

## Fertilización fosfatada en rendimiento y calidad de tomate en invernadero\*

### Phosphatic fertilization on yield and quality of tomato in greenhouse

Juan Manuel Barrios Díaz<sup>1§</sup>, Benito Suárez Blanco<sup>1</sup>, Wendy Cruz Romero<sup>1</sup>, Benjamín Barrios Díaz<sup>1</sup>, Gloria Vázquez Huerta<sup>1</sup>, Armando Ibáñez Martínez<sup>1</sup> y Delia Moreno Velázquez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Agrohidráulica-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. Universidad S/N. San Juan Acateno, Teziutlán, Puebla. C. P. 73965. Tel: y Fax: 231 3 12 29 33. (sua3z@hotmail.com; cruzrw@hotmail.com; bnbrdz@hotmail.com; gloria.vazquez@live.com.mx; armandoibama@hotmail.com; demove91@hotmail.com). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: jbarriosdia@hotmail.com.

#### Resumen

Se estudió el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en invernadero para evaluar híbridos tipo saladette, 'Anibal' y 'Reserva', con relaciones entre dosis de fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) aplicado en la fertilización de fondo y aplicado por fertirrigación (PAFF/PAF): 100/210, 150/157 y 200/106, para determinar su efecto en variables de crecimiento de la planta, rendimiento, calidad de fruto y eficiencia de uso de fósforo. Los resultados indican que las relaciones PAFF/PAF no tuvieron efecto en variables medidas y solo hubo diferencias significativas entre genotipos ( $p \leq 0.05$ ). El promedio de rendimiento por planta al tercer racimo cosechado fue mayor con 'Anibal' ( $2.31 \text{ kg/planta}^{-1}$ ) que con 'Reserva' ( $1.74 \text{ kg/planta}^{-1}$ ). La eficiencia de uso de fósforo fue mayor con 'Anibal' ( $174 \text{ kg de fruto por kg de } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ aplicado}$ ) que con 'Reserva' ( $131 \text{ kg kg}^{-1}$ ). Para ambos híbridos se establece como mejor alternativa la relación PAFF/PAF de 200/106, debido a que disminuye a la mitad la cantidad de fertilizante fosfatado soluble.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, agricultura protegida, eficiencia de uso de P, fertirrigación.

En México, la mayoría de la producción de hortalizas en invernaderos se dedica al cultivo de tomate, debido a las ventajas agronómicas que se tienen por el incremento

#### Abstract

Tomato crop (*Solanum lycopersicum* L.) was studied in a greenhouse to evaluate hybrid saladette type, 'Anibal' and 'Reserva', with doses of phosphorus ( $\text{kg ha}^{-1}$  of  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) applied to the deep fertilization and applied by fertigation (PAFF/PAF): 100/210, 150/157 and 200/106 to determine its effect on variables of plant growth, yield, fruit quality and efficiency of phosphorus. The results indicated that relations of PAFF/PAF had no effect on measured variables and were only significant differences between genotypes ( $p \leq 0.05$ ). The average yield per plant harvested the third cluster was greater with 'Anibal' ( $2.31 \text{ kg plant}^{-1}$ ) than with 'Reserva' ( $1.74 \text{ kg plant}^{-1}$ ). The efficient phosphorus used was higher with 'Anibal' ( $174 \text{ kg of fruit per kg of } \text{P}_2\text{O}_5 \text{ applied}$ ) than with 'Reserva' ( $131 \text{ kg kg}^{-1}$ ). For both hybrids is set as the best alternative PAFF/PAF 200/106 ratio because it reduces by half the amount of soluble phosphate fertilizer.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*, efficiency P use, fertigation, protected agriculture.

In Mexico, most vegetable production in greenhouses is dedicated to the cultivation of tomato, due to agronomic advantages are the increase in performance and adaptability

en rendimiento y adaptabilidad a diferentes sistemas de producción (Sánchez-del Castillo *et al.*, 2010), además, por la oportunidad de negocio que representa para los productores de hortalizas como un sistema económicamente rentable (Terrones-Cordero y Sánchez-Torres, 2011). Sin embargo, para lograr tales ventajas es necesario tener conocimiento y control de diversos factores técnicos que afectan la cosecha, como la elección del genotipo y su nutrición, en estos aspectos los productores continuamente evalúan cultivares mejorados genéticamente que ofrecen incremento en rendimiento, calidad poscosecha y resistencia a plagas y enfermedades (Panthee y Gardner, 2011), para lo cual generalmente utilizan grandes cantidades de fertilizantes, sobre todo en lugares donde la condición de fertilidad natural del suelo es desfavorable o fue degradada para el establecimiento de la agricultura protegida (Hu *et al.*, 2012).

Esta situación trae consigo contaminación y pérdidas económicas por una baja eficiencia de uso de los fertilizantes. Fageria *et al.* (2008), señalan que los genotipos son más eficientes cuanto mayor es su rendimiento por unidad de nutrimento aplicado o absorbido, lo que depende entre otros factores, del método de aplicación y las características fisicoquímicas del suelo. El P es uno de los nutrimentos más limitantes para la producción agrícola y al respecto Yang *et al.* (2011), señalan que son pocos los estudios en fertilización fosfatada que analizan el efecto de la fertilización de fondo en combinación con la fertirrigación para aprovechar la baja movilidad de este nutrimento en el perfil del suelo, de tal manera que su acumulación por períodos de tiempo prolongados en suelos de invernaderos permita aumentar su eficiencia de uso, sin contraponerse a la sostenibilidad de la agricultura protegida.

La fertilización de fondo es una buena alternativa para reducir costos de producción al depender menos de los fertilizantes solubles, corregir los índices de fertilidad del suelo e incrementar las reservas de P que mejoren su eficiencia de uso a largo plazo. Con base a lo anterior, el objetivo fue estudiar los efectos en la eficiencia de uso de fósforo, el crecimiento, rendimiento y la calidad de frutos de híbridos tipo saladette de tomate con dosis de fósforo aplicadas en la fertilización de fondo y fertirrigación en condiciones de invernadero.

La investigación se realizó en un invernadero tipo baticenital de 1 500 m<sup>2</sup>, ubicado en la Facultad de Ingeniería Agrohidráulica de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), campus Teziutlán, Puebla, México (19° 52'

to different production systems (Sánchez-del Castillo *et al.*, 2010). Furthermore, the business opportunity it represents for vegetable producers as a cost-effective system (Terrones-Cordero and Sánchez-Torres, 2011). However, in order to achieve such benefits is necessary to have knowledge and control of various technical factors affecting the harvest, as the choice of genotype and nutrition, farmers in these areas continually evaluate genetically improved cultivars that offer increased performance, quality and postharvest resistance to pests and diseases (Panthee and Gardner, 2011), for which generally use large amounts of fertilizer, especially in places where the condition of natural soil fertility is poor or was downgraded for the establishment of protected agriculture (Hu *et al.*, 2012).

This situation brings pollution and economic losses by a low efficiency of fertilizer use. Fageria *et al.* (2008) indicated that, the genotypes are more efficient the greater performance per unit of nutrient applied or absorbed, depending among other factors, the application method and the physicochemical characteristics of the soil. The P is one of the nutrients more constraints to agricultural production and about Yang *et al.* (2011) indicated that there are few studies on phosphate fertilization that analyse the effect of deep fertilization combined with fertigation to take advantage of the low mobility of this nutrient in the soil profile, so that their accumulation periods greenhouse soils prolonged time permits increase efficiency of use, without interrupting the sustainability of protected agriculture.

Fertilizing fund is a good alternative to reduce production costs by relying less soluble fertilizers, correct fertility rates and increasing soil P reserves improve efficiency of long-term use. Based on the above, the objective was to study the effects on phosphorus use efficiency, growth, yield and fruit quality of tomato hybrid saladette type doses of phosphorus applied in deep fertilization and fertigation in conditions emissions.

The research was conducted in a greenhouse type baticenital 1 500 m<sup>2</sup>, located in the Faculty of Engineering Agrohidráulica Autonomous University of Puebla (BUAP), campus Teziutlán, Puebla, Mexico (19° 52' 31' north latitude and 97° 22' 02' west longitude, and an elevation of 1 675 m). Inside the greenhouse the average temperature varied between 14 and 25 °C and relative humidity between 57 and 89%.

31° latitud norte y 97° 22' 02" longitud oeste, y altitud de 1 675 m). Dentro del invernadero la temperatura promedio varió entre 14 y 25 °C y la humedad relativa entre 57 y 89%.

El trasplante de las plántulas de tomate con altura promedio de 15 cm se realizó el 10 de marzo de 2010, en camas de siembra de 23 m de largo por 0.8 m de ancho cubiertas con acolchado plástico bicolor negro-plateado, el marco de plantación fue en doble hilera con separación de 30 cm y distancia entre plantas de 50 cm, la densidad de población fue de 2.2 plantas m<sup>-2</sup>. El riego se realizó de acuerdo a la tensión de humedad del suelo entre 10 y 20 kPa, registrada en cuatro tensiómetros instalados a 20 cm de profundidad. Se utilizó cintilla de goteo con emisores separados a 30 cm y flujo de agua de 4 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup> a presión de 1.5 kg cm<sup>-2</sup>. Durante el período de evaluación no se presentaron plagas y enfermedades.

Los tratamientos fueron relaciones entre dosis de fósforo (kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) en fertilización de fondo (PAFF) y en fertirrigación (PAF): 100/210, 150/157 y 200/106, aplicados en un experimento con arreglo factorial 3 x 2, donde el factor 1 fue el híbrido de tomate tipo saladette ('Reserva' de Vilmorin® y 'Anibal' de Harris Moran®), y el factor 2 fue la relación PAFF/PAF. Los seis tratamientos fueron distribuidos en el invernadero con un diseño experimental de bloques completamente al azar y cada uno se repitió en cuatro camas de siembra en las que diez plantas fueron consideradas como unidad experimental.

Debido a las características de acidez e infertilidad del suelo del invernadero (Andosol húmico), después de formar las camas de siembra se aplicaron cal agrícola (3 t ha<sup>-1</sup>) y vermicomposta de estiércol de bovino (8 t ha<sup>-1</sup>). Mediante análisis físico-químicos fue determinada la fertilidad del suelo: textura franco arenosa; 6.3 de pH, 6.4% de materia orgánica, 0.8 g cm<sup>-3</sup> de densidad aparente; 0.2, 65.3, 2274 y 198 ppm de P, K, Ca y Mg; 12.5, 0.3 y 0.3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de Cl<sub>c</sub>, Al intercambiable y acidez total intercambiable. La fertilización de fondo se realizó antes del trasplante en bandas adyacentes y superiores a la hilera del cultivo, con la mezcla YaraMila® 15-15-15 se suministraron 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, para completar cada dosis de PAFF se empleó superfosfato de calcio simple (21% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). En la fertirrigación del cultivo la solución nutritiva fue preparada semanalmente en depósitos de 2 500 L y se utilizó KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> para las dosis de 210, 157 y 106 kg ha<sup>-1</sup> de PAF. Adicionalmente y por fertirrigación se aplicaron a todos los tratamientos 365, 518, 209 y 105 kg ha<sup>-1</sup> de N, K<sub>2</sub>O, CaO y MgO, respectivamente.

Transplanting tomato seedlings with an average height of 15 cm was held on March 10, 2010, in seedbeds of 23 m long by 0.8 m wide covered with padded black-silver plastic bicolour, under plantation was in double row spacing of 30 cm and plant spacing of 50 cm, the population density was 2.2 plants m<sup>-2</sup>. Watering was performed according to soil moisture tension between 10 and 20 kPa, tensiometers installed recorded in four 20 cm deep. Drip streak was used with separate transmitters and 30 cm water flow 4 L h<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup> to pressurized 1.5 kg cm<sup>-2</sup>. During the evaluation period no pests and diseases occurred.

The treatments were related between doses of phosphorus (kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) in deep fertilization (PAFF) and fertigation (PAF): 100/210, 150/157 and 200/106, applied in an experiment with 3 x 2 factorial arrangement where factor 1 was the tomato hybrid saladette type ('Reserva' of 'Anibal' Vilmorin® and Harris Moran®), and factor 2 was the ratio PAFF/PAF. The six treatments were distributed in the greenhouse with an experimental design was completely randomized blocks and each was repeated in four planting beds in ten plants were considered as experimental unit.

Due to the characteristics of soil acidity and infertility of the greenhouse (humic Andosol), after forming seed beds agricultural lime (3 t ha<sup>-1</sup>) and bovine manure vermicompost were applied (8 t ha<sup>-1</sup>). By physico-chemical analysis was determined the soil fertility: sandy loam; PH 6.3, 6.4% organic matter, 0.8 g cm<sup>-3</sup> bulk density; 0.2, 65.3, 2274 and 198 ppm of P, K, Ca and Mg; 12.5, 0.3 and 0.3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> of Cl<sub>c</sub>, exchangeable Al and exchangeable acidity. Deep fertilization was performed before transplantation in adjacent and above the crop row, with YaraMila® 15-15-15 mixture bands were provided 50 kg ha<sup>-1</sup> of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O, for PAFF complete each dose of single calcium superphosphate was used (21% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Fertigation culture in the nutrient solution was prepared weekly in 2500 L tanks and KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> was used for the doses of 210, 157 and 106 kg ha<sup>-1</sup> PAF. Additionally and fertigation treatments were applied to all 365, 518, 209 and 105 kg ha<sup>-1</sup> of N, K<sub>2</sub>O, CaO and MgO, respectively.

The plant height was measured weekly from 26 days after transplanting (dat) to 105 dat. The distance between clusters is measured between two consecutive until the fifth cluster. Dry matter was determined at 70 °C temperature in an oven with forced air circulation, total dry weight (PSTo) was

La altura de la planta se midió semanalmente a partir de 26 días después del trasplante (ddt) hasta 105 ddt. La distancia entre racimos se midió entre dos consecutivos y hasta el quinto racimo. La materia seca se determinó a 70 °C de temperatura en una estufa con circulación forzada de aire, el peso seco total (PSTo) se dividió en hojas (PSH), tallos (PST) y frutos (PSF). El rendimiento total de frutos (RToF) y su calidad se analizó con la cosecha de los primeros tres racimos, que fueron clasificados visualmente por su condición física y tamaño en rendimiento de frutos de primera (RFP), segunda (RFS) y tercera (RFT) calidad, después se midió su peso fresco y diámetro promedio (longitudinal y ecuatorial). La eficiencia de uso de fósforo (EUP) se calculó con la relación entre el rendimiento comercial y la cantidad de fertilizante fosfatado aplicado (Fageria *et al.*, 2008). Al finalizar el ciclo de cultivo se determinaron en las camas de siembra el P residual con un espectrofotómetro de luz UV-Vis Marca PerkinElmer precisely Modelo Lambda 25 y el pH con un potenciómetro Marca Corning pH meter 445.

Los análisis de varianza y comparación de medias con la prueba de Tukey ( $p=0.05$ ) se realizaron con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 8.2 para Windows (SAS Institute, 1999).

La AP no fue afectada por las dosis de fósforo suministrado en las relaciones PAFF/PAF establecidas, pero se obtuvieron diferencias significativas ( $p\leq 0.05$ ) al comparar los híbridos evaluados durante todo el ciclo del cultivo, 'Anibal' registró un incremento semanal de 28 cm aproximadamente ( $AP=4.1\text{ ddt}-59.1, r^2=0.99$ ), mientras 'Reserva' tuvo un incremento promedio de 23 cm ( $AP=3.3\text{ ddt}-47.2, r^2=0.99$ ). Estos resultados coinciden con Muñoz (2009) quien menciona que el incremento de altura por semana para cultivares de tomate tipo saladette debe ser de 20 a 27 cm cuando el suministro nutrimental del cultivo es óptimo. Además, se ha reportado que la altura de planta es una característica fenotípica de cada cultivar (Van der Ploeg *et al.*, 2007), que se incrementa con la dosis de nutrimentos suministrados, especialmente de N y P, que inducen un incremento del crecimiento vegetativo, debido a su función dentro del metabolismo energético de la planta como la fotosíntesis y la respiración (Mengel y Kirkby, 2001).

La distancia entre racimos únicamente fue afectada por el genotipo ( $p\leq 0.05$ ) y el promedio general en 'Anibal' (34.1 cm) fue mayor que en 'Reserva' (24.7 cm). En un estudio realizado por Van der Ploeg *et al.* (2007) reportaron una distancia promedio de 30 cm, acorde con los resultados de la presente investigación. La distancia entre racimos

divided into leaves (PSH), stems (PST) and fruits (PSF). The total fruit yield (RToF) and its quality was analysed with the harvest of the first three clusters, which were visually classified by their physical condition and size fruit yield first (RFP), second (RFS) and third (RFT) quality after fresh weight and (longitudinal and equatorial) average diameter was measured. The efficient phosphorus use (EUP), calculated from the relationship between business performance and the amount of P fertilizer applied (Fageria *et al.*, 2008). At the end of the crop cycle were determined in planting beds residual P with UV-Vis spectrophotometer Precisely Model Brand PerkinElmer Lambda 25 and pH light with a potentiometer Brand Corning pH meter 445.

The analysis of variance and comparison of means with Tukey test ( $p=0.05$ ) were performed using the Statistical Analysis System (SAS) version 8.2 for Windows (SAS Institute, 1999) statistical program.

The AP was not affected by doses of phosphorus supplied in PAFF/PAF relationships established, but significant differences ( $p\leq 0.05$ ) were obtained by comparing hybrids evaluated throughout the crop cycle, 'Anibal' showed a weekly increase of 28 cm approximately ( $AP=4.1\text{ dat}-59.1, r^2=0.99$ ), while 'Reserva' had an average increase of 23 cm ( $AP=3.3\text{ dat}-47.2, r^2=0.99$ ). These results agree with Muñoz (2009) who mentioned that increased height week tomato cultivars saladette type must be 20 to 27 cm when the nutrient supply is optimal crop. Furthermore, it has been reported that plant height is a phenotypic characteristic of each cultivar (Van der Ploeg *et al.*, 2007), which increases with the dose of nutrients supplied, especially of N and P, which induce increased growth vegetative, due to its role in the energy metabolism of the plant such as photosynthesis and respiration (Mengel and Kirkby, 2001).

The distance between clusters was only affected by genotype ( $p\leq 0.05$ ) and overall average 'Anibal' (34.1 cm) was higher than in 'Reserva' (24.7 cm). In a study by Van der Ploeg *et al.* (2007) reported an average distance of 30 cm, according to the results of the present investigation. The distance between clusters depends on how the genotypes, depending on the stage of growth and development conditions, distribute dry matter accumulated bodies considered applicants, where the fruits have a demand of over 50% (Enríquez-Reyes *et al.*, 2003), this relates also to the nutritional requirements of each genotype and environmental conditions.

depende de cómo los genotipos, en función de la etapa de crecimiento y condiciones para su desarrollo, distribuyen la materia seca acumulada a los órganos considerados como demandantes, donde los frutos tienen una demanda de más de 50% (Enríquez-Reyes *et al.*, 2003), esto se relaciona también con el requerimiento nutricional de cada genotipo y con las condiciones del ambiente.

A 60 ddt el PST fue afectado por la relación PAFF/PAF ( $p \leq 0.05$ ) y se incrementó 38% entre las relaciones 100/210 y 200/106 (Cuadro 1), esto significa que durante la etapa vegetativa la mayor cantidad de PAFF (200 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) favorece una mayor disponibilidad de fósforo para su acumulación en tallos (26%), hojas (59%) y frutos (15%). A 90 ddt la planta desarrolló los tres primeros racimos de frutos con tamaño comercial y seis racimos de frutos en crecimiento, pero el PSTo y su distribución no varió significativamente por la relación PAFF/PAF, debido a que en esta etapa se presentó el mayor crecimiento de los frutos y en promedio 37% de la biomasa se acumuló en estos órganos, 40% en hojas y solo 24% en el tallo.

At 60 dat the PST was affected by the PAFF/PAF ( $p \leq 0.05$ ) relationship and increased 38% between 100/210 and 200/106 relations (Table 1), this means that during the vegetative stage as much PAFF (200 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) favours better availability of phosphorus to its accumulation in stems (26%), leaves (59%) and fruits (15%). At 90 dat plant developed the first three clusters of fruits with six commercial size growing fruit clusters, but the distribution PSTo and did not change significantly by the PAFF/PAF ratio, because at this stage showed the highest growth fruit and on average 37% of the biomass accumulated in these organs, 40% in leaves and only 24% in the stem.

These results are similar to those reported by Enríquez-Reyes *et al.* (2003) with the hybrid 'Gabriela'. In addition, due to the amount of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> supplied to each treatment, not the growth and distribution of dry matter of plants in its infancy, according to De Groot *et al.* (2001) and showed no differences in adult plants in fruit growth and expansion of the stem, similar to that found by Fujita *et al.* (2003). It has also been reported that a moderate condition phosphor

#### Cuadro 1. Efecto de la relación entre fósforo aplicado en la fertilización de fondo (PAFF) y aplicado por fertirrigación (PAF) del híbrido de tomate.

Table 1. Effect of the relationship between applied phosphorus on deep fertilization (PAFF) and applied by fertigation (PAF) the tomato hybrid.

Factor	60 días después del trasplante				90 días después del trasplante											
	PST (g planta <sup>-1</sup> )	PSH (g planta <sup>-1</sup> )	PSF (g planta <sup>-1</sup> )	PSTo (g planta <sup>-1</sup> )	PST (g planta <sup>-1</sup> )	PSH (g planta <sup>-1</sup> )	PSF (g planta <sup>-1</sup> )	PSTo (g planta <sup>-1</sup> )								
Relación PAFF/PAF																
100:210	16.73	b	45.42	a	10.84	a	72.99	a	46.59	a	78.11	a	83.15	a	207.85	a
150:157	21.91	ab	48.84	a	11.3	a	82.05	a	52.1	a	86.56	a	74.59	a	213.25	a
200:106	23.14	a	51.46	a	12.86	a	87.36	a	57.07	a	96.78	a	85.15	a	239	a
Híbrido																
'Reserva'	18.14	b	48.65	a	9.6	b	76.39	a	44.17	b	83.92	a	70.14	b	198.23	b
'Anibal'	23.04	a	48.5	a	13.67	a	85.21	a	59.67	a	90.37	a	91.78	a	241.83	a
PAFF/PAF x híbrido																
	ns		ns		ns		ns		ns		ns		ns		ns	

Medias con letras iguales en una columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ns= no significativo. PST = peso seco de tallo; PSH= peso seco de hoja; PSF = peso seco de fruto; PSTo= peso seco total.

Estos resultados son semejantes a los reportados por Enríquez-Reyes *et al.* (2003) con el híbrido 'Gabriela'. Además, debido a la cantidad de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> suministrado a cada tratamiento, no se afectó el crecimiento y distribución de la materia seca de las plantas en su etapa inicial, de acuerdo con De Groot *et al.* (2001) y tampoco influyó en las plantas adultas en el crecimiento del fruto y la expansión del tallo, situación semejante a la encontrado por Fujita *et al.* (2003). También

has only limited effect on the distribution of dry matter; i.e. only component influences the morphological growth (De Groot *et al.*, 2001).

When comparing the hybrids evaluated, significant difference ( $p \leq 0.05$ ) was found in the PST and PSF at 60 and 90 DAT, also in the PSTo to 90 DAT. With 'Anibal' the highest averages were obtained, probably because 'Reserva'

se ha reportado que una condición de limitación moderada de fósforo solo tiene efecto sobre la distribución de la materia seca; es decir, únicamente influye sobre la componente morfológica del crecimiento (De Groot *et al.*, 2001).

Al comparar los híbridos evaluados, la diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) se presentó en el PST y PSF a 60 y 90 ddt, además en el PSTo a 90 ddt. Con ‘Anibal’ se obtuvieron los mayores promedios, probablemente debido a que tiene mayor capacidad fotosintética que ‘Reserva’, similar a lo reportado por Van der Ploeg *et al.* (2007), quienes al evaluar cultivares de tomate, atribuyen la diferencia en materia seca y rendimiento a la eficiencia de uso de la luz de cada genotipo.

Una mayor cantidad de PAF (100/210) incrementó significativamente el RFP en 19% ( $p \leq 0.05$ ) respecto a la relación 150/157 (Cuadro 2), pero las relaciones PAFF/PAF no tuvieron efecto en el RFS y RToF. En el RFT no hubo efecto claro debido que en esta calidad se incluyeron frutos de tamaño del RFP y RFS pero con daños físicos considerables como “rajeteados” y deformes.

has higher photosynthetic capacity, similar to that reported by Van der Ploeg *et al.* (2007), on tomato cultivars, assessed attributes different in dry matter, yield and efficiency of use of light of each genotype.

A larger amount of PAF (100/210) significantly increased the RFP in 19% ( $p \leq 0.05$ ) with respect to the ratio 150/157 (Table 2), but relations PAFF/PAF one took effect on RFS and RToF. In the RFT was not clear due to the effect this quality fruits including RFP and RFS size but with considerable physical damage as "rajeteados" and deformed.

The RToF with ‘Anibal’ was 33% higher than with ‘Reserva’, 39% to 21% in RFP and RFS. Although the difference in yield between the hybrids was significant ( $p \leq 0.05$ ), currently is documented that modern hybrids, product breeding have not substantially increased its genetic gain relative to the total performance and alternately aims to improve agricultural practices and management to increase productivity and profitability (Panthee and Gardner, 2011).

**Cuadro 2. Efecto de la relación entre fósforo aplicado en la fertilización de fondo (PAFF) y aplicado por fertirrigación (PAF) y del híbrido de tomate sobre el rendimiento de frutos de primera (RFP), segunda (RFS), tercera (RFT), total (RToF) y en la eficiencia de uso de fósforo (EUP).**

**Table 2. Effect of the relationship between applied phosphorus on deep fertilization (PAFF) and applied by fertigation (PAF) and hybrid tomato fruit yield on the first (RFP), second (RFS), third (RFT), total (RToF) and the efficient use of phosphorus (EUP).**

Factor	RFP (kg planta <sup>-1</sup> )		RFS (kg planta <sup>-1</sup> )		RFT (kg planta <sup>-1</sup> )		RToF (kg planta <sup>-1</sup> )		EUP (kg kg <sup>-1</sup> )	
Relación PAFF/PAF										
100:210	1.71	a	0.32	a	0.04	b	2.07	a	158.6	A
150:157	1.44	b	0.39	a	0.14	a	1.97	a	148.6	A
200:106	1.61	ab	0.38	a	0.05	b	2.04	a	151.1	A
Híbrido										
‘Reserva’	1.33	b	0.33	b	0.08	a	1.74	b	131.3	B
‘Anibal’	1.85	a	0.40	a	0.07	a	2.31	a	174.3	A
PAFF/PAF x híbrido										
	ns		ns		ns		ns		ns	

Medias con letras iguales en una columna para cada factor no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05); ns= no significativo.

El RToF con ‘Anibal’ resultó 33% mayor que con ‘Reserva’, 39% en RFP y 21% en RFS. Aún cuando la diferencia de rendimiento entre híbridos fue significativa ( $p \leq 0.05$ ), actualmente está documentado que los híbridos modernos, producto del mejoramiento genético, no han incrementado sustancialmente su ganancia genética con respecto al

The average weight and diameter for each set fruit quality did not vary significantly with relationships PAFF/PAF and hybrids ( $p > 0.05$ ). The average diameter, weight and category associated with the fruits were 63 mm and 118 g for RFP; 56 mm and 62 g for RFS; finally, 32 g and 44 mm for RFT. Hernández-Leal *et al.*

rendimiento total y alternativamente se propone mejorar las prácticas agrícolas y de manejo para incrementar su productividad y rentabilidad (Panthee y Gardner, 2011).

El peso y diámetro promedio por fruto en cada calidad establecidas no varió significativamente con las relaciones PAFF/PAF e híbridos ( $p > 0.05$ ). El diámetro promedio, peso y categoría asociada a los frutos fueron: 63 mm y 118 g para RFP; 56 mm y 62 g para RFS; finalmente, 44 mm y 32 g para RFT. Hernández-Leal *et al.* (2013) reportan para frutos del híbrido 'Reserva' promedios de peso y diámetro de 99.3 g y 51 mm, respectivamente.

En el Cuadro 2 se muestra que las relaciones PAFF/PAF evaluadas no tuvieron efecto en la EUF ( $p > 0.05$ ) y en promedio fue de 152.8 kg kg<sup>-1</sup>. Esta respuesta nos indica que la cantidad de fósforo suministrado como fertilizante (ligeramente superior a 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) además de las enmiendas agrícolas aplicadas al cultivo (cala agrícola y vermicomposta), provocaron la biodisponibilidad de fósforo al cultivo, situación que naturalmente no se presenta en suelos andosoles. Ramaekers *et al.* (2010), señalan que en estos suelos los cultivos responden a la fertilización con P, pero deben realizarse aplicaciones anuales para sostener el rendimiento.

Aún con las enmiendas agrícolas realizadas la concentración promedio de P residual fue muy baja (1.6 ppm), lo cual puede asociarse a la capacidad de retención que tienen este tipo de suelos y al pH del suelo que regula las propiedades de adsorción de los principales minerales de fijación del P (Devau *et al.*, 2011), el pH promedio después del cultivo fue de 6, valor inferior con respecto a la condición inicial a consecuencia de la lixiviación y remoción por el cultivo de las bases intercambiables como el Ca, Mg y K.

Al comparar la EUF de los genotipos, 'Anibal' registró 174 kg kg<sup>-1</sup>, 33% mayor a la obtenida con 'Reserva'. Considérese que estos resultados son parciales a la cosecha del tercer racimo. Al respecto, Ojodeagua *et al.* (2008) reportan EUF de 1 000 kg kg<sup>-1</sup> para un cultivar de tomate tipo bola con 18 racimos cosechados por planta. Para mejorar la EUF por los cultivos deben integrarse tres estrategias que incluyen: el mejoramiento genético (convencional o asistido molecularmente), la ingeniería genética (transgénicos) y la fertilización con P y utilización de microorganismos que favorezcan la biodisponibilidad del P, todas ellas asociadas con buenas prácticas de manejo del cultivo (Ramaekers *et al.*, 2010).

(2013) reported for the hybrid fruits of Reserva, an average weight and diameter of 99.3 g and 51 mm, respectively.

The Table 2 showed that, the PAFF/PAF had no effect relationships evaluated in EUF ( $p > 0.05$ ) and average was 152.8 kg kg<sup>-1</sup>. This response indicated that, the amount of phosphorus supplied as fertilizer (slightly exceeding 300 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) in addition to agricultural amendments applied to the crop (crop cove and vermicompost), caused the bioavailability of phosphorus crop, situation which naturally occurs in andosols soils. Ramaekers *et al.* (2010) indicated that in these soils crops respond to fertilization with P, but annual applications should be made to sustain performance.

Even with the agricultural amendments made the average concentration of residual P was very low (1.6 ppm), which may be associated with holding capacity with this type of soils and soil pH regulating the adsorption properties of the main minerals on P fixation (Devau *et al.*, 2011), the average pH after cultivation was 6, lower value with respect to the initial condition as a result of leaching and removal by culturing exchangeable bases such as Ca, Mg and K.

Comparing the EUF genotypes, 'Anibal' recorded 174 kg kg<sup>-1</sup>, 33% higher than that obtained with 'Reserva'. Considering that these results are partial at the harvest of the third cluster. In this regard, Ojodeagua *et al.* (2008) reported EUF of 1000 kg kg<sup>-1</sup> for cultivar of tomato type ball, 18 bunches harvested per plant. In order to improve the EUF by crops should be integrated three strategies including: (conventional or assisted molecular) genetic improvement, genetic engineering (GE) and P fertilization and use of microorganisms to promote the bioavailability of P, all associated with good crop management practices (Ramaekers *et al.*, 2010).

## Conclusions

Deep fertilization with 200 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> supplemented with 106 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in fertigation had no significant effect on the variables of growth, yield, fruit quality and efficiency of use of phosphorus; however, this relationship half reduces the amount of soluble P. Moreover, the hybrid 'Anibal' showed better vigour, yield and efficiency of P than 'Reserva'.

*End of the English version*



## Conclusiones

La fertilización de fondo con 200 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> complementada con 106 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en fertirrigación no tuvo un efecto significativo en las variables de crecimiento, rendimiento, calidad de fruto y eficiencia de uso de fósforo, sin embargo con esta relación se reduce a la mitad la cantidad de P soluble. Por otra parte, el híbrido ‘Anibal’ demostró mayor vigor, rendimiento y eficiencia en el uso de P que ‘Reserva’.

## Literatura citada

- De Groot, C. C.; Marcelis, L. F. M.; Van den Boogaard, R. and Lambers, H. 2001. Growth and dry-mass partitioning in tomato as affected by phosphorus nutrition and light. *Plant. Cell Environ.* 24(12):1309-1317.
- Devau, N.; Hinsinger, P.; Le Cadre, E.; Colomb, B. and Gérard, F. 2011. Fertilization and pH effects on processes and mechanisms controlling dissolved inorganic phosphorus in soil. *Geochimica et Cosmochimica Acta.* 75(10):2980-2996.
- Enríquez-Reyes, S. A.; Alcántar-González, G.; Castellanos-Ramos, J. Z.; Arjona-Suárez, E.; González-Eguiarte, D. y Lazcano-Ferrat, I. 2003. Nutrición mineral acoplada al crecimiento (NUMAC): nutrición con N para tomate en invernadero I. Descripción del modelo y obtención de parámetros. *Terra Latinoamericana.* 21(2):167-175.
- Fageria, N. K.; Baligar, V. C. and Li, Y. C. 2008. The role of nutrient efficient plants in improving crop yields in the twenty first century. *J. Plant Nutrit.* 31(6):1121-1157.
- Fujita, K.; Okada, M.; Lei, K.; Ito, J.; Ohkura, K.; Adu-Gyamfi, J. J. and Mohapatra, P. K. 2003. Effect of P-deficiency on photoassimilate partitioning and rhythmic changes in fruit and stem diameter of tomato (*Lycopersicon esculentum*) during fruit growth. *J. Exp. Bot.* 54(392):2519-2528.
- Hernández-Leal, E.; Lobato-Ortiz, R.; García-Zavala, J. J.; Reyes-López, D.; Méndez-López, A.; Bonilla-Barrientos, O. y Hernández-Bautista, A. 2013. Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 36(3):209-215.
- Hu, Y. C.; Song, Z. W.; Lu, W. L.; Poschenrieder, C. and Schmidhalter, U. 2012. Current soil nutrient status of intensively managed greenhouses. *Pedosphere.* 22(6):825-833.
- Mengel, K. and Kirkby, E. A. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers. 849 p.
- Muñoz-Ramos, J. J. 2009. Manejo del cultivo de tomate en invernadero. *In: manual de producción de tomate en invernadero.* Castellanos, Z. T. (Ed.). Ediciones Intagri. 45-93 pp.
- Ojodeagua-Arredondo, J. L.; Castellanos-Ramos, J. Z.; Muñoz-Ramos, J. J.; Alcántar-González, G.; Tijerina-Chávez, L.; Vargas-Tapia, P. y Enríquez-Reyes, S. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(4):367-374.
- Panthee, D. R. and Gardner, R. G. 2011. Genetic improvement of fresh market tomatoes for yield and fruit quality over 35 years in North Carolina: a review. *Inter. J. Vegetable Sci.* 17(3):259-273.
- Ramaekers, L.; Remans, R.; Rao, I. M.; Blair, M. W. and Vanderleyden, J. 2010. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plant. *Field Crop Res.* 117(2-3):169-176.
- Sánchez-del Castillo, F.; Moreno-Pérez, E. C.; Coatzin-Ramírez, R.; Colinas-León, M. T. y Peña-Lomelí, A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. *Rev. Chapingo Hortic.* 16(3):207-214.
- Statistical Analysis System (SAS) Institute. 1999. SAS user's guide. Statistics. Version 8.2 SAS Inst., Cary, NC. USA. Quality, and elemental removal. *J. Environ. Qual.* 19:749-756.
- Terrones-Cordero, A. y Sánchez-Torres, Y. 2011. Análisis de la rentabilidad económica de la producción de jitomate bajo invernadero en Acaxochitlán, Hidalgo. *Rev. Mex. Agron.* 17(29):752-761.
- Van der Ploeg, A.; Van der Meer, M. and Heuvelink, E. 2007. Breeding for a more energy efficient greenhouse tomato: past and future perspectives. *Euphytica.* 158(1-2):129-138.
- Yang, L. J.; Zhang, Y. L.; Li, F. S. and Lemcoff, J. H. 2011. Soil phosphorus distribution as affected by irrigation methods in plastic film house. *Pedosphere.* 21(6):712-718.