas en la solución nutritiva Steiner (1984), la óptima equivale a 46,5mg·l⁻¹, y la excesiva a 62mg·l⁻¹.

En el presente trabajo las concentraciones óptimas de P en el tejido de los diferentes órganos para obtener una mayor producción de fruto son: hojas 0,14%, tallos 0,04%, raíces 0,47%, flores 0,52% y frutos 0,34%. La concentración de P en hoja y tallo no mostró diferencia significativa, lo que es atribuible a la alta movilidad del elemento hacia las zonas de demanda (Fernández, 2007).

Extracción de P por planta

En la Figura 2 se muestra el P extraído y la producción de fruto por planta. Se observa que la mayor producción de fruto (851,7 g/planta) se obtuvo cuando la planta extrajo 0,401g de P, y que una absorción de 0,471 g/planta produce efectos negativos en la producción de fruto. Borges *et al.* (2008) indicaron que bajo condiciones a cielo abierto, el valor crítico de

P en el suelo para chile habanero es de 11,9mg·kg⁻¹ y concluyeron que en parcelas con valores superiores a éste no se registra un efecto favorable de la fertilización. Si se considera que ese valor crítico de P por tonelada de suelo corresponde a 11,9g·t⁻¹, en una ha se tendrían 42,8kg de P disponibles a una profundidad de 30cm, cantidad de fósforo disponible que supera al requerimiento del cultivo encontrado en el presente trabajo, pues una concentración constante de 1,5meq·l⁻¹ de fosfato, equivalente a 46,5mg·l⁻¹ de P, permitió una extracción de 0,401g/planta, que equivale a 10,025kg de P por ha. Esta cantidad fue suficiente para satisfacer el requerimiento nutricional de P del cultivo, lo que permite alcanzar sus necesidades metabólicas y expresar el mayor rendimiento de fruto.

Para obtener la cantidad de P que extrae el cultivo al momento de la cosecha por ha por tratamiento, se tomó una densidad de población del cultivo de chile habanero de 25.000 plantas/ha y la media del porcentaje de concentración de P por planta por tratamiento. Azofeifa y Moreira (2008) reportaron en chile jalapeño cv. Hot, una absorción de 0,36g/planta de P durante su ciclo de producción, lo que equivale a 17kg·ha⁻¹ de P₂O₅. Por su parte, Inzunza-Ibarra *et al.* (2010) indican que las plantas de chile jalapeño absorben 0,54g de P. Noh-Medina *et al.* (2010) reportaron una extracción de P₂O₅ de 50kg/ha⁻¹ en chile habanero, lo que corresponde a una extracción de P de 0,872g/planta, una extracción superior a la que se obtuvo en la presente investigación (0,47 g/planta).

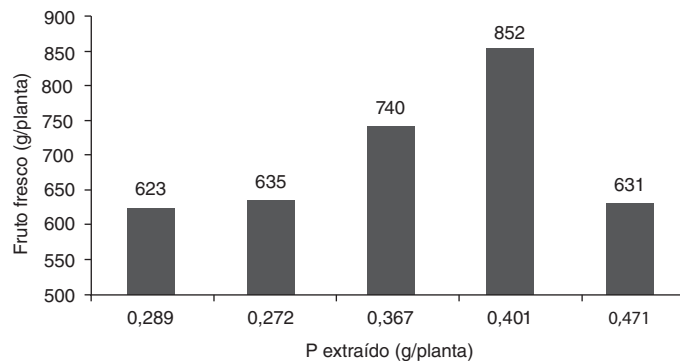


Figura 2. Efecto de la extracción de P en el rendimiento de fruto de chile habanero variedad Big Brother. Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey 0,05).

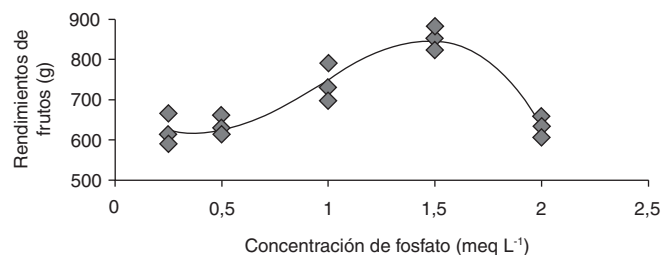


Figura 3. Dispersión del rendimiento de fruto por concentración de fosfato. La línea representa la regresión tipo polinómica cúbica $y = -357,44x^3 + 999,14x^2 - 614,76x + 725,14$; $R^2 = 0,9051$.

Determinación de RI y demanda nutrimental

La Figura 3 muestra que la concentración de fosfato que arroja la mayor producción de fruto fresco es 1,5meq·l⁻¹, con 851,7g de fruto/planta. La concentración de P en biomasa total en este tratamiento es de 0,22%, lo que representa el RI de P del cultivo de chile habanero. Para determinar la demanda nutrimental de P se utilizaron los valores del mismo tratamiento, por lo que se multiplicó la cantidad de P extraído (0,401) por 1000 y el resultado se dividió entre la

cantidad de fruto fresco producido (g) para así obtener la cantidad de P extraído por kg de fruto (0,47g); posteriormente se multiplicó por 1000 para calcular la cantidad requerida por tonelada de fruto, resultando una cantidad de 0,47kg de P, que es considerada como demanda nutrimental del cultivo, equivalente a 1,0kg de P₂O₅.

Con concentraciones >1,5 meq·l⁻¹ de H₂PO₄⁻ la planta entra a la etapa denominada como 'consumo de lujo', la cual hace referencia a la acumulación del nutrimento en cuestión en la biomasa del cultivo sin tener efecto significativo en rendimiento (Flores *et al.*, 2010). Las fertilizaciones de P superiores a las requeridas por el chile habanero no expresan un mayor rendimiento de fruto fresco. Por otro lado, en sistemas de producción a cielo abierto se debe considerar el valor crítico; esto es, la concentración mínima del nutrimento disponible específicamente para el cultivo de chile habanero.

TABLA III
DIFERENCIAS EN LA CONCENTRACIÓN DE FÓSFORO (%) EN ÓRGANOS DE LA PLANTA DE CHILE HABANERO VARIEDAD BIG BROTHER

Tratamiento	H ₂ PO ₄ ⁻ (meq·l ⁻¹)	Hoja	Tallo	Raíz	Flor	Fruto	Biomasa total	EPp (g)
1	0,25	0,18 a	0,05 a	0,08 d	0,39 b	0,38 a	0,22 b	0,29 b
2	0,50	0,14 a	0,04 a	0,11 d	0,69 a	0,31 a	0,17 b	0,27 b
3	1,00	0,15 a	0,04 a	0,34 c	0,48 b	0,37 a	0,21 b	0,36 ab
4	1,50	0,14 a	0,04 a	0,47 b	0,52 b	0,34 a	0,22 b	0,40 ab
5	2,00	0,26 a	0,09 a	1,43 a	0,60 ab	0,36 a	0,30 a	0,47 a

EPp: fósforo extraído por planta (g). Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey 0,05).

Correlación concentración nutrimental

Se observaron correlaciones positivas altamente significativas entre la biomasa seca total y la producción de fruto fresco; entre % P en hojas y la extracción de P por planta; entre % P en tallo y % P raíz; entre % P raíz y extracción de P por planta (Tabla IV). Lo anterior se atribuye a la alta movilidad del nutrimento en la planta (Cabalceta *et al.*, 2005; Fernández, 2007). Una alta producción de fruto incrementa la biomasa seca total y el aumento de la extracción de P por planta provoca un incremento en el % P en hojas, tallos y raíces.

Una revisión realizada por Juárez *et al.* (2006) permite comprender el comportamiento de las plantas de chile habanero ante el suministro de las soluciones nutritivas. Los autores refieren como propiedades importantes para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas al pH y las relaciones cationes-aniones, entre otras. No obstante, señalan que cada cultivo tiene sus necesidades nutrimentales, por lo que se debe investigar para cada cultivo un nivel óptimo de productividad en las variables de respuesta.

Los resultados del presente trabajo permiten definir los niveles adecuados de P requeridos por el cultivo de chile habanero, con lo que se evitan los excesos que contaminan el medio ambiente o que reducen el rendimiento de fruto fresco, así como evitar dosis deficitarias que reducen los potenciales productivos.

Conclusiones

Para el cultivo de chile habanero el requerimiento interno de P fue de 0,22%, ya que esta concentración expresó los mayores rendimientos por planta, y se alcanzó con una disponibilidad de 46,5ppm de P en el medio de crecimiento.

Las concentración óptima de P en los órganos de la planta que reflejaron un alto rendimiento de fruto fresco fueron: 0,14% en hojas; 0,04% en tallos; 0,47% en raíces; 0,52% en flores; y 0,35% en frutos.

El cultivo de chile habanero tuvo una demanda nutrimental de P de 0,47g·kg⁻¹ de fruto, que equivale a 0,47kg de P por tonelada de fruto producida, equivalentes a 1,0kg de P₂O₅.

En sistemas de cultivos sin suelo, la concentración óptima de P para chile habanero es de 1,5meq·l⁻¹. En concentraciones superiores a esta, la planta concentra dicho P principalmente en las raíces, lo que reduce la producción de fruto.

AGRADECIMIENTOS

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) por la beca otorgada para realizar estudios de Maestría en Ciencias en el programa de posgrado en Ciencias Biológicas Agropecuarias (CBA) de la Universidad Autónoma de Nayarit.

REFERENCIAS

Azofeifa Á, Moreira MA (2008) Absorción y distribución de nutrimentos en plantas de chile

jalapeño (*Capsicum annuum* L. cv. Hot) en Alajuela, Costa Rica. *Agron. Costarric.* 32:19-29.

Borges-Gómez L, Soria-Fregoso LM, Casanova-Villarreal V, Villanueva-Cohuo E, Pereyda-Pérez G (2008) Correlación y calibración del análisis de fósforo en suelos de Yucatán, México, para el cultivo de chile habanero. *Agrociencia*, 42: 21-27.

Bugarín-Montoya R, Galvis Spinola A, Sánchez García P, García Paredes D (2002) Demanda de potasio del tomate tipo salatete. *Terra Latinoam.* 20: 391-399.

Cabalceta G, Saldias M, Alvarado A (2005) Absorción de nutrimentos en el cultivar de papa MNF-80. *Agron. Costarric.* 29: 107-123.

Chapman HD, Pratt PF (1979) *Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas*. Trillas. México. 195 pp.

Fernández MT (2007) Fósforo: amigo o enemigo. *ICIDCA* 41: 51-57.

Flores MA, Miranda FRA, Galvis SA, Hernández MTM, Ramos EG (2010) Estudio sobre el requerimiento interno de nitrógeno en lechuga (*Lactuca sativa*). *Soc. Rurales Prod. Med. Amb.* 10: 83-100.

Greenwood JD, Cleaver TJ, Turner MK, Hunt J, Niendorf KB, Loquens SMH (1980) Comparison of the effects of potassium fertilizer on the yield, potassium content and quality of 22 different vegetable and agricultural crops. *J. Agric. Sci.* 95: 441-456.

Inzunza-Ibarra MA, Villa-Castorena M, Catalán-Valencia E, Román-López A (2010) Extracción de nutrientes y producción de chile jalapeño bajo acolchado plástico y niveles de riego. *Terra Latinoam.* 28: 211-218.

Juárez HMJ, Baca GA, Aceves NLA, Sánchez GP, Tirado TJJ, Sahagún CJ, Colinas de León, MT (2006). Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31: 246-253.

Medina-Lara F, Echevarría-Machado I, Pacheco-Arjona R, Ruiz-Lau N, Guzmán-Antonio A, Martínez-Estevez M (2008) Influence of nitrogen and potassium fertilization on fruiting and capsaicin content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *HortScience* 43: 1549-1554.

Noh-Medina J, Borges-Gómez L, Soria-Fregoso M (2010) Composición nutrimental de biomasa y tejidos conductores en chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 12: 219-228.

Noronha MFF, Villas BRL, Grava GLJ, Goto R (2004) Macronutrient accumulation and partitioning in fertigated sweet pepper plants. *Sci. Agric.* 61: 62-68.

Rodríguez SJ, Pinochet DT, Matus BF (2001) *La Fertilización de los Cultivos*. LOM. Santiago, Chile. 117 pp.

Roy SS, Khan MSI, Pall KK (2011) Nitrogen and phosphorus efficiency on the fruit size and yield of capsicum. *J. Exp. Sci.* 2: 32-37.

SAS (2009) SAS/STAT® 9.2. Users's Guide Release. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU.

Sánchez CA (2007) Fósforo. En Barquer AV, Pilbeam DJ (Eds.) *Handbook of Plant Nutrition*. Taylor & Francis. Boca Ratón, FL, EEUU. pp. 51-82.

SIAP-SAGARPA (2012) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. www.siap.sagarpa.gob.mx (Cons. 07/2014).

Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. *Proc. 6th Int. Congr. Soilless Culture*. Wageningen, Holanda. pp. 633-650.

Terbe I, Szabó Z, Kappel N (2006) Macronutrient accumulation in Green pepper (*Capsicum annuum* L.) as affected by different production technologies. *Int. J. Hort. Sci.* 12:13-19.

Vijay LC, Singh RV, Raghav M (2005) Optimum nitrogen and phosphorus fertilization in hybrid capsicum. *Short Comm. Veg. Sci.* 32: 200-202.

Viloria de ZA, Arteaga de RL, Díaz Torrealba LT (2001) Crecimiento de pimiento *Capsicum annuum* L.) en respuesta a diferentes niveles de NPK y densidad de siembra. *Proc. Interam. Soc. Trop. Hort.* 43: 24-29.

Volke HV, Etchevers BJD, Sanjuan RA, Silva PT (1998) Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. *Terra* 16: 79-91.

TABLA IV

MATRIZ DE CORRELACIÓN DEL EFECTO DE LAS CONCENTRACIONES DE FÓSFORO EN LAS PLANTAS DE CHILE HABANERO

	BST (g)	PP (g)	%P hojas	%P tallo	%P raíz	%P flor	%P fruto	EPp (g)
BST (g)	1,00							
PP (g)	0,86**	1,00						
%P hojas	-0,15	-0,34	1,00					
%P tallo	-0,18	-0,29	0,49	1,00				
%P raíz	0,15	-0,10	0,52*	0,67**	1,00			
%P flor	0,14	-0,16	0,21	0,29	0,24	1,00		
%P fruto	-0,19	-0,05	0,28	0,41	0,17	-0,24	1,00	
EPp(g)	0,49	0,30	0,65**	0,55	0,79**	0,19	0,35	1,00

BST: biomasa seca total; P: producción de fruto por planta; EPp: extracción de fósforo por planta; * p>0,05; ** p>0,01.