

La nutrición potásica afecta el crecimiento y fotosíntesis en *Lilium* cultivado en turba ácida*

The potassium nutrition affects the growth and photosynthesis of *Lilium* cultivated in acidic peat

Enoc Barrera-Aguilar¹, Luis Alonso Valdez-Aguilar^{2§}, Ana María Castillo-González³, Luis Ibarra-Jiménez¹, Raúl Rodríguez-García⁴ e Iran Alia-Tejcal⁵

¹Centro de Investigación en Química Aplicada-UAEM. Blvd. Enrique Reyna 140, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25253. Tel. 01 844 4389830. (barrera100@hotmail.com), libarra@ciqa.mx). ²Departamento de Horticultura, ⁴Departamento de Riego, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Saltillo, Coahuila, México. C. P. 25315. Tel. 01 844 4110200. (rrodriguez_uaaan@hotmail.com). ³Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco, km. 36.5, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. Tel. 01 595 9521642. (anasofiacasg@hotmail.com). ⁵Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Av. Universidad, Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. C. P. 62209. Tel. 01 777 3297046. (ijac96@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: luisalonso_va@hotmail.com.

Resumen

Lilium (*Lilium* sp.) es una de las especies ornamentales de mayor valor y se le cultiva para producir flores de corte o plantas en maceta. La incorporación de la floricultura a la tecnología de cultivos sin suelo demanda precisar los niveles óptimos de nutrición de cada uno de los elementos requeridos. En el presente estudio se evaluó el efecto de la concentración de K en la solución nutritiva para definir la concentración que permita una producción de flores de *Lilium* cultivado en turba ácida. Las soluciones en estudio consistieron en cuatro concentraciones de K: 0, 5, 10 y 20 mM. La mayoría de las variables respuesta evaluadas permitió definir una concentración óptima de K entre los 5 y 10 mM, intervalo que sería el equivalente a los niveles de suficiencia nutrimental. Lo anterior fue observado en parámetros como el diámetro de la flor, altura de planta y peso seco total de planta. En contraste, niveles excesivos (20 mM) o de deficiencia (0 mM) de K causaron una reducción en la altura y en el peso seco total. El aumento de la concentración de K en la solución nutritiva estuvo relacionado con un incremento en la concentración de K en todos los órganos, pero principalmente en la raíz. La mayor fotosíntesis neta registrada en las hojas jóvenes

Abstract

Lilium (*Lilium* sp.) is one of the ornamental species with the highest value and is cultivated to produce fresh cut flowers or potted plants. The incorporation of floriculture to crop technology of crops without soil requires the determination of optimum levels of nutrition for each of the required elements. In the present study, the effect of the K concentration in the nutritive solution was evaluated in order to define the concentration that permits the production of *Lilium* flowers to be cultivated in acidic peat. The solutions in the study consisted of four concentrations of K: 0, 5, 10, and 20 mM. Most of the response variables evaluated, allowed us to define an optimal concentration of K as between and 10 mM, an interval that would be the equivalent of the sufficient nutrient levels. The former was observed in parameters like the diameter of the flower, height of the plant, and total dry weight of the plant. In contrast, excessive levels (20 mM) or deficiencies (0 mM) of K cause a reduction of height and in total dry weight. The increase of the concentration of K in the nutritive solution was related to an increase in the concentration of K in all of the organs, but principally in the root. The greatest net photosynthesis registered in the young

* Recibido: diciembre de 2011
Aceptado: agosto de 2012

se presentó con el suplemento de 0 ó 20 mM de K, lo cual puede deberse a una regulación del proceso por falta de carbohidratos como sugiere la menor biomasa acumulada.

Palabras clave: cultivo sin suelo, fertilización, musgo de pantano, solución nutritiva, ornamentales de bulbo.

Introducción

Lilium (*Lilium* sp.) es una de las especies ornamentales de mayor valor y se le cultiva para producir flores de corte o plantas en maceta (Varshney *et al.*, 2001). En México, *Lilium* es una especie ampliamente cultivada; ya que, es una de las más exportadas hacia los mercados de Estados Unidos de América y Canadá (SAGARPA, 2010).

Los sistemas modernos de producción incluyen el cultivo en condiciones de invernadero y en sustratos sin suelo. Sin embargo, actualmente esta tecnología en México se encuentra particularmente enfocada a la producción de hortalizas y no hacia la producción de flores de corte. La incorporación de la floricultura a este patrón tecnológico permitiría lograr un abastecimiento de flores de calidad en los exigentes mercados de los Estados Unidos de América y la Unión Europea. No obstante, para lograr este objetivo hace falta llevar a cabo estudios suficientes sobre la producción de flores en sistemas sin suelo, ya que casi la totalidad de los estudios que se han realizado en este campo han sido principalmente en tomate y otras hortalizas.

Para una adecuada producción de plantas ornamentales en sistemas sin suelo se requiere generar información básica que permita conocer la concentración óptima de los nutrientes esenciales, de los cuales el K es especialmente importante por la gran cantidad que se demanda por las plantas. La importancia del K radica en su papel en procesos como la síntesis de proteínas, activación enzimática, el transporte y translocación de nutrientes y fotoasimilados, fotosíntesis, neutralización de aniones y regulación del potencial osmótico. Este último es uno de los mecanismos más importantes en el control de las relaciones hídricas de la planta (Pardo *et al.*, 2006) y favorece la turgencia y el crecimiento celular.

En especies ornamentales como el anturio (*Anthurium andreanum* Lind. L.) se ha puesto mucho énfasis en investigar la importancia del suministro de K en la producción y calidad de la flor (Durfour y Clairon, 1997) puesto que niveles inadecuados afectan negativamente la longitud del tallo floral (Higaki *et al.*,

leaves was shown with the supplement of 0 to 20 mM of K, which could be because of a process regulation because of lack of carbohydrates as is suggested by less accumulated biomass.

Key words: cultivation without soil, fertilization, peat moss, nutrient solution, ornamental bulbs.

Introduction

Lilium (*Lilium* sp.) is one of the ornamental species with the greatest value and is cultivated to produce fresh cut flowers or potted plants (Varshney *et al.*, 2001). In Mexico, *Lilium* is a widely cultivated species; as such, it is one of the most exported to the markets of the United States of America and Canada (SAGARPA, 2010).

The modern production systems have the crop in greenhouse conditions and in substratum without soil. However, currently this technology in Mexico is found to focus particularly on vegetable production and not on the production of fresh cut flowers. The incorporation of floriculture to this technological pattern would permit us to achieve a supply of quality flowers for the demanding markets of the United States of America and the European Union. Nevertheless, to obtain this objective there lacks sufficient studies about the production of flowers in systems without soil, now that the totality of the studies have been realized in this field have principally been in tomato and other vegetables.

For an adequate production of ornamental plants in non-soil systems, it is necessary to generate basic information that allows us to discover the optimal concentration of the essential nutrients, of which K is specifically important because of the great quantity that is required by the plants. The importance of K lies in its role in the processes of protein synthesis, neutralization of anions and regulation of osmotic potential. This last mechanism is important in controlling the hydric relations of the plant (Pardo *et al.*, 2006) and favoring the cellular swelling and growth.

In ornamental species like anthurium (*Anthurium andreanum* Lind. L.), much emphasis has been put on investigating the importance of the supply of K in the production and quality of the flower (Durfour and Clairon, 1997) given that inadequate levels negatively affect the length of the floral stem (Higaki

1992). Dufour y Guérin (2005) afirman que el suministro de K para anturio debe ser alto, especialmente durante la fase reproductiva para alcanzar un buen rendimiento y flores de calidad.

Lilium no es la excepción en cuanto a la falta de estudios de nutrición, por lo que las recomendaciones de fertilización son limitadas a pesar de su importancia en el mercado internacional de las flores. Tomando en consideración que los nutrientes que aporta el bulbo madre no son suficientes para completar el ciclo de cultivo, la fertilización en la producción comercial de estas flores es una práctica necesaria (Ortega-Blu *et al.*, 2006). Por lo anteriormente mencionado, en el presente estudio se evaluó el efecto de la concentración de K en la solución nutritiva para definir la concentración que permita la producción de flores de alta calidad de *Lilium* cultivado en turba ácida.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en 2009 en un invernadero tipo túnel de la Estación Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada, en Saltillo, Coahuila. Durante el experimento, la temperatura mínima y máxima promedio fueron de 12 y 27 °C, respectivamente, mientras que la humedad relativa osciló entre 45% y 75%. La radiación fotosintéticamente activa incidente durante la hora de mayor insolación (12:00 a 14:00 h) fue en promedio de 460 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

La plantación se realizó en septiembre con bulbos de *Lilium* cultivar Arcachon de calibre 16 a 18 previamente desinfectados con benomyl (1 gr L^{-1}); los bulbos fueron plantados en macetas de 15 cm de diámetro conteniendo turba ácida como sustrato. El pH y conductividad eléctrica inicial de la turba fue 6.3 y 0.90 dS cm^{-1} , respectivamente, en tanto que su capacidad de retención de humedad fue de 60%. Se colocó un bulbo por maceta sobre una capa de sustrato de 5 cm y posteriormente se cubrió el resto del contenedor con el mismo sustrato.

Las soluciones nutritivas en estudio fueron preparadas con agua destilada y consistieron en cuatro concentraciones de K: 0, 5, 10 y 20 mM. El pH de las soluciones fue de 6.1 a 6.4 y la conductividad eléctrica de 1.23 a 2.5 dS m^{-1} . Los restantes nutrimentos en las soluciones se mantuvieron constantes en todos los tratamientos [N (12 mM), P (0.5 mM), Ca (2 mM), Mg (2 mM), Fe (89.5 μM), Zn (0.76 μM), Cu (0.32 μM), B (46.2 μM), Mn (9.1 μM), Mo (0.11 μM)]. El ion acompañante de las sales empleadas para elaborar las soluciones nutritivas fue el SO_4^{2-} , por lo que esta varió entre 0.5 y 4.5 mM.

et al., 1992). Dufour y Guérin (2005) afirm that the supply of K for anthurium should be high, especially during the reproductive phase in order to achieve a good yield and quality flowers.

Lilium is not the exception when it comes to lack of studies about nutrition, because the fertilization recommendations are limited despite their importance in the international flower market. Taking into consideration that the nutrients that the mother bulb provides are not sufficient to complete the crop cycle, the fertilization in the commercial production of these flowers is a necessary practice (Ortega-Blu *et al.*, 2006). Previously mentioned, the present study evaluated the effect of the K concentration in the nutrient solution in order to determine at what concentration the production of high quality *Lilium* flowers could be cultivated in acidic peat.

Materials and methods

The experiment was carried out in 2009 in a typical tunnel greenhouse at the Experimental Station belonging to the Center for Applied Chemical Research in Saltillo, Coahuila. During the experiment, the minimum and maximum average temperatures were 12 °C and 27 °C, respectively, while the relative humidity oscillated between 45% and 75%. The active photosynthetic radiation instance during the peak hours of sun (12:00 to 14:00 hours) was an average of 460 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

The planting took place in September with *Lilium* bulbs, Arcachon cultivars calibrated 16 to 18 and previously disinfected with con benomyl (1 g L^{-1}); the bulbs were planted in pots of 15 cm in diameter containing acidic peat as substratum. The pH and the initial electrical conductivity of the peat was 6.3 and 0.90 dS cm^{-1} , respectively, while its retaining humidity at 60%. Bulbs were planted in a pot in a layer of substratum of 5 cm and then, the rest of the container was covered with the same substratum.

The nutrient solutions in the study were prepared with distilled water and consisted of 4 concentrations of K: 0, 5, 10, and 20 mM. The pH of the solutions was 6.1 to 6.4 and the electric conductivity was 1.23 to 2.5 dS m^{-1} . The rest of the nutrients in the solution were maintained constant in all of the treatments [N (12 mM), P (0.5 mM), Ca (2 mM), Mg

Los riegos se efectuaron manualmente según las necesidades de las plantas aplicando un volumen suficiente de la solución nutritiva para lograr una fracción de lixiviado de 30%. No se permitió la evaporación de la solución nutritiva desde la superficie del sustrato ya que se colocó una película de plástico coextruido blanco-negro sobre la superficie del mismo, con un orificio en el centro para permitir la emergencia de las plantas. El volumen drenado fue recuperado después de cada riego y se midió para calcular por diferencia el agua transpirada por la planta.

El experimento fue concluido 60 días después del trasplante cuando se detectó la apertura floral completa de dos botones florales por planta. Cada planta fue sometida a un lavado de raíz con agua corriente para eliminar el exceso de sustrato y posteriormente se separó en raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes y maduras, y flores. Las hojas jóvenes correspondieron a las localizadas en el tercio superior de la planta mientras que las hojas restantes se consideraron como maduras. Los órganos separados fueron lavados con agua destilada y se introdujeron en un horno de secado a 75 °C por 72 h para posteriormente registrar el peso seco.

Otras variables estudiadas fueron: altura de planta (incluyendo inflorescencia), el diámetro de flor (primer flor completamente expandida), la medición indirecta de clorofilas en hojas jóvenes y maduras (Unidades SPAD, con un equipo Minolta-202) y el área foliar total y de hojas jóvenes (integrador de área foliar LI-COR modelo LI-3100). A los 54 d después del trasplante (cuando las flores se encontraban con los pétalos completamente expandidos) se midió la tasa de fotosíntesis neta y la conductancia estomática (IRGALI-6200 Licor Inc.); las lecturas fueron tomadas de 11:00 a 13:00 h, sobre una hoja joven y otra madura de la planta y que tuviese una posición perpendicular a la radiación solar.

La concentración de K en cada órgano de la planta se determinó con un flamómetro Corning 400 en el digestado de muestras de tejidos de 0.5 g previamente molido (Analytical Mill, Tekmar Co. modelo A-10) y digerido con 4 ml de una mezcla de H₂SO₄:HClO₄ (relación 2:1) y 2 ml de H₂O₂ al 30% (Alcántar y Sandoval, 1999). La concentración de K en toda la planta se calculó utilizando las concentraciones y materia seca acumulada por órgano. Se cuantificó el consumo acumulado de agua mediante mediciones del volumen del drenaje después de cada riego aplicado como se explicó anteriormente.

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar con cinco repeticiones por tratamiento, cada una consistiendo de una maceta con una planta. Los datos obtenidos se sometieron a un

(2 mM), Fe (89.5 µM), Zn (0.76 µM), Cu (0.32 µM), B (46.2 µM), Mn (9.1 µM), Mo (0.11 µM)]. The ion accompanied by the salts that were used to elaborate nutrient solutions was SO₄²⁻, which varied between 0.5 and 4.5 mm.

The irrigation was done manually according to the needs of the plants, applying a sufficient volume of the nutrient solution to achieve a fraction of leachate of 30%. Evaporation of the nutrient solution was not permitted from the surface of the substratum; as such coextruded white-black plastic film was put over the surface, with a whole in the center to allow the plant to emerge. The drained volume was recuperated after each irrigation and was measured to calculate the difference in transpired water of the plant.

The experiment was concluded 60 days after the transplant when the complete anthesis was detected and there were 2 flower buds per plant. Each plant was submitted to a washing of the root with running water to eliminate excess substratum and was then separated in root, bulb, stem, leaves- young and madura, and flowers. The young leaves corresponded to those that were located on the upper third of the plant while the rest of the leaves were considered mature. The separated organs were washed with distilled water and introduced into a drying oven at 75 °C for 72 hours in order to, afterwards, register the dry weight.

The other variables studied where: plant height (including inflorescence), diameter of the flower (first flower that was completely expanded), the indirect measurement of the chlorophyll in the young and mature leaves (SPAD units, with equipment Minolta-202), and total foliar area and the young leaves (integrator of foliar area LI-COR modelo LI-3100). At 54 days after transplanting (when the flowers were found to have completely expanded petals) the rate of net photosynthesis and stomata conduction was measured (IRGA LI-6200 Licor Inc.) the readings were taken from 11:00 am to 13:00 hours, on a young and mature leaf of the plant and that had a perpendicular to the sun's radiation.

The concentration of K in each organ of the plant was determined in with a flamómetro Corning 400 in the digestate of tissue sample of 0.5 g previously ground (Analytical Mill, Tekmar Co. modelo A-10) and digested with 4 ml of a mix of H₂SO₄:HClO₄ (relation 2:1) y 2 ml of H₂O₂ to 30% (Alcántar y Sandoval, 1999). The concentration of K in all of the plant was calculated using the concentration

análisis de varianza (ANOVA) y comparación de promedios de acuerdo a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) utilizando el programa SAS (Statistical Analysis Systems), versión 8.0. Asimismo, se realizó un análisis de regresión entre la concentración total de K en la planta y la concentración de K en la solución nutritiva y en las respuestas de la planta empleando como variable independiente la concentración total de K en la planta.

Resultados

El crecimiento fue afectado por la concentración de K en la solución nutritiva. Las plantas irrigadas con soluciones conteniendo 5 mM de K mostraron una altura significativamente mayor a la de las plantas que recibieron otra concentración (Cuadro 1). Asimismo, el diámetro de las flores fue significativamente mayor en plantas irrigadas con soluciones de K mayores o iguales a 5 mM (Cuadro 1). El área foliar total no fue afectada significativamente. Sin embargo, el área de las hojas más jóvenes (incluidas en el último tercio de la planta) sí mostró efectos significativos ya que fue mayor en plantas irrigadas con soluciones de K mayor o igual a 5 mM (Cuadro 1). Las unidades SPAD no fueron afectadas por los tratamientos en hojas jóvenes ni en hojas maduras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de la concentración de K en la solución nutritiva sobre el crecimiento de plantas de *Lilium* cv. Arcachon cultivado en turba ácida a los 60 días después del trasplante.

Table 1. The effect of the K concentration in the nutrient solution on the growth of the plants *Lilium* cv. Arcachon cultivated in acidic peat at 60 days after transplant.

K (mM)	Altura de planta (cm)	SPAD hojas maduras	SPAD hojas jóvenes	Área foliar hojas jóvenes (cm ²)	Área foliar total (cm ²)	Diámetro de flor (cm)
0	70.6b ^z	67.9	77.7	532.0b	1220.2	22.8b
5	74.3a	69.3	76.8	625.8a	1303.9	24.8a
10	68.7bc	68.3	76.2	604.1a	1325.6	24.9a
20	66.2c	68.3	78.8	590.2ab	1234.1	23.8ab
ANOVA	***	NS	NS	**	NS	**
CV%	2.3	3.3	2.8	6.2	5.9	3.7

^zmedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. NS, **, ***, no significativo y significativo con $p \leq 0.01$, $p \leq 0.01$, respectivamente. CV: coeficiente de variación.

El peso seco de todos los órganos de la planta fue afectado por la concentración de K. El peso seco total y el peso seco de tallos fueron significativamente mayores cuando la concentración de K fue de 5 mM (Cuadro 2). En el caso de hojas jóvenes, el peso seco total fue significativamente mayor en plantas tratadas con concentraciones de K igual a 5 mM. El bulbo mostró una tendencia a disminuir el peso seco conforme se aumentó la concentración de K en la solución nutritiva, siendo este

of dry material accumulated by organ. The accumulate consumption of water was quantified by means of volume measurements of drainage after each applied irrigation, as was previously stated.

The experimental design used random blocks with five repetitions for treatment, each one consisting of a pot with a plant. The obtained data was then put through a variance analysis (ANOVA) and the average like-mean comparison to the Turkey test ($p \leq 0.05$) using the program SAS (Statistical Analysis Systems), version 8.0. Also, a regression analysis was done between the concentration of K in the plant, and the concentration of K in the nutrient solution in the response of the plant like the total concentration of K as the independent variable.

Results

The growth was affected by the concentration of K in the nutrient solution. The plants irrigated with a solution containing 5 mM of K showed a significantly greater height than the plants that received another concentration (Table 1). Likewise, the diameter of the flowers was significantly

greater in the plants irrigated with a K solution greater or equal to 5mm (Table 1). The total foliar area was not significantly affected. However, the area of the young leaves (including the last third of the plant) showed significant effects in as much as being larger than plants irrigated with a K solution larger or equal to 5mm (Table 1). The units SPAD were not affected by the treatments of neither the young nor mature leaves (Table 1).

aumento significativo con concentraciones de 5 mM o mayores (Cuadro 2). En el resto de las variables respuesta no hubo un efecto significativo o no se detectó una tendencia clara.

The dry weight of all of the plant's organs was affected by K. The total dry weight and the dry weight of the stems were significant greater than when the K concentration was 5 mM

Cuadro 2. Efecto de la concentración de K en la solución nutritiva sobre el peso seco de raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes, total de hojas, flor y peso seco total de la planta en *Lilium cv. Arcachon* a los 60 días después del trasplante.

Table 2. The effect of the K concentration in a nutrient solution on dry root weight, bulb, stem, young leaves, total leaves, flower, total dry weight of the plant in *Lilium cv. Arachon* at 60 days after the transplant.

K en solución nutritiva (mM)	Peso seco (g)						
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas jóvenes	Total de hojas	Flor	Total de planta
0	105.3a ^z	37.1a	42.6b	33.3b	70.5	63.5	319.0b
5	97.9ab	35.9ab	47.0a	39.5a	77.2	75.7	334.5a
10	90.0b	32.3bc	41.0b	37.2ab	77.1	67.4	307.9b
20	102.8a	30.7c	39.6b	35.1ab	72.8	69.6	315.6b
ANOVA	**	**	***	*	NS	NS	***
CV %	4.0	6.0	2.4	3.4	3.7	7.1	1.7

^zmedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. NS, **, ***, no significativo y significativo con $p \leq 0.01$, $p \leq 0.01$, respectivamente. CV: coeficiente de variación.

La concentración de K en los órganos de la planta fue afectada por la concentración de este elemento en la solución nutritiva. A medida que se incrementó la concentración de K en la solución se presentó un aumento en la concentración en todas las partes de la planta. El aumento en la concentración de K se presentó cuando las plantas se irrigaron con soluciones en las que el K se elevó de 0 a 10 mM (Cuadro 3). Sin embargo, cuando la concentración se elevó de 10 a 20 mM la concentración de K ya no se incrementó, con excepción de la raíz. La concentración de K fue más alta en la raíz, pero en todos los órganos ésta fue significativamente mayor cuando la solución nutritiva contenía 20 mM en raíces, 10 a 20 mM en bulbos, tallos hojas maduras y hojas jóvenes, o bien de 5 a 20 mM en las flores (Cuadro 3). La concentración de K en toda la planta fue significativamente mayor incluso a concentraciones de 5 mM en la solución nutritiva.

(Table 2). In the case of the young leaves, the total dry weight was significantly greater in the plants treated with K concentrations equal to 5 mM. The bulb showed a tendency to decrease in dry weight as the K concentration was increased in the nutrient solution, being that this increase was significant with concentrations of 5 mM or greater (Table 2). The rest of the response variables did not have significant effect or were not detected to have a clear tendency.

The K concentration in the organs of the plants was affected by the concentration of this element in the nutrient solution. As the K concentration was increased in the solution there was an increase in the concentration of all of the plant parts. The increase of the K concentration occurred when the plants were irrigated with solution in which the K increased from 0 to 10 mM (Figure 3). However, when the concentration

Cuadro 3. Concentración de K en los órganos de plantas de *Lilium cv. Arcachon* irrigadas con soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K.

Table 3. K concentration of the plant organs of *Lilium cv. Arcachon* irrigated with nutrient solutions with different concentrations of K.

Solución nutritiva	Concentración de K (mM)						
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Flores	Planta completa
0	266.8c ^z	249.7c	237.6c	273.9c	249.2c	433.0b	724.0d
5	448.1b	317.0b	471.2b	519.6b	467.2b	529.6a	1199.4c
10	584.0b	343.6ab	658.5a	656.4a	678.7a	604.1a	1450.1b
20	1062.3a	380.6a	725.0a	600.8ab	714.9a	582.0a	1685.9a
ANOVA	***	***	***	***	***	***	***
CV %	14.0	9.0	9.9	11.5	20.9	7.8	5.0

^zmedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. NS, **, ***, no significativo y significativo con $p \leq 0.01$, $p \leq 0.01$, respectivamente. CV: coeficiente de variación.

La concentración de K en la solución nutritiva tuvo un efecto significativo en el consumo acumulado de agua ya que las plantas irrigadas con soluciones conteniendo 5 mM requirieron más agua durante todo el ciclo de cultivo (Cuadro 4). El mayor consumo de agua en plantas irrigadas con soluciones de 5 mM puede deberse tanto a la concentración de K cercano al óptimo así como a un potencial osmótico de la solución que permitiese una mayor capacidad de extracción de agua. Asimismo, la fotosíntesis neta en las hojas jóvenes fue significativamente afectada por los niveles de K, aunque la tendencia fue a disminuir con niveles de 5 mM y luego se incrementó con 20 mM (Cuadro 4). En hojas maduras no se detectaron diferencias significativas en fotosíntesis neta. La conductancia estomática disminuyó significativamente en hojas jóvenes a concentraciones elevadas de K, en tanto que en las hojas maduras la conductancia fue mayor en plantas irrigadas con soluciones conteniendo 5 y 10 mM de K.

was elevated from 10 to 20 mM, the K concentration no longer increased, except with the exception of the root. The K concentration was higher in the root, but in all of the organs it was significantly greater when the nutrient solution contained 20 mM in roots, 10 to 20 mM in bulbs, stems, mature leaves, young leaves, or 5 to 20 mM in the flowers (Figure 3). The K concentration in the whole plant was significantly greater, even in the concentration of 5 mM for the nutrient solution

The K concentration in the nutrient soil had a significant effect on the accumulated water consumptions as the plants irrigated with the solution contained 5 mM, they required more water during the whole crop cycle (Figure 4). The greatest consumption of water in irrigated plants with a 5 mM solution could be due to the K concentration being close to the optimum or because of a potential osmosis of the solution that would permit a greater extraction of water. Also, the net photosynthesis in the young leaves was

Cuadro 4. Variables fisiológicas en plantas de *Lilium* cv. Arcachon irrigadas con soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K.

Table 4. Physiological variables in *Lilium* cv plants. Arcachon irrigated with nutrient solutions with different K concentrations.

K (mM)	Consumo acumulado de agua (ml planta)	Fotosíntesis neta ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		Conductancia estomática (cm s^{-1})	
		Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras
0	2306.3ab ^z	12.8ab	20.5	0.99ab	1.05b
5	2442.0a	7.3b	19.7	1.14a	1.19ab
10	2211.0b	9.7ab	21.3	0.85b	1.27a
20	2258.0ab	16.3a	17.0	0.90b	1.04b
ANOVA	*	*	NS	*	**
CV %	4.3	35.2	20.7	12.72	7.89

^zmedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $p \leq 0.05$. NS, **, ***, no significativo y significativo con $p \leq 0.01$, $p \leq 0.01$, respectivamente. CV: coeficiente de variación.

El aumento en la disponibilidad de K en la solución nutritiva estuvo relacionado con un incremento en la concentración del nutrimento considerando toda la planta (Figura 1). En general, con 5 mM de K en la solución nutritiva se presentó un notorio aumento en la concentración de K pero este aumento fue menos marcado con niveles de 10 ó 20 mM en la solución nutritiva. Algunos de los parámetros de crecimiento y fisiológicos mostraron una asociación con la concentración de este nutrimento en los órganos vegetales implicados en el proceso. La concentración de K en las hojas jóvenes tuvo un efecto cuadrático sobre la tasa de fotosíntesis en éstas ya que un nivel alto o bajo de este nutrimento resultó en una alta tasa de fotosíntesis neta, con una disminución con niveles intermedios

significantly affected by the levels of K, even though the tendency decreased with levels of 5 mM and later increased with those of 20 mM (Figure 4). In the mature leaves, no significant differences of net photosynthesis were detected. The stomatal conductance significantly decreased in young leaves with elevated K concentrations while the conductance of the mature leaves was greater in irrigated plants containing K solutions of 5 and 10 mM.

The increase in the availability of K in the nutrient solution was related with an increase in the nutrient concentration considering all of the plant (Figure 1). In general, 5 mM of K in a nutrient solution presents a notorious increase in the

de K (Figura 2). Igualmente, la concentración de K en las hojas jóvenes de la planta estuvo asociada cuadráticamente con el área foliar de estas hojas (Figura 3). La concentración de K en las flores también mostró una relación cuadrática con el crecimiento de éstas ya que el diámetro fue mayor con niveles intermedios de K, pero un nivel elevado no se manifestó en mayor tamaño de las flores (Figura 4). En el caso de la altura de las plantas, ésta disminuyó con concentraciones de K superiores a 1400 mM (Figura 5).

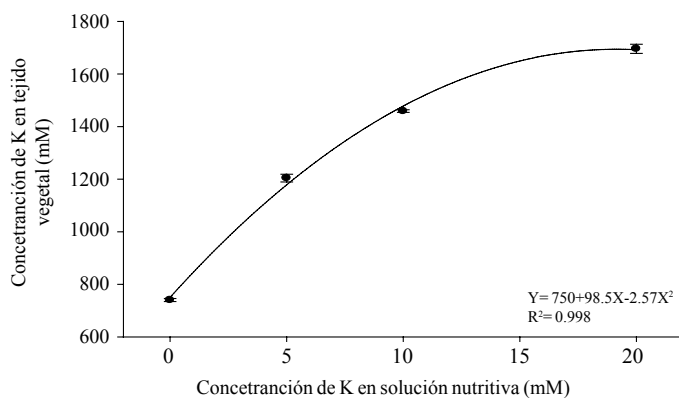


Figura 1. Efecto de la concentración de K en la solución nutritiva sobre la concentración del nutrimento en *Lilium cv. Arcachon* considerando todos los órganos de la misma. n=5. Barras representan el error estándar de la media.

Figure 1. Effect of the K concentration in the nutrient solution on the nutrient concentration of *Lilium cv. Arcachon* considered all of the organs the same. n=5. The bars represent the mean standard error.

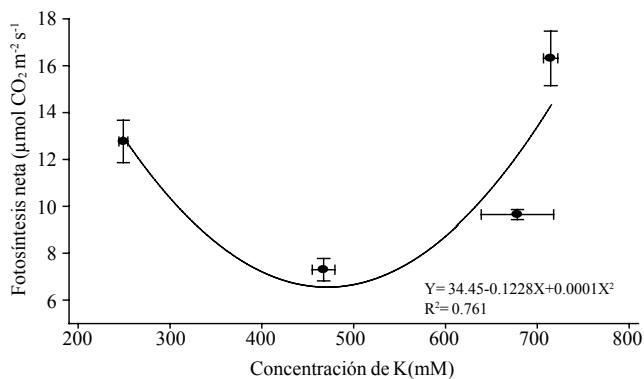


Figura 2. Efecto de la concentración de K en las hojas jóvenes (ubicadas en el tercio superior de la planta) de *Lilium cv. Arcachon* sobre la fotosíntesis neta de las mismas hojas. n=5. Barras representan el error estándar de la media.

Figure 2. Effect of the concentration of K in the young leaves (located on the upper third of the plant) of *Lilium cv. Arcachon* on the net photosynthesis of the same leaves. n=5. Bars represent the mean standard error.

K concentration, but this increase was less marked with levels of 10 or 20 mM in the nutrient solution. Some of the growth and physiological parameters showed an association with the concentration of this nutrient in the plant organs involved in the process. The K concentration in the young leaves had a quadratic effect on the rate of photosynthesis in these, as a high or low level of this nutrient resulted in a high rate of net photosynthesis with a decrease in intermediate levels of K (Figure 2). Equally, the concentration of K in the young leaves of the plant was quadratically associated with the growth of these plants as the diameter was greater with intermediate levels of K; elevated levels did not result in larger flowers (Figure 4). In the case of the plant height, it decreased with K concentrations above 1400 mm (Figure 5).

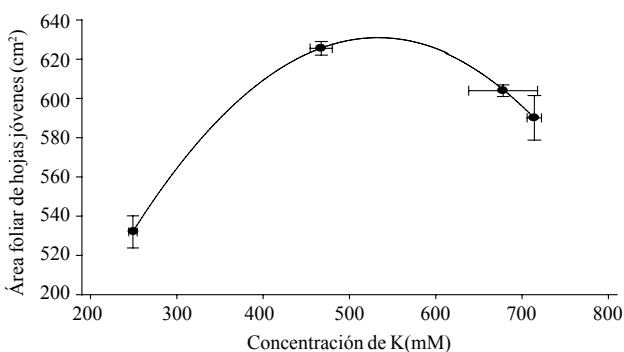


Figura 3. Efecto de la concentración de K en las hojas jóvenes (ubicadas en el tercio superior de la planta) de *Lilium cv. Arcachon* sobre el área foliar de las mismas hojas. n=5. Barras representan el error estándar de la media.

Figure 3. Effect of K concentration in young leaves (located in the upper third of the plant) of *Lilium cv. Arcachon* on the leaf area of the same leaves. n=5. Bars represent the mean standard error.

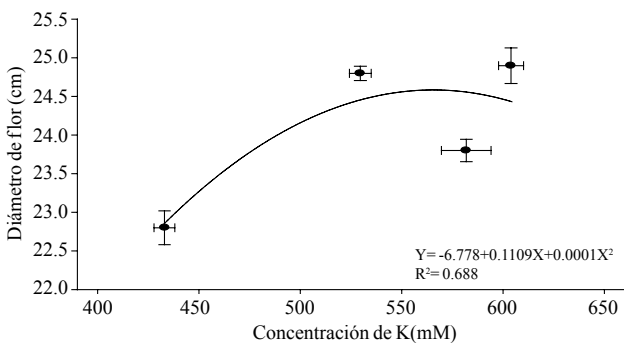


Figura 4. Efecto de la concentración de K en las flores sobre el diámetro de flor de *Lilium cv. Arcachon*. n=5. Barras representan el error estándar de la media.

Figure 4. Effect of the K concentration on the flowers. The diameter of the *Lilium cv. Arcachon*. n=5. Bars represent the mean standard error.

Discusión

El K es un elemento móvil en los tejidos vegetales y tiene una gran importancia en la producción agrícola ya que una deficiencia o una excesiva concentración de este elemento puede tener efectos a nivel anatómico, fisiológico y nutricional (Zhao *et al.*, 2001), lo cual se traduce en detrimento en el crecimiento y en la calidad de las plantas. La mayoría de las variables respuesta evaluadas en el presente estudio, permiten definir una concentración óptima de K entre los 5 y 10 mM, rango en el cual se ubicarían los niveles de suficiencia nutricional para K en *Lilium*. Lo anterior fue observado en parámetros de interés comercial como el mayor diámetro de la flor (5 a 10 mM), la mayor altura de planta (5 mM), y el mayor peso seco total de planta (5 mM). Resultados similares sobre la altura y el peso seco han sido reportados en cultivos básicos (Ali *et al.*, 2007; Delwar *et al.*, 2010). En contraste, niveles excesivos (20 mM) o de deficiencia (0 mM) de K causaron una reducción en la altura y el peso seco total de las plantas, lo que permite sugerir que concentraciones mayores a 10 mM corresponden a los niveles de toxicidad y menores de 5 mM corresponden a niveles de deficiencia. Varshney *et al.* (2001) reportaron una menor altura de las plantas de *Lilium*, así como una menor floración, debido a los efectos de toxicidad provocados por una alta fertilización con K.

La mayor área foliar en hojas jóvenes y el diámetro de las flores alcanzada en plantas de *Lilium* irrigadas con niveles de K entre 5 y 10 mM puede ser debido al efecto de este nutrimento sobre el alargamiento celular debido a su función de regulador osmótico en las células, lo que eleva la turgencia y expansión celular (Shabala *et al.*, 2000; Shabala, 2003). Estos resultados coinciden con los reportados por Wang (2007) en *Phalaenopsis* ya que esta especie produce hojas más anchas al incrementar la concentración de K en la solución nutritiva. El mayor diámetro de la flor en *Lilium* alcanzado con la aplicación de 5 mM de K pudiera relacionarse no sólo con el efecto del K en el potencial osmótico de los tejidos florales sino además al efecto sinérgico entre el K con el transporte del NO_3^- desde la raíz hacia la parte aérea, lo cual pudo favorecer la formación de compuestos esenciales (proteínas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, polisacáridos, entre otros) (Marschner, 1995) que incrementaron la biomasa y el crecimiento de las flores.

En condiciones de deficiencia de K (0 mM) se presentó un menor peso seco total de la planta, lo cual pudo deberse a que la falta de K no permitió el transporte de agua y nutrientes desde estos órganos de almacén hacia la parte aérea.

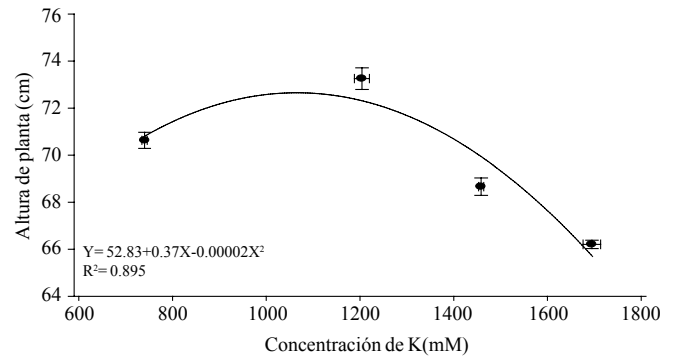


Figura 5. Efecto de la concentración de K total en planta de *Lilium* cv. Arcachon sobre la altura final. n=5. Barras representan el error estándar de la media.

Figure 5. Effect of the total K concentration of the *Lilium* cv plant. Arcachon on the final height. n= 5. Barrs represent the mean standard error.

Discussion

Potassium (K) is a mobile element in vegetable tissue and it has a great importance in agricultural production and as such, a deficiency or excess concentration of this element can have effects at the anatomical, physiological, or nutritional level (Zhao *et al.*, 2001), translates to be detrimental in the growth and quality of the plants. Most of the evaluated response values present in this study can be defined as an optimum K concentration between 5 and 10 mM, a range that is of sufficient nutrient levels of K in *Lilium*. Previously, parameters of commercial interest were observed: diameter of the flower (5 to 10 mM), the greatest plant height (5 mM) and the greatest dry weight (5 mM). Similar results about height and dry weight have been reported in basic cultivars (Ali *et al.*, 2007; Delwar *et al.*, 2010). In contrast, excessive levels (20 mM) or deficiencies (0 mM) of K caused a reduction in the height, and the total dry weight of the plants, allows one to speculate that that concentrations greater than 10 mM correspond to toxic levels and concentrations less than 5 mM correspond to deficient levels. Varsney *et al.* (2001) reported a stunted height in *Lilium* plants, along with less flowering, due to the toxic effects provoked by high fertilization levels with K.

The largest foliar area in young leaves and the diameter of the flower obtained in the *Lilium* plant irrigated with K levels between 5 and 10 mM, could be because of the effect of this nutrient on cellular length- given its function as an osmosis regulator in cells, which elevates turgor and cellular expansion (Shabala *et al.*, 2000; Shabala, 2003).

El aumento de la concentración de K en la solución nutritiva estuvo relacionado con un incremento en la concentración del nutrimento en todos los órganos de la planta, pero principalmente en la raíz. En los restantes órganos vegetales la tendencia a aumentar la concentración es menos marcada a altos niveles de K en la solución nutritiva, sugiriendo una probable saturación o disminución en el transporte del nutrimento desde la raíz. La tendencia predominantemente lineal de absorción de K puede ser debido a que este fue absorbido en forma pasiva a través de acarreadores o canales (Marschner, 1995).

La mayor fotosíntesis neta registrada en las hojas jóvenes se presentó con el suplemento de 20 mM de K y estuvo relacionada con una menor conductancia estomática, lo cual es opuesto a lo reportado por Egilla *et al.* (2005) en *Hibiscus rosa-sinensis* L., pues en esta especie se presentó un incremento tanto en la tasa fotosintética como en la conductancia estomática en plantas tratadas con K. Con niveles de deficiencia de K también se presentó una alta tasa fotosintética en hojas jóvenes en *Lilium*, lo cual es contrario a lo reportado en algodón por Zhao *et al.* (2001) quienes indican que una deficiencia de K se refleja en una menor tasa fotosintética. Sin embargo, el hecho de que los *Lilium* irrigados con soluciones que no contenían K hayan resultado con una alta tasa fotosintética puede deberse a que tales plantas no estuvieron en condiciones de deficiencia severa pues algo de K pudo haber estado acumulado en el bulbo y éste a su vez pudo translocarse hacia las hojas jóvenes debido a la alta movilidad del nutrimento.

La alta tasa fotosintética observada en el presente experimento, ya sea en condiciones de deficiencia o toxicidad de K, puede deberse al crecimiento limitado de *Lilium* en estas condiciones y estar ligado a un bajo contenido de carbohidratos, como lo sugiere la menor biomasa acumulada observada en ambos niveles de K. La menor biomasa o disponibilidad de carbohidratos actúan como una señal utilizada como un regulador positivo de la fotosíntesis, pues se ha reportado que niveles insuficientes de carbohidratos inducen la expresión genética de intermediarios que estimulan este proceso (Miller *et al.*, 2000). En contraste, en las plantas irrigadas con soluciones conteniendo 5 mM, la baja tasa fotosintética puede estar relacionada con una regulación negativa del proceso por retroalimentación debido a un buen estatus de carbohidratos, como lo sugiere el hecho de que estas plantas contenían una mayor biomasa.

These results coincide with Wang's reports in *Phalaenopsis* as this species produces the widest leaves upon increasing the K concentration in the nutrient solution. El greatest flower diameter in *Lilium* was reached with the application of 5 mM of K, which could relate not only the effect of K in potential osmosis of the floral tissues, but rather in the synergistic effect between K with the transportation of NO₃. From the root to the aerial part, could favor the formation of composed essentials (protein, nucleic acids, phospholipids, polysaccharides, and others (Marschner, 1995) that increase the biomass and the growth of flowers.

The conditions of a K deficiency (0 mM) was revealed as a smaller total plant weight, which could be due to the fact that K did not allow the transport of water and nutrients from the organs to any other part.

The increase in the K concentration of the nutrient solution is related to an increase in nutrient concentration for all of the plant's organs, but principally in the root. In all of the other plant organs, the tendency to increase the concentration is less marked at high K levels in a nutrient solution, continuing a probably saturation or decrease in the transportation of nutrients from the root. The predominant lineal tendency of absorption of K can be due to the fact that it was absorbed in a passive form through the channels or canals (Marschner, 1995).

The greatest net photosynthesis in the young leaves was revealed with the supplement of 20 mM of K and was related to a lesser stomatal conductance, which is the opposite of what Egilla *et al.* (2005) had reported seeing in *Hibiscus rosa-sinensis* L.; in this species, there was an increase in as much as the net photosynthesis rate as in the stomatal conductance in plants treated with K. With deficient levels of K, there would also be a presence of high photosynthesis rates in young leaves in *Lilium*, which contested what Zhao *et al.* reported in cotton fields (2001) who indicated that the a deficiency in K is reflected through a lower rate of photosynthesis. However, the fact that *Lilium*, irrigated with solutions that did not contain K and resulted in a higher rate of photosynthesis could be due to the fact that such plants were in severely deficient conditions, something that K could not have accumulated in the bulb and at the same time relocate it to the young leaves given the high movement of the nutrient

The high rate of photosynthesis was observed in the current experiment, whether in deficient conditions or toxic conditions of K, it could be due to the limited growth of *Lilium* in these conditions and linked to a low carbohydrate

El K ha sido asociado con un antagonismo con el Mg, por lo que niveles elevados del primero resultan frecuentemente en una deficiencia del segundo (Venkatesan y Jayaganesh, 2010). Sin embargo, en nuestro estudio parece poco probable que se haya presentado una deficiencia de Mg incluso a altos niveles de K tanto en la solución como en los tejidos vegetales. Esto se deduce del efecto no significativo sobre la concentración de clorofilas como lo sugieren los índices SPAD cuantificados. La no deficiencia de Mg en este experimento puede deberse a que la turba empleada como sustrato ha sido adicionado con cal dolomítica para elevar el pH a niveles adecuados (Handreck y Black, 2002). El Mg contenido en la cal dolomítica pudo haber representado un abastecimiento extra a lo aplicado en el riego, de tal manera que la competencia con K no fue lo suficiente para afectar la absorción. Asimismo, el bulbo original pudo haber contenido reservas de Mg que serían remobilizados por la planta en caso de ser necesario. Esto a su vez sugiere la probable diferenciación en la regulación de la fotosíntesis por el limitado crecimiento de las plantas en condiciones de deficiencia o toxicidad.

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye que la concentración de K para el cultivo de *Lilium* en un sustrato como la turba ácida deberá encontrarse entre 5 y 10 mM ya que con estos niveles se logra obtener el máximo crecimiento de plantas y calidad de flores. Concentraciones menores de 5 mM están asociadas con deficiencia del nutrimento en tanto que con más de 10 mM se asocian a una toxicidad. Recientemente, Marín *et al.* (2011) reportaron que la concentración óptima de K en *Lilium* creciendo en perlita se encuentra entre 3.1 y 5.4 mM de K, lo cual es ligeramente por debajo de lo reportado en el presente estudio. Esta diferencia puede deberse a que alguna proporción del nutrimento suplementado en la solución nutritiva haya sido inmovilizada por los microorganismos durante la descomposición de la turba ácida en la cual se desarrollaron las plantas.

Literatura citada

- Alcántar, G. G. y Sandoval, V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México. 156 pp.
- Ali, A.; Nadeem, M. A.; Tanveer, A. and Hussain, M. 2007. Effect of different potash levels on the growth, yield and protein contents of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pakistan J. Bot. 39:523-527.

content, as suggested by the little accumulated biomass observed at both K levels. Less biomass or availability of carbohydrates acts as signal, used as a positive regulator of photosynthesis, and with reports that insufficient levels of carbohydrates could incur the genetic expression of intermediaries that stimulate the process (Miller *et al.*, 2000). Contrastingly, the plants irrigated with solutions containing 5mM, showed a low rate of photosynthesis, which could be related to the negative regulation of the process by retro-feed given a good state of carbohydrates, as is suggested by the fact that these plants contain a higher biomass.

The K has been associated with antagonism of Mg, which by the elevated levels in the former can frequently provoke a deficiency in the latter (Venkatesan y Jayaganesh, 2010). However, in our study, it appears highly unlikely that there was a Mg deficiency, even with the high levels of K as much in the solution as in the plant tissues. It is deduced that there is an insignificant effect on chlorophyll concentration, as suggested by the by the quantified SPAD indices. The lack of Mg in this experiment can be due to the peat employed as substratum had been treated with dolomitic lime to adequately elevate the pH levels (Handreck y Black, 2002). The Mg content in the dolomitic cal could have represented an extra supply of what was applied during irrigation, in which case, the competition with K was not sufficient enough to affect absorption. Also, the original bulb could have contained reserves of Mg that would remobilize in the plant if necessary. This, in turn, suggests that the probable differentiation in the photosynthetic regulation by the limited growth in the plant is because of conditions of deficiency or toxicity.

Based on the results obtained in this study, it is concluded that the concentration of K for the cultivars *Lilium* in a substratum with acidic peat, should be between 5 and 10 mM, as we can see that these levels obtain maximum plant growth and flower quality. Lower concentrations (less than 5mM) are associated with nutrient deficiency, just as above 10 mM is associated with toxicity. Recently Marín *et al.* (2011) reported that the optimal K concentration in *Lilium* growing in perlite is between 3.1 and 5.4 mM, which is slightly below what was found in the present study. This difference could be due to a portion of supplemental nutrients in the nutrient solution- having been immobilized by micro-organisms during the decomposition of the acidic peat in which the plants were developed.

End of the English version



- Delwar, M. D.; Hanafi, M.; Talib, J. and Jol, H. 2010. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) growth and photosynthesis under nutrient solution. *J. Agric. Sci.* 2:49-57.
- Dufour, L. and Clairon, M. 1997. Advances in fertilization of *Anthurium* hybrid in Guadeloupe (F. W. I.). *Acta Horticulturae*. 450:433-437.
- Dufour, L. and Guérin, V. 2005. Nutrient solution effects on the development and yield of *Anthurium andreaeanum* Lind. in tropical soilless conditions. *HortScience*. 105:269-282.
- Egilla, J. N.; Davies, F. T. and Boutton, T. W. 2005. Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of *Hibiscus rosa-sinensis* at three potassium concentrations. *Photosynthetica*. 43:135-140.
- Handreck, K. and Black, N. 2002. Growing media for ornamentals and turf. UNSW Press. 542 pp.
- Higaki, T.; Imamura, J. S. and Paull, R. E. 1992. N, P, and K rates and leaf tissue standards for optimum *Anthurium andreaeanum* flower production. *HortScience* 27:909-912.
- Marín, M.; Valdez-Aguilar, L. A.; Castillo-González, A. M.; Pineda-Pineda, J. and Galván-Luna, J. J. 2011. Modeling growth and ion concentration of liliium in response to Nitrogen : Potassium : Calcium mixture solutions. *J. Plant Nut.* 34:12-26.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Ed. Academic Press. Limited, London. 889 pp.
- Miller, A.; Schalagnhaufer, C.; Spalding, M. and Rodermel, S. 2000. Carbohydrate regulation of leaf development: prolongation of leaf senescence in rubisco antisense mutant is tobacco. *Photosynth. Res.* 63:1-8.
- Ortega-Blu, R.; Correa, M. y Olate, E. 2006. Determinación de curvas de acumulacion en tres cultivares de *Lilium* spp. Para flor cortada. *Agrociencia*. 40:77-88.
- Pardo, J. M.; Cubero, B.; Leidi, E. O. and Quintero, F. J. 2006. Alkali cation exchangers: roles in cellular homeostasis and stress tolerance. *J. Exp. Bot.* 57:1181-1199.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2010. Aumenta producción de flores y plantas de ornato. Boletín Núm .201/10. Tenancingo, Estado de México. 6 de mayo de 2010. <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines/Lists/Boletines%202010/Attachments/593/B201.pdf>. (consultado 12 junio, 2010).
- Shabala, S.; Babourina, O. and Newman, I. 2000. Ion-specific mechanisms of osmoregulation in bean mesophyll cell. *J. Exp. Bot.* 51:1243-1253.
- Shabala, S. 2003. Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level. *Ann. Bot.* 92:627-634.
- Varshney, A.; Srivastava, P. S. and Dhawan, V. 2001. Effect of doses of nitrogen, phosphorus and potassium on the performance of *in vitro* propagated bulblets of *Lilium* sp. (Asiatic hybrids). *Curr. Sci.* 81:1296-1298.
- Venkatesan, S. and Jayaganesh, I. 2010. Characterization of magnesium toxicity, its influence on amino acid synthesis pathway and biochemical parameters of tea. *Res. J. Phytochem.* 4:67-77.
- Wang, Y. T. 2007. Potassium nutrition affects growth and flowering of *Phalaenopsis* grown in a bark mix or sphagnum moss substrate. *HortScience* 42:1563-1567.
- Zhao, D.; Oosterhuis, D. M. and Bednarz, C. W. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*. 39:103-109.