



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**  
**INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**ABASTECIMIENTO DE NITRÓGENO EN LISIANTHUS**  
**(*Eustoma grandiflorum* RAF.) CV. ABC2 LAVANDA**

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL**  
**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**PRESENTA:**

**SILVIA FLORES PÉREZ**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

**Chapingo, Estado de México, abril de 2016.**



**ABASTECIMIENTO DE NITRÓGENO EN LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* RAF.) CV. ABC2 LAVANDA**

Tesis realizada por **Silvia Flores Pérez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

**DIRECTOR:**



DRA. ANA MARÍA CASTILLO GONZÁLEZ

**ASESOR:**



DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR

**ASESOR:**



DR. EDILBERTO AVITIA GARCÍA

Chapingo, México, abril de 2016.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al pueblo de México, que por medio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), hicieron posible la realización de mis estudios de Maestría.

A mi *Alma Mater*, la Universidad Autónoma Chapingo, al Instituto de Horticultura y a sus profesores que con sus enseñanzas han contribuido a mi formación.

A la Dra. Ana María Castillo González, por su paciencia, su profesionalismo y su valioso tiempo dedicado a esta investigación.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar, por sus valiosas sugerencias para la realización de este trabajo.

Al Dr. Edilberto Avítia García, por su apoyo en la realización y revisión del trabajo.

A los laboratoristas Q. F. B. Angela Barrera Cortez e Israel Valverde Ibañez por su ayuda en la fase de laboratorio.

A mis compañeros de la licenciatura, cuyos logros me han servido de motivación para emprender nuevos proyectos.

A mis compañer@s de la Maestría en Horticultura, en especial a Amelia, por la amistad y el apoyo que me han brindado.

## **DEDICATORIA**

A mi padre, porque nunca te importaron los convencionalismos sociales y siempre me quisiste sin juzgarme, sé que desde el cielo me cuidas.

Te extraño Papá.

A Iván y Daniel porque son las personas más importantes de mi vida, por su apoyo para la realización de este trabajo, por ser mis principales críticos y por hacerme sentir que podía lograr este paso.

A mi madre, a mis herman@s y a mis sobrin@s.

**Sinceramente:**

**Silvia Flores Pérez**

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

Silvia Flores Pérez nació el 9 de febrero de 1966 en la Cd. de México. En 1981 ingresó a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en donde concluyó sus estudios de Licenciatura en el Departamento de Irrigación.

De 1990 a 1997 prestó sus servicios profesionales en el Distrito de Riego 016 “Estado de Morelos” de la Comisión Nacional del Agua, en el área de Ingeniería de Riego y Drenaje, cuyas actividades principales fueron: elaboración de planos digitalizados por parcela de las áreas de riego e integración de expedientes para la transferencia de la infraestructura hidroagrícola a los usuarios.

Durante el periodo comprendido de 1997 a 2004 laboró en la Subdelegación de Recursos Naturales en el D. F., que pertenecía a la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, donde participó en proyectos de acuacultura y de crianza de venado cola blanca en las comunidades de San Nicolás Totolapan, Tlalpan y en San Mateo Tlaltemango, Cuajimalpa D.F. Además colaboró en proyectos de diseño, construcción y operación de viveros y plantaciones de árboles de navidad en la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, Tlalpan D.F.

De 2004 a 2013 laboró en el Vivero de Coyoacán D.F. Las principales actividades desarrolladas fueron: propagación de especies aptas para reforestación urbana, elaboración del programa de fertirrigación y detección y control de plagas y enfermedades

Como proyectos personales en el 2007 participó en el diseño y construcción de riego residencial en el Fraccionamiento “Bosque Real” en Huixquilucan, Edo. de Méx., y en la evaluación del arbolado existente para proyectar la remodelación de la “Plaza Garibaldi” y de la Calle Génova en la “Zona Rosa” de la Cd. de México.

## CONTENIDO

|                                                       | <b>Página</b> |
|-------------------------------------------------------|---------------|
| LISTA DE CUADROS.....                                 | x             |
| LISTA DE FIGURAS.....                                 | xiii          |
| RESUMEN / ABSTRACT.....                               | xv            |
| <br>I. INTRODUCCIÓN.....                              | <br>1         |
| <br>II. OBJETIVOS.....                                | <br>3         |
| <br>III. REVISIÓN DE LITERATURA.....                  | <br>4         |
| 3.1. Lisianthus.....                                  | 4             |
| 3.1.1. Origen.....                                    | 4             |
| 3.1.2. Importancia.....                               | 5             |
| 3.1.2.1. Internacional.....                           | 5             |
| 3.1.2.2. Nacional.....                                | 6             |
| 3.1.3. Cultivares.....                                | 8             |
| 3.1.4. Ciclo de cultivo.....                          | 9             |
| 3.1.5. Reguladores del crecimiento en lisianthus..... | 10            |
| 3.1.6. Exigencias climáticas.....                     | 11            |
| 3.1.6.1. Luz.....                                     | 11            |
| 3.1.6.2. Temperatura.....                             | 11            |
| 3.1.7. Propagación.....                               | 12            |
| 3.1.8. Plantación.....                                | 14            |
| 3.1.9. Fertilización.....                             | 15            |
| 3.1.10. Riegos.....                                   | 15            |
| 3.1.11. Plagas y enfermedades.....                    | 15            |
| 3.1.12. Poscosecha.....                               | 16            |
| 3.1.13. Color.....                                    | 16            |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.2. Nitrógeno.....                                            | 17 |
| 3.2.1. Nitrógeno en el suelo.....                              | 18 |
| 3.2.2. Absorción y transporte de nitrógeno en las plantas..... | 18 |
| 3.2.3. Efectos del nitrógeno en las plantas.....               | 21 |
| 3.2.4. Efectos del nitrógeno en el ambiente.....               | 22 |
| 3.3 Curvas de abastecimiento nutrimental.....                  | 23 |
| IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....                                  | 25 |
| 4.1. Localización.....                                         | 25 |
| 4.2. Condiciones ambientales.....                              | 25 |
| 4.3. Sustrato.....                                             | 26 |
| 4.4. Material vegetal.....                                     | 26 |
| 4.5. Tratamientos.....                                         | 27 |
| 4.6. Diseño experimental.....                                  | 30 |
| 4.7. Riegos.....                                               | 30 |
| 4.8. Variables evaluadas.....                                  | 31 |
| 4.8.1. Altura de la planta.....                                | 31 |
| 4.8.2. Número de pares de hojas.....                           | 31 |
| 4.8.3. Duración del ciclo de cultivo.....                      | 31 |
| 4.8.4. Número de botones.....                                  | 32 |
| 4.8.5. Diámetro de flor.....                                   | 32 |
| 4.8.6. Área foliar.....                                        | 32 |
| 4.8.7. Materia seca acumulada.....                             | 32 |
| 4.8.8. Análisis nutrimental.....                               | 33 |
| 4.9. Análisis de datos.....                                    | 34 |
| V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....                                 | 35 |
| 5.1. Concentración inicial de macronutrientes.....             | 35 |

|                                                           |        |
|-----------------------------------------------------------|--------|
| 5.2. Variables de crecimiento vegetativo y floración..... | 35     |
| 5.3. Materia seca acumulada.....                          | 40     |
| 5.4. Concentración de macronutrientos.....                | 42     |
| 5.4.1. Raíz.....                                          | 42     |
| 5.4.2. Tallo y hojas.....                                 | 44     |
| 5.4.3. Flores.....                                        | 46     |
| 5.5. Acumulación de macronutrientos.....                  | 48     |
| 5.5.1. Nitrógeno.....                                     | 48     |
| 5.5.2. Fósforo.....                                       | 51     |
| 5.5.3. Potasio.....                                       | 53     |
| 5.5.4. Calcio.....                                        | 55     |
| 5.5.5. Magnesio.....                                      | 56     |
| 5.6. Curvas de abastecimiento nutrimental.....            | 59     |
| 5.7. Rangos de suficiencia.....                           | 64     |
| <br>VI. CONCLUSIONES.....                                 | <br>65 |
| <br>VII. LITERATURA CITADA.....                           | <br>66 |
| <br>ANEXOS.....                                           | <br>72 |

## LISTA DE CUADROS

|                                                                                                                                                                                                                                        | Página |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <b>Cuadro 1.</b> Temperatura y humedad relativa durante el ciclo de cultivo del lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda.....                                                                                   | 26     |
| <b>Cuadro 2.</b> Análisis del agua de riego utilizada en la preparación de las soluciones nutritivas.....                                                                                                                              | 27     |
| <b>Cuadro 3.</b> Composición de las SN (me L <sup>-1</sup> ) utilizadas durante el ciclo de cultivo de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda.....                                                            | 28     |
| <b>Cuadro 4.</b> Fertilizantes utilizados en la elaboración de las soluciones nutritivas (g.L <sup>-1</sup> y ml L <sup>-1</sup> ) durante el ciclo de cultivo de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 lavanda..... | 29     |
| <b>Cuadro 5.</b> Conductividad eléctrica (mS) y pH de las soluciones nutritivas usadas durante el ciclo de cultivo de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda.....                                             | 30     |
| <b>Cuadro 6.</b> Peso seco y concentración de macronutrientes en plántulas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda.....                                                                                     | 35     |
| <b>Cuadro 7.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre las variables de crecimiento vegetativo y de floración en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda.....      | 36     |

|                                                                                                                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 8.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de peso seco en raíz, tallo con hojas y flores de plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda..... | 40 |
| <b>Cuadro 9.</b> Concentración de macronutrientes en raíces de plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda cultivadas bajo diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.....          | 42 |
| <b>Cuadro 10.</b> Concentración de macronutrientes en tallo con hojas de plantas de Lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda, con distintas concentraciones de nitrógeno en la solución nutritivas.....           | 45 |
| <b>Cuadro 11.</b> Concentración de macronutrientes en flores de plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda, para diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.....                   | 47 |
| <b>Cuadro 1A.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de nitrógeno en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda..... | 72 |
| <b>Cuadro 2A.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de fósforo en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda.....   | 72 |

|                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 3A.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de potasio en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda.....  | 73 |
| <b>Cuadro 4A.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de calcio en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda.....   | 73 |
| <b>Cuadro 5A.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de magnesio en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda..... | 74 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de nitrógeno en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias $\pm$ error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$ )..... | 49 |
| <b>Figura 2.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de fósforo en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias $\pm$ error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$ ).....   | 51 |
| <b>Figura 3.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de potasio en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias $\pm$ error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$ ).....   | 53 |
| <b>Figura 4.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de calcio en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias $\pm$ error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$ ).....    | 56 |
| <b>Figura 5.</b> Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de magnesio en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias $\pm$ error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$ ).....  | 57 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 6.</b> Curva de respuesta con análisis segmentado del área foliar y la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Las zonas de suficiencia son indicadas por el plateau de la línea. El nivel óptimo ( $X_0$ ) y el nivel crítico de toxicidad ( $X_1$ ). Las barras representan el error estándar.....                               | 60 |
| <b>Figura 7.</b> Curva de respuesta prevista con análisis segmentado del nitrógeno absorbido, afectados por la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Zonas de suficiencia son indicadas por el plateau de la línea. El nivel óptimo ( $X_0$ ) y el nivel crítico de toxicidad ( $X_1$ ). Barras representan el error estándar.....         | 61 |
| <b>Figura 8.</b> Curva de respuesta prevista con análisis segmentado del peso seco total, afectados por la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Zonas de suficiencia son indicadas por el plateau de la línea. El nivel óptimo ( $X_0$ ) y el nivel crítico de toxicidad ( $X_1$ ). Barras representan el error estándar.....             | 62 |
| <b>Figura 9.</b> Curva de respuesta prevista con análisis segmentado del peso seco de la parte aérea, afectados por la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en plantas de lisianthus ( <i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Zonas de suficiencia son indicadas por el plateau de la línea. El nivel óptimo ( $X_0$ ) y el nivel crítico de toxicidad ( $X_1$ ). Barras representan el error estándar..... | 63 |
| <b>Figura 10.</b> Rangos de suficiencia de nitrógeno previstas por los modelos para área foliar, nitrógeno acumulado, peso seco total y de la parte aérea.....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 64 |

## ABASTECIMIENTO DE NITRÓGENO EN LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* Raf.) CV. ABC2 LAVANDA

### NITROGEN SUPPLY IN LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* Raf.) CV. ABC2 LAVANDER

#### RESUMEN

El lisianthus es una especie con alto potencial económico por lo atractivo de la flor, variedad de colores y duración en florero. Sin embargo, existe poca información en cuanto a las necesidades nutrimentales de esta especie, lo que ha limitado el precisar los grados de abastecimiento nutrimental para los diferentes elementos esenciales, entre ellos el nitrógeno, que es cuantitativamente, el nutrimento más importante para el crecimiento de las plantas. Los objetivos del trabajo fueron: establecer la dosis de nitrógeno que se relacione con el mejor rendimiento y calidad de la flor, determinar la distribución de biomasa y macronutrientes en la planta y elaborar la curva de abastecimiento nutrimental de nitrógeno para el lisianthus. El cultivo se estableció en bolsas de polietileno negro de 10 L de capacidad con tezontle de 3 mm de diámetro. Los tratamientos consistieron en dosis crecientes de nitrógeno: testigo (sin nitrógeno), 3, 6, 9, 12, 15 y 18 meq L<sup>-1</sup>, los demás nutrimentos se abastecieron con base en la solución nutritiva de Steiner. El diseño experimental fue completamente al azar. Los resultados obtenidos en las variables área foliar, altura, número de botones, diámetro de flor y acumulación de peso seco, permitieron definir que el mejor tratamiento fue el de 6 meq L<sup>-1</sup>, con el cual se logró el nivel de suficiencia en la planta. Los niveles menores de 6 y mayores de 15 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno, causaron reducción en dichas variables. De acuerdo con las curvas de abastecimiento nutrimental, el rango de suficiencia se ubicó entre 6.4 y 7.4 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno en la solución nutritiva, teniendo una concentración foliar del 1.5 %. La biomasa se acumuló en mayor proporción en el tallo y hojas al igual que el nitrógeno; sin embargo, el fósforo, potasio y magnesio se concentraron en las flores y el calcio en la raíz. Bajo las condiciones experimentales, se concluyó que la concentración foliar de nitrógeno de suficiencia para lisianthus es del 1.5 %.

**Palabras clave:** tezontle, concentración de suficiencia, hidroponía, calidad de flor, ornamentales.

#### ABSTRACT

Lisianthus is a species with potential for high profitability due to its attractive flowers, color assortment and prolonged vase life. Nonetheless, there is little information as to the nutrient demands by this cultivated plant, which does not allow to determine the optimum nutrient supply of different elements, such as nitrogen, the quantitatively most important nutrient for plant growth. The objectives of the present study were: to establish the nitrogen dose that is related with the highest yield and quality of flowers, to determine biomass and macronutrients allocation within the plant, and to model a nutrient supply curve for nitrogen in this ornamental species. The plants were established in 10-L polyethylene bags containing volcanic sand of 3 mm particle diameter. The treatments consisted of increasing nitrogen concentrations in the nutrient solution: control (with no nitrogen), 3, 6, 9, 12, 15 and 18 meq L<sup>-1</sup>; the other nutrients were supplied according to Steiner's nutrient solution. The experiment was set using a completely randomized design. The results in leaf area, plant height, number of flower buds, flower diameter and dry weight accumulation, allowed to determine that the best concentration was 6 meq L<sup>-1</sup>, with which the sufficiency level in the plant was attained. Nitrogen concentrations lower than 6 meq L<sup>-1</sup> and higher than 15 meq L<sup>-1</sup> in the nutrient solution caused a reduction in all the growth parameters. According to the nutrient supply model, the sufficiency range is from 6.4 to 7.4 meq L<sup>-1</sup> nitrogen in the nutrient solution, which rendered a 1.5 % leaf concentration. Biomass and nitrogen tended to be accumulated in higher proportion in the stem and leaves; however, phosphorus, potassium and magnesium were more concentrated in the flowers, whereas calcium was in the root. Under our experimental conditions, it was concluded that the sufficiency nitrogen leaf concentration for lisianthus is 1.5 %.

**Keywords:** tezontle, sufficiency rank, hydroponics, flower quality, ornamental.

## I. INTRODUCCIÓN

La horticultura ornamental en México juega un papel importante en la diversificación de la agricultura, por lo que en la actualidad se busca la producción de especies con alto potencial productivo y económico. El lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) es una buena opción ya que es una flor que por su belleza, su aspecto lustroso y sus intensos colores, cada día cobra mayor importancia en el mercado (Mazuela *et al.*, 2007).

Por ser una flor de colores muy llamativos es usada principalmente en la elaboración de bouquets que son exportados a Estados Unidos, país en el cual su demanda es muy alta durante todo el año, aumentando en fechas importantes; incluso en la actualidad, no se cubre la demanda de ese país. El lisianthus es una flor prácticamente nueva en el mercado nacional y la superficie cultivada es muy reducida, por lo que se considera que se puede triplicar la superficie actual sin afectar el precio de venta (Domínguez, 2002). Esta ornamental tiene un gran potencial de comercialización, tanto para consumo interno como para exportación.

El estado nutrimental de las plantas puede ser cuantificado mediante análisis químico, pero se deben determinar los intervalos de concentración asociados con algunas zonas de la curva de abastecimiento nutrimental del cultivo en estudio, resultante de relacionar los rendimientos con la concentración foliar de

deficiencia aguda, deficiencia latente o hambre oculta, suficiencia y toxicidad (Alcántar *et al.*, 2012).

Dole y Wilkins (2005) mencionan que el lisianthus requiere de altos niveles nutrimentales ya que la insuficiencia de nutrimentos resulta en plantas pequeñas, reducción en el desarrollo de brotes axilares basales, pocas flores y manifestación de síntomas de deficiencia, por el contrario Sakata (2011) menciona que el lisianthus no requiere de altos niveles de fertilización como el crisantemo.

En este contexto, es evidente que existe poca información en cuanto a las necesidades nutrimentales de esta especie, lo que ha limitado el precisar los grados de abastecimiento nutrimental para los diferentes elementos esenciales.

## **II. OBJETIVOS**

1. Establecer la dosis de nitrógeno que se relacione con el mejor rendimiento y calidad de la flor de lisianthus.
2. Elaborar las curvas de abastecimiento nutrimental de nitrógeno para este cultivo.
3. Conocer la distribución de biomasa y macronutrientes en la planta.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Lisianthus

El lisianthus es una planta herbácea, es usada como flor de corte y de maceta (Dole y Wilkins, 2005). Pertenece a la familia Gencianáceas, es una planta de ciclo anual o bianual, forma una roseta de hojas sobre la que se desarrolla un tallo de 40 a 50 cm de largo, en cuyo extremo aparecen las flores largamente pediceladas de 6 a 9 cm de diámetro y de colores entre el azul y púrpura en las variedades silvestres (Sakata, 2005). El período de siembra a floración puede ser dividido en dos estadios: el primero comprende de germinación hasta el trasplante, cuando las plantas crecen en rosetas y forman cuatro pares de hojas; el segundo inicia con la elongación de los tallos y termina con la floración (Backes *et al.*, 2006). Las flores de este cultivo presentan tres colores básicos azul, rosa y blanco (Halevy y Kofranek, 1984).

##### 3.1.1. Origen

El lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) es nativo de Estados Unidos: Colorado, Nebraska, Sur de Texas y Norte de México (Daughtrey *et al.*, 1995) y fue introducido al viejo continente cerca del año 1935, siendo registrado por T. Sakata y Company's en el catálogo de exportación de 1952. Los productores de flor empezaron a cultivar esta especie en las regiones más frías de Japón con el propósito de obtener flor de corte, estando disponibles únicamente plantas con

flores moradas. Después de varios ciclos de cultivo, mediante hibridación, cruza y/o mutaciones, se obtuvieron plantas con inflorescencias blancas y rosas (Arellano *et al.*, 1991).

Las semillas de *lisianthus* han estado disponibles para su venta en Japón desde 1934, aunque desde principios de siglo ya estaba en marcha un programa de mejoramiento genético de esta especie, el cual fue interrumpido con el estallido de la Segunda Guerra Mundial, durante la cual mucha investigación se perdió. Sin embargo, aún en tiempos de guerra los agricultores en Prefecturas como Nagano y Shizuoka continuaron con trabajos de propagación y mejoramiento. Esto hizo una enorme contribución a Japón que se convirtió en líder mundial en este cultivo (Sakata, 2005).

### **3.1.2. Importancia**

#### **3.1.2.1. Internacional**

La floricultura es un negocio de grandes proporciones a nivel mundial; el avance de las comunicaciones conjuntamente con el desarrollo de los tráficos aéreos, han impulsado fuertemente esta actividad en países como Colombia, Israel, Tailandia, Kenia, Ecuador y Nueva Zelanda, que en la década de los 80's no figuraban como productores y que se han convertido hoy día en grandes exportadores. Los grandes consumidores a nivel mundial son los países más desarrollados como son: Estados Unidos, Japón, Alemania, Francia, Suiza, Italia

y Noruega; en los que el consumo de flores está íntimamente ligado a la mejora de las condiciones económicas sociales y culturales de la sociedad. En los últimos años la oferta se ha incrementado fuertemente debido a un aumento en la producción en Europa y las importaciones de fuera. La oferta, que ya era amplia, se ha diversificado aún más con las importaciones. Aunque la variedad es grande, todavía hay mucho interés en nuevos cultivos, a los cuales se les deben aplicar pruebas tales como vida en florero, valor ornamental e idoneidad para el transporte (Noordegraaf, 1998).

El lisianthus se cultiva principalmente en Japón, Estados Unidos, Holanda, España, Italia y Francia y se tiene previsto que aumente su demanda ya que se trata de una flor muy atractiva para el consumidor, con una gran variedad de colores y buena duración en florero (Melgares, 1996).

#### **3.1.2.2. Nacional**

México tiene una larga tradición en el cultivo de flores, cuenta con una gran variedad climática para cultivar diversas especies que son altamente demandadas para consumo interno y para exportación a Europa y Estados Unidos. La superficie destinada a la siembra de flores se ha duplicado desde 1990, pero aún no alcanza la magnitud necesaria para posicionar a México como uno de los mayores productores a nivel mundial (SAGARPA-SICDE, 2010).

Las ornamentales tienen importancia en el sector agrícola mexicano debido al alto valor de la enorme variedad de flores de corte y de follaje que son comercializados a nivel nacional e internacional. En 2012 este grupo alcanzó una superficie sembrada de cerca de 20,000 has, sólo el 0.1 % de la superficie del país, pero generó casi 6,000 millones de pesos, el 1.5 % del valor del sector agrícola nacional. Se estima que alrededor del 70 % de la producción, distribución y consumo de flores se realiza en la zona centro del país, el 87.2 % del valor generado por esta actividad se concentró en los estados de México, Morelos, Puebla y el Distrito Federal. En la actualidad, la producción florícola se realiza en su mayoría bajo condiciones de intemperie (92 %), y sólo el 8 % se realiza bajo condiciones de invernadero (Financiera Nacional de Desarrollo, 2014).

El *lisianthus* es una de las especies de reciente introducción y con mayor rentabilidad en el mercado nacional. La superficie cultivada que en 2008 era de aproximadamente 4 ha, en localidades de climas muy diferentes, como son Arteaga, Coahuila; Zacatepec, Morelos; Villa Guerrero, Estado de México; Tecamachalco, Puebla y Guadalajara, Jalisco. En 2008 y 2009 se otorgaron apoyos para la construcción y equipamiento de invernaderos y la compra de material vegetativo en los municipios de Temixco y Yecapixtla en Morelos. Aunque aún no se conoce el potencial de consumo en el mercado nacional, se siguen haciendo esfuerzos para incrementar las áreas de producción (SAGARPA-SICDE, 2010). En México aún no se cuenta con estadísticas sobre

su cultivo y comercialización, pero ya se reporta que se encuentra a la venta en empresas florícolas.

### **3.1.3. Cultivares**

Esta planta, de reciente introducción en México posee flores de más de ocho centímetros de diámetro, tienen la apariencia de flores artificiales, pudiendo florecer continuamente desde el verano hasta el otoño. Cada flor puede permanecer abierta más de 20 días, teniendo al principio una apariencia en tamaño y forma al tulipán holandés, y luego al caer sus pétalos ligeramente doblados hacia abajo, aparenta una amapola pero con pétalos que no son quebradizos (Sakata, 2011).

En el catálogo de 1990, la empresa Sakata presentó dos series: a) la Yodel híbrido F<sub>1</sub> de flor sencilla y en siete colores y b) la serie Ecco, en los mismos colores pero con doble hilera de pétalos. En el catálogo 2014, la misma empresa ya ofrece cultivares de porte bajo para ser cultivados en maceta.

El *lisianthus* como planta ornamental se divide en dos grandes grupos: variedades de flor sencilla y variedades de flor doble, observándose una sensible preferencia por las flores dobles (10 a 12 pétalos) pues dan un aspecto muy atractivo cuando se abren completamente dando la apariencia de una rosa, pero

con colores diferentes. Las flores sencillas al abrirse tienen el aspecto de una amapola (Sakata, 2011).

Melgares (1996) menciona que algunas casas proveedoras dividen los cultivares en tres tipos: el primer grupo lo componen los cultivares que se siembran de mayo a enero y el periodo de trasplante comprende de julio a marzo; la siembra del segundo grupo abarca los meses de diciembre a abril y el trasplante de marzo a junio; en el tercer grupo, la siembra es de febrero a abril y el trasplante de abril a mayo. Esta clasificación no es absoluta ya que algunas variedades pueden comportarse de diferente manera, según época, clima, condiciones de cultivo etc., y puede hacer viable una variedad en épocas que en principio no están recomendadas.

#### **3.1.4. Ciclo de cultivo**

Durante los primeros 20 a 30 días la planta desarrolla poco su parte aérea y se incrementa el volumen de las raíces. En el segundo mes el tallo se alarga y la planta emite otros tallos secundarios en los que aparecen los botones florales. En la fase final, el tercer mes, los botones se desarrollan, a la vez que sus pedúnculos se alargan hasta alcanzar su altura definitiva. Después, estos botones cambian de color, pasando del verde inicial al de la variedad que se haya seleccionado para finalmente abrirse. En las flores de *lisianthus* el color de los pétalos se presenta justo antes de que abra la flor, durante el desarrollo del botón

los pétalos permanecen verdes o blancos y luego se desarrolla el color cuando la flor está casi expandida (Oren *et al.*, 1999).

En total, el ciclo desde la plantación hasta la floración puede durar entre 90 y 120 días, dependiendo de los cultivares y época de plantación. La fecha de plantación más extendida se sitúa entre los meses de marzo y abril, con lo que se obtiene una producción en julio o agosto, y en caso de dejar rebrotar la planta, otra segunda cosecha entre septiembre y octubre. Se está intentando obtener producciones en invierno, mediante plantaciones de agosto o septiembre para colectar de diciembre a marzo. Este ciclo de cultivo exige calefacción e iluminación artificiales (Melgares, 1996).

### **3.1.5. Reguladores del crecimiento en lisianthus**

Cuando el lisianthus crece como planta en maceta, la altura debe reducirse por lo menos un 30 % de su tamaño normal, Arellano (1991) encontró que el daminozide provee un mejor control en la altura del lisianthus que el paclobutrazol, además de mejorar sus características cualitativas, siendo mejor el realizar dos aplicaciones del retardadante de crecimiento para mejorar éstas. Asimismo, menciona que para el cultivo en maceta es adecuado asperjar daminozide a 2500 ppm en el cv. Blue Deep; 3000 ppm en el cv. Lilac; 2500 ppm en el cv. Rose o 2500 ppm de paclobutrazol y 1500 ppm de daminozide en el cv. White.

### **3.1.6. Exigencias climáticas**

#### **3.1.6.1. Luz**

El lisianthus es una planta de día largo, es decir que su floración se acelera bajo condiciones de día largo (mayor a 12 horas). Sin embargo, la influencia del fotoperiodo es mínima ya que la floración ocurrirá, aunque más tarde, sin importar la duración del día. Bajo condiciones de día largo, la calidad de las flores y los tallos será mayor (Armitage, 1993).

Dado que lisianthus es una planta que responde a días largos, extendiendo el día gradualmente en un periodo de 8 semanas de 15 a 20 horas, con iluminación de 600 a 900 pies candela (6500 a 9700 lux), comenzando cuando aparezca la sexta hoja verdadera, durante los días cortos de invierno reducirá el tiempo de floración, pero durante la germinación son necesarios de 100 a 300 pies candela (Sakata, 2011).

#### **3.1.6.2. Temperatura**

Durante los primeros catorce días de la germinación se recomienda mantener la temperatura del suelo a 21 °C, después se debe ser cuidadoso en no permitir que la temperatura nocturna exceda los 22 °C para prevenir problemas por arrosetamiento, es decir, una etapa de reposo inducida (Sakata, 2011).

En zonas cálidas, para evitar la formación de rosetas se debe mantener la temperatura fresca en la noche (15 a 17 °C) y en el día entre 25 y 27 °C hasta el trasplante. El punto clave es mantener el ambiente fresco en la noche por 12 horas. Esto ayudará a evitar la formación de rosetas en climas cálidos, bajo condiciones de temperatura no óptimas. Durante la floración, si se tienen altas temperatura e intensidad luminosa, se recomienda colocar una malla sombra para evitar quemaduras en las flores (Sakata, 2011).

### **3.1.7. Propagación**

Esta planta puede ser propagada por medios sexuales, que es lo más común, o por reproducción asexual mediante el uso de la parte apical de la planta o por medio de cultivo *in vitro*. Utilizando semillas se considera que un gramo contiene aproximadamente 22,000 semillas que germinan de diez a quince días.

El medio para siembra es muy importante, se deben utilizar semilleros y sustrato estéril con un buen drenaje, y que a su vez sea capaz de mantener la humedad, siendo convenientes las mezclas con 40 % de suelo (tierra negra), 40 % de tierra de hoja y 20 % de perlita; o bien una mezcla con 70 % de perlita y 30 % de turba. Dado que las semillas son extremadamente pequeñas, deben sembrarse en un sustrato nivelado y tamizado para que se tenga un porcentaje de germinación adecuado, siendo conveniente espolvorearlas sobre el sustrato de una manera

homogénea y cubrirlas escasamente con el sustrato de manera que cuente con luz y humedad hasta su germinación.

Un pH de 6.3 a 6.7 del medio de cultivo permite el mejor crecimiento y floración de plantas de *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. En pH de 5.0 a 5.5, se tiene clorosis foliar e intervenal, necrosis del borde de la hoja, pobre sistema de raíces y retraso en el incremento del peso fresco de plántulas y hojas el cual fue del 23 al 66 % del valor correspondiente para plantas crecidas en un pH de 6.4. Además de esto, en un medio con pH de 5.0, el Zn en tejido seco de hojas fue de 1050 mg kg<sup>-1</sup>, extremadamente alto (Harbaugh y Woltz, 1991).

El almácigo debe regarse cuidadosamente, evitando que el sustrato o medio de desarrollo se seque durante la etapa de germinación, lo cual se logra cubriendo los semilleros con periódicos húmedos, lámina de cristal y/o mediante el uso de microaspersión intermitente para asegurar su germinación. Los cotiledones aparecen aproximadamente de 0.3 mm, se requiere eliminar la cubierta para evitar cualquier problema fitosanitario y se debe llevar a un lugar con buena circulación de aire, sin permitir excesos de riego a una temperatura de 20 a 30 °C (Sakata, 2011).

Con alta temperatura y humedad relativa además de baja intensidad luminosa, se provoca un crecimiento pobre, susceptibilidad a enfermedades y en ocasiones

hasta la muerte de la plántula; en cambio, para obtener un buen desarrollo inicial se requiere de una gran cantidad de luz (Sakata, 2011).

En cuanto a la reproducción asexual, Sotomayor *et al.* (2011) trabajando con esquejes del cv. ABC2-3 Blue Rim, encontró que los mejores resultados se obtuvieron con concentraciones de ácido indolbutírico de 1000 y 500 ppm, equivalentes al 100 y 92 % de enraizamiento, respectivamente. Además de que con este sistema de propagación se aprovecha el material de raleo y se obtiene mayor precocidad en el desarrollo de la planta.

#### **3.1.8. Plantación**

La plantación debe hacerse inmediatamente después de la recepción de las plantas, se aconseja hacerlo en banqueta elevada unos 20 cm de un metro de ancho, disponiendo ocho filas de plantas transversalmente y otras ocho plantas longitudinalmente, lo que nos da una densidad de 64 plantas por metro cuadrado. Como guía de plantación es recomendable utilizar una malla de un metro de ancho con cuadros de 12.5 X 12.5 cm, disponiéndola en un principio a ras de suelo, y posteriormente según se desarrolle el cultivo se debe ir elevando (Melgares, 1996).

### **3.1.9. Fertilización**

Lisianthus no requiere de altos niveles de fertilización, como el crisantemo, el sustrato se debe mantener con una conductividad eléctrica de 1.2 a 1.4 mmhos. El uso de nitrato de calcio como base de fertilización es recomendada para construir tallos fuertes (Sakata, 2011).

### **3.1.10. Riegos**

El lisianthus requiere de altos niveles de humedad en etapas tempranas de desarrollo, pero cuando las plantas comienzan a madurar y a mostrar los botones florales el riego debe ser reducido para endurecer el cultivo y prepararlo para la cosecha. El uso del riego por goteo es mejor para reducir el exceso de humedad en el follaje. Algunos agricultores entierran las líneas de riego 5 a 8 cm bajo el suelo, para imitar el hábitat natural del lisianthus y promover un sistema radical profundo y fuerte (Sakata, 2011).

### **3.1.11. Plagas y enfermedades**

Dado que el lisianthus es nativo de áreas con baja humedad, *Botrytis* es la principal enfermedad que afecta el cultivo (Sakata, 2011), aunque se ha detectado la incidencia de otras enfermedades como son mildiú (que a veces se confunde con *Botrytis*) y virus del bronceado del tomate además de algunas plagas como son: minador, orugas de noctúridos y trips. Para todos ellos se

recomienda que los tratamientos fitosanitarios sean preventivos ya que su aparición ya sea en el follaje o las flores causa una depreciación del cultivo.

#### **3.1.12. Poscosecha**

Los tallos usualmente son cosechados cuando una o varias flores han abierto. Hay un largo periodo de tiempo entre la apertura del primer y del segundo botón floral, y de este con la tercera flor. Por lo tanto, algunos productores remueven la primera flor y la venden en pequeños ramilletes y entonces cosechan los tallos cuando la segunda y tercera flor han abierto. Después del corte, colocar en agua tibia (20 °C), después guardar en refrigeración a 4 °C. El uso de soluciones preservativas es recomendada ya que se puede incrementar la duración en florero del 40 al 50 % (Sakata, 2011).

#### **3.1.13. Color**

El color es uno de los parámetros que influyen en el éxito de un cultivar a nivel comercial, por lo que se deben encontrar estrategias para incrementar la calidad del lisianthus como flor de corte. La luz ultravioleta intensifica el color de las flores, alta temperatura nocturna (más de 23 °C), exceso de fertilización con nitrógeno o demasiada humedad reducen la intensidad del color (Sakata, 2011).

Por su parte, Griesbach (1992) encontró que el ambiente puede afectar la intensidad de color de las flores de *lisianthus*. Baja intensidad de luz y pH alcalino dentro de la célula, pueden conducir a reducir la intensidad de color. Dos causas independientes son responsables de la disminución en la intensidad del color: 1) las flores viejas son más alcalinas que las flores frescas abiertas; un 7 % de incremento en el pH se relaciona con un 10 % en la reducción en la intensidad del color; 2) flores que abren con baja intensidad luminosa son más pálidas que las que abrieron bajo alta intensidad luminosa; un 25 % en la disminución de la intensidad luminosa fue relacionada con un 30 % de reducción en la concentración de antocianinas y un 40 % en la reducción de la intensidad del color.

### **3.2. Nitrógeno**

El objetivo de la agricultura moderna es maximizar y mantener el rendimiento de los cultivos. Uno de los principales problemas que limitan el desarrollo económico de la agricultura es la deficiencia nutrimental (Fageria, 2009).

Después del carbono, el nitrógeno es el elemento más requerido por las plantas, del total de materia seca de las plantas 1 al 5 % es nitrógeno. La disponibilidad de nitrógeno en las raíces es un factor decisivo para el crecimiento de las plantas (Hawkesford *et al.*, 2012).

El nitrógeno actúa como constituyente de muchos compuestos celulares como aminoácidos y ácidos nucleicos. Así, una carencia de nitrógeno inhibe rápidamente el crecimiento vegetal. Si dicha carencia persiste la mayoría de las especies muestra clorosis foliar, especialmente en las hojas más viejas cerca de la base de la planta. En condiciones de carencia aguda, estas hojas llegan a estar completamente amarillas y acaban cayendo de la planta. Las hojas más jóvenes no suelen mostrar estos síntomas inicialmente, porque el nitrógeno puede movilizarse desde las hojas más viejas. Así una planta con carencia de nitrógeno puede tener un color verde brillante en las hojas superiores y un color amarillo en las hojas inferiores. Cuando la carencia de nitrógeno persiste, las plantas pueden presentar tallos muy delgados y leñosos. Este aspecto puede ser debido a la producción de un exceso de carbohidratos que no son utilizados en la síntesis de aminoácidos y otros compuestos nitrogenados. Los carbohidratos no utilizados en el metabolismo del nitrógeno, se pueden destinar a la síntesis de antocianinas, lo que provoca la acumulación de este pigmento; esto se aprecia por una coloración morada de hojas, peciolo y tallos (Taiz y Zeiger, 2006).

### **3.2.1. Nitrógeno en el suelo**

### **3.2.2. Absorción y transporte de nitrógeno en las plantas**

El nitrógeno existe en el suelo tanto en forma del anión nitrato como en la forma del catión amonio. El consumo de ambas formas es influenciada por el pH del suelo, la temperatura y la presencia de otros iones en la solución del suelo. El

cación amonio participa en el intercambio de cationes en el suelo. En el suelo puede haber nitritos bajo condiciones anaerobias y es tóxico para las plantas aún en muy bajos niveles (menores a 5 ppm). El nitrógeno en forma de nitrato se mueve en el suelo principalmente por flujo de masas, con la mayor cantidad de nitrato absorbido cuando alcanza la superficie de la raíz. Los iones nitrato pueden ser lixiviados de la zona de enraizamiento por agua de riego y/o lluvia, o también puede haber pérdidas por movimientos de agua como resultado de la evaporación en la superficie de la planta (Jones, 1998).

Para que el nitrógeno en forma de nitrato sea incorporado en estructuras orgánicas tiene que ser reducido a amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), esta reducción es mediada por dos enzimas, la nitrato reductasa, que lo reduce de nitrato a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y la nitrito reductasa, la cual transforma el nitrito en amonio. La absorción de nitrato y amonio dentro de las raíces de las plantas es mediado por proteínas transportadoras localizadas en la membrana plasmática de las células de la epidermis de las raíces. Mientras que la afluencia de nitrógeno dentro de las células de la epidermis de las raíces, es esencial para el crecimiento de la planta, el flujo de salida de nitrato, amonio y aminoácidos de regreso a la solución del suelo puede también ocurrir. Este proceso que aparentemente es derrochador de energía, puede ocurrir con exceso de nitrógeno como nitrato. La importancia fisiológica de la salida del nitrato no está clara, pero el proceso puede jugar un papel en la detección de la disponibilidad de nitrato. Con baja concentración de nitrato externo, el gradiente químico y el gradiente eléctrico favorece la salida

pasiva del nitrato del citosol a través de la membrana celular (Hawkesford *et al.*, 2012).

En contraste con el amonio, el cual es predominantemente incorporado en compuestos orgánicos en la raíz, el nitrato es más fácilmente distribuido a lo largo de la planta. El nitrato es acumulado en las vacuolas en células de la raíz, brotes y órganos de almacenamiento, de donde puede ser recuperado. El nitrato almacenado en la vacuola puede ser usado cuando el suministro externo de nitrógeno es bajo. Sin embargo, esta reserva de nitrógeno es muy pequeña comparada con el nitrógeno orgánico en la planta y el almacenamiento de nitrato en la vacuola se agota dentro de 12 a 48 horas. El nitrato es almacenado en la vacuola transitoriamente, por ejemplo, durante la noche cuando el nitrato no es metabolizado por la nitrato reductasa. Esto sugiere que el almacenamiento del nitrato en la vacuola sirve como un amortiguamiento de nitrato para los procesos de transporte más bien que como almacenamiento de nitrógeno (Hawkesford *et al.*, 2012).

El tamaño y la arquitectura del sistema de raíces son factores importantes en la eficiencia de adquisición de nutrimentos, porque ellos determinan el volumen total de suelo explorado por la planta, y la superficie total de intercambio entre raíces y la solución del suelo. En consecuencia, muchos nutrientes tienen un impacto dramático en el crecimiento y desarrollo de la raíz y los cambios resultantes en

la arquitectura del sistema de raíces (RSA) generalmente juegan un papel importante en la adaptación de la planta hacia fluctuaciones en la disponibilidad de nutrientes externos. El RSA de muchas especies es fuertemente dependiente de la disponibilidad externa e interna de nitrógeno. Las modificaciones del RSA han sido reportadas como particularmente importantes en respuesta a nutrientes con poca movilidad en el suelo, como el fósforo inorgánico o amonio. Sin embargo el nitrato es bien conocido por su marcado efecto en el desarrollo y crecimiento de la raíz, a pesar de su alta movilidad. Esto puede reflejar un papel crucial en el RSA al competir con otras plantas y microorganismos del suelo incluso por nutrientes que se pueden mover casi libremente en el suelo. Curiosamente, en especies con un sistema de raíz pivotante, la disponibilidad de nitrógeno está fuertemente regulada por las raíces laterales, mientras que tiene un impacto limitado en el crecimiento de raíces primarias. Además de esta tendencia general, definir una típica respuesta fenotípica del RSA a cambios en la disponibilidad de nitrógeno es casi imposible debido a su alta dependencia a la morfología del sistema radical, la especie y otras condiciones abióticas del ambiente como la disponibilidad del agua, pH, otros nutrientes (Nacry *et al.*, 2013).

### **3.2.3. Efectos del nitrógeno en las plantas**

Las plantas deficientes de nitrógeno crecen muy lentamente, débiles y mal desarrolladas tienen un color en el follaje entre verde claro y amarillo. Los síntomas iniciales y más severos de deficiencia de hojas amarillas son vistos en

las hojas más viejas porque el nitrógeno es movilizadado del tejido viejo a las porciones en crecimiento activo. Las plantas deficientes de nitrógeno maduran con el rendimiento y calidad significativamente reducidos. Las plantas con exceso de nitrógeno son de color verde oscuro, con follaje succulento, el cual es fácilmente susceptible a enfermedades e invasión de insectos y a estrés por sequía (Jones, 1998).

La planta ha desarrollado estrategias en respuesta a variaciones en la disponibilidad de nitrógeno en el suelo; por ejemplo, adaptaciones metabólicas, fisiológicas y de desarrollo, las cuales en parte dependen de la expresión de genes. La expresión de genes cambia en minutos en respuesta a la concentración de nitrato (Hawkesford *et al.*, 2012).

#### **3.2.4. Efectos del nitrógeno en el ambiente**

Históricamente las prácticas agrícolas han sido la mayor fuente de emisiones de efecto invernadero a la atmósfera. El sector agrícola, forestal y otros usos de la tierra, son responsables de una cuarta parte de todas las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero. Este sector es responsable de un cuarto de las emisiones de bióxido de carbono mediante la deforestación, agotamiento del carbono en suelos orgánicos, uso de maquinaria y fertilizantes; la mitad de las emisiones de metano vía la ganadería y el cultivo de arroz y tres

cuartas partes de las emisiones del óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a través de la aplicación de fertilizantes nitrogenados y residuos del manejo animal (Pires *et al.*, 2015).

Proyecciones recientes indican un incremento en el consumo global de fertilizantes de aproximadamente 50 millones de toneladas en el año 2030. Asimismo, la excesiva e irracional aplicación de fertilizantes puede tener consecuencias económicas y ambientales negativas, como son: altos costos de producción, agotamiento de recursos energéticos y contaminación ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero y la lixiviación de nitrógeno (Pires *et al.*, 2015).

La sobre aplicación de nitrógeno puede resultar en un uso ineficiente y altas pérdidas al ambiente, que pueden impactar en la calidad del agua y del aire, la biodiversidad y la salud humana. Por ejemplo el nitrato es fácilmente perdido de áreas agrícolas por lixiviación. Esta forma altamente móvil del nitrógeno, puede llevar a la eutroficación de cuerpos de agua y pueden reducir la eficiencia en el uso de nitrógeno, porque el exceso de nitrógeno no tomado por las plantas es susceptible de perderse (Pires *et al.*, 2015).

### **3.3. Curvas de abastecimiento nutrimental**

La velocidad de absorción y acumulación de un nutrimento en particular en la planta, aumenta delineando una curva de saturación conforme su disponibilidad aumenta en el medio nutritivo. La relación entre la disponibilidad nutrimental en

el medio de crecimiento y el contenido del nutrimento en la planta, es usada junto con los métodos de análisis foliar, para diagnosticar la disponibilidad nutrimental en el suelo, ya que la planta necesita una cierta concentración de cada nutrimento en sus tejidos para un buen crecimiento y desarrollo. Esta concentración crítica es diferente para cada nutrimento en la planta (Alcántar *et al.*, 2012).

Varios modelos han sido desarrollados para describir la respuesta de las plantas al suministro y acumulación de nutrimentos. Se ha propuesto un modelo hiperbólico, modelo en el cual las plantas se acercan a una asíntota o máximo valor cuando aumenta la acumulación de nutrimentos. Modelos lineales han sido propuestos para describir la respuesta al crecimiento con la acumulación de nutrimentos. Otros investigadores identifican un modelo en tres fases. En este modelo las curvas de crecimiento describen un nivel de deficiencia en la acumulación de nutrimentos, región de ajuste de deficiencias, o mínimo porcentaje donde el rendimiento aumenta incrementando la concentración de nitrógeno. En la segunda zona de la curva de crecimiento, una transición de deficiencia a suficiencia ocurre, seguida de una región conocida como consumo de lujo, en la cual la concentración interna de nitrógeno aumenta, pero el rendimiento no se incrementa. La concentración de nitrógeno en la transición de deficiencia a suficiencia es conocida como la concentración crítica. Eventualmente, la acumulación de nitrógeno aumenta a niveles tóxicos (Barker y Bryson, 2007).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. Localización**

El presente trabajo se realizó en un invernadero con cubierta de vidrio del Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, el cual se localiza a una altitud de 2,240 m y a 19°29´ de latitud norte y 38°53´ de longitud oeste. El clima de la región, según la clasificación climática de Köpen, modificada por García (1973) es C(Wo)(w)b(i´)g, es decir, el más seco de los templados, con lluvia en verano y una temperatura media anual de 17.5 °C; con la temperatura media del mes más frío de 11.6 °C y del mes más cálido de 18.4 °C, con una precipitación anual de 680 mm, presentando la máxima precipitación en el mes de julio y la mínima en el mes de enero.

### **4.2. Condiciones ambientales**

En el Cuadro 1 se muestran las condiciones ambientales que se tuvieron durante el ciclo de cultivo dentro del invernadero, las cuales fueron registradas cada tres horas con un medidor Data logger Modelo RHT 10, marca Extech Instruments ®. Para los valores de temperatura y humedad relativa diurna se tomaron en cuenta las lecturas de las 9, 12, 15 y 18 horas y para la nocturna, las lecturas de las 21, 24, 03 y 06 horas.

**Cuadro 1. Temperatura y humedad relativa durante el ciclo de cultivo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Mes   | Temperatura |      |       | Temperatura   |      |       | Humedad      |       |
|-------|-------------|------|-------|---------------|------|-------|--------------|-------|
|       | diurna (°C) |      |       | nocturna (°C) |      |       | relativa (%) |       |
|       | Mín.        | Máy. | Prom. | Mín.          | Máy. | Prom. | Diurna       | Noct. |
| Abril | 17.2        | 48.3 | 31.2  | 10.3          | 26.5 | 16.9  | 30.1         | 58.7  |
| Mayo  | 15.9        | 45.8 | 29.5  | 9.3           | 25.1 | 16.7  | 40.3         | 70.7  |
| Junio | 16.2        | 49.2 | 28.7  | 11.3          | 26.9 | 17.9  | 48.8         | 77.7  |

#### 4.3. Sustrato

Como sustrato se utilizó tezontle rojo, que fue cribado para obtener un tamaño de partícula de 2 a 3 mm de diámetro, después de esto se lavó y se desinfectó con una solución de agua + cloro al 1 %. Posteriormente se hizo un lavado abundante para eliminar el exceso de cloro.

#### 4.4. Material vegetal

Se utilizaron plántulas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda, obtenidas a partir de semilla. El 17 de marzo de 2014 se realizó el trasplante, cuando las plantas presentaban de 3 a 4 pares de hojas. Esta actividad se realizó por la tarde para evitar la deshidratación de las plántulas. Se trasplantaron en bolsas de polietileno negro de 10 litros de capacidad.

Se separaron ocho plántulas para hacer un análisis nutrimental inicial. Se segmentaron en raíces y parte aérea, se lavaron con agua destilada y se metieron a la estufa durante 48 horas para su secado y posterior molienda.

#### 4.5. Tratamientos

Para definir los tratamientos se tomó como base la solución nutritiva (SN) de Steiner (1984), tomando en cuenta el análisis previo del agua de riego a utilizar.

**Cuadro 2. Análisis del agua de riego utilizada en la preparación de las soluciones nutritivas.**

| pH  | C.E.<br>(dS<br>m <sup>-1</sup> ) | (meq L <sup>-1</sup> ) |      |      |      |                 |                  | (mg L <sup>-1</sup> ) |      |
|-----|----------------------------------|------------------------|------|------|------|-----------------|------------------|-----------------------|------|
|     |                                  | Ca                     | Mg   | Na   | K    | CO <sub>3</sub> | HCO <sub>3</sub> | SO <sub>4</sub>       | Cl   |
| 7.1 | 0.42                             | 1.39                   | 1.23 | 1.58 | 0.20 | n.d.            | 2.00             | 2.05                  | 0.50 |

Para abastecer los micronutrientes se utilizaron 0.025 g L<sup>-1</sup> de Tradecorp®, el cual contiene una mezcla de fertilizantes quelados con EDTA. Su composición es la siguiente: hierro 7.5 %, manganeso 3.5 %, zinc 0.70 %, boro 0.65 %, cobre 0.28 % y molibdeno 0.26 %.

Las dosis de nitrógeno en la SN que se evaluaron fueron: testigo sin nitrógeno, 3, 6, 9, 12, 15 y 18 meq L<sup>-1</sup>. Al balancear el contenido de aniones y cationes, las SN quedaron como se muestra en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Composición de las soluciones nutritivas (meq L<sup>-1</sup>) utilizadas durante el ciclo de cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| TRATAMIENTO | NO <sub>3</sub> | H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> | SO <sub>4</sub> | Cl  | K   | Mg   | Ca   | Na   |
|-------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|-----|-----|------|------|------|
| 1           | 0               | 1                              | 7.8             | 7.5 | 5.8 | 2.77 | 6.71 | 0    |
| 2           | 3               | 1                              | 6.3             | 6   | 5.8 | 2.77 | 6.71 | 0    |
| 3           | 6               | 1                              | 4.8             | 4.5 | 5.8 | 2.77 | 6.71 | 0    |
| 4           | 9               | 1                              | 4.8             | 1.5 | 5.8 | 2.77 | 6.71 | 0    |
| 5           | 12              | 1                              | 4.8             | 0   | 5.8 | 2.77 | 6.71 | 1.49 |
| 6           | 15              | 1                              | 4.8             | 0   | 6.8 | 3.77 | 7.71 | 1.49 |
| 7           | 18              | 1                              | 4.8             | 0   | 7.6 | 4.5  | 8.5  | 2.24 |

Como fuente de nitrógeno se utilizaron KNO<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> y NaNO<sub>3</sub>. Los fertilizantes y las cantidades utilizadas se muestran en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Fertilizantes utilizados en la elaboración de las soluciones nutritivas (g L<sup>-1</sup> y ml L<sup>-1</sup>) durante el ciclo de cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Tratamiento                                              | 1      | 2      | 3      | 4       | 5      | 6      | 7      |
|----------------------------------------------------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>                          | 0.1361 | 0.1361 | 0.1361 | 0.1361  | 0.1361 | 0.1361 | 0.1361 |
| K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                           | 0.3484 | 0.2186 | 0.0871 | 0.0871  | 0      | 0      | 0      |
| KCl                                                      | 0.0593 | 0.0593 | 0.0593 | 0.0593  | 0      | 0      | 0      |
| CaCl <sub>2</sub>                                        | 0.5267 | 0.4433 | 0.2061 | 0.03094 | 0      | 0      | 0      |
| H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                           | 0.049  | 0.049  | 0.049  | 0.049   | 0.049  | 0.049  | 0.049  |
| KNO <sub>3</sub>                                         | 0      | 0.1517 | 0.3033 | 0.3033  | 0.4853 | 0.5864 | 0.6622 |
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub><br>·4 H <sub>2</sub> O | 0      | 0.177  | 0.354  | 0.708   | 0.7912 | 0.9098 | 0.9983 |
| NaNO <sub>3</sub>                                        | 0      | 0      | 0      | 0       | 0.0417 | 0.0417 | 0.1054 |
| MgSO <sub>4</sub><br>·7H <sub>2</sub> O                  | 0.3407 | 0.3407 | 0.3407 | 0.3407  | 0.3407 | 0.3407 | 0.3407 |
| MgNO <sub>3</sub><br>·6H <sub>2</sub> O                  | 0      | 0      | 0      | 0       | 0      | 0.128  | 0.224  |

Al preparar las SN de todos los tratamientos se registró el pH y la conductividad eléctrica y se obtuvieron los resultados del Cuadro 5.

**Cuadro 5. Conductividad eléctrica (dS) y pH de las soluciones nutritivas usadas durante el ciclo de cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Tratamiento | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| pH          | 6.41 | 6.21 | 6.18 | 6.19 | 6.18 | 6.23 | 6.18 |
| C.E:        | 2.2  | 2.4  | 2.3  | 2.3  | 2.5  | 2.8  | 2.9  |

#### **4.6. Diseño experimental**

Se establecieron siete tratamientos, con cinco repeticiones y cuatro plantas por bolsa, con un total de 35 unidades experimentales (bolsas con cuatro plantas cada una) distribuidas de manera aleatoria en el invernadero.

#### **4.7. Riegos**

Antes del trasplante se dio un riego pesado al sustrato ya colocado en las bolsas, para que el cultivo no pasara por estrés hídrico al establecerse, posteriormente cada bolsa con cuatro plantas se regó diariamente de forma manual con 300 mL de SN. Las bolsas se colocaron sobre tabiques huecos para garantizar un buen drenaje, el cual fue de 30 %.

## **4.8. Variables evaluadas**

### **4.8.1. Altura de la planta**

Esta variable fue tomada con la ayuda de una cinta métrica, tomando la medición desde la base hasta la parte más alta de la planta en cm. La evaluación se hizo cada 15 días hasta el final del ciclo (a los 84 días después del trasplante se cosecharon las últimas plantas).

### **4.8.2. Número de pares de hojas**

Dada la disposición de las hojas, ya que son opuestas y sésiles, esta variable se obtuvo como pares de hojas del tallo principal. Esta variable se registró cada 15 días hasta el final del experimento.

### **4.8.3. Duración del ciclo de cultivo**

El corte de las plantas se realizó cuando el primer botón de cada planta abrió completamente. Las primeras plantas (las cuales fueron regadas con una SN con 6 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno) se cosecharon el 21 de mayo y las últimas (del tratamiento con 0 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno en la SN), el 11 de junio de 2014. Esta variable se registró en días.

#### **4.8.4. Número de botones**

Después de que cada planta se cosechó, se contaron todos los botones florales formados sin considerar su tamaño, en todas las repeticiones de cada tratamiento.

#### **4.8.5. Diámetro de flor**

Se evaluó en la primera flor de todas las repeticiones de cada tratamiento, tomando como medida la distancia que existe entre los ápices de pétalos opuestos. Esta variable se midió en centímetros.

#### **4.8.6. Área foliar**

Esta variable se midió separando las hojas del tallo principal de cada planta, sin incluir las hojas de los brotes laterales, la medición se reportó en cm<sup>2</sup> inmediatamente después de la cosecha, para evitar que las hojas se doblaran al perder turgencia. Se realizó en todas las repeticiones de cada tratamiento. Se utilizó un integrador de área foliar LI-COR 3100.

#### **4.8.7. Materia seca acumulada**

Para medir esta variable la planta se separó por órganos (raíz, tallo con hojas y flores) previo lavado con agua destilada, se secaron en un horno con aire circulante marca BINDER ®, a temperatura de 65 °C por 48 horas o hasta llegar

a peso constante. Una vez secas las muestras, se pesaron en una balanza digital Ohaus®. Esto se hizo en todas las plantas de cada tratamiento.

#### **4.8.8. Análisis nutrimental**

Como ya se mencionó, antes del trasplante se separaron ocho plántulas del semillero, las cuales se seccionaron en parte aérea y raíz para determinar la concentración de macronutrientes de las plántulas al inicio del experimento. Las plántulas se seccionaron en parte aérea y raíz y se mezclaron por órgano con el propósito de tener la cantidad suficiente de muestra para hacer una determinación de macronutrientes para la raíz y una para la parte aérea.

Al final del experimento se realizó la determinación de N, P, K, Ca y Mg, de las plantas cosechadas, en tres repeticiones por órgano (raíz, tallo con hojas y flores) por tratamiento.

La materia seca obtenida después de haber pasado por el secado en horno, fue triturada en un molino de acero inoxidable marca Arthur H. Thomas, con malla del número 20.

Para determinar la concentración de los macronutrientes se pesaron 0.25 g de muestra seca molida en una balanza analítica marca OHAUS®, Adventurer –Pro

(USA); la digestión de la materia seca se hizo con 2 mL de una mezcla de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y ácido perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) en relación 2:1(v/v) y 1 mL de peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 30 %. Después, las muestras se colocaron en una plancha de digestión a una temperatura de 350 °C; el aforo fue a 25 mL con agua desionizada.

La determinación de nitrógeno se realizó por el método microkjeldahl y la del resto de elementos con un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por inducción acoplada (ICP) modelo 725-ES de AGILENT® (Australia). En todos los casos se siguió la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999).

#### **4.9. Análisis de datos**

Para conocer la significancia estadística del efecto de las diferentes dosis de nitrógeno en la SN en las variables estudiadas, se realizó un análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ( $P < 0.05$ ) con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) Versión 9 (SAS Institute Inc., 2006). Las gráficas se realizaron en el programa SigmaPlot versión 13.

Para elaborar las curvas de abastecimiento nutrimental, los datos de las variables evaluadas fueron modelados con un análisis segmentado de parámetros de crecimiento (NLIN procedure), utilizando SAS versión 9. Esto para conocer la respuesta de las plantas a la concentración de nitrógeno en la SN.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Concentración inicial de macronutrientes

En el Cuadro 6 se presentan los resultados de los promedios de las ocho plántulas que se apartaron del semillero para determinar la concentración de macronutrientes al inicio del experimento.

**Cuadro 6. Peso seco y concentración de macronutrientes en plántulas de *lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

|                | Peso seco<br>(g pl <sup>-1</sup> ) | Nitrógeno<br>(%) | Fósforo<br>(%) | Potasio<br>(%) | Calcio<br>(%) | Magnesio<br>(%) |
|----------------|------------------------------------|------------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| Parte<br>aérea | 0.1156                             | 3.5              | 0.41           | 0.82           | 0.29          | 0.41            |
| Raíz           | 0.0353                             | 2.5              | 0.35           | 0.85           | 0.50          | 0.25            |

Estos valores iniciales muestran la alta concentración de nitrógeno que se tenía tanto en las raíces como en la parte aérea.

### 5.2. Variables de crecimiento vegetativo y floración

Con excepción del diámetro de flor, las demás variables evaluadas fueron afectadas por la concentración de nitrógeno en la SN. Como se muestra en el Cuadro 7, las plantas regadas con la SN que contenía 6 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno,

mostraron los mejores resultados en área foliar, número de pares de hojas, altura de planta, número de botones así como la duración del ciclo de cultivo más corta.

**Cuadro 7. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre las variables de crecimiento vegetativo y de floración en plantas de *lisianthus (Eustoma grandiflorum Raf.)* cv. ABC2 Lavanda.**

| Nitrógeno<br>(meq·L <sup>-1</sup> ) | Área<br>foliar<br>(cm <sup>2</sup> ) | Pares de<br>hojas | Altura<br>(cm) | Diámetro<br>basal del<br>tallo<br>(mm) | Número<br>de<br>botones | Duración<br>del ciclo<br>(días) | Diámetro<br>de flor<br>(cm) |
|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|----------------|----------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| 0                                   | 126.45 c                             | 11.94 c           | 69.50 b        | 2.93 b                                 | 3.31 d                  | 84.15 a                         | 7.00 <sup>NS</sup>          |
| 3                                   | 239.37ab                             | 13.00 b           | 74.00ab        | 3.67 a                                 | 5.37 bc                 | 79.65 ab                        | 7.90                        |
| 6                                   | 262.48 a                             | 14.37 a           | 75.95 a        | 3.88 a                                 | 7.44 a                  | 74.15 c                         | 8.05                        |
| 9                                   | 217.56 b                             | 14.06 a           | 72.90 ab       | 3.78 a                                 | 6.56 ab                 | 78.20 bc                        | 8.00                        |
| 12                                  | 216.51 b                             | 13.93ab           | 72.05 ab       | 3.63 a                                 | 5.25 bc                 | 80.80 ab                        | 7.70                        |
| 15                                  | 210.29 b                             | 13.69 ab          | 70.48 ab       | 3.46 ab                                | 5.44 bc                 | 81.85 ab                        | 7.30                        |
| 18                                  | 207.19 b                             | 14.06 a           | 72.33 ab       | 3.62 a                                 | 5.12 c                  | 78.80 bc                        | 7.30                        |
| DMS                                 | 35.15                                | 0.65              | 6.19           | 0.6                                    | 1.17                    | 6.73                            |                             |
| C.V. (%)                            | 15.64                                | 4.5               | 4.25           | 8.46                                   | 20.05                   | 4.06                            |                             |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ ; DMS: diferencia mínima significativa; C.V. coeficiente de variación; <sup>NS</sup>: No significativo.

Como se muestra en el Cuadro 7, para la variable área foliar, el tratamiento testigo, al que no se le aplicó nitrógeno en la SN, sólo contó con los macronutrientes que tenían las plántulas al inicio del experimento para desarrollar área foliar (Cuadro 6), por lo que se obtuvo un valor de aproximadamente la mitad comparada con el mejor tratamiento, al cual se le aplicaron 6 meq L<sup>-1</sup> en la SN.

El número de pares de hojas se mantuvo en un valor promedio de 12 hasta la apertura de la primera flor, después se incrementó conforme al número de botones (Cuadro 7).

Debido a que el corte de los tallos se realizó cuando la primera flor de cada planta abrió completamente, se tienen diferentes fechas de cosecha, sin embargo, para la variable altura de planta se presentaron diferencias estadísticas significativas. Aunque esta diferencia no parece ser muy grande, estos resultados se combinaron con un diámetro basal del tallo más delgado en el tratamiento sin nitrógeno, el cual fue un 25 % menor que las plantas a las que se les aplicaron 6 meq L<sup>-1</sup> en la SN (Cuadro 7).

Sin embargo, se tiene un amplio rango en la altura de las plantas según el cultivar de que se trate; Harbaugh *et al.* (2000) en su evaluación de 47 cultivares de *lisianthus*, encontraron que la altura de las plantas fue desde 94 cm para los cvs. Ventura Purple y Heidi Pastel Blue, hasta 129 cm para el cv. Bridal Ocean. Por otra parte, De la Riva *et al.* (2013) trabajaron con cuatro cultivares de la Serie Mariachi producidos en invernadero y utilizando perlita como sustrato, con lo que obtuvo largos de tallo de 58 a 68 cm.

Aunque para este cultivo no existen normas de calidad en el mercado, se consideran válidas las normas genéricas que se utilizan para todas las flores de

corte, ya que la altura de la planta es un parámetro muy importante para la comercialización. En este cultivar se tuvo una altura promedio de 72.5 cm, por lo que se considera que están dentro de un rango comercial aceptable.

En ninguna planta se dio la formación de una roseta de hojas que impidiera el desarrollo del tallo floral a pesar de las altas temperaturas que se presentaron dentro del invernadero (Cuadro 1), lo que pudo ser ocasionado a que durante la noche se tuvieron condiciones más frescas (de 16.7 a 17.9 °C en promedio); esto coincide con Sakata (2011) quien indica que para prevenir el arrosetamiento, no se debe permitir que la temperatura nocturna exceda de 22 °C.

El número de botones presentó diferencias estadísticas altamente significativas entre el tratamiento con el cual se obtuvieron los mejores resultados y el testigo, ya que con tan solo aplicar 6 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno a la SN, el número de botones se duplica (Cuadro 7).

La duración del ciclo de cultivo fue afectada por las distintas concentraciones de nitrógeno en la SN. Las plantas regadas con la SN sin nitrógeno tardaron 10 días más (en promedio) para abrir completamente la primera flor, en comparación con las plantas regadas con 6 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno en la SN (Cuadro 7).

El diámetro promedio de las flores presentó una variación leve, de 7 a 8 cm (Cuadro 7), por lo que no se encontraron diferencias estadísticas significativas, lo que pudo ser causado porque las plantas de los tratamientos donde se tuvo deficiencia o toxicidad por nitrógeno, tuvieron un número de botones reducido, por lo que pudieron enfocar sus recursos en la producción de flores con diámetro de mayor tamaño.

Las plantas regadas con dosis menores de 3 y mayores de 9 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno en la SN fueron las que mostraron síntomas de deficiencia y toxicidad respectivamente en la mayoría de las variables evaluadas, lo que va de acuerdo con Marschner (2002) quién menciona que cuando el suministro de nutrimentos no es óptimo, la tasa de crecimiento de las hojas puede ser limitada por bajas tasas de fotosíntesis neta o insuficiente expansión celular, o ambos. Esto es particularmente evidente con suministros no óptimos de nitrógeno y de fósforo. En las plantas que sufren por deficiencia de nitrógeno, la tasa de expansión de hojas puede declinar antes de que haya cualquier reducción en la fotosíntesis.

En manzano, la formación de flores es afectada en un grado mucho mayor por la forma o el tiempo de aplicación, o ambos factores, que por el nivel de suministro de nitrógeno. Comparado con un suministro continuo de nitrato y el suministro por un corto plazo de amonio a la raíz, se encontró que con el amonio se tenía

un porcentaje de desarrollo de botones florales de más del doble que con el nitrato (Marschner, 2002).

### 5.3. Materia seca acumulada

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de la acumulación de materia seca en raíz, tallo con hojas y flores para las diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva. El tratamiento con 6 meq L<sup>-1</sup> es el que en total, acumuló la mayor cantidad de biomasa.

**Cuadro 8. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de peso seco en raíz, tallo con hojas y flores de plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Nitrógeno<br>(meq·L <sup>-1</sup> ) | Raíz (g) | Tallo con<br>hojas (g) | Flor (g) | Total (g) |
|-------------------------------------|----------|------------------------|----------|-----------|
| 0                                   | 1.09 a   | 1.18 c                 | 0.68 c   | 2.95 d    |
| 3                                   | 0.84 bc  | 1.96 ab                | 1.38 b   | 4.18 bc   |
| 6                                   | 1.09 a   | 2.32 a                 | 1.84 a   | 5.25 a    |
| 9                                   | 0.99 ab  | 1.92 ab                | 1.62 ab  | 4.53 ab   |
| 12                                  | 0.64 cd  | 1.70 b                 | 1.44 ab  | 3.78 bcd  |
| 15                                  | 0.68 cd  | 1.65 b                 | 1.39 b   | 3.72 bcd  |
| 18                                  | 0.57 d   | 1.65 b                 | 1.38 b   | 3.60 cd   |
| DMS:                                | 0.23     | 0.42                   | 0.43     | 0.87      |
| C.V. (%)                            | 28.68    | 25.25                  | 33.10    | 23.00     |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ ; DMS: diferencia mínima significativa; C.V.: coeficiente de variación.

En la comparación por órganos (Cuadro 8), el tallo con hojas presentó los porcentajes de distribución de materia seca más altos en todos los tratamientos. En general, el orden de distribución de materia seca es de mayor a menor: tallo con hojas, flores y finalmente raíz; con excepción del tratamiento sin nitrógeno en el cual un gran porcentaje de biomasa se concentró en las raíces.

Es importante señalar que con las dosis por arriba de 6 meq L<sup>-1</sup>, la producción de biomasa disminuyó (Cuadro 8) por esto, para lograr un eficiente crecimiento, desarrollo y reproducción, las plantas requieren de un adecuado pero no excesivo suministro de nitrógeno.

Estos resultados van de acuerdo con lo obtenido por Sánchez *et al.* (2006) al trabajar con frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris*) encontraron la menor asimilación de nitrógeno en los tratamientos a los cuales les fueron aplicadas dosis menores a 3 mM de nitrógeno en la SN, esto fue la causa de que las plantas tratadas con estas dosis produjeran mínimas concentraciones de compuestos orgánicos nitrogenados, lo que explicaría su producción inferior de biomasa respecto al tratamiento con 6 mM. Por el contrario, la toxicidad de nitrógeno (12 y 18 mM), se caracterizó por favorecer concentraciones elevadas de NO<sub>3</sub> y NH<sub>4</sub> en raíces y hojas; sin embargo, esto no se reflejó en una mayor producción de biomasa, por lo que concluyeron que la toxicidad por nitrógeno tiene un efecto más negativo en la producción de biomasa que la deficiencia.

## 5.4. Concentración de macronutrientes

### 5.4.1. Raíz

En el Cuadro 9 se muestra la concentración de macronutrientes que se tuvieron en las raíces al final del experimento.

**Cuadro 9. Concentración de macronutrientes en raíces de plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda cultivadas bajo diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.**

| Nitrógeno en la SN (meq L <sup>-1</sup> ) | N (%)    | P (%)   | K (%)              | Ca (%)             | Mg (%)             |
|-------------------------------------------|----------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0                                         | 0.99 ab  | 0.11 a  | 0.40 <sup>NS</sup> | 0.70 <sup>NS</sup> | 0.39 <sup>NS</sup> |
| 3                                         | 0.94 ab  | 0.09 ab | 0.38               | 0.70               | 0.32               |
| 6                                         | 1.01 ab  | 0.08 ab | 0.41               | 0.76               | 0.40               |
| 9                                         | 1.05 a   | 0.09 ab | 0.48               | 0.75               | 0.34               |
| 12                                        | 0.71 abc | 0.09 ab | 0.41               | 0.77               | 0.33               |
| 15                                        | 0.40 c   | 0.06 b  | 0.32               | 0.65               | 0.27               |
| 18                                        | 0.49 bc  | 0.05 ab | 0.26               | 0.61               | 0.34               |
| DMS                                       | 0.54     | 0.05    | -                  | -                  | -                  |
| C. V. (%)                                 | 24.35    | 22.22   | -                  | -                  | -                  |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). DMS: diferencia mínima significativa; C.V.: coeficiente de variación; <sup>NS</sup>: no significativo.

En el Cuadro 9 se observa que aunque con potasio, calcio y magnesio no se tuvieron diferencias estadísticas significativas, la concentración más baja de

estos macronutrientes se dio con dosis altas de nitrógeno en la SN (15 y 18 meq L<sup>-1</sup>), lo que pudo ser debido a que los iones nitrato se pueden perder al ser lixiviados de la zona de enraizamiento por el agua de riego (Jones, 1998).

En cambio las concentraciones más altas de nitrógeno en tejido seco se presentaron con valores intermedios de nitrógeno en la SN (6 y 9 meq L<sup>-1</sup>); en el caso del fósforo el máximo valor se encontró en el tratamiento testigo sin nitrógeno (Cuadro 9).

El nitrato es bien conocido por su marcado efecto en el desarrollo y crecimiento de la raíz, a pesar de su alta movilidad. Esto puede reflejar un papel crucial de la arquitectura del sistema de raíces al competir con otras plantas y microorganismos del suelo incluso por nutrientes que se pueden mover casi libremente en el suelo. Curiosamente, en especies con un sistema de raíz pivotante, la disponibilidad del nitrógeno está fuertemente modulada por las raíces laterales, mientras que tiene un impacto limitado en el crecimiento de raíces primarias (Nacry *et al.*, 2013).

Asimismo, López-Bucio *et al.* (2003) encontraron que en raíces laterales de *Arabidopsis thaliana* se muestran dos respuestas contrastantes de acuerdo con la concentración de nitrato. Alta concentración de nitrato (10 mM), reduce el desarrollo de las raíces laterales, mientras que las plantas que crecen con una

baja concentración de nitratos ( $10 \mu\text{mol}$ ) inducen la estimulación para la elongación de raíces laterales.

#### **5.4.2. Tallo y hojas**

En el Cuadro 10 se muestra que los distintos tratamientos ocasionaron diferencias estadísticas significativas en la concentración de nitrógeno en el tallo y hojas. La máxima concentración se obtuvo con dosis de 3, 6 y  $9 \text{ meq L}^{-1}$  de nitrógeno en la SN, mientras que la concentración mínima en tejido seco, se obtuvo con la máxima concentración de nitrógeno en la SN ( $18 \text{ meq L}^{-1}$ ). La concentración de los demás macronutrientes en tallo con hojas no presentó diferencias estadísticas significativas.

Estos resultados difieren de lo publicado por Jones (1998) quien indica que el nitrógeno se concentra del 1.5 al 6 % del peso seco de muchos cultivos con valores de suficiencia de 2.5 a 3.5 % en hojas. Un margen menor de 1.8 a 2.2 % es encontrado en muchos cultivos frutales y un rango mayor de 4.8 a 5.5 % es encontrado en leguminosas. Los valores críticos varían considerablemente, dependiendo de la especie de cultivo, la etapa de crecimiento, y la parte de la planta. Altas concentraciones son encontradas en hojas nuevas, con el contenido de nitrógeno total en la planta disminuyendo normalmente con la edad de la planta o cualquiera de sus partes.

**Cuadro 10. Concentración de macronutrientes en tallo con hojas de plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda, con distintas concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.**

| Nitrógeno en la solución nutritiva (meq L <sup>-1</sup> ) | N (%)    | P (%)              | K (%)              | Ca (%)             | Mg (%)             |
|-----------------------------------------------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0                                                         | 0.78 bc  | 0.07 <sup>NS</sup> | 0.58 <sup>NS</sup> | 0.18 <sup>NS</sup> | 0.33 <sup>NS</sup> |
| 3                                                         | 1.46 a   | 0.12               | 0.55               | 0.21               | 0.38               |
| 6                                                         | 1.42 a   | 0.11               | 0.50               | 0.17               | 0.33               |
| 9                                                         | 1.35 ab  | 0.08               | 0.56               | 0.20               | 0.34               |
| 12                                                        | 1.22 abc | 0.08               | 0.59               | 0.21               | 0.36               |
| 15                                                        | 0.96 bc  | 0.07               | 0.50               | 0.22               | 0.36               |
| 18                                                        | 0.68 c   | 0.07               | 0.47               | 0.21               | 0.36               |
| DMS                                                       | 0.65     | -                  | -                  | -                  | -                  |
| C. V. (%)                                                 | 20.7     | -                  | -                  | -                  | -                  |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ . DMS: diferencia mínima significativa; C.V. coeficiente de variación; <sup>NS</sup>: no significativo.

Los valores obtenidos en esta investigación son inferiores a los que encontraron Backes *et al.* (2006) al trabajar con el cv. Flamenco Blue. Determinaron las siguientes concentraciones de macronutrientes en hojas: nitrógeno 3.14 %; fósforo 0.21 %; calcio 0.56 % y magnesio 0.82 %. Por su parte, Camargo *et al.* (2004) realizaron una investigación donde fue evaluado el crecimiento y la absorción de nutrientes de lisianthus (cv. Echo) cultivado en suelo. El consumo

de nutrientes fue: (kg ha<sup>-1</sup>) 238.8 de nitrógeno, 157.1 de potasio, 33.9 de azufre, 17.5 de magnesio, 14.9 de fósforo, 10.6 de calcio.

#### **5.4.3. Flores**

En el Cuadro 11 se muestra que a excepción de la concentración de nitrógeno en el tejido seco de las flores, los demás macronutrientes no presentaron diferencias estadísticas significativas por efecto de la concentración de nitrógeno en la SN.

La máxima concentración de nitrógeno en tejido seco se dio en las flores de las plantas regadas con 6 meq L<sup>-1</sup> en la SN, mientras que el valor mínimo se obtuvo con el tratamiento testigo.

Si la concentración de un nutriente esencial en el tejido de la planta está por debajo del nivel necesario para un crecimiento óptimo, se dice que la planta tiene deficiencia de ese elemento. La deficiencia puede agravarse si la concentración del elemento en el sustrato es bajo, o si el elemento está presente en una forma química la cual no puede ser absorbida o no está disponible para tal efecto. Algunas veces, la concentración excesiva de otro elemento puede reducir la tasa de absorción del nutriente por lo cual la planta desarrolla una deficiencia de ese elemento. La deficiencia inducida es resultado de la acción antagónica de otro elemento y puede desarrollarse incluso cuando el nutriente está presente en el sustrato a una concentración que podría ser la adecuada, de no ser por la presencia del elemento antagónico a alta concentración (Epstein y Bloom, 2005).

**Cuadro 11. Concentración de macronutrientes en flores de plantas de *lisianthus (Eustoma grandiflorum Raf.)* cv. ABC2 Lavanda, para diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.**

| Nitrógeno en la SN (meq L <sup>-1</sup> ) | N (%)    | P (%)              | K (%)              | Ca (%)             | Mg (%)             |
|-------------------------------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0                                         | 0.79 c   | 0.09 <sup>NS</sup> | 0.35 <sup>NS</sup> | 0.13 <sup>NS</sup> | 0.22 <sup>NS</sup> |
| 3                                         | 1.65 ab  | 0.18               | 0.44               | 0.12               | 0.29               |
| 6                                         | 1.87 a   | 0.10               | 0.48               | 0.12               | 0.31               |
| 9                                         | 1.68 ab  | 0.18               | 0.46               | 0.14               | 0.30               |
| 12                                        | 1.36 abc | 0.15               | 0.40               | 0.10               | 0.27               |
| 15                                        | 1.25 abc | 0.14               | 0.43               | 0.10               | 0.28               |
| 18                                        | 1.15 bc  | 0.10               | 0.43               | 0.13               | 0.26               |
| DMS                                       | 0.62     | -                  | -                  | -                  | -                  |
| C. V. (%)                                 | 15.93    | -                  | -                  | -                  | -                  |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ ; DMS: diferencia mínima significativa; C.V.: coeficiente de variación; <sup>NS</sup>: no significativo.

El estado nutrimental también puede afectar la iniciación floral incrementando el suministro de fotosintatos durante el periodo crítico de la fase reproductiva. La formación de flores en manzano, tomate y sorgo, posiblemente está correlacionado con el suministro de fósforo. Similares conclusiones fueron encontradas de los efectos del potasio en tomate. Bajos niveles de potasio en las hojas fueron correlacionados con una alta proporción de flores estériles (Marschner, 2002).

## **5.5. Acumulación de macronutrientes**

### **5.5.1. Nitrógeno**

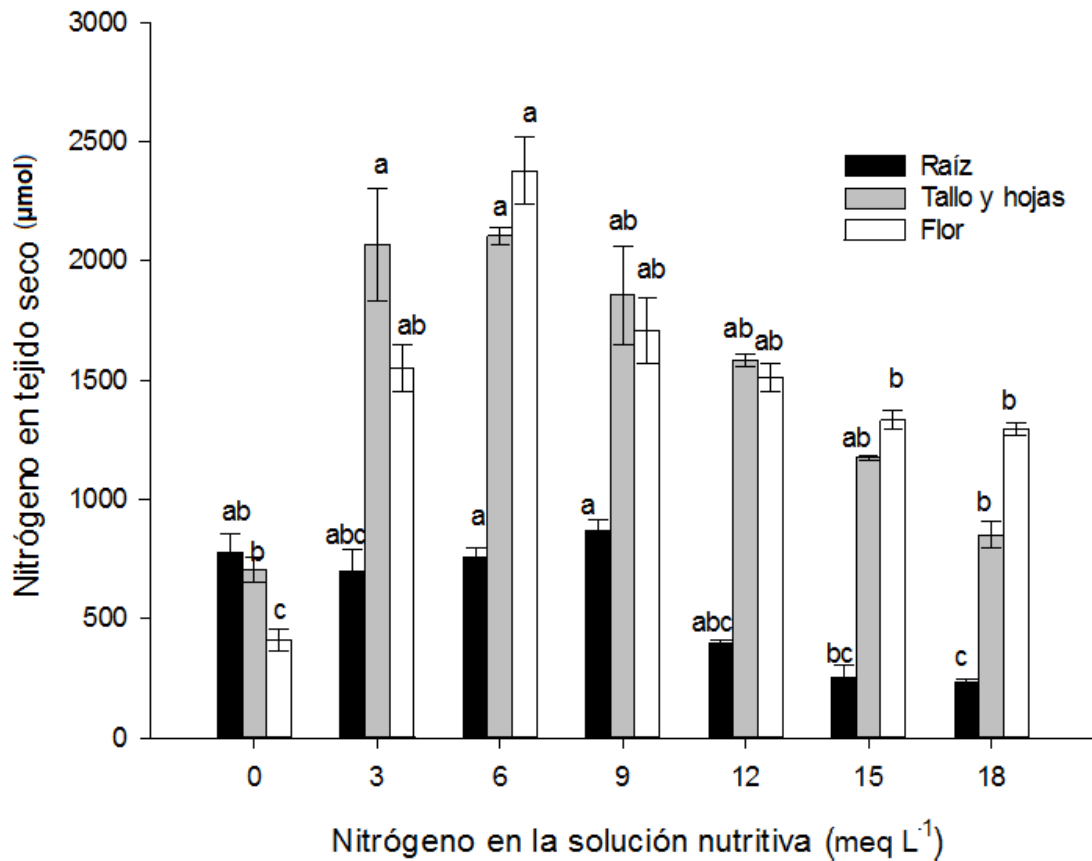
Tomando en cuenta el peso seco de cada órgano se calculó la cantidad de macronutrientes que se acumuló en cada muestra. En este trabajo se observó que en la mayoría de los tratamientos la mayor acumulación de nitrógeno se presentó en el tallo y en las hojas (Figura 1).

Backes *et al.* (2006) encontraron que la acumulación de nitrógeno en el tejido seco de hojas de *lisianthus* cv. Flamenco Blue, era en promedio de  $31.4 \text{ g kg}^{-1}$ , mientras que en este experimento se encontró que en el mejor de los tratamientos evaluados se tenían  $21 \text{ g Kg}^{-1}$ .

En el testigo, el nitrógeno se acumuló principalmente en las raíces, mientras que en los demás tratamientos a los cuales se les aplicaron diferentes concentraciones de nitrógeno, en la raíz se mantuvo la acumulación más baja.

En muchas plantas, cuando las raíces reciben cantidades pequeñas de nitrato, el nitrato se reduce principalmente en las raíces. A medida que el aporte de nitrato aumenta, una mayor proporción del nitrato absorbido es transportado al tallo y asimilado ahí (Marshner, 2002). Incluso en condiciones similares de aporte de nitrato, el equilibrio entre el metabolismo del nitrógeno de la parte aérea y de la raíz varía con las especies, tal y como indica la proporción de la actividad de la

nitrito reductasa en cada uno de los dos órganos o por las concentraciones relativas de nitrato y nitrógeno reducido en la savia del xilema.



**Figura 1.** Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de nitrógeno en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias  $\pm$  error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

La escasez de nitrógeno restringe el crecimiento de todos los órganos de las plantas, raíces, tallos, hojas, flores y frutos (incluyendo semillas). Una deficiencia de nitrógeno en las plantas parece atrofiar el crecimiento de todos los órganos. Si una planta ha estado en deficiencia a través de todo su ciclo de vida, toda la planta es pálida y puede crecer larga y delgada. Si la deficiencia de nitrógeno prevalece durante el ciclo de crecimiento, el nitrógeno puede ser movilizado de las hojas bajas y traslocado a las hojas jóvenes, haciendo que las hojas inferiores tomen un color pálido y en caso de severa deficiencia, se vuelvan marrón y se caigan. Algunas veces, bajo condiciones de suficiencia de nitrógeno, las hojas, especialmente las más bajas, proveen de nitrógeno a los frutos y semillas, y los síntomas de deficiencia pueden desarrollarse en las hojas. Esos síntomas, los cuales se desarrollan después de la estación de crecimiento, pueden no ser una evidencia de limitación en la cosecha, pero son expresiones del transporte de nitrógeno de las hojas más viejas a otras porciones de la planta (Marshner, 2002).

Del 25 % al 75 % del nitrógeno en las hojas es contenido en los cloroplastos. La deficiencia de nitrógeno generalmente trae como consecuencia una disminución de proteínas en los cloroplastos y una degradación de su estructura. Casi toda la estructura de las membranas puede volverse desorganizada (Marshner, 2002).

### 5.5.2. Fósforo

En la Figura 2 se observa que el tratamiento testigo acumuló la mayor cantidad de fósforo en las raíces, comportamiento similar al que observamos en la Figura 1 en el caso del nitrógeno. En los demás tratamientos la mayor acumulación (más del 50 %) del fósforo se presentó en las flores.

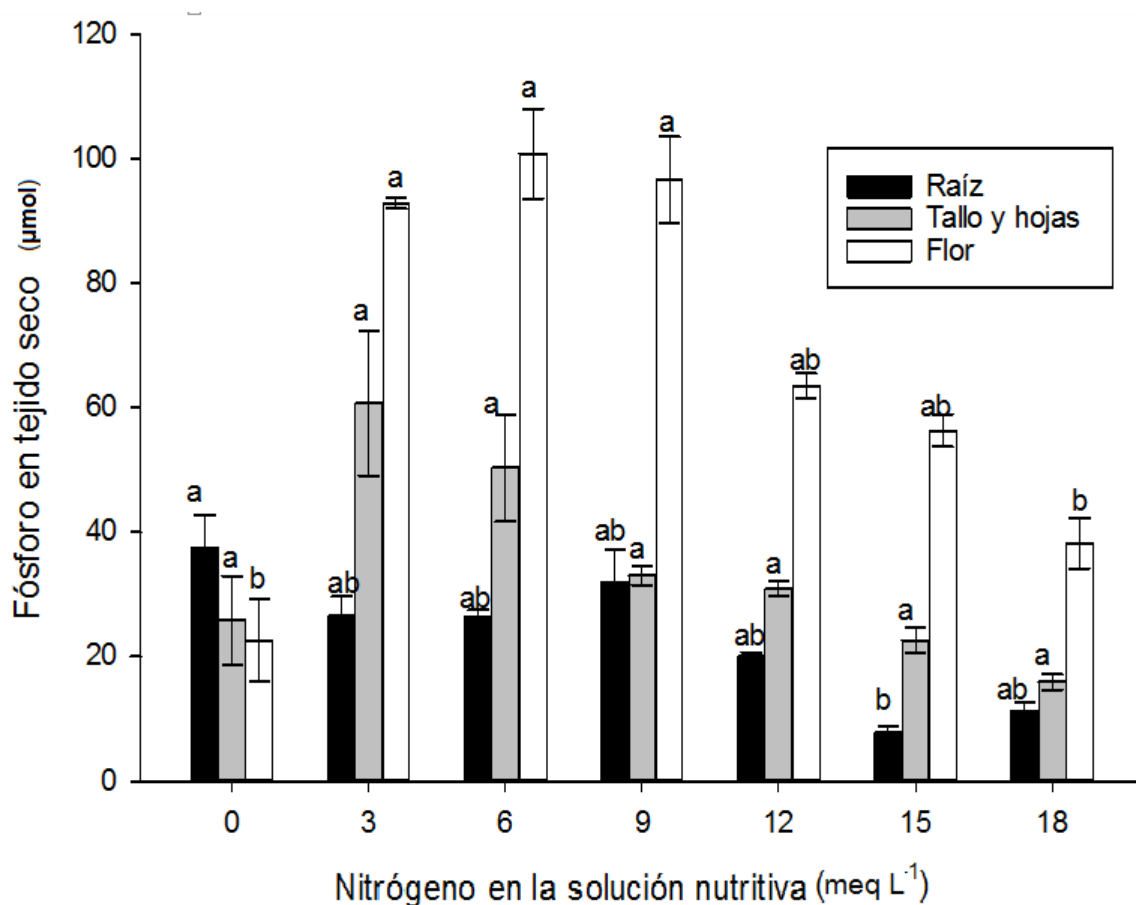


Figura 2. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de fósforo en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias  $\pm$  error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

El fósforo conforma del 0.15 al 1 % del peso seco en la mayoría de las plantas, con valores de suficiencia de 0.20 a 0.40 % en tejidos de hojas de reciente maduración. Valores críticos para el fósforo son normalmente menores a 0.20 % (cuando hay deficiencia) y mayores a 1 % (cuando hay exceso). El contenido de fósforo en las hojas tiende a disminuir con la edad. Altas concentraciones de fósforo son encontradas en hojas nuevas y en sus peciolo. La relación entre el nitrógeno y el fósforo en la mayoría de los cultivos es de 3 a 1 (Jones, 1998).

En éste y en numerosos trabajos se ha reportado que hay una interacción positiva entre el nitrógeno y el fósforo; el nitrógeno puede incrementar el consumo de fósforo mediante el aumento en el crecimiento de las raíces por la habilidad que tienen para absorber y traslocar el fósforo (Fageria, 2001).

Las interacciones entre dos nutrimentos son importantes cuando el contenido de ambos está cerca del rango de deficiencia. Incrementando el suministro de solo un nutrimento mineral estimula el crecimiento el cual puede inducir a una deficiencia del otro debido a un efecto de disolución. En principio estas interacciones no específicas son verdad para cualquier nutrimento mineral con contenidos cerca del contenido crítico de deficiencia. Proporciones óptimas entre nutrimentos en plantas son por lo tanto tan importantes como el contenido absoluto (Fageria, 2001).

### 5.5.3. Potasio

En la Figura 3, se muestra que la mayor acumulación de potasio en los diferentes órganos se dio con el tratamiento de 6 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno en la SN, y que este elemento fue absorbido en mayor cantidad por las flores.

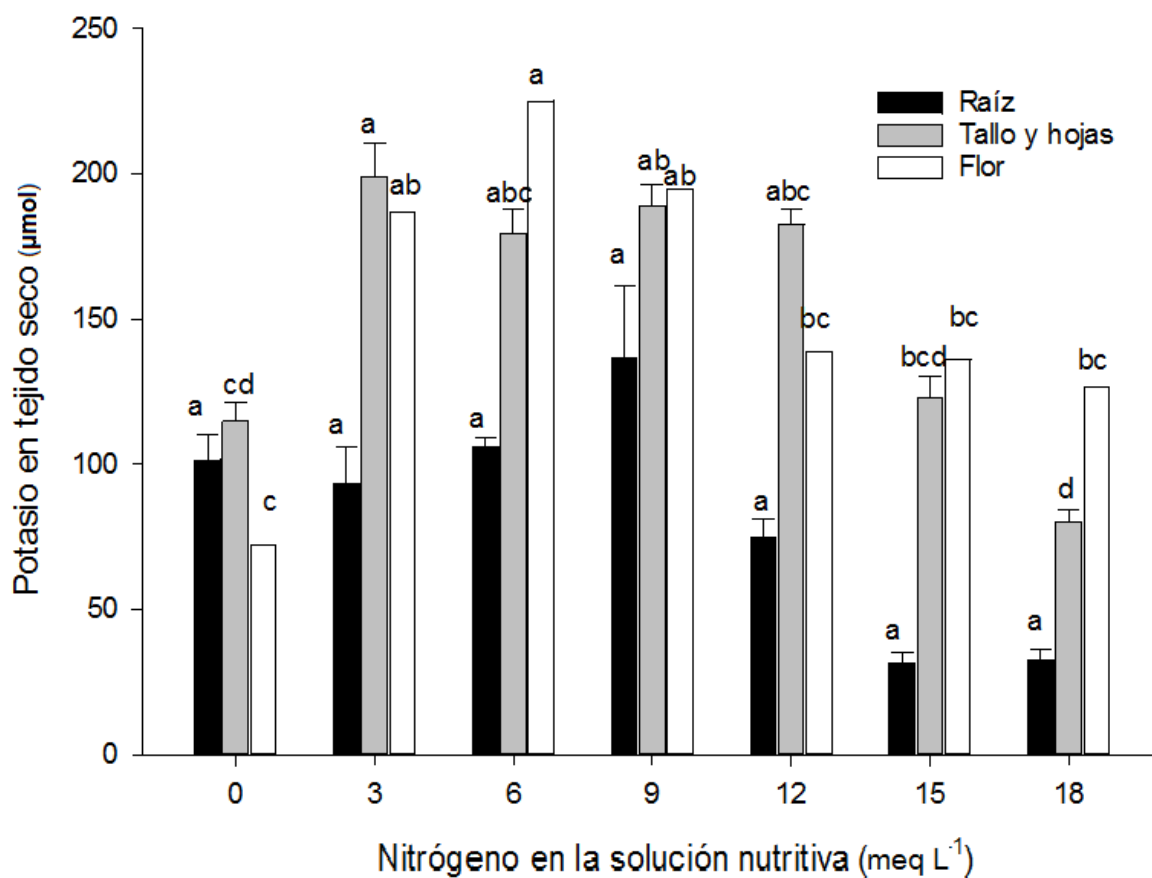


Figura 3. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de potasio en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias  $\pm$  error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

El potasio es único entre los nutrimentos esenciales, por la diversidad de roles que tiene en los procesos metabólicos de las plantas: activación de enzimas y actuando como un agente osmótico para mantener la presión de turgencia de los tejidos. Un adecuado nivel de potasio es esencial para el uso eficiente del nitrógeno en los cultivos. El potasio podría estar involucrado con el consumo de nitrato a través de dos procesos: primero, el potasio se ha encontrado que es co-transportado en el xilema con el nitrato como un catión acompañante de las raíces a la parte aérea de la planta y luego reciclado al floema con malato; en segundo lugar, porque el nitrato es tomado por las raíces de las plantas vía un proceso activo, el consumo de nitrato puede ser afectado mediante la influencia del potasio en la traslocación de asimilados fotosintéticos, necesario para apoyar este proceso activo de absorción (Fageria, 2001).

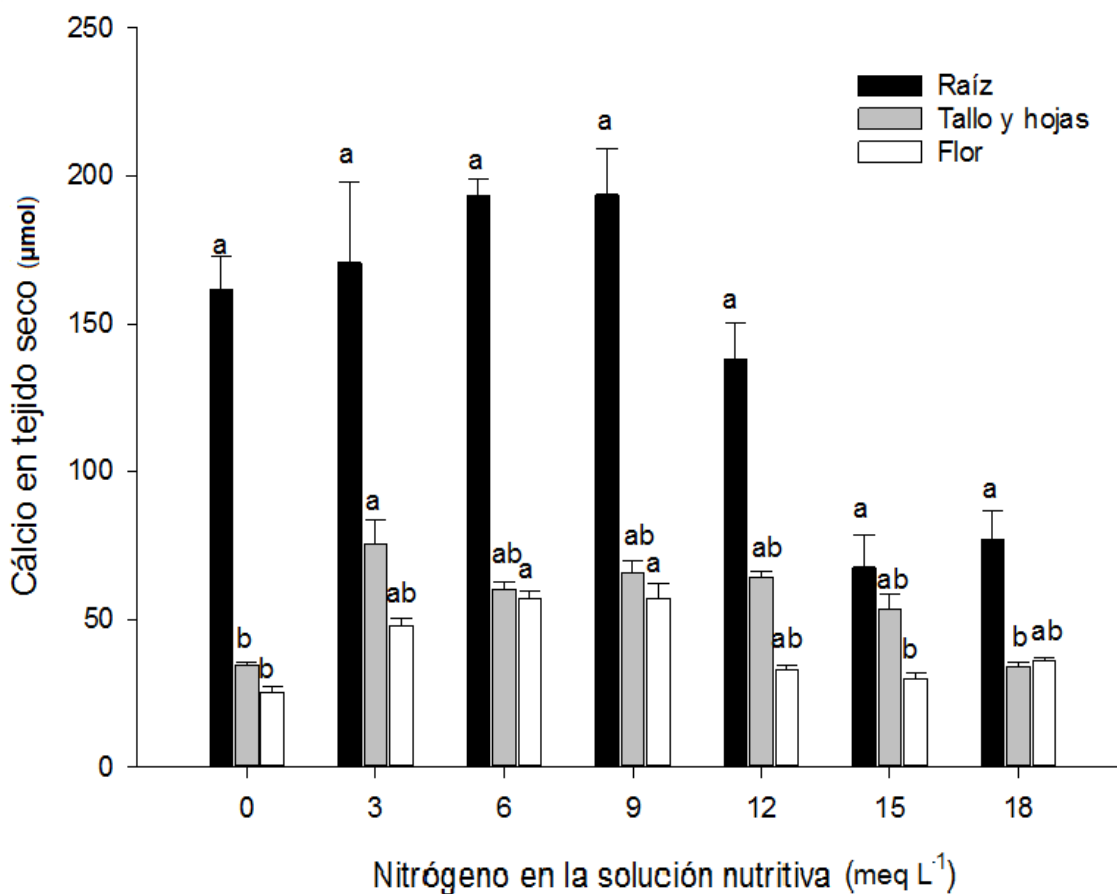
Salazar-Orozco *et al.* (2013) señalan que el potasio es un activador de enzimas esenciales para la fotosíntesis y la respiración, así como contribuyente al potencial osmótico de las células, por lo que una deficiencia provoca alteraciones en diversos procesos metabólicos como el transporte y acumulación de diversos compuestos nitrogenados libres o solubles; por el contrario, cuando el nivel de potasio es alto se estimula la producción de ATP. Asimismo, trabajando con *Lilium*, encontraron que su aroma es una mezcla de terpenos, estéres y aldehídos, cuya concentración fue modificada por la nutrición nitrogenada y potásica suministrada durante el cultivo.

#### 5.5.4. Calcio

En todos los tratamientos la mayor acumulación de calcio se dio en las raíces (Figura 4), lo cual puede ser ocasionado por la baja movilidad del elemento. Islam *et al.* (2004) mencionan que el factor que limita la traslocación del calcio a las hojas es la alta humedad relativa del aire durante la noche, que en nuestro caso fue del 70 % en promedio (Cuadro 1).

Como el calcio no es móvil en el floema, no puede ser retraslocado desde las hojas a tejidos jóvenes, y el transporte del xilema a órganos que no tienen una alta tasa de transpiración (frutos) es bajo. Su flujo a las hojas también disminuye después de la madurez, a pesar de que la tasa de transpiración por la hoja se mantiene constante, y esta respuesta puede estar relacionada a una disminución en la actividad de la nitrato reductasa, mientras que las hojas jóvenes toman un rol de asimilación más significativo (Marshner, 2002).

Por otra parte, Valdez-Aguilar *et al.* (2015), encontraron que en las raíces de *lisanthus* cv. ABC Blue Rin, con dosis de calcio de 6 meq L<sup>-1</sup>, similar a la concentración de calcio en la SN que se tuvo en este trabajo (Cuadro 3), se favoreció la extracción de este elemento, ya que el nitrógeno fue aportado en forma de nitratos al 100 %, sin la presencia de amonio, el cual hubiera podido limitar la absorción del calcio y de otros cationes.

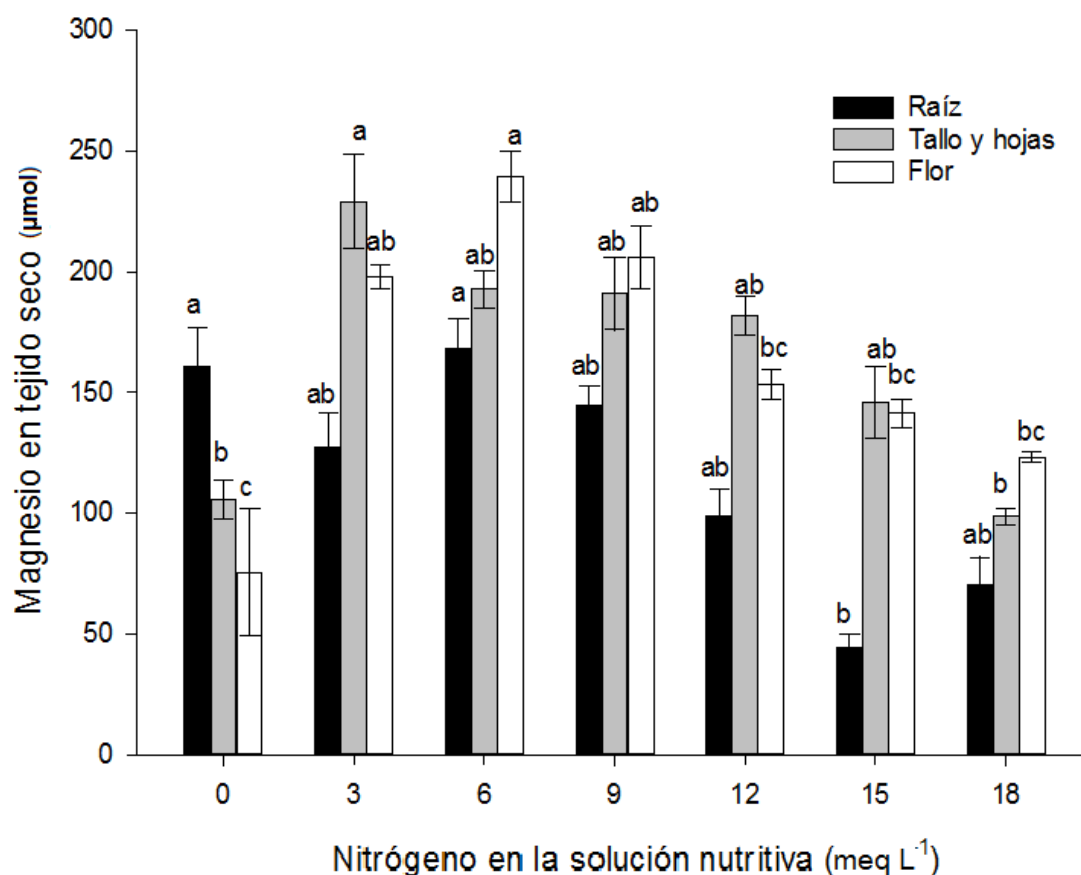


**Figura 4.** Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de calcio en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 L,avanda. Medias  $\pm$  error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).

#### 5.5.5. Magnesio

En la Figura 5 se observa que en el tratamiento testigo, la mayor cantidad de magnesio se concentró en las raíces, mismo comportamiento observado en el caso de nitrógeno y fósforo (Figuras 1 y 2). La mayor acumulación de magnesio

se dio en el tratamiento con 6 meq L<sup>-1</sup> en la SN, siendo las flores el órgano que presentó la mayor cantidad del elemento.



**Figura 5. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de magnesio en raíz, tallo con hojas y flores en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Medias  $\pm$  error estándar con letra distinta son diferentes estadísticamente (Tukey,  $P \leq 0.05$ ).**

Barker y Bryson (2007) mencionan que el nitrógeno puede inhibir o promover la acumulación de magnesio en las plantas, dependiendo de la forma en que este

presente. Con amonio, la absorción de magnesio es suprimida y con nitrato, el consumo de magnesio se incrementa.

En un cultivo hidropónico de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd.), la concentración de magnesio en hojas aumenta con la proporción de nitrato con respecto al amonio, a pesar de que todos los tratamientos recibieron la misma cantidad de nitrógeno. De manera similar la fertilización con magnesio incrementó la acumulación de nitrógeno en la planta (Barker y Bryson, 2007).

En general, se observa que al aplicar la dosis óptima de nitrógeno se incrementa la habilidad de las plantas para absorber los demás macronutrientes. Esto va de acuerdo con Ciampitti y Vyn (2013) quienes mencionan que en respuesta a una adecuada aplicación de nitrógeno, las plantas responden absorbiendo un porcentaje mayor de fósforo, potasio y azufre, lo que incrementa la calidad y rendimiento del cultivo.

Alcántar *et al.* (2012) indican que el contenido de un determinado elemento en el tejido vegetal no indica en ninguna forma la magnitud en que dicho elemento es requerido fisiológicamente. Es por ello, que la necesidad absoluta de las plantas por un determinado nutriente es difícil de establecer. Aunado a lo anterior se deben tener en cuenta las complejas interacciones (antagonismos y sinergismos) entre los elementos, el difícil desentrañamiento de las acciones de los elementos en los procesos fisiológicos, así como la influencia mutua en la absorción.

## 5.6. Curvas de abastecimiento nutrimental

En las Figuras 6, 7, 8 y 9 se observa que al graficar los valores de área foliar, del nitrógeno extraído, de la materia seca total y de la parte aérea, versus la curva de suministro de nitrógeno se tienen tres regiones claramente definidas. En la primera, la tasa de crecimiento aumenta con incrementos en el suministro de nitrógeno (rango de deficiencia). En la segunda, la tasa de crecimiento alcanza un máximo y permanece sin que la afecte el incremento en el suministro de nitrógeno en la SN (rango de suficiencia o plateau). Finalmente, en la tercera región, los valores de las variables evaluadas caen con incrementos en el suministro de nitrógeno en la SN (rango de toxicidad).

En la Figura 6 se observa que la variable área foliar presentó un rango de suficiencia que abarca varios de los tratamientos evaluados, el cual se obtiene al suministrar, de acuerdo a los modelos estimados, de 3.24 a 10.95 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno en la SN. Mientras que en la Figura 7 se tiene que la máxima acumulación de nitrógeno en el tejido seco se obtuvo con concentraciones de 5.30 a 8.26 meq L<sup>-1</sup> en la SN. Sin embargo, para las variables peso seco total y peso seco de la parte aérea (Figuras 8 y 9), el rango de suficiencia es más estrecho que en las demás variables, ya que al aumentar de 6 a 9 meq L<sup>-1</sup>; la concentración de nitrógeno en la SN casi de inmediato se llega al rango de toxicidad, lo que va de acuerdo con Marschner (2002) quien indica que en todas las especies, el rango de suficiencia es relativamente estrecho para nitrógeno,

porque el consumo de lujo para este elemento tiene efectos desfavorables en el crecimiento y composición de la planta.

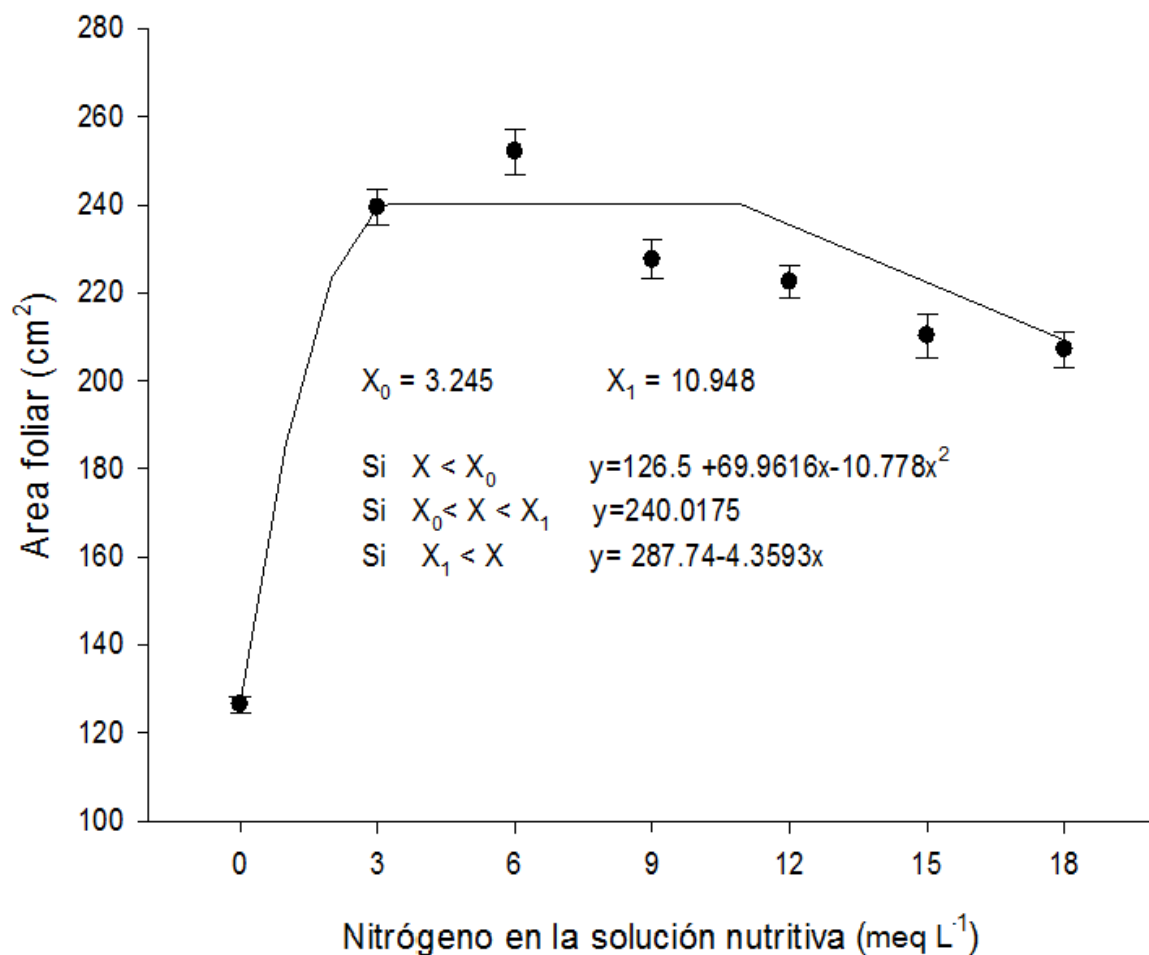


Figura 6. Curva de respuesta con análisis segmentado del área foliar y la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Las zonas de suficiencia son indicadas por el plateau de la línea. El nivel óptimo ( $X_0$ ) y el nivel crítico de toxicidad ( $X_1$ ). Las barras representan el error estándar.

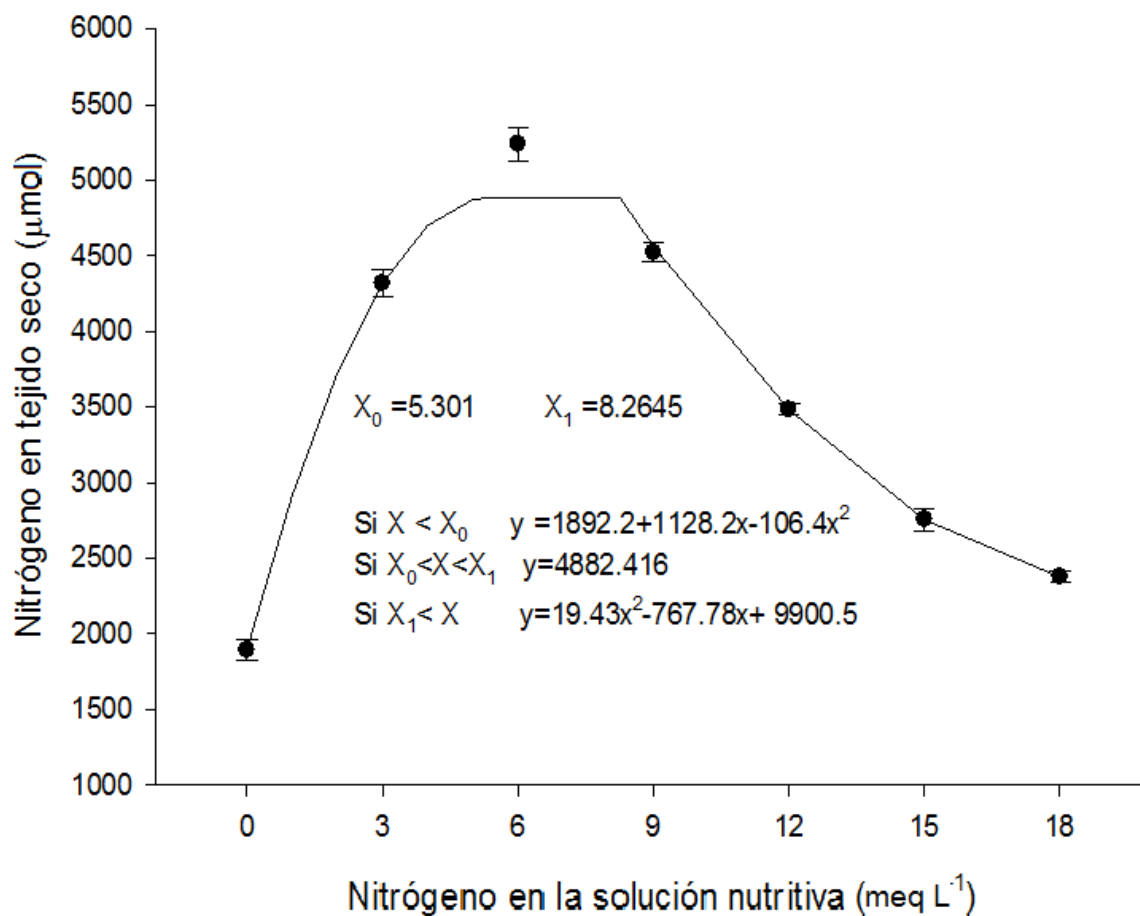


Figura 7. Curva de respuesta prevista con análisis segmentado del nitrógeno absorbido, afectados por la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Zonas de suficiencia son indicadas por el plateau de la línea. El nivel óptimo ( $X_0$ ) y el nivel crítico de toxicidad ( $X_1$ ). Barras representan el error estándar.

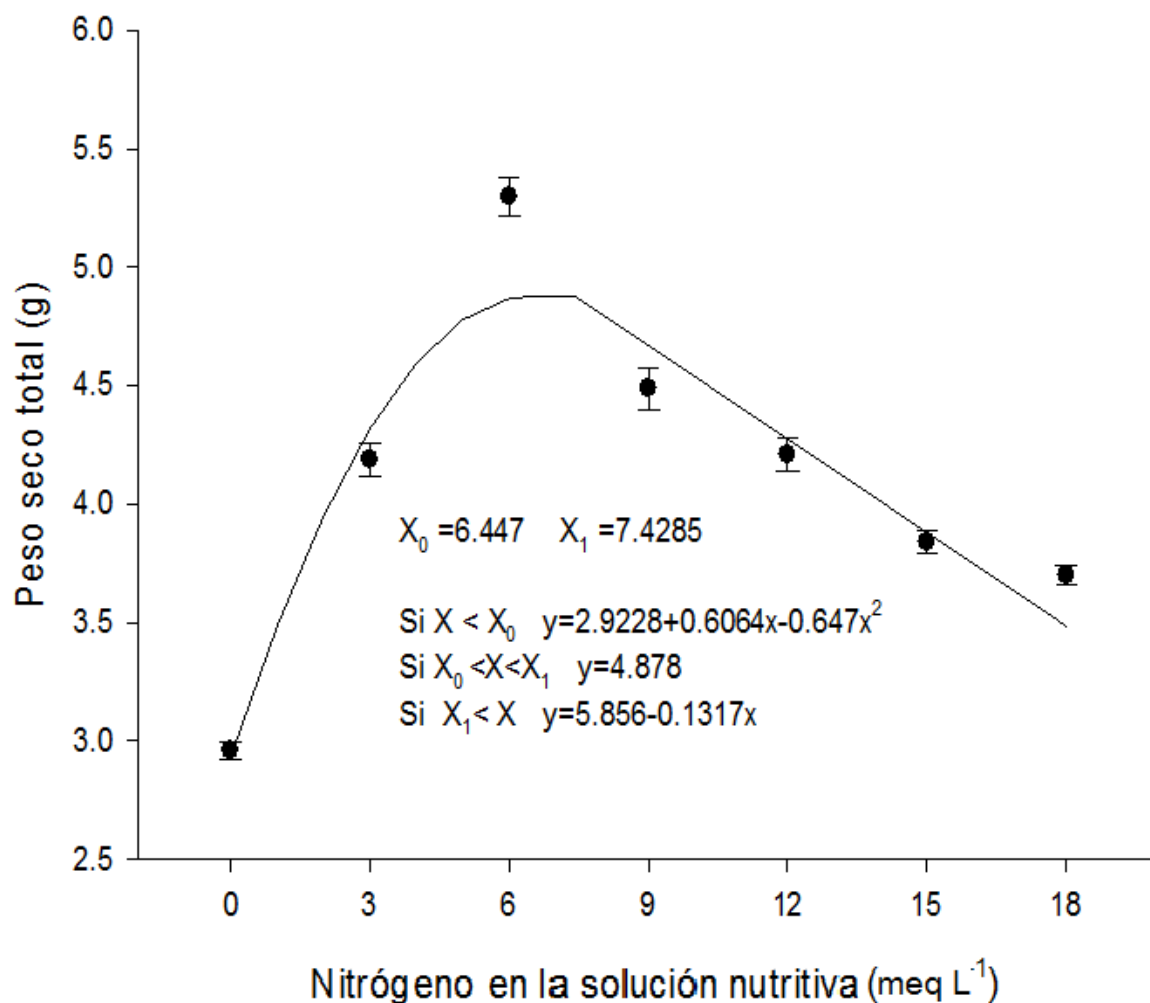


Figura 8. Curva de respuesta prevista con análisis segmentado del peso seco total, afectados por la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Zonas de suficiencia son indicadas por el plateau de la línea. El nivel óptimo ( $X_0$ ) y el nivel crítico de toxicidad ( $X_1$ ). Barras representan el error estándar.

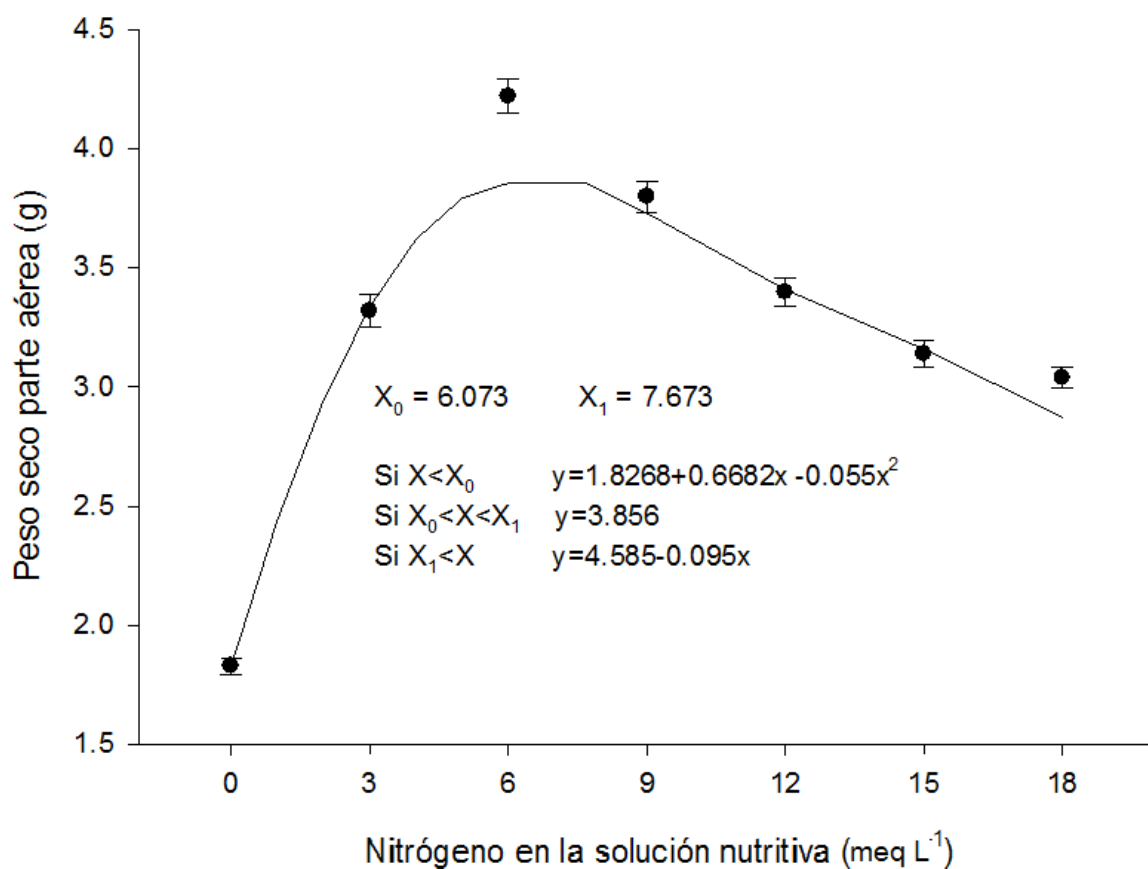
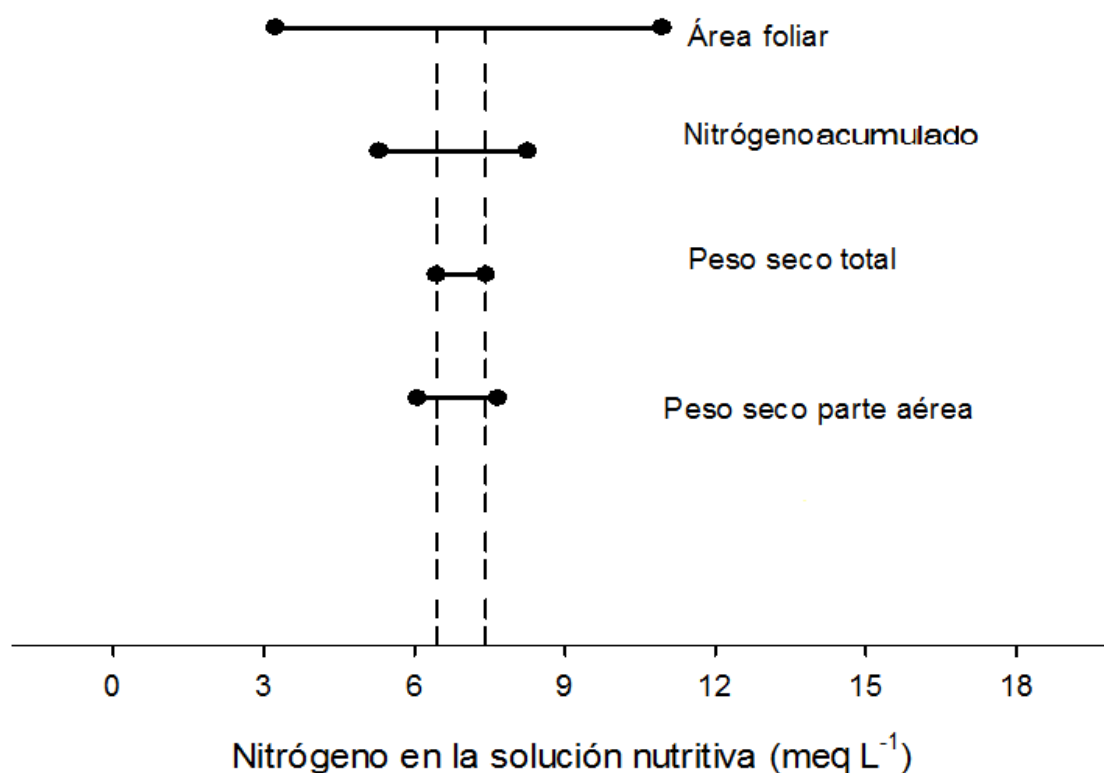


Figura 9. Curva de respuesta prevista con análisis segmentado del peso seco de la parte aérea, afectados por la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva en plantas de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda. Zonas de suficiencia son indicadas por el plateau de la línea. El nivel óptimo ( $X_0$ ) y el nivel crítico de toxicidad ( $X_1$ ). Barras representan el error estándar.

### 5.7. Rangos de suficiencia

En la Figura 10 se presenta el resultado obtenido al sobreponer los valores del rango de suficiencia o plateau encontrados en el análisis segmentado para cada variable. Se estima que el nivel crítico de nitrógeno en la solución nutritiva para lograr la máxima área foliar, la mayor cantidad de nitrógeno acumulado así como el mayor peso seco total y de la parte aérea de plantas de lisianthus cv, ABC2 Lavanda, es de 6.4 a 7.4 meq L<sup>-1</sup> de nitrógeno en la SN.



**Figura 10. Rangos de suficiencia de nitrógeno previstas por los modelos para área foliar, nitrógeno acumulado, peso seco total y de la parte aérea.**

## VI. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en las curvas de abastecimiento nutrimental, se concluye que la concentración de nitrógeno en la SN para el cultivo en tezontle de *lisianthus* cv. ABC2 Lavanda, se debe encontrar entre 6.4 y 7.4 meq L<sup>-1</sup>. Dentro de este rango se obtuvo también la mayor acumulación de biomasa y se incrementó la absorción de los demás macronutrientes. Bajo las condiciones experimentales en que se realizó esta investigación, se concluyó que la concentración foliar de nitrógeno de suficiencia para *lisianthus*, es del 1.5 %. La falta de nitrógeno en la SN alteró la distribución de la biomasa y de los macronutrientes, ya que en el tratamiento testigo los mayores contenidos se dieron en la raíz, mientras que en los demás niveles de nitrógeno, éste se acumuló en mayor cantidad en el tallo con hojas, el fósforo, potasio y magnesio se concentraron en las flores y el calcio en la raíz.

## VII. LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G.; Sandoval V., M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- Alcántar G., G.; Trejo-Tellez, L. I.; Fernández P., L.; Rodríguez M., M. de las N. 2012. Elementos esenciales. 37-42. *In*: Nutrición de Cultivos. Alcántar, G. G.; Trejo-Tellez, L. I. (eds.). Ediciones Mundi Prensa. D. F., México.
- Arellano C., L.; Peña L., A.; Flores R., A. 1991. Control químico en la altura del lisianthus (*Eustoma grandiflorum* G.) para su producción en maceta. *Revista Chapingo* 16(78):14-18.
- Armitage, A.M. 1993. Specialty Cut Flowers. Ed Varsity Press/ Timber Press. Portland Oregon, U.S.A. 372 p.
- Backes, F.A. A. L; Barbosa, J. G.; Sedyama, M.A. N.; Martínez, H. E. P.; Cecon, P. R.; Barbosa, M.S. 2006. Produção de lisianthus cultivado em vasos com diferentes soluções nutritivas e forma de condução. *Horticultura Brasileira* 24(1): 6-10.
- Barker, A. V.; Bryson, M. G. 2007. Nitrogen. pp 28-32. *In*: Handbook of Plant Nutrition. Barker A. V.; Pilbeam, J. D. (eds). CRC Press. New York, NY USA.

- Camargo, M. S.; Shimizu, M. K.; Saito, A. M.; Kameoka, H. C.; Mello, C. S.; Carmello, C. Q. A. 2004. Crescimento e absorção de nutrientes pelo lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) cultivado em solo. *Horticultura Brasileira* 22:143-146.
- Ciampitti, A. I.; Vyn, J. T. 2013. Grain nitrogen source changes over time in maize. *Review Crop Science Journal*. (3):366-377.
- Daughtrey, L.M.; Wick, L. R.; Peterson, L. J. 1995. Compendium of Flowering Potted Plant Diseases. Ed. APS Press; The American Phytopathological Society. 90 p.
- De la Riva-Morales, F. P.; Mazuela-Aguila, P. C.; Urrestarazu-Gavilán, M. 2013. Comportamiento productivo del lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) en cultivo sin suelo. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(2):141-150.
- Dole, M.J.; Wilkins, F. H. 2005. Floriculture Principles and Species. 2a Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 1023 p.
- Domínguez, R.A. 2002. Cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). Flores de altura. Arteaga Coahuila. Fecha de consulta: 6 de mayo de 2014 en <http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio2/Ponencia07.pdf>
- Epstein, E.; Bloom, J. A. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Second Edition. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts, USA. 460 p.

- Fageria, V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8):1269-1290.
- Fageria, N.K. 2009. The Use of Nutrients in Crop Plants. CRC Press Taylor & Francis Group, New York. 430 p.
- Financiera Nacional de Desarrollo. 2014. Fecha de consulta 7 de agosto de 2015 [http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Ornamentos%20\(abr%202014\).pdf](http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Ornamentos%20(abr%202014).pdf).
- García, E. 1973. Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Köpen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. 156 p.
- Griesbach, R. J. 1992. Correlation of pH and light intensity on flower color in potted *Eustoma grandiflorum* Grise. *HortScience* 27(7):817-818.
- Halevy, A.H.; Kofranek, A. M. 1984. Evaluation of lisianthus as a new flower Crop. *HortScience* 19:845-847.
- Harbaugh, B.K.; Woltz, S. S. 1991. *Eustoma* quality is adversely affected by low pH in root medium. *HortScience* 26(10):1279-1280.
- Harbaugh, B. K.; Bell, M. L.; Liang, R. 2000. evaluation of forty-seven cultivars of lisianthus as cut flower. *HortTechnology* 10(4):812-815.
- Hawkesford, M.; Horst, W.; Kichey, T.; Lambers, H.; Schjoerring, J.; Skrumsager, I.; White, P. 2012. Functions of Macronutrients, pp. 142-151. In: Mineral Nutrition of Higher Plants. 3<sup>rd</sup> ed. Marschner, P. (ed). Ed. Elsevier. USA.

- Islam, N.; Grindal, P. G.; Torre, S.; Gislerod, R. H. 2004. Effects of relative air humidity, light and calcium fertilitation on tipburn and calcium content of the leaves of *Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn. *European Journal of Horticultural Science* 69(1):29-36.
- Jones, Jr. J. B. 1998. Plant Nutrition Manual. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. 147 p.
- López-Bucio, J.; Cruz-Ramírez, A.; Herrera-Estrella, L. 2003. The role of nutrient availability in regulating root architecture. *Current Opinion in Plant Biology* 6:280-287.
- Marshner, H. 2002. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2a. edition. Academic Press. London, U.K. 889 p.
- Mazuela, P.; De La Riva, F.; Urrestarazu, G. M. 2007. Cultivo de lisianthus en perlita. *Planta Flor* 124:92-94.
- Melgares De Aguilar C., J. 1996. El cultivo de lisianthus (II parte). *Horticultura* 114:47-50.
- Nacry, P.; Bouguyon, E.; Gojon, A. 2013. Nitrogen acquisition by roots: physiological and developmental mechanism ensuring plant adaptation to a fluctuating resource. *Plant Soil* 370:1-29.
- Noordegraaf, C. 1998. Trends and Requirements in Floriculture in Europe. *Acta Horticulturae* 454:39-48.
- Oren, S. M.; Shaked, L. S.; Nissim, A. L.; Ron, E. 1999. Antocyanin pigmentation of lisianthus flower petals. *Plant Science* 140:81-86.

Pires, M. V.; Cunha, A. D.; Matos, C. S.; Heil, C. M. 2015. Nitrogen-use efficiency, nitrous oxide emissions and cereals production in Brazil: Current trends and forecast. *PLoS ONE* 10(8): 1-19.

SAGARPA-SICDE. 2010. Alternativa de negocio florícola. Fecha de consulta 3 de mayo de 2014 en <http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion=buscar&notaid=19141473054bc87b0400687>

SAKATA. 2005. History of Sakata Seed Corporation. Fecha de consulta 6 de mayo de 2014 en <http://www.sakata100th.jp/english/episode/01/>

SAKATA. 2011. Ficha técnica lisianthus. Fecha de consulta 25 de julio de 2015 en <http://www.sakataornamentals.com/>

Salazar-Orozco, G.; Ruíz-Sánchez, M.C.; Valdez-Aguilar, L.A.; Pistelli, L.; Ruíz-Olmos, C.; Grassotti, A. 2013. Influencia de la fertilización nitrogenada y potásica en la calidad aromática de flores de *Lilium* "Starfighter". *Información Técnica Económica Agraria* 109: 3-12.

Sánchez, E.; Soto, J. M.; Ruíz, J. M.; Romero, L. 2006. Asimilación de nitrógeno en raíces y hojas de frijol ejotero: deficiencia vs toxicidad de nitrógeno. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(3):187-195.

SAS Institute Inc. 2006. Base SAS 9.1.3 Procedures Guide. 2<sup>a</sup> edition. Volumes 1, 2, 3, y 4. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1906 p.

Sotomayor, L. E.; Escobar, T. M.; Rosas, G. C. 2011. Propagación de lisianthus cv. Azul por esquejes en macetas de turba bajo nebulización, con distintas concentraciones de ácido  $\beta$ -indolbutírico, en el Valle de Azapa. *IDESIA* (Chile). 29: 99-102.

Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution, pp. 633-649 *In*: Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress on Soilless Culture. Wageningen, The Netherlands.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. Fisiología Vegetal. Traducido al español por Beatriz Blat Egea. Universitat Jaume I de Castellón, España. 1338 p.

Valdez-Aguilar, L.A.; Hernández-Pérez A.; Villegas-Torres, O.G.; Alía-Tejacal, I.; Trejo-Télles, L.I.; Sáinz-Aispuro, M. 2015. The interaction ammonium with calcium in lisianthus. *Horticulture, Environment and Biotechnology* (en prensa).

## ANEXOS

**Cuadro 1A. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de nitrógeno en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Nitrógeno (meq·L <sup>-1</sup> ) | Raíz (μmol) | Tallo con hojas (μmol) | Flor (μmol) | Total (μmol) |
|----------------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------|
| 0                                | 777 ab      | 705 b                  | 409 c       | 1892 c       |
| 3                                | 701 abc     | 2068 a                 | 1551 ab     | 4319 ab      |
| 6                                | 758 abc     | 2106 a                 | 2378 a      | 5241 a       |
| 9                                | 869 a       | 1856 ab                | 1709 ab     | 4523 ab      |
| 12                               | 394 abc     | 1582 ab                | 1510 ab     | 3486 abc     |
| 15                               | 252 bc      | 1174 ab                | 1332 b      | 2756 bc      |
| 18                               | 233 c       | 850 b                  | 1295 b      | 2378 c       |
| DMS:                             | 527         | 1187                   | 869         | 1907         |
| C.V. (%)                         | 33.22       | 28.82                  | 21.25       | 19.46        |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ ; DMS: diferencia mínima significativa; C.V. coeficiente de variación.

**Cuadro 2A. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de fósforo en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Nitrógeno (meq·L <sup>-1</sup> ) | Raíz (μmol) | Tallo con hojas (μmol) | Flor (μmol) | Total (μmol) |
|----------------------------------|-------------|------------------------|-------------|--------------|
| 0                                | 37 a        | 26 <sup>NS</sup>       | 23 b        | 86 c         |
| 3                                | 27 ab       | 61                     | 93 a        | 180 a        |
| 6                                | 26 ab       | 50                     | 101 a       | 178 a        |
| 9                                | 32 ab       | 33                     | 97 a        | 162 ab       |
| 12                               | 20 ab       | 31                     | 64 ab       | 114 bc       |
| 15                               | 8 b         | 23                     | 56 ab       | 87 c         |
| 18                               | 11ab        | 16                     | 38 b        | 65 c         |
| DMS:                             | 27          | -                      | 48          | 61           |
| C.V. (%)                         | 42.54       | -                      | 25.61       | 17.71        |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ ; DMS: diferencia mínima significativa; C.V. coeficiente de variación;

<sup>NS</sup>: no significativo

**Cuadro 3A. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de potasio en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Nitrógeno<br>(meq·L <sup>-1</sup> ) | Raíz (μmol)       | Tallo con hojas<br>(μmol) | Flor (μmol) | Total (μmol) |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------|--------------|
| 0                                   | 101 <sup>NS</sup> | 115 cd                    | 72 c        | 289 bc       |
| 3                                   | 94                | 199 a                     | 187 ab      | 479 a        |
| 6                                   | 106               | 180 abc                   | 225 a       | 511 a        |
| 9                                   | 137               | 189 ab                    | 195 ab      | 520 a        |
| 12                                  | 75                | 183 abc                   | 139 bc      | 397 ab       |
| 15                                  | 32                | 123 bcd                   | 136 bc      | 291 bc       |
| 18                                  | 33                | 80 d                      | 127 bc      | 240 c        |
| DMS:                                |                   | 72                        | 78          | 149          |
| C.V. (%)                            |                   | 16.96                     | 18.12       | 13.7         |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ ; DMS: diferencia mínima significativa; C.V. coeficiente de variación; <sup>NS</sup>: no significativo.

**Cuadro 4A. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de calcio en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Nitrógeno<br>(meq·L <sup>-1</sup> ) | Raíz<br>(μmol)    | Tallo con<br>hojas (μmol) | Flor (μmol) | Total (μmol) |
|-------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------|--------------|
| 0                                   | 161 <sup>NS</sup> | 34 b                      | 25 b        | 221 ab       |
| 3                                   | 171               | 75 a                      | 48 ab       | 294 a        |
| 6                                   | 193               | 60 ab                     | 57 a        | 310 a        |
| 9                                   | 194               | 66 ab                     | 57 a        | 316 a        |
| 12                                  | 138               | 64 ab                     | 33 ab       | 235 ab       |
| 15                                  | 68                | 53 ab                     | 30 b        | 151 b        |
| 18                                  | 77                | 34 b                      | 36 ab       | 147 b        |
| DMS:                                |                   | 40                        | 26          | 143          |
| C.V. (%)                            |                   | 26.3                      | 23.6        | 21.5         |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ ; DMS: diferencia mínima significativa; C.V. coeficiente de variación; <sup>NS</sup>: no significativo.

**Cuadro 5A. Efecto de la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva sobre la acumulación de magnesio en la raíz, el tallo con hojas y las flores de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. ABC2 Lavanda.**

| Nitrógeno<br>(meq·L <sup>-1</sup> ) | Raíz (μmol) | Tallo con hojas<br>(μmol) | Flor (μmol) | Total (μmol) |
|-------------------------------------|-------------|---------------------------|-------------|--------------|
| 0                                   | 161 a       | 106 b                     | 76 c        | 342 cd       |
| 3                                   | 127 ab      | 229 a                     | 198 ab      | 554 ab       |
| 6                                   | 168 a       | 193 ab                    | 239 a       | 601 a        |
| 9                                   | 144 ab      | 191 ab                    | 206 ab      | 541 ab       |
| 12                                  | 99 ab       | 182 ab                    | 154 bc      | 434 bc       |
| 15                                  | 44 b        | 146 ab                    | 142 bc      | 331 cd       |
| 18                                  | 71 ab       | 99 b                      | 123 bc      | 292 d        |
| DMS:                                | 113         | 117                       | 86          | 136          |
| C.V. (%)                            | 34.8        | 25.6                      | 18.9        | 11.0         |

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con  $P \leq 0.05$ ; DMS: diferencia mínima significativa; C.V. coeficiente de variación.