



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
COORDINACIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

**CURVA DE ABASTECIMIENTO NUTRIMENTAL DE POTASIO EN
LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn)**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta:

GUADALUPE RAMOS ROSETE

Bajo la supervisión de:

DR. JOEL PINEDA PINEDA

Chapingo, Estado de México, mayo 2022



APROBADA

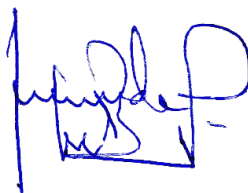


Instituto de Horticultura

CURVA DE ABASTECIMIENTO NUTRIMENTAL DE POTASIO EN LISIANTHUS
(*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn)

Tesis realizada por **Guadalupe Ramos Rosete** 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



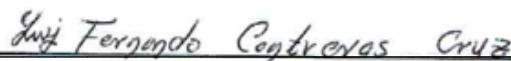
DIRECTOR: _____

DR. JOEL PINEDA PINEDA



ASESOR: _____

DRA. ANA MARÍA CASTILLO GONZÁLEZ



ASESOR: _____

DR. LUIS FERNANDO CONTRERAS CRUZ

CONTENIDO

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Importancia del lisianthus	3
3.2. Origen.....	4
3.3. Descripción Botánica.....	4
3.4. Exigencias climáticas	4
3.4.1 Luz.....	4
3.4.2 Temperatura	5
3.5. Propagación	5
3.6. Trasplante	6
3.7. Ciclo del cultivo	7
3.8. Formación de roseta	8
3.9. Nutrición	8
3.10. Riego	10
3.11. Floración y cosecha	11
3.12. Plagas y enfermedades	11
3.13. Sintomatología de diagnóstico nutrimental.....	12
3.13.1. Síntomas de deficiencia y toxicidad	12

3.14.	Análisis de tejido.....	14
3.15.	Factores que afectan las concentraciones de nutrientes	16
3.15.1.	Genotipo	16
3.15.2.	Etapa de la planta.....	16
3.15.3.	Interacciones nutrimentales.....	16
3.16.	Curvas de abastecimiento nutrimental	17
3.17.	Rangos de abastecimiento nutrimental	18
4.	METODOLOGÍA	21
4.1.	Ubicación del experimento.....	21
4.2.	Sustrato	22
4.3.	Riego	22
4.5.	Material vegetal.....	22
4.6.	Diseño de tratamientos	23
4.7.	Diseño experimental	25
4.8.	Variables evaluadas	25
4.8.1.	Materia seca.....	25
4.8.2.	Análisis nutrimental foliar.....	25
4.8.3.	Longitud de planta.....	28
4.8.4.	Diámetro de tallo	28
4.8.5.	Número de hojas	28
4.8.6.	Área foliar.....	29
4.8.7.	Unidades SPAD	30
4.8.8.	Días a cosecha.....	30
4.8.9.	Número de brotes	31
4.8.10.	Número de botones florales.....	31
4.8.11.	Diámetro floral	31

4.8.12.	Número de entrenudos	31
4.8.13.	Vida en florero	31
4.8.14.	Número de botones abiertos en postcosecha	31
4.9.	Análisis estadístico	32
5.	RESULTADOS	32
5.1.	Análisis nutrimental foliar	32
5.1.1.	Nitrógeno	32
5.1.2.	Fósforo	33
5.1.3.	Potasio	34
5.1.4.	Calcio	35
5.1.5.	Magnesio	36
5.1.6.	Hierro	37
5.1.7.	Cobre	38
5.1.8.	Zinc	38
5.1.9.	Manganeso	39
5.1.10.	Sodio	40
5.2.	Variables de crecimiento y desarrollo	41
5.2.1.	Materia seca	41
5.2.2.	Diámetro de tallo	43
5.2.3.	Número de hojas y número de entrenudos	44
5.2.4.	Área foliar	44
5.2.5.	Longitud de plantas	44
5.2.6.	Unidades SPAD	45
5.3.	Variables de calidad de flor en cosecha	46
5.3.1.	Días a cosecha	46
5.3.2.	Número de brotes	46
5.3.3.	Número de botones	46
5.3.4.	Diámetro floral	46

5.4. Variables de calidad de flor en postcosecha.....	47
5.4.1. Días en florero.....	47
4.9.1. Número de botones abiertos en postcosecha	47
5.5. Curva de abastecimiento nutrimental	47
6. DISCUSIÓN	52
6.1. Análisis nutrimental	52
6.2. Variables de crecimiento y desarrollo.....	55
6.3. Calidad postcosecha.....	56
6.4. Curvas de abastecimiento de potasio	57
7. CONCLUSIONES	58
8. LITERATURA CITADA.....	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Temperatura y humedad relativa registradas al interior del invernadero durante el periodo de crecimiento de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> (Raf.) Shinn) cv. Mariachi Blue.	21
Cuadro 2. Temperatura del sustrato registradas durante el periodo de crecimiento de cultivo de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> (Raf.) Shinn) cv. Mariachi Blue.	22
Cuadro 3. Balance de cationes y aniones de las soluciones nutritivas en meq L ⁻¹ aplicadas como tratamientos durante el ciclo de cultivo de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> (Raf.) Shinn) cv. Mariachi Blue.	23
Cuadro 4. Análisis químico del agua utilizada para la preparación de las soluciones nutritivas de los tratamientos.	24

Cuadro 5. Fuentes y cantidades de fertilizantes ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) y ácidos ($\text{mL}\cdot\text{L}^{-1}$) utilizados en las soluciones nutritivas aplicadas como tratamientos durante el ciclo de cultivo de lisianthus (<i>Eustoma grandiflorum</i> (Raf.) Shinn) cv. Mariachi Blue.....	24
Cuadro 6. Contenido de nitrógeno foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.	33
Cuadro 7. Contenido de fósforo foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.	34
Cuadro 8. Contenido de potasio foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.	35
Cuadro 9. Contenido de calcio foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.	36
Cuadro 10. Contenido de magnesio foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.....	36
Cuadro 11. Contenido de hierro foliar ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.....	37
Cuadro 12. Contenido de cobre foliar ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.....	38
Cuadro 13. Contenido de zinc foliar ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.....	39

Cuadro 14. Contenido de manganeso foliar ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.....	40
Cuadro 15. Contenido de sodio foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.	41
Cuadro 16. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva en el peso seco de diferentes órganos de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.....	42
Cuadro 17. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva en el diámetro medio (mm) de tallo de lisianthus cv. Mariachi Blue.....	44
Cuadro 18. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva en número de entrenudos, número de hojas y área foliar de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.	45
Cuadro 19. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva en el contenido de clorofila (unidades SPAD) en hojas de lisianthus cv. Mariachi Blue.	45
Cuadro 20. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva en crecimiento de lisianthus cv. Mariachi Blue al momento de la cosecha.	46
Cuadro 21. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva en la vida postcosecha y el número de flores abiertas en florero de lisianthus cv. Mariachi Blue.....	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre las concentraciones de nutrientes y el crecimiento o rendimiento. Basado en Jones (1967).	18
Figura 2. Destilador por arrastre de vapor.	26
Figura 3. Determinación de fósforo en un espectrofotómetro GENESYS 10UV®.	27
Figura 4. Determinación de cationes en un fotómetro de llama Sherwood M410.	27
Figura 5. Determinación de micronutrientes en un espectrofotómetro de absorción atómica AVANTA GBC®.	28
Figura 6. Medición de área foliar en plantas de lisianthus, con un integrador de área foliar LI-COR 3100.....	29
Figura 7. Medición del contenido de clorofila en hojas de lisianthus con un medidor portátil de clorofila SPAD 502 Konica Minolta.....	30
Figura 8 Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva en el peso seco total de lisianthus.....	43
Figura 9. Curva respuesta de peso seco total en función de la concentración de potasio en solución nutritiva en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.....	49
Figura 10. Curva respuesta de peso seco total en función por la concentración de potasio en el tejido foliar en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.....	49
Figura 11. Curva respuesta del potasio absorbido por las hojas (K %) en función de la dosis aplicada en solución nutritiva K (meq·L ⁻¹).....	50
Figura 12. Curva respuesta del área foliar en función de la concentración de potasio en la solución nutritiva en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.....	51

Figura 13. Curva respuesta del área foliar en función de la concentración de potasio en el tejido foliar de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.52

DEDICATORIA

A Dios, mi padre celestial, por permitirme concluir esta etapa y ser mi fortaleza en todo tiempo.

A mi padre Mario Ramos Martínez† porque tus palabras y deseos de verme cumplir mis metas me fortalecieron aun en tu ausencia.

A mi madre Petronila Rosete Amador, por darme ánimo cada día y siempre creer en mí, por tu ejemplo de lucha en todos los aspectos de la vida.

A mis hermanos Lucila, Jorge, Arturo y Lidia, por ser un gran ejemplo y brindarme consejos.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al pueblo mexicano que han hecho posible la realización de este trabajo de investigación ofreciendo los recursos necesarios.

A mi alma mater la Universidad Autónoma Chapingo que me brindado el espacio y recursos para mi estancia en este posgrado.

Al Instituto de Horticultura y los profesores que, con las enseñanzas impartidas en cada curso, sustentaron el conocimiento y crecimiento profesional

A mi comité asesor Dr. Joel Pineda Pineda, Dra. Ana María Castillo González y Dr. Luis Fernando Contreras Cruz por el tiempo dedicado, disposición, confianza, asesoría, correcciones y contribuciones en cada etapa de esta investigación y durante mis estudios.

Al Dr. José Oscar Mascorro Gallardo, coordinador del Posgrado en Horticultura por la disposición y ayuda brindada.

Al Dr. Alejandro F. Barrientos Priego, actual coordinador del Posgrado en Horticultura por su ayuda brindada para la mejora del presente trabajo de investigación.

A mis colegas y amigos Manuel Ávila Lira, Carolina Rivera Cabello, Elizabeth Gaytán Campos, Amparo Hernández y Sergio Aparicio, por su valioso apoyo en las actividades académicas, campo e investigación.

A la laboratorista Hayde por su paciencia y ayuda en las actividades de laboratorio.

DATOS BIBLIOGRÁFICOS

Información personal

Nombre:	Guadalupe Ramos Rosete
Fecha de nacimiento:	12 de febrero de 1997
Lugar de nacimiento:	Tochimilco, Puebla, México
Profesión:	Lic. en Agronomía en Horticultura Protegida
Cédula profesional:	12194527

Desarrollo académico

Preparatoria (2012-2015)	Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, México.
Licenciatura (2015-2019)	Licenciatura en Agronomía en Horticultura Protegida, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo.

RESUMEN

CURVA DE ABASTECIMIENTO NUTRIMENTAL DE POTASIO EN LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn)

Lisianthus es un cultivo ornamental con alta demanda debido a su variedad de colores y duración en florero, pero al ser un cultivo de reciente introducción al mercado, es necesaria la generación de información respecto a sus necesidades nutrimentales. El objetivo de este estudio fue elaborar la curva de abastecimiento de potasio, para establecer las dosis adecuadas a aplicar en solución nutritiva que se relacionen con el mejor crecimiento. Se establecieron plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas en soluciones nutritivas con concentraciones crecientes de potasio (3.3, 4.4, 5.5, 6.6 y 7.8 meq·L⁻¹), como testigo se aplicó la solución Steiner al 75 %. Los tratamientos se establecieron en un diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones. Las variables peso seco total y área foliar registrada a los 180 días después de trasplante permitieron modelar las curvas de abastecimiento en función de las concentraciones crecientes de potasio aplicadas; se determinó que con dosis de 5.5 y 6.6 meq·L⁻¹ se produjo el mayor peso y con 4.4 y 5.5 meq·L⁻¹ se manifestó la mayor área foliar. Con la dosis baja de potasio se obtuvo menor altura, peso seco y área foliar. El intervalo de suficiencia se ubicó entre 3.3 a 3.6 % de potasio en tejido foliar relacionado con dosis aplicadas de 4.4 y 6.6 meq·L⁻¹ de K en la solución nutritiva, concentraciones fuera de este rango manifestaron un efecto antagónico al disminuir la acumulación Ca, Mg y Na en el tejido, aunque no se presentaron síntomas de deficiencia o toxicidad.

Palabras clave: *Eustoma grandiflorum*, suficiencia nutrimental, contenido nutrimental, solución nutritiva.

ABSTRACT

POTASSIUM NUTRIENT SUPPLY CURVE IN LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn)

Lisianthus is an ornamental crop with high demand due to its variety of colors and duration in vase but being a crop of recent introduction to the market, it is necessary to generate information regarding its nutritional needs. The objective of this study was to elaborate the potassium supply curve, to establish the appropriate doses to be applied in nutrient solution that are related to the best growth. Plants of lisianthus cv. mariachi Blue were established in nutrient solutions with increasing concentrations of potassium (3.3, 4.4, 5.5, 6.6 and 7.8 meq·L⁻¹), as a control the Steiner nutrient solution at 75% was applied. The treatments were established in a completely random experimental design, with four replications. The variables total dry weight and leaf area recorded at 180 days after transplantation allowed to model the supply curves according to the increasing concentrations of potassium applied; it was determined that with doses of 5.5 and 6.6 meq·L⁻¹ produced the highest weight and with 4.4 and 5.5 meq·L⁻¹ manifested the largest leaf area. With the low dose of potassium, less height, dry weight, and leaf area were obtained. The sufficiency range was between 3.3 to 3.6 % of potassium content in leaf tissue related to applied doses of 4.4 and 6.6 meq·L⁻¹ of potassium in the nutrient solution, concentrations outside this range manifested an antagonistic effect by decreasing the accumulation of Ca, Mg and Na in the tissue, although there were no symptoms of deficiency or toxicity.

Keywords: *Eustoma grandiflorum*, nutrient sufficiency, nutritional content, nutrient solution.

1. INTRODUCCIÓN

La floricultura es una subdisciplina de las ciencias hortícolas, que se ocupa del cultivo, manejo, mantenimiento y comercialización de ornamentales, la cual está creciendo rápidamente, reflejando la dinámica de este negocio a nivel mundial. La floricultura está relacionada con el cultivo de plantas con flores, ornamentales para jardín y floristería; incluye flores de corte, plantas de interior, de jardín, y plantas en maceta. Se ha convertido en una industria de rápido crecimiento, debido a la urbanización que ha aumentado las demandas de flores y productos florales, lo que la convierte en uno de los oficios comerciales más importantes de la agricultura. La floricultura tiene un mayor potencial por unidad de área que los cultivos de campo y por lo tanto está evolucionando como un negocio lucrativo (Wani et al., 2018).

Dentro de los cultivos que comprende la floricultura, el lisianthus se introdujo al mercado en los años 80 y se clasificó rápidamente entre las diez mejores flores de corte en todo el mundo debido a sus flores parecidas a rosas, excelente vida poscosecha y tonos azules, también se usa ampliamente como planta con flores para macetas (Harbaugh, 2007).

En México el lisianthus se introdujo a finales de la década de 1990, y se ha convertido en una alternativa popular entre los productores debido a la creciente demanda de esta flor de corte (Hernández-Pérez et al., 2016). Por consiguiente, es de importancia atender aspectos como la nutrición de este cultivo con miras a la obtención de un desarrollo óptimo y un uso adecuado de los fertilizantes.

El potasio es uno de los elementos más absorbidos por lisianthus que no ha sido ampliamente estudiado en su desarrollo en comparación con otros nutrimentos, su importancia en las plantas procede de sus funciones dentro de las células en varios procesos fisiológicos como la homeostasis iónica, la síntesis de proteínas, la osmorregulación, la activación de enzimas, la regulación del potencial de membrana y el equilibrio de carga (Marschner, 2012; Pandey & Mahiwal, 2020).

El diagnóstico nutrimental realizado a través del análisis químico del material vegetal permite utilizar la concentración mineral de las plantas como indicador de su situación nutrimental, asociada al logro de altos rendimientos y mejores características de calidad del producto cosechado, en relación con el grado de abastecimiento y disponibilidad nutrimental del suelo o sustrato (Alcántar-González & Trejo-Téllez, 2007). Sin embargo, no hay interpretaciones disponibles para todos los tipos y partes de las plantas, por lo que resultaría muy útil compilar muestras comparables de plantas sanas y con desequilibrios nutrimentales para usar los resultados como referencia, dicha información ayudaría a la interpretación de los síntomas de los trastornos nutricionales (Sonneveld & Voogt, 2009). Las curvas que representan esta relación varían en forma y carácter dependiendo de la concentración de nutrientes en el medio de crecimiento, la especie vegetal, la etapa de desarrollo de la planta y los factores ambientales (Fageria et al., 2010).

Los estudios para evaluar la respuesta de crecimiento de *lisianthus* frente a distintas dosis de potasio es escasa, de manera que se requiere de generación y reafirmación o comparación del conocimiento acerca del manejo nutricional de este cultivo, a fin de tener mejores herramientas para el diagnóstico nutrimental y poder hacer un buen uso de los fertilizantes para obtener buenos resultados en el crecimiento del cultivo.

2. OBJETIVOS

Elaborar la curva de abastecimiento de potasio e indicar los niveles de suficiencia, deficiencia y toxicidad con respecto al rendimiento del cultivo de *lisianthus* 'Mariachi Blue'.

Establecer las dosis de potasio adecuadas para un buen rendimiento y calidad de flor en *lisianthus* 'Mariachi Blue'.

Describir los síntomas de deficiencia y/o toxicidad de potasio en *lisianthus* 'Mariachi Blue'.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Importancia del lisianthus

Eustoma grandiflorum (Raf.) Shinn conocida también como *Eustoma andrewsii*, *E. russellianum*, *Lisianthus russellianus*, hoy en día el nombre común de este cultivo es Lisianthus (Harbaugh, 2007). Es una planta ornamental cuyo cultivo se puede establecer con la finalidad de usarse como flor de corte o bien para planta de maceta (Melgares de Aguilar, 1996a).

Su introducción en Europa y Japón se hizo en 1933, a través de sucesivos programas de mejora, realizados en su mayoría por empresas japonesas, se han obtenido variedades híbridas F1 de flores blancas, rojas, albaricoque o con mezcla de colores, con longitudes de 60 a 90 cm, y con flores sencillas o dobles (Melgares de Aguilar, 1996a), fue incluida por primera vez en los catálogos de semillas de Estados Unidos en la década de 1980 (Harbaugh, 2007). Ha tenido un reconocido impacto en el mercado de flores de corte, posicionándose dentro de las diez mejores flores cortadas en Europa, con más de 122 millones de tallos vendidos en 2001 después de tan solo tres décadas de su introducción, dicho impacto no ha sido igualado por ningún otro cultivo de flores (Harbaugh, 2007).

Al ser una flor muy atractiva para el consumidor gracias a su amplia gama de colores y buena vida postcosecha que va de dos a tres semanas en florero (Sakata, 2011), el mercado de lisianthus se expande continuamente lo cual representa una oportunidad para países como México de elevar la producción de esta ornamental. En México su introducción se realizó a finales de la década de 1990, y debido a la creciente demanda de los consumidores, se ha convertido en una alternativa popular para los productores impulsando su desarrollo en el país (Hernández-Pérez et al., 2016).

En cuanto a investigaciones, se tienen avances importantes en el manejo sanitario, nutrición, bioestimulación y sobre todo manejo postcosecha de las flores (Fernández-Pavía & Trejo-Téllez, 2018).

3.2. Origen

Es una planta ornamental originaria de la zona árida en la parte sur de los Estados Unidos y norte de México (Halevy & Kofranek, 1984). Su hábitat natural son las praderas de los estados llanos, se han observado en la parte norte de México, Texas, Oklahoma, Kansas, Nebraska, Colorado, Wyoming y Dakota del sur (Harbaugh, 2007).

3.3. Descripción Botánica

La Especie *Eustoma Grandiflorum* (Raf.) es una angiosperma dicotiledónea perteneciente a la familia de las Gencianáceas. La planta es anual o bianual, forma una roseta de hojas sobre la que se desarrolla un tallo monopoidal de 40 a 50 cm de largo que se ramifica apicalmente después de la aparición de varias hojas verdaderas; en cuyo extremo aparecen las flores sencillas largamente pediceladas con diámetro de 6 a 9 cm y de colores entre rosa, azul y purpura, en las variedades silvestres (Melgares de Aguilar, 1996a; Espinoza-Flores et al., 2009). La inflorescencia determinada parece ser más o menos paniculada con flores individuales en los pedúnculos. La flor tiene cáliz de cinco sépalos, corola, cinco estambres adheridos a la corola y ovario unicelular con dos estigmas (Zaccai & Edri, 2002). La floración es cuádruple, tipo rosas, con tallo robusto en variedades mejoradas.

3.4. Exigencias climáticas

3.4.1 Luz

La floración no está influenciada por el fotoperiodo, por lo que no son necesarias técnicas de iluminación para su desarrollo; sin embargo, podría mejorarse la calidad si se ilumina con luz en épocas que presenten baja radiación (Melgares de Aguilar, 1996b). Por otro lado, Zaccai y Edri (2002) mencionaron que el efecto del fotoperiodo sobre la floración es dependiente del cultivar y el *lisianthus* generalmente se considera una planta de día largo facultativa debido a que, en

etapas de alargamiento del tallo y la iniciación floral, condiciones de temperaturas altas, mayor intensidad lumínica y tratamientos de días largos pueden acelerar el desarrollo de la planta y la floración. Sakata (2011) consideró a lisianthus como una planta de respuesta a días largos, debido a que en etapas de invierno si se extiende el día gradualmente durante ocho semanas de 15 a 20 horas con iluminación (6500-9700 lux) cuando la planta haya formado la sexta hoja verdadera, se puede reducir el tiempo de floración.

La intensidad lumínica apropiada para lisianthus es de 43000 lux, por encima de este valor se debe usar sombreado de 20-30% para lograr el alargamiento de tallos (Dole & Wilkins, 2005).

3.4.2 Temperatura

Temperaturas de 23 °C durante el día y 18 °C durante la noche desde la siembra hasta la formación del tercer par de hojas son óptimas para evitar la formación de rosetas puesto que a partir de este momento la planta presenta una disminución en la sensibilidad a altas temperaturas. Temperaturas del día entre 30 y 35 °C y nocturnas entre 20 y 25 °C inducen a la formación de rosetas, el periodo de mayor sensibilidad para la planta es desde la siembra hasta la formación del cuarto par de hojas (Melgares de Aguilar, 1996b). Sakata (2011) recomienda una temperatura óptima para germinación de 21 °C y temperaturas óptimas de crecimiento entre 18 a 25 °C.

3.5. Propagación

La forma más común de propagación es mediante semilla, no obstante, puede reproducirse por esqueje o en cultivo *in vitro* (Melgares de Aguilar, 1996b).

La producción adecuada de plántulas de lisianthus mediante semilla se debe realizar en bandejas de multiceldas, y monitorear el control de temperatura y humedad, tanto del ambiente como del sustrato, evitando condiciones extremas que favorezcan el arrosetamiento (Barbaro et al., 2009).

La siembra puede realizarse en charolas plásticas con una mezcla de sustrato 60 % peat moss y 40 % perlita, la semilla se cubre con una capa ligera de vermiculita. Se debe mantener el sustrato húmedo hasta la emergencia de la plántula y mantener temperatura entre 20 y 24 °C y un pH entre 6 y 6.5; después de la emergencia de la plántula las charolas deben estar en un lugar ventilado y a temperaturas no menor a 15 °C y no mayor a 27 °C para mantener la humedad puede usarse un sistema de nebulización de humedad y un ligero sombreado (Domínguez, 2002). Las semillas de *lisianthus* requieren hasta 27000 lux para la germinación, por lo que si se utiliza cámara de germinación se recomienda proporcionar mínimo 1100 lux (Sakata, 2011).

Como alternativa al sistema convencional para la producción de plántulas, se encuentra el sistema de bandejas flotantes ya que permite obtener plantines de mayor tamaño y calidad en un menor tiempo (Barbaro et al., 2009).

3.6. Trasplante

Las plántulas de *lisianthus* están listas para el trasplante entre los 60 y 70 días después de la siembra, según las condiciones ambientales durante su desarrollo; sin embargo, si en la práctica se suele demorar hasta los 90 días, se pueden producir grandes pérdidas. Las plántulas son trasplantadas cuando desarrollan dos o tres pares de hojas verdaderas expandidas (Zaccai & Edri, 2002; Camargo et al., 2004) Las plántulas en un estado óptimo tienen raíces rectas para formar un sistema radical pivotante profundo, si estas se trasplantan a mayor edad las raíces tienden a deformarse, lo que conlleva a una transición más difícil al ser trasplantadas en camas de cultivo y al largo plazo estas plantas florecerán tarde y con tallos más cortos (Sakata, 2011).

Cuando se trasplanta sobre cama de cultivo en suelos con alto contenido de arcilla se recomienda levantar la cama 30-45 cm e incluso agregar materiales que favorezcan la porosidad como la cascarilla de arroz para mejorar el drenaje y la aireación (Sakata, 2011); es recomendable colocar una malla de alambre y rafia dejando cuadros que resulten en una densidad aproximada de 50 a 85 plantas/m²

dependiendo de la intensidad lumínica, durante el desarrollo del cultivo dicha malla servirá de soporte para los tallos y posteriormente se prepara otra malla de 25 por 30 cm a la altura de los botones para darles soporte (Domínguez, 2002).

3.7. Ciclo del cultivo

Por naturaleza, el *lisianthus* forma inicialmente una roseta y crece muy lentamente durante el invierno, los tallos se alargan en la primavera y florece en verano (Zaccai & Edri, 2002). En los nuevos cultivares, el ciclo desde la plantación a la floración puede durar entre 90 y 120 días dependiendo de variedades y épocas de plantación.

Según Melgares de Aguilar (1996b) el *lisianthus*, una vez plantado, pasa por tres fases claramente diferenciadas de 30 días cada una aproximadamente:

- 1) En la primera etapa la planta desarrolla más las raíces que la parte aérea.
- 2) En la segunda etapa el tallo se alarga y la planta emite tallos secundarios en número de tres a ocho según variedades, los tallos alcanzan una altura de entre 30 y 50 cm sobre el cual aparecen los botones florales.
- 3) En la etapa final los botones engrosan y se desarrollan, a la vez que los pedúnculos se alargan hasta alcanzar su altura definitiva. Posteriormente los botones viran de color verde al propio de la variedad y finalmente abren, el número de botones florales oscila entre cuatro y diez por tallo.

Por otro lado, Alvarado-Camarillo et al. (2018b) describieron las tres etapas de crecimiento como 1) fase vegetativa que corresponde desde el momento de trasplante al inicio de elongación del tallo comprendida en los primeros 25 días después de trasplante (DDT); 2) la fase de elongación de tallo comprende de los 25 DDT hasta los 90 DDT y 3) la fase de floración que va de los 90- 110 DDT.

3.8. Formación de roseta

La formación de roseta en *lisianthus* es un daño fisiológico que se puede identificar cuando se han formado los primeros cinco o seis pares de hojas y aun no aparece el tallo floral.

Para identificar la causa de la formación de roseta, se han realizado estudios sobre la fisiología de *lisianthus* en la etapa de floración, los resultados de dichas investigaciones demostraron que factores importantes como el cultivar, la temperatura y la duración del día durante el desarrollo de las plántulas afectan la formación de roseta, incluso la interacción de dichos factores puede tener efectos. La mayoría de los cultivares comerciales de *lisianthus* son sensibles al arrosetamiento cuando las condiciones ambientales se mantienen con temperaturas por arriba de 25 °C inducen la formación de roseta y retrasan la formación de brotes; sin embargo, este rasgo varía entre los diferentes cultivares (Harbaugh, 2007).

Tanto la transición floral en la etapa meristemática como el desarrollo de la flor determinan el momento de la floración. Estos dos procesos son distintos y se pueden controlar por separado. Por ejemplo, se ha demostrado que la aplicación exógena de ácido giberélico (GA) afecta el desarrollo de las flores, pero no la iniciación de las flores en las plantas de *lisianthus* con rosetas (Zaccai & Edri, 2002).

3.9. Nutrición

Camargo et al. (2004) evaluaron el crecimiento y absorción de nutrimentos en *lisianthus* cultivar Echo y obtuvieron que a los 120 días después del trasplante la absorción de nutrimentos en (kg ha⁻¹) fue de 238.8 de N, 14.9 de P, 157.1 de K, 10.6 de Ca, 17.5 de Mg y de micronutrimentos (g ha⁻¹) fueron 1281.3 de Fe, 294.4 de B, 127.1 de Mn, 121.1 de Zn y 35.8 de Cu. Se identificaron dos periodos de alta demanda de macronutrimentos, el primero en la etapa de crecimiento de la parte aérea de 36 a 64 días y el segundo en la etapa de floración de 92 a 106

días y para micronutrientes el periodo de alta demanda en la etapa vegetativa ocurrió a los 64 días con excepción de Cu cuya demanda aumentó a los 50 días, mientras que el B tuvo su mayor demanda a los 78 días; se observó también un segundo pico en la etapa de floración para Fe B y Cu, y de los 106 a 120 días para Zn y Mn. En este estudio se resalta que, en el momento de transición del periodo vegetativo a la floración, aproximadamente a los 78 días después del trasplante, las plantas ya habían absorbido alrededor del 50 % de los nutrientes necesarios con excepción de Fe.

Alvarado-Camarillo et al. (2018b) en un ensayo con *lisianthus* obtuvieron que la demanda con base en la acumulación nutricional en (g m^{-2}) fue de 16.7 de N, 4.05 de P, de 8.14 de K, 2.58 de Ca y 3.12 de Mg considerando una eficiencia del 50, 40, 80 y 75 % en el uso de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, con una densidad de 64 plantas m^{-2} .

El nitrógeno ha sido el elemento más estudiado en este cultivo, Marchese et al. (2005) definieron que aplicaciones de 250 a 300 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de N en solución nutritiva aumentaron la concentración de clorofila y la tasa de fotosíntesis de las plantas. De acuerdo con Flores-Pérez et al. (2018) el intervalo de suficiencia para nitrógeno se ubicó entre 6.4 y 7.4 meq L^{-1} de N aplicado en la solución nutritiva, que correspondieron a 1.5-1.7 % de N en la parte aérea. Mendoza-Villareal et al. (2015) encontraron que *lisianthus* tiene una alta tolerancia al amonio, observaron que el crecimiento de *lisianthus* aumentó en altura, número de flores y hojas, área foliar y peso seco a medida que la proporción de amonio en la solución nutritiva aumentaba; además, la forma de N afectó la asimilación de otros nutrientes, cuando las proporciones de amonio aplicadas estuvieron entre 12.5 a 50 % las hojas de *lisianthus* presentaron un aumento en las concentraciones de P, Ca y Mg. También se observó una disminución lineal en las concentraciones de K en hojas cuando las proporciones de amonio en la solución nutritiva aumentaron; sin embargo, a pesar de dicha disminución no se presentaron síntomas de deficiencia de potasio. Por otra parte, Hernández-Pérez et al. (2015) definieron relaciones $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ tolerantes para *lisianthus* de 75:25 en fase vegetativa y en

la fase de floración una relación 50:50, relaciones en las cuales se logró obtener el máximo crecimiento de las plantas y la mayor producción de biomasa, la preferencia de amonio sobre nitrato sugiere que lisianthus puede ser una especie calcífuga (Valdez-Aguilar et al. 2011)

Se sabe que proporcionar altas concentraciones de amonio puede afectar la absorción de otros cationes como Ca, Mg y K. Alvarado-Camarillo et al. (2018a) realizaron un estudio para identificar el equilibrio y concentración óptimas de nitrógeno y potasio en la producción de lisianthus, cuyos resultados revelaron que un balance óptimo N/K es de 2.14 con 9 meq L⁻¹ y 4.2 meq L⁻¹ de N y K, respectivamente, donde el cultivo exhibió mejor altura, peso seco y número de botones florales; además, se observó que las concentraciones de potasio en la solución nutritiva se correlacionaron directamente con el aumento de potasio en los brotes.

Sakata (2011) recomendó el uso de fertilizantes como nitrato de calcio para desarrollar tallos fuertes. Saeedi et al. (2015) confirmaron la eficacia del uso de calcio quelado con aminoácidos (calcio-lisina), para mejorar su absorción y aumentar el crecimiento de lisianthus, logrando aumentos en materia seca y mejor vida poscosecha en comparación con la aplicación de CaCl₂.

3.10. Riego

Como lisianthus es un cultivo originario de zonas de baja humedad, la incidencia de *Botrytis* es un problema importante, para reducir la humedad del aire se recomienda utilizar riego por goteo e incluso enterrar las mangueras 2 a 3 pulgadas cuando el cultivo está establecido en suelo, lo cual favorece un crecimiento radical más profundo, el pH preferible en la etapa de plántula esta entre 6.0 a 6.5 y la conductividad eléctrica (CE) entre 0.7-1.0 dS·m⁻¹, una vez establecido el cultivo en camas el pH requerido tiende a la alcalinidad de 6.8 a 7.2 y la CE entre 0.9-1.3 dS m⁻¹ (Sakata, 2011).

3.11. Floración y cosecha

El momento adecuado del corte de lisianthus es cuando el tallo presente tres flores abiertas, si el corte se realiza antes, podría ocasionar que disminuya el número de flores abiertas en florero. Por el contrario, si se realiza el corte cuando el tallo tiene demasiadas flores abiertas, se pueden producir daños durante el transporte o empaque. Para asegurar un rebrote para un segundo ciclo, el corte se efectúa en la base del tallo, dejando dos o tres entrenudos (Melgares de Aguilar, 1996b).

En el empaque, se eliminan las hojas de la parte inferior y se acomodan los tallos por variedad y tamaño formando un paquete de 6 tallos aproximadamente (Domínguez, 2002).

Una vez cortados los tallos de lisianthus se ha observado que los botones florales no abren en su totalidad al no tener una fuente de energía externa, incluso la pigmentación disminuye en las flores abiertas. Se han realizado estudios al aplicar distintas soluciones en la etapa de florero cuyos resultados sugieren que la aplicación de $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de oligosacarinas derivadas de pectina Pectimorf® en combinación con 4 % de sacarosa, resultó en una respuesta sinérgica logrando 12 % más yemas abiertas que el control (solo agua), incrementos en el diámetro floral de hasta 20 % y un color más intenso durante la postcosecha (López-Guerrero et al., 2021). Por otro lado, se ha encontrado que la adición de nanopartículas de silicio ($40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), tienen la función de compuesto antimicrobiano en combinación con nanopartículas de plata ($40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) como inhibidor de señalización de etileno para aumentar la vida en florero de lisianthus (Kamiab et al., 2017).

3.12. Plagas y enfermedades

Una plaga importante de lisianthus es fungus gnat (*Basidysia spp.*), los principales daños que ocasiona son lesiones en la raíz debido a que las larvas se alimentan de estas (Harbaugh, 2007). Esta plaga puede llegar a ocasionar

daños severos en plántulas si no se controla a tiempo, por lo que se debe monitorear constantemente.

La mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*), pulgones (*Myzus persicae* y *Aphis gossypii*), gusano soldado (*Spodoptera exigua*) y trips (*Thrips palmi* y *Frankliniella occidentalis*) *Lyriomiza trifolii* y *Heliotis* sp. son otras plagas importantes que inciden en el cultivo de lisianthus (Harbaugh, 2007; Espinoza-Flores et al., 2009).

Las enfermedades comunes de lisianthus son: moho gris (*Botrytis*), mancha foliar causada por *Curvularia*, pudrición de la corona y tallo por *Fusarium* o *Rhizoctonia*, pudrición de raíz por *Pythium* y algunos virus como la mancha necrótica de *Impatiens* o INSV. El lisianthus es muy susceptible a pudrición de la raíz, tallo y corona, ocasionados por al menos tres patógenos del género *Fusarium*: *Fusarium avenaceum* y *Fusarium oxysporum* han causado numerosas pérdidas para productores de flores cortadas, mientras que las plantas de cama en campo son sensibles a *Fusarium solani* (Harbaugh, 2007).

3.13. Sintomatología de diagnóstico nutrimental

Actividades como caracterizar el crecimiento de las plantas y los síntomas de deficiencia nutrimentales sirven como base para realizar diagnósticos sobre los trastornos o desequilibrios nutricionales y diferenciarlos de daños causados por agentes externos (Chen et al., 2018).

3.13.1. Síntomas de deficiencia y toxicidad

Los síntomas generales de deficiencia y toxicidad descritos por Sonneveld y Voogt, (2009) se enlistan a continuación:

Nitrógeno: esta deficiencia se caracteriza por la reducción del crecimiento. Color pálido en hojas y caída prematura con deficiencia severa.

Fósforo: la deficiencia se manifiesta con una fuerte reducción del crecimiento, coloración verde oscuro y en ocasiones rojizo en hojas o tallos y caída prematura

de hojas viejas. Por otro lado, la toxicidad se caracteriza por la presencia de manchas decoloradas o clorosis en las hojas y cotiledones.

Potasio: la deficiencia de potasio aparece con manchas cloróticas en hojas jóvenes. La deficiencia severa muestra una coloración amarilla en los bordes de las hojas más viejas y una posterior necrosis.

Calcio: la deficiencia de calcio aparece como manchas amarillas en los bordes de hojas jóvenes o en el ápice de la planta, pudiendo causar la muerte de este.

Magnesio: la deficiencia de magnesio se presenta como amarillamiento, agrietamiento y grosor en hojas viejas.

Azufre: similar a la deficiencia de nitrógeno, se manifiesta como palidez de las hojas.

Hierro: se caracteriza por presentar clorosis en las copas de las plantas y posteriormente en toda la planta cuando la deficiencia es severa intensificándose con la edad de las hojas. Por otra parte, la toxicidad se presenta principalmente en suelos anegados.

Manganeso: los síntomas son similares a la deficiencia de hierro comenzando como una clorosis en hojas nuevas. La toxicidad presenta síntomas en hojas viejas presentando necrosis a lo largo de las nervaduras y clorosis.

Zinc: la deficiencia de zinc presenta una deformación de la planta por hojas pequeñas y acortamiento de entrenudos acompañado de clorosis. La toxicidad se caracteriza por una necrosis intervenal y puede causar clorosis por deficiencias de Fe o Mn.

Boro: la deficiencia causa deformación de brotes, los tejidos se necrosan provocando muerte apical y deformación de hojas. La toxicidad presenta clorosis y necrosis en los bordes de hojas maduras.

Cobre: la deficiencia presenta color pálido en toda la planta, deformación de frutos, y flores en cultivos ornamentales. Por otro lado, los síntomas de toxicidad pueden inducir deficiencia de hierro y producir clorosis en hojas jóvenes.

Molibdeno: la deficiencia produce la inducción del marchitamiento de las hojas viejas en plantas jóvenes o clorosis en hojas maduras.

Se encuentra poca información acerca de deficiencias nutrimentales en *lilanthus*. Chen et al. (2018) realizaron un estudio donde se midió el crecimiento de *Eustoma* bajo deficiencia de N, P, K, Ca y Mg, donde se encontraron relaciones importantes: La deficiencia de nitrógeno resultó en un crecimiento atrofiado y reducción en área foliar, los valores SPAD, el peso seco de brotes y raíz, la relación brote raíz y el diámetro de las raíces. Los síntomas visuales de deficiencia en hojas se presentaron como hojas color amarillo en las hojas viejas y clorosis uniforme en hojas nuevas. La deficiencia de fósforo resultó en menor altura y número de entrenudos y área foliar, mientras que las raíces tuvieron mayor longitud. El peso seco de brotes tuvo una reducción del 80 % y el peso seco de raíz una reducción de 58 %, como la demanda de asimilados de las hojas disminuyó hubo más asimilados disponibles para las raíces. La deficiencia de potasio contrajo menor altura y número de entrenudos, área foliar y valores SPAD; como síntomas visuales se observó clorosis y necrosis marginal en las hojas del dosel inferior u hojas viejas. Se presentó una reducción significativa del peso seco de brotes y raíces, sin embargo, la relación brote raíz aumentó significativamente. La deficiencia de calcio presentó síntomas de supresión del crecimiento inducción de lesiones en el ápice y pérdida de dominancia apical, mientras que las raíces se presentaron cortas, engrosadas y quebradizas, en cuanto al peso seco de brotes y raíces se redujeron en un 78 y 72 %, respectivamente. Finalmente, la deficiencia de magnesio se presentó como una leve clorosis intervenal en el dosel inferior y una reducción en el número de entrenudos.

3.14. Análisis de tejido

El análisis de tejido es comúnmente utilizado en la agricultura ya que indica cuales nutrimentos y en qué cantidad han sido absorbidos por la planta (Alcántar-González & Trejo-Téllez, 2007). Una de las principales ventajas en comparación con los análisis de suelo o sustrato es la certeza de que los nutrimentos resultantes están presentes en el tejido analizado, mientras que las pruebas de análisis de suelos solo estiman la disponibilidad de nutrimentos, los cuales, por algunos factores como la temperatura de la zona radical, pudieran no ser aprovechados por las raíces de las plantas; por el contrario los resultados de un análisis de tejido no proporcionan información sobre la disponibilidad y almacenamiento de nutrimentos en el entorno radical (Sonneveld & Voogt, 2009), por lo que es recomendable realizar ambos análisis en los cultivos y complementar sus resultados para ofrecer una mejor nutrición y con ello obtener una mejor producción.

Los resultados de los análisis de tejidos comúnmente se utilizan como confirmación de los trastornos nutricionales de las plantas. Sin embargo, la interpretación de dichos resultados es complicada, ya que hay muchas diferencias entre los requerimientos nutrimentales de suficiencia, deficiencia o toxicidad para los diferentes cultivos, incluso entre la misma especie y sus diversos cultivares, entre la etapa de crecimiento y el tejido muestreado. Todos estos factores, tienen una gran influencia en la interpretación de los resultados de un análisis de tejido. Para muchos cultivos de alto consumo, como las hortalizas, existen datos de niveles óptimos donde se muestra que las plantas pueden crecer bien dentro de un rango relativamente amplio de concentraciones de nutrientes en sus tejidos, principalmente en hojas (Sonneveld & Voogt, 2009). El órgano de la planta más adecuado para el análisis de tejido difiere según el nutrimento, la especie vegetal y la edad de la planta, sin embargo, en general el estado nutricional de las plantas se refleja mejor en un análisis de hojas, ya que son los tejidos donde aparecen los trastornos nutrimentales, por lo que es el órgano más utilizado (Marschner, 2012).

3.15. Factores que afectan las concentraciones de nutrientes

3.15.1. Genotipo

Las concentraciones de suficiencia difieren entre especies incluso cuando se comparan los mismos órganos y edad fisiológica, estas variaciones se basan principalmente en diferencias en el metabolismo y composición de las plantas (Marschner, 2012). La absorción y concentración de nutrientes en diferentes genotipos de plantas son utilizados como criterios para obtener un índice de eficiencia de nutrimentos para comparar especies o cultivares, algunos mecanismos y factores que influyen en la eficiencia de nutrientes en las plantas en condiciones de estrés son: la adquisición de nutrimentos (difusión y flujo de masas, factores morfológicos, fisiológicos y bioquímicos de la raíz), el movimiento de nutrimentos los tejidos de la raíz (transferencia a través de endodermis y tasa de liberación al xilema), la acumulación y movilización en los brotes (demanda y translocación), el uso de los nutrimentos y el crecimiento (metabolismo, concentración de nutrimentos, sustitución de elementos) (Fageria et al., 2010).

3.15.2. Etapa de la planta

El crecimiento y desarrollo de una planta afecta la concentración de nutrientes en los órganos de la planta. Normalmente, con la excepción de Ca y B debido a la poca movilidad, a medida que una planta y sus órganos envejecen las concentraciones de nutrientes expresadas por unidad de peso seco disminuyen, esto se considera un efecto de dilución causado por el aumento en la proporción de materia estructural y compuestos de almacenamiento. Debido a la creciente concentración de paredes celulares y lignina con la edad de la planta, los rangos de suficiencia son menores en plantas viejas (Marschner, 2012).

3.15.3. Interacciones nutrimentales

Las interacciones nutrimentales pueden ocurrir en el entorno radical o dentro de la planta, ocurren cuando la aplicación de un nutrimento está en exceso y afecta

la absorción y utilización de otro nutrimento. Estas interacciones pueden llevarse a cabo entre iones afines provocando la formación de precipitados y complejos o entre iones cuyas propiedades químicas son similares en tamaño, carga, geometría y configuración electrónica, situación que ocurre entre Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} y Na^{+} , lo que causa una competencia por el sitio de absorción en la superficie radical, transporte y función dentro de la planta; estas interacciones pueden ser positivas o sinérgicas cuando los nutrimentos en combinación resultan en una respuesta de crecimiento mayor que la suma de los efectos individuales y negativa o antagónica cuando la respuesta combinada es menor (Fageria et al., 2010).

3.16. Curvas de abastecimiento nutrimental

El diagnóstico realizado a través del análisis químico del material vegetal está basado en el supuesto de que la tasa de crecimiento del cultivo se ve afectada por la concentración de nutrimentos en la materia seca o fresca del brote (Marschner, 2012). Las curvas que representan esta relación varían en forma y carácter dependiendo de la concentración de nutrientes en el medio de crecimiento, la especie vegetal, la etapa de desarrollo de la planta y los factores ambientales (Fageria et al., 2010).

El patrón general del comportamiento de la relación entre el crecimiento de las plantas y las concentraciones nutrimentales en el tejido vegetal se muestran en la Figura 1, la parte ascendente correspondiente a los números I y II refleja que el crecimiento aumenta sin cambios en la concentración de nutrimentos en el tejido, en la parte III se muestra una fuerte relación entre el incremento de crecimiento y la concentración en el tejido, después la parte IV más o menos nivelada donde el crecimiento no está limitado por nutrimentos, y finalmente la parte V donde la concentración excesiva de nutrimentos causa toxicidad y por ende una disminución en el crecimiento (Marschner, 2012).

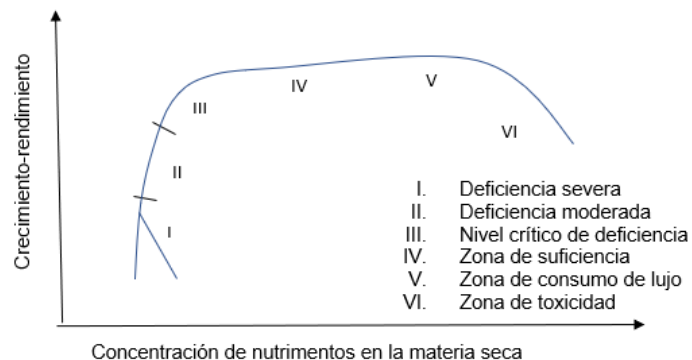


Figura 1. Relación entre las concentraciones de nutrientes y el crecimiento o rendimiento. Basado en Jones (1967).

En la determinación experimental de concentraciones críticas de nutrientes, es importante que el crecimiento de las plantas no se vea limitado por factores distintos al suministro del nutriente que se está estudiando (Fageria et al., 2010).

Por lo general, el 90 % del rendimiento máximo de materia seca se toma como punto de referencia para la definición de la concentración de deficiencia crítica de un nutriente. Sin embargo, el uso de un rango y no de un valor puntual resulta más apropiado ya que si se contempla un solo valor debe considerarse que la probabilidad de ubicarse en un valor de suficiencia o deficiencia aumenta con el grado de desviación de ese valor único (Marschner, 2012).

3.17. Rangos de abastecimiento nutrimental

Se pueden encontrar diversas propuestas de métodos de interpretación de los análisis químicos de tejido vegetal con la finalidad de evaluar la condición nutricional de los cultivos en la agricultura. Un método considerado estático es el de la interpretación por medio del nivel crítico y los rangos de suficiencia (Alcántar González & Trejo-Téllez, 2007).

Las concentraciones nutrimentales pueden agruparse en rangos, lo que hace más práctica la interpretación; si las concentraciones del análisis vegetal se encuentran en el rango adecuado existe una alta probabilidad de que dichos nutrimentos no sean factores limitantes del crecimiento óptimo (Etchevers, 1999).

Las concentraciones nutrimentales en el tejido vegetal se pueden clasificar como intervalos de concentración o suficiencia nutrimental, los cuales se dividen en deficiente, bajo o marginal, adecuado o suficiente, alto y toxico o excesivo Alcántar González y Trejo-Téllez (2007). Por otro lado, Fageria et al. (2010) definen dichas concentraciones en deficientes, marginales o de transición, suficiencia, en exceso y toxicas. Osorio (2012) mencionó que se pueden detectar situaciones en las plantas con diferentes rangos de concentración de nutrientes en el tejido, dichas situaciones son deficiencia (deficiencia severa, deficiencia moderada o hambre oculta), suficiencia, consumo de lujo y toxicidad.

Deficiencia severa: situación en la planta donde se manifiestan síntomas visuales como clorosis, malformación de hojas, caída de flores, entre otras (Osorio, 2012). En este rango la aplicación de nutrimentos resulta en un fuerte aumento en el crecimiento, pero pocos cambios en las concentraciones foliares (Fageria et al., 2010).

Deficiencia moderada: a esta condición se le denomina también “hambre oculta” donde las concentraciones bajas en el tejido no siempre se relacionan con síntomas visibles (Osorio, 2012), sin embargo, puede repercutir en la calidad nutricional del producto y productividad del cultivo.

Suficiencia: en esta zona no hay un aumento en el crecimiento, a pesar del aumento en la concentración de nutrimentos. Por otro lado, el intervalo de la suficiencia puede ser relativamente amplio para los macronutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, S) o muy estrecho para los micronutrimentos (Fe, Mn, Cu, Zn, B) (Alcántar González & Trejo-Téllez, 2007).

Consumo de lujo: con los macronutrientes una vez que se alcanza el máximo crecimiento o rendimiento, no se detectan más incremento a pesar del aumento en la concentración de un nutriente dado (Osorio, 2012). En este intervalo se reduce el riesgo de deficiencias nutrimentales cuando la demanda es alta o la absorción es limitada por condiciones adversas, sin embargo, el riesgo por toxicidad o desequilibrio que provoque la deficiencia de otros nutrimentos es mayor (Marschner, 2012). Con los elementos mayores, concentraciones muy altas pueden causar desbalances nutricionales debido a antagonismos entre algunos nutrientes (K vs. Mg; P vs. Zn) en este caso el uso de fertilizantes debe reducirse (Fageria et al., 2010).

Toxicidad: en este rango, las plantas presentan una reducción en el crecimiento, así como síntomas de toxicidad, mientras que las concentraciones de nutrimentos continúan aumentando; en este rango se encuentra el nivel crítico de toxicidad, con los elementos menores sí es más probable encontrar síntomas visuales de toxicidad (particularmente con boro) ya que se puede pasar fácilmente de la deficiencia a la toxicidad con pequeñas cantidades de fertilizantes. Por lo tanto, se debe ejercer un especial cuidado en la fertilización con estos elementos (Fageria et al., 2010).

Un punto fundamental dentro del diagnóstico son las concentraciones críticas de suficiencia y toxicidad, según Fageria et al. (2010) dentro de la zona marginal o de transición, se encuentra el nivel o concentración crítica, y se define como la concentración a la que el crecimiento comienza a disminuir significativamente y se estima sobre la base de una reducción del 5, 10 o 20 % en el rendimiento máximo.

El nivel crítico se define como el valor o concentración crítica de deficiencia de la parte especificada a un nutrimento en particular, determinada en condiciones experimentales, donde todos los factores de crecimiento se encuentran en un nivel óptimo, que se asocia con un valor predeterminado de rendimiento (o calidad) máximo. Este valor predeterminado corresponde al 90 o 95 % del

rendimiento máximo y está comprendido dentro del rango bajo o marginal (Alcántar González & Trejo-Téllez, 2007).

4. METODOLOGÍA

4.1. Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero de vidrio tipo capilla perteneciente al Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a una altitud de 2240 m, a 19° 29' N y 38° 53' O.

La temperatura y humedad relativa del interior del invernadero se registraron manualmente con un termohigrómetro marca STEREN®. La temperatura promedio durante el ciclo de cultivo fue 24.3 °C, la mínima fue 10.69 °C y la máxima fue 34.76 °C, mientras que la humedad relativa mínima, máxima y promedio fue de 15.46, 63.87 y 40.6 %, respectivamente (Cuadro1).

Cuadro 1. Temperatura y humedad relativa registradas al interior del invernadero durante el periodo de crecimiento de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn) cv. Mariachi Blue.

Mes	Temperatura (°C)			Humedad Relativa (%)		
	mínima	máxima	promedio	mínima	máxima	promedio
Enero	8.6	35.1	21.9	16.2	75.5	45.8
Febrero	9.0	36.1	22.6	13.6	52.1	32.9
Marzo	10.5	40.8	25.7	13.6	61.1	37.3
Abril	12.5	38.9	25.7	14.4	63.0	38.7
Mayo	14.1	37.6	25.8	20.5	76.4	48.5

También se obtuvo la temperatura del sustrato, con un termómetro marca STEREN® cuyo sensor se colocó en la parte media de una maceta de cultivo ubicada al centro del invernadero. La temperatura promedio del sustrato durante el ciclo de cultivo fue 20.2 °C, la mínima 14 °C y la máxima 26.4 °C; en el Cuadro 2 se muestran las temperaturas mensuales obtenidas en el sustrato durante el ciclo de cultivo de lisianthus.

Cuadro 2. Temperatura del sustrato registradas durante el periodo de crecimiento de cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn) cv. Mariachi Blue.

Mes	Temperatura del sustrato (°C)		
	mínima	máxima	promedio
Enero	11.5	23.2	17.3
Febrero	11.9	25.2	18.6
Marzo	14.4	27.2	20.8
Abril	15.1	27.4	21.2
Mayo	16.9	29.1	23.0

4.2. Sustrato

Como sustrato se utilizó tezontle rojo cribado en malla con diámetro de 6 mm, el cual se colocó en bolsas de plástico bicolor negro/blanco de diez litros de volumen para establecer el sistema hidropónico.

4.3. Riego

El sistema de riego se adecuó para mantener un diseño completamente al azar. Las soluciones nutritivas se colocaron en 6 tanques, uno por cada tratamiento, cada tanque abastecía de solución nutritiva a 15 macetas. El riego se suministró mediante goteo, se utilizaron goteros auto compensados de 8 L h⁻¹; la frecuencia del riego se modificó de acuerdo con la etapa del cultivo, después del trasplante se programaron riegos de un minuto a las 10:00, 13:00 y 16:00 h, posteriormente la frecuencia y duración diaria de los riegos aumentó a cuatro riegos diarios 10:00, 12:00, 14:00 y 16:00 de un minuto conforme la planta fue desarrollándose. Se realizó una prueba de uniformidad de emisión de goteros, donde se midió el gasto de 10 goteros por tratamiento y se obtuvo el coeficiente de uniformidad de acuerdo con el método de Merriam y Keller (Hernández et al., 2014), la prueba resultó en 85.70 % clasificada como muy buena uniformidad de emisión.

4.5. Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron plántulas de lisianthus cultivar Mariachi Blue provenientes de semilla de la empresa PROVinsa ubicada en Villa Guerrero, Edo Mex. Según la descripción de la empresa productora de semillas Sakata, es un cultivar de ciclo medio cuyos tallos crecen cerca de 70 cm de altura, posee flores cuádruples, extragrandes (de 7.5 a 8.5 cm de diámetro) con vástagos firmes, su ciclo de cultivo se contempla de 160 a 180 días después del trasplante. El trasplante se realizó cuando las plántulas tenían tres a cuatro pares de hojas colocando tres plantas por maceta.

4.6. Diseño de tratamientos

Los tratamientos se diseñaron con base en la solución nutritiva Steiner (1984) al 75 % expresada en el testigo, los demás tratamientos consistieron en dosis crecientes de potasio en la solución nutritiva con 3.3, 4.5, 5.6, 6.7 y 7.8 meq L⁻¹ correspondientes al 75, 100, 125, 150 y 175 % de potasio con respecto al testigo. También se ajustó la relación nitrato amonio (NH₄⁺:NO₃⁻) a 75:25 %, por lo que para el balance de aniones y cationes se sumaron los incrementos de carga (+) en K⁺ a la carga (-) dada por SO₄²⁻; para evitar que SO₄²⁻ se incrementara demasiado se le restaron 2 meq·L⁻¹, los cuales se adicionaron con Cl⁻ en todos los tratamientos; la composición final de cada tratamiento se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Balance de cationes y aniones de las soluciones nutritivas en meq L⁻¹ aplicadas como tratamientos durante el ciclo de cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn) cv. Mariachi Blue.

TRAT	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CE dS·m ⁻¹
1	9.00	0.75	3.25	2.00	0.00	5.25	6.75	3.00	1.50
2	6.75	1.13	4.01	2.00	2.25	3.35	5.74	2.55	1.39
3	6.75	1.13	5.13	2.00	2.25	4.44	5.74	2.55	1.50
4	6.75	1.13	6.24	2.00	2.25	5.55	5.74	2.55	1.61
5	6.75	1.13	7.36	2.00	2.25	6.65	5.74	2.55	1.72
6	6.75	1.13	8.47	2.00	2.25	7.81	5.74	2.55	1.84

TRAT: Tratamientos, 1: Solución Steiner al 75 %, 2, 3, 4, 5, 6 indican la concentración de potasio de 3.3, 4.4, 5.5, 6.6 y 7.8 meq·L⁻¹, respectivamente, en solución; CE: Conductividad eléctrica.

Para la preparación de las soluciones nutritivas se tomaron en cuenta los nutrientes encontrados en el análisis químico del agua utilizada (Cuadro 4). Las cantidades y fuentes de fertilizantes y ácidos utilizados se observan en cuadro 5

Cuadro 4. Análisis químico del agua utilizada para la preparación de las soluciones nutritivas de los tratamientos.

SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	B	pH	CE
----- meq·L ⁻¹ -----								mg·L ⁻¹		dS·m ⁻¹
2.05	0.5	2	0	0.2	1.39	1.23	1.58	0.05	7.1	0.42

Cuadro 5. Fuentes y cantidades de fertilizantes (g·L⁻¹) y ácidos (mL·L⁻¹) utilizados en las soluciones nutritivas aplicadas como tratamientos durante el ciclo de cultivo de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn) cv. Mariachi Blue.

Tratamientos	1	2	3	4	5	6
Fertilizante (g·L⁻¹)						
¹⁾ KNO₃	0.488	0.318	0.431	0.450	0.449	0.448
Ca (NO₃)₂·4H₂O	0.413	0.265	0.268	0.270	0.272	0.273
Mg (NO₃)₂·6H₂O	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NO₃NH₄	0.000	0.086	0.017	0.000	0.000	0.000
MgSO₄·7H₂O	0.164	0.139	0.139	0.139	0.139	0.139
(NH₄)₂·SO₄	0.000	0.077	0.134	0.149	0.149	0.149
CaCl₂	0.088	0.093	0.092	0.091	0.090	0.089
K₂SO₄	0.000	0.000	0.000	0.080	0.178	0.276
Ácido						
HNO₃	0.050	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
H₃PO₄	0.053	0.083	0.082	0.081	0.081	0.080
H₂SO₄	0.000	0.000	0.011	0.011	0.012	0.012

1: Solución Steiner al 75 %, 2: Concentración de potasio 3.3 meq·L⁻¹, 3: Concentración de potasio 4.4 meq·L⁻¹, 4: Concentración de potasio 5.5 meq·L⁻¹, 5: Concentración de potasio 6.6 meq·L⁻¹, 6: Concentración de potasio 6.6 meq·L⁻¹.

Los micronutrientes se abastecieron con la adición de $0.025 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de Ultrasol® un complejo de micronutrientes quelatados que contiene Fe-EDTA 7.5 %, Mn-EDTA 3.7 %, B 0.4 %, Zn-EDTA 0.6 %, Cu-EDTA 0.3 % y Mo 0.2 %. adicionalmente se aplicó $0.0016 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido bórico en la solución nutritiva para evitar deficiencias de éste micronutriente.

La preparación de las soluciones nutritivas se realizó en contenedores de 200 litros, el pH se mantuvo en 6, la conductividad eléctrica vario entre 1.38 y $1.83 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.

4.7. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 15 macetas por tratamiento, que contenían cada una tres plantas. Como unidad experimental se consideró una maceta, seleccionando solo una planta para la toma de datos en cuatro repeticiones de cada una de las variables estudiadas, tanto en muestreos destructivos como en las evaluaciones periódicas y en postcosecha.

4.8. Variables evaluadas

4.8.1. Materia seca

Se realizaron 4 muestreos destructivos a los 85, 115, 150 y 180 días después de trasplante (ddt), se seleccionaron 4 repeticiones por tratamiento, las plantas se separaron en raíz, tallo, hojas y botones si los había; posteriormente se introdujeron en un tren de lavado con agua destilada y se obtuvo el peso fresco con una balanza OHAUS®, después se secaron en un horno de secado con aire circulante marca BINDER® a 70°C durante 72 horas hasta obtener un peso constante, al final se registró el peso seco de cada órgano.

4.8.2. Análisis nutrimental foliar

Se realizaron cuatro análisis nutrimentales durante el ciclo de cultivo a los 85, 115, 150 y 180 días después del trasplante, se obtuvo una muestra compuesta

con la materia seca proveniente de 4 repeticiones, la cual se molió en un mortero y posteriormente se tomaron muestras de 0.5 g de materia seca. Para realizar la digestión húmeda se agregaron 4 mL de una mezcla di ácida de ácido sulfúrico y ácido perclórico en relación (4:1) y 2 mL de peróxido de hidrogeno al 30%, se mantuvieron por 8 horas en la campana de extracción, posteriormente se aforaron con agua destilada a 50 mL. Para la determinación de nutrimentos se aplicó la metodología descrita por Alcantar y Sandoval (1999).

Para la determinación de nitrógeno se empleó el método micro Kjeldahl por arrastre de vapor (Figura 2) (Alcantar & Sandoval, 1999). Para la determinación de fósforo se siguió el método de colorimetría de molibdovanadato amarillo (Alcantar & Sandoval, 1999) y las lecturas se tomaron con un espectrofotómetro GENESYS 10UV® a 420 nm (Figura 3). Para determinar la concentración de cationes potasio, calcio y sodio se utilizó un fotómetro de llama Sherwood M410 (Figura 4) mientras que la concentración de magnesio, hierro, cobre, manganeso y zinc se leyó con un espectrofotómetro de absorción atómica AVANTA GBC® (Figura 5).



Figura 2. Destilador por arrastre de vapor.



Figura 3. Determinación de fósforo en un espectrofotómetro GENESYS 10UV®.



Figura 4. Determinación de cationes en un fotómetro de llama Sherwood M410.



Figura 5. Determinación de micronutrientos en un espectrofotómetro de absorción atómica AVANTA GBC®.

4.8.3. Longitud de planta

La longitud de planta se obtuvo en los cuatro muestreos destructivos a los 85, 115, 150 y 180 ddt, la medida se tomó de la base del tallo al ápice en cuatro plantas por tratamiento utilizando un flexómetro, el resultado se registró en centímetros.

4.8.4. Diámetro de tallo

Se midió el diámetro de tallo cada 15 días, en cuatro repeticiones, tomado en la parte media de la longitud del tallo, con un vernier digital marca Truper®, el resultado se registró en milímetros.

4.8.5. Número de hojas

Se cuantificó el número total de hojas en los cuatro muestreos destructivos a los 85, 115, 150 y 180 ddt, en cuatro repeticiones por tratamiento.

4.8.6. Área foliar

El área foliar de los primeros dos muestreos se obtuvo por un método no destructivo de estimación de área foliar cuyo modelo es el producto de la longitud, amplitud y factor K (Anitha et al., 2016).

$$\text{Área foliar} = L \times B \times K$$

Donde:

L=longitud

B=amplitud

K= constante de área foliar (0.7)

Para el tercer y cuarto muestreo se desprendieron todas las hojas incluyendo las de los brotes laterales y se cuantificó el área foliar mediante un integrador de área



Figura 6. Medición de área foliar en plantas de lisianthus, con un integrador de área foliar LI-COR 3100

foliar LI-COR 3100 (Figura 7) en cuatro repeticiones por tratamiento, el resultado se expresó en cm^2 .

4.8.7. Unidades SPAD

Para medir el contenido de clorofila en las hojas, se utilizó un medidor portátil de clorofila SPAD 502 Konica Minolta (Figura 6), se obtuvo un promedio del valor SPAD de 4 hojas por planta ubicadas en la parte media de éstas, la medición se realizó a los 30 y 15 días antes de la cosecha en 4 repeticiones por tratamiento.



Figura 7. Medición del contenido de clorofila en hojas de lisianthus con un medidor portátil de clorofila SPAD 502 Konica Minolta.

4.8.8. Días a cosecha

La cosecha de los tallos se realizó gradualmente cuando la segunda flor abrió completamente, la actividad se realizó por las mañanas para evitar

deshidratación en los tallos y se cuantificó en días después de trasplante (ddt) en cuatro repeticiones por tratamiento.

4.8.9. Número de brotes

El número de brotes se cuantificó en la cosecha a cuatro repeticiones por tratamiento, contemplando el número total de brotes emitidos desde el tallo principal.

4.8.10. Número de botones florales

Se contaron todos los botones florales formados hasta el momento de la cosecha incluyendo las flores abiertas, en cuatro repeticiones por tratamiento.

4.8.11. Diámetro floral

Se midió el diámetro floral al momento de la cosecha, la medición se realizó en la primera flor abierta con ayuda de una regla, en cuatro repeticiones por tratamiento.

4.8.12. Número de entrenudos

Se cuantifico el número de entrenudos del tallo principal al momento de la cosecha, en cuatro repeticiones por tratamiento.

4.8.13. Vida en florero

Después de la cosecha se eliminaron las hojas de los primeros 20 cm del tallo y cada tallo se mantuvo en una probeta de 100 mL con agua de la llave. El agua se cambió diariamente. La vida en florero se cuantifico en días, desde el momento del corte hasta que el ultimo botón floral estuviera marchito, en cuatro repeticiones por tratamiento.

4.8.14. Número de botones abiertos en postcosecha

Esta variable se cuantificó en poscosecha en cuatro repeticiones por tratamiento, se contaron el número de botones florales que abrieron completamente después de la cosecha.

4.9. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias por el método Tukey ($P \leq 0.05$), con la finalidad de encontrar diferencias estadísticas entre tratamientos, dicho análisis se realizó en el paquete estadístico SAS System versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2014) y las curvas de abastecimiento se realizaron en el software estadístico R (<https://www.r-project.org/>).

5. RESULTADOS

5.1. Análisis nutrimental foliar

5.1.1. Nitrógeno

Los resultados del análisis foliar a través del tiempo en el ciclo de cultivo muestran que el efecto de los tratamientos fue estadísticamente igual en la concentración de nitrógeno en el tejido foliar reportado a los 85 ddt, mientras que en las siguientes tres etapas presentaron diferencias significativas (Cuadro 6).

El tratamiento con la menor concentración de potasio aplicada en solución nutritiva ($3.3 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$) manifestó una tendencia hacia la menor acumulación de nitrógeno en el tejido foliar, al igual que el tratamiento testigo (solución nutritiva Steiner al 75 %) a los 115 y 150 ddt (Cuadro 6).

La mayor acumulación de nitrógeno foliar varió por etapa de cultivo, a los 115 ddt el tratamiento con $6.6 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ de potasio aplicado mostró los valores más altos de nitrógeno foliar con 3.44 %. A los 150 ddt el tratamiento que favoreció la mayor acumulación de nitrógeno, 3.53 %, fue el tratamiento de $5.5 \text{ meq} \cdot \text{L}^{-1}$ de potasio y

a los 180 ddt las concentraciones mayores de nitrógeno foliar correspondieron a la aplicación de 4.4 y 7.8 meq·L⁻¹ de potasio en solución nutritiva (Cuadro 6).

Cuadro 6. Contenido de nitrógeno foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	N (%)			
	85 ddt	115 ddt	150 ddt	180 ddt
SS al 75 %	3.27 a ^z	2.72 b	2.79 c	2.54 abc
3.3 meq·L⁻¹ K	3.28 a	2.94 b	2.78 c	2.27 c
4.4 meq·L⁻¹ K	3.10 a	3.05 ab	3.47 ab	2.84 a
5.5 meq·L⁻¹ K	3.48 a	3.00 b	3.53 a	2.64 ab
6.6 meq·L⁻¹ K	3.33 a	3.44 a	3.19 b	2.39 bc
7.8 meq·L⁻¹ K	3.21 a	3.13 ab	3.22 ab	2.87 a
DMSH	NS	0.44	0.32	0.37
CV %	4.81	5.25	3.68	6.41

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.1.2. Fósforo

La concentración de fósforo foliar presentó diferencias estadísticas significativas durante las 4 etapas de crecimiento. A los 85 ddt el tratamiento que presentó la mayor concentración de fósforo en las hojas fue el tratamiento donde se aplicó 3.3 meq·L⁻¹ de potasio en solución nutritiva, mientras que para los muestreos a los 115 y 180 ddt fue el tratamiento de 4.4 meq·L⁻¹ de potasio (Cuadro 7).

Para el muestreo a los 150 ddt el testigo, solución Steiner al 75 %, presentó diferencias significativas al resto de tratamientos; siendo el tratamiento que manifestó el menor efecto de acumulación de fósforo foliar, al igual que en la etapa a los 115 y 180 ddt (Cuadro 7).

Cuadro 7. Contenido de fósforo foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	P (%)							
	85 ddt		115 ddt		150 ddt		180 ddt	
SS al 75 %	0.32	ab ^z	0.21	c	0.22	b	0.18	d
3.3 meq·L⁻¹ K	0.34	a	0.28	ab	0.30	a	0.25	b
4.4 meq·L⁻¹ K	0.30	abc	0.31	a	0.34	a	0.31	a
5.5 meq·L⁻¹ K	0.31	ab	0.26	b	0.30	a	0.23	bc
6.6 meq·L⁻¹ K	0.27	c	0.28	ab	0.30	a	0.21	cd
7.8 meq·L⁻¹ K	0.28	bc	0.26	b	0.35	a	0.26	b
DMSH	0.04		0.03		0.06		0.04	
CV %	4.98		3.98		6.94		6.58	

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.1.3. Potasio

Los tratamientos mostraron diferencias estadísticas significativas en la concentración foliar de potasio en lisianthus durante las cuatro etapas estudiadas.

El tratamiento que manifestó la menor concentración de potasio en hojas durante todos los muestreos fue el testigo (solución Steiner al 75 %), a los 85, 115, 150 y 180 ddt, aunque a los 180 ddt también los tratamientos con la menor y mayor concentración de potasio (3.3 y 7.8 meq·L⁻¹) en las soluciones nutritivas presentaron concentraciones bajas en tejido, similares al testigo (Cuadro 8).

En contraste la mayor concentración de potasio foliar varía a través del tiempo, a los 85 ddt el tratamiento cuyas concentraciones aplicadas fueron 4.4, 6.6 y 7.8 meq·L⁻¹ de potasio superaron estadísticamente al resto de tratamientos. Mientras que a los 115 y 150 ddt el tratamiento que presentó el mayor efecto en esta variable fue la concentración aplicada de 5.5 meq·L⁻¹ de potasio y a los 180 ddt la concentración de 4.4 meq·L⁻¹ de potasio.

Cuadro 8. Contenido de potasio foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	K (%)			
	85 ddt	115 ddt	150 ddt	180 ddt
SS al 75 %	2.10 d	1.75 d	3.16 d	3.03 c
3.3 meq·L⁻¹ K	2.74 c	4.24 bc	3.73 c	3.04 c
4.4 meq·L⁻¹ K	4.13 a	4.25 bc	3.87 bc	3.63 a
5.5 meq·L⁻¹ K	3.71 b	4.85 a	4.64 a	3.45 b
6.6 meq·L⁻¹ K	4.12 a	4.41 b	4.48 a	3.33 b
7.8 meq·L⁻¹ K	4.34 a	4.13 c	4.15 b	3.15 c
DMSH	0.40	0.26	0.33	0.17
CV %	4.17	2.36	2.97	2.28

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.1.4. Calcio

Los tratamientos manifestaron diferencia estadística significativas en la concentración de calcio en hojas de lisianthus en tres etapas de cultivo, a los 150 ddt el efecto de los tratamientos no presentó diferencias significativas.

A los 85 ddt la concentración de 4.4 meq·L⁻¹ de potasio en las soluciones nutritivas generó la mayor concentración foliar de calcio, en contraste, el tratamiento de 5.5 meq·L⁻¹ de potasio generó el menor contenido de calcio en hoja (Cuadro 9).

En el análisis realizado a los 115 y 180 ddt el tratamiento que generó la mayor acumulación de calcio fue la concentración de 3.3 meq·L⁻¹ de potasio aplicada en solución nutritiva.

Cuadro 9. Contenido de calcio foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	Ca (%)			
	85 ddt	115 ddt	150 ddt	180 ddt
SS al 75 %	1.30 ab ^z	1.00 b	1.00 a	1.40 c
3.3 meq·L⁻¹ K	1.13 abc	1.17 a	1.10 a	2.08 a
4.4 meq·L⁻¹ K	1.33 a	1.07 ab	0.97 a	1.68 b
5.5 meq·L⁻¹ K	1.03 c	0.95 b	1.00 a	1.40 c
6.6 meq·L⁻¹ K	1.10 bc	1.03 b	1.10 a	1.55 b
7.8 meq·L⁻¹ K	1.20 abc	1.00 b	0.93 a	1.20 d
DMSH	0.23	0.13	NS	0.14
CV %	6.97	4.41	6.56	3.88

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.1.5. Magnesio

La concentración de magnesio foliar presentó diferencias estadísticas significativas a partir de los 115 ddt. El tratamiento con 3.3 meq·L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva favoreció el mayor contenido de magnesio foliar en las determinaciones realizadas a los 115, 150 y 180 ddt, mientras que la menor concentración de magnesio foliar a los 115 ddt se manifestó con los tratamientos testigo (Steiner 75 %) y 7.8 meq·L⁻¹ de potasio (Cuadro 10).

Cuadro 10. Contenido de magnesio foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	Mg (%)			
	85 ddt	115 ddt	150 ddt	180 ddt
SS al 75 %	0.87 a ^z	0.75 b	0.86 b	0.43 d
3.3 meq·L⁻¹ K	0.93 a	0.87 a	0.92 a	0.62 a
4.4 meq·L⁻¹ K	1.00 a	0.82 ab	0.85 b	0.52 bc
5.5 meq·L⁻¹ K	0.92 a	0.77 ab	0.80 c	0.50 c
6.6 meq·L⁻¹ K	0.88 a	0.78 ab	0.89 ab	0.55 b
7.8 meq·L⁻¹ K	0.84 a	0.75 b	0.78 c	0.51 bc
DMSH	NS	0.10	0.05	0.05
CV %	7.03	4.79	2.23	4.00

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta,

NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

A los 150 ddt los tratamientos que presentaron la menor concentración foliar de magnesio fueron 5.5 y 7.8 meq·L⁻¹ de potasio. Mientras que a los 180 ddt fue con 5.5 meq·L⁻¹ (Cuadro 10).

5.1.6. Hierro

En el primer análisis foliar para determinar la concentración de hierro en las plantas de lisianthus, los tratamientos con 4.4, 7.8 meq·L⁻¹ de potasio y testigo fueron estadísticamente iguales y superiores al resto. El testigo presentó una concentración promedio foliar de 45.55 mg·kg⁻¹ de hierro lo que representa estadísticamente el mayor efecto en dicha variable a los 115 ddt, mientras que el tratamiento con 6.6 meq·L⁻¹ de potasio tuvo la menor concentración promedio de hierro foliar (33.53 mg·kg⁻¹) (Cuadro 11).

El tratamiento que generó mayor efecto en la concentración foliar de hierro fue diferente en el tercer y cuarto análisis, ya que a los 150 ddt la concentración de 5.5 meq·L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva fue estadísticamente superior, sin embargo, el tratamiento de 6.6 meq·L⁻¹ de potasio sobresalió a los 180 ddt. En ambos análisis la concentración con menor efecto en la variable fue 4.4 meq·L⁻¹ de potasio (Cuadro 11).

Cuadro 11. Contenido de hierro foliar (mg·kg⁻¹) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	Fe (mg·kg ⁻¹)							
	85 ddt		115 ddt		150 ddt		180 ddt	
SS al 75 %	54.50	a ^z	45.55	a	36.03	bc	43.76	ab
3.3 meq·L⁻¹	25.95	b	39.05	ab	35.43	bc	45.78	ab
4.4 meq·L⁻¹	44.65	a	37.60	ab	28.80	c	33.78	b
5.5 meq·L⁻¹	29.25	b	37.60	ab	55.90	a	40.95	ab
6.6 meq·L⁻¹	31.20	b	33.53	b	46.50	ab	47.78	a
7.8 meq·L⁻¹	51.65	a	40.13	ab	42.27	abc	37.83	ab
DMSH	10.50		9.38		16.27		12.10	
CV %	9.69		8.79		14.54		12.93	

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con (P=0.05). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.1.7. Cobre

El testigo presentó la mayor concentración foliar promedio de cobre a los 85 ddt (15.44 mg·kg⁻¹) con relación a los demás tratamientos. A los 115 ddt la concentración de 7.8 meq·L⁻¹ de potasio tuvo el mayor efecto sobre la variable, pero no presenta diferencias estadísticas significativas con las concentraciones 5.5, 6.6 y el testigo (Cuadro 12).

En el tercer análisis foliar realizado a los 150 ddt se observan dos agrupaciones, donde los tratamientos 3.3 y 6.6 meq·L⁻¹ de potasio son estadísticamente iguales y superiores al resto de tratamientos. El tratamiento de 6.6 meq·L⁻¹ de potasio sobresalió del resto con una concentración foliar promedio de 21.88 mg·kg⁻¹ de cobre. Las concentraciones de 3.3, 5.5 y 7.8 meq·L⁻¹ de potasio fueron estadísticamente iguales entre sí (Cuadro 12).

Cuadro 12. Contenido de cobre foliar (mg·kg⁻¹) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	Cu (mg·kg ⁻¹)			
	85 ddt	115 ddt	150 ddt	180 ddt
SS al 75 %	15.44 a ^z	15.80 ab	25.70 b	13.35 d
3.3 meq·L⁻¹	8.37 c	13.47 b	35.83 a	18.35 b
4.4 meq·L⁻¹	14.63 ab	13.30 b	26.77 b	15.40 cd
5. meq·L⁻¹	13.23 ab	14.43 ab	26.80 b	17.20 bc
6.6 meq·L⁻¹	8.20 c	14.97 ab	35.80 a	21.88 a
7.8 meq·L⁻¹	11.87 b	18.30 a	24.83 b	16.78 bc
DMSH	2.89	4.37	5.39	2.45
CV %	8.82	10.60	6.71	6.36

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.1.8. Zinc

En el primer análisis de la concentración foliar de zinc (85 ddt) el testigo fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos, pero igual al tratamiento con 3.3 meq·L⁻¹ de potasio; en contraste, el tratamiento que presentó menor efecto en la variable fue de 6.6 meq·L⁻¹ de potasio (Cuadro 13).

A los 115 ddt el testigo tuvo mayor efecto presentando una concentración promedio de 13.10 mg·kg⁻¹ foliar de zinc, las concentraciones de 3.3, 4.4. y 5.5 meq·L⁻¹ de potasio fueron estadísticamente inferiores, pero similares entre ellos, además, el tratamiento con 7.8 meq·L⁻¹ de potasio tuvo menor efecto. La concentración de 5.5 meq·L⁻¹ de potasio fue estadísticamente superior al resto de los tratamientos, los cuales no presentan diferencias estadísticas significativas entre sí (Cuadro 13).

En el último análisis foliar (180 ddt), los tratamientos con 3.3, 4.4, 6.6 y 7.8 meq·L⁻¹ de potasio no presentaron diferencias estadísticamente significativas, mientras que el testigo fue superior al presentar una concentración promedio de 17.3 mg·kg⁻¹ foliar de zinc (Cuadro 13).

Cuadro 13. Contenido de zinc foliar (mg·kg⁻¹) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	Zn (mg·kg ⁻¹)			
	85 ddt	115 ddt	150 ddt	180 ddt
SS al 75 %	13.96 a ^z	13.10 a	8.23 b	17.3 a
3.3 meq·L ⁻¹	11.90 ab	8.55 b	9.05 b	14.3 ab
4.4 meq·L ⁻¹	8.65 bc	8.40 bc	7.15 b	13.8 ab
5.5 meq·L ⁻¹	9.90 b	8.25 bc	16.75 a	11.6 b
6.6 meq·L ⁻¹	5.10 c	7.07 c	9.70 b	13.3 ab
7.8 meq·L ⁻¹	8.80 bc	5.55 d	7.73 b	13.8 ab
DMSH	3.86	1.39	4.36	4.7
CV %	14.49	5.99	16.29	15.1

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.1.9. Manganeso

Las concentraciones potásicas en la solución nutritiva no generaron diferencias estadísticas significativas a los 85 ddt en la concentración foliar de manganeso. A los 115 ddt las concentraciones de 4.4 y 5.5 meq·L⁻¹ de potasio tuvieron mayor efecto en la variable, con 56.10 y 53.23 mg·kg⁻¹, respectivamente. El testigo presentó el menor efecto (Cuadro 14).

Los tratamientos con 6.6 y 7.8 meq·L⁻¹ de potasio generaron el mayor efecto a los 150 ddt con 56.13 y 55.35 mg·kg⁻¹, respectivamente. La menor concentración de manganeso foliar se obtuvo con 3.3 y 4.4 meq·L⁻¹ de potasio. A los 180 ddt los tratamientos 3.3 y 4.4 meq·L⁻¹ de potasio resultaron estadísticamente superiores al tratamiento de 5.5 meq·L⁻¹, pero similares a los demás tratamientos (Cuadro 14).

Cuadro 14. Contenido de manganeso foliar (mg·kg⁻¹) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	Mn (mg·kg ⁻¹)			
	85 ddt	115 ddt	150 ddt	180 ddt
SS al 75 %	48.81 a ^z	35.17 c	48.53 ab	31.85 ab
3.3 meq·L ⁻¹	41.10 a	40.13 bc	39.63 c	41.23 a
4.4 meq·L ⁻¹	44.73 a	56.10 a	39.80 c	41.98 a
5.5 meq·L ⁻¹	40.37 a	53.23 a	42.83 bc	28.80 b
6.6 meq·L ⁻¹	41.55 a	44.87 b	56.13 a	38.15 ab
7.8 meq·L ⁻¹	39.2 a	44.30 b	55.35 a	34.17 ab
DMSH	NS	7.55	8.34	10.40
CV %	8.99	6.03	6.46	12.85

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.1.10. Sodio

En la variable concentración foliar de sodio no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos a los 85 ddt. La concentración 3.3 meq·L⁻¹ de potasio presentó mayor efecto en esta variable a los 115 ddt, donde el testigo y 5.5 meq·L⁻¹ de potasio presentaron los menores promedios de concentración de sodio (0.50 y 0.56 %, respectivamente). A los 150 ddt, el tratamiento que presentó mayor efecto en la concentración foliar de sodio fue de 7.8 meq·L⁻¹ de potasio, mientras que a los 180 ddt la concentración de 3.3 meq·L⁻¹ manifestó el mayor efecto con 0.71 % de sodio (Cuadro 15).

Cuadro 15. Contenido de sodio foliar (%) en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue cultivadas con diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva, analizadas en cuatro etapas del ciclo de cultivo.

Tratamientos	Na (%)			
	85 ddt	115 ddt	150 ddt	180 ddt
SS al 75 %	0.88 a ^z	0.50 c	0.46 b	0.46 e
3.3 meq·L ⁻¹	0.75 a	0.77 a	0.57 ab	0.71 a
4.4 meq·L ⁻¹	0.75 a	0.56 c	0.48 b	0.62 b
5.5 meq·L ⁻¹	0.74 a	0.73 ab	0.50 b	0.52 cd
6.6 meq·L ⁻¹	0.74 a	0.71 ab	0.56 ab	0.54 c
7.8 meq·L ⁻¹	0.67 a	0.63 bc	0.64 a	0.49 de
DMSH	NS	0.14	0.12	0.04
CV %	12.33	7.94	8.29	3.39

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.2. Variables de crecimiento y desarrollo

5.2.1. Materia seca

El efecto de los tratamientos en el peso seco de raíz, tallo, hoja, botones florales y materia seca total fue similar para todas las plantas durante los primeros tres muestreos es decir a los 85, 115 y 150 ddt ya que no se presentó diferencia estadística significativa entre tratamientos (comparaciones de medias no mostradas). Sin embargo, en el muestreo cuatro, a los 180 ddt, se encontraron diferencias significativas en todos los pesos secos a excepción del de hojas (Cuadro 16).

La materia seca de raíz se vio favorecida por el tratamiento testigo, solución Steiner 75 %, en contraste, el menor peso seco de raíz se encontró en los tratamientos con 3.3 meq·L⁻¹ de K y 6.6 meq·L⁻¹, el resto de los tratamientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 16).

El peso seco total, de tallo y botón, presentaron los menores valores con 3.3 meq·L⁻¹, tratamiento con la menor concentración de potasio. Mientras que la concentración que generó mayor peso seco total y de tallo fue el tratamiento con

la concentración de 4.4 meq·L⁻¹ de K, al igual que en peso seco de botón floral en el que además destaco el tratamiento de 5.5 meq·L⁻¹ de K (Cuadro 16).

El peso seco de hojas no presentó diferencias significativas, los tratamientos no tuvieron efectos en esta variable durante todo el ciclo de cultivo.

Cuadro 16. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva en el peso seco de diferentes órganos de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.

Tratamientos	Peso seco (g)									
	Raíz		Tallo		Hoja		Botón		Total	
SS al 75 %	1.35	a ^z	7.25	ab	5.41	a	3.21	ab	17.22	ab
3.3 meq·L ⁻¹	0.64	b	2.94	b	2.41	a	2.23	b	8.22	b
4.4 meq·L ⁻¹	0.98	ab	7.47	a	5.29	a	3.85	a	17.59	a
5.5 meq·L ⁻¹	0.93	ab	6.96	ab	5.34	a	3.80	a	17.03	ab
6.6 meq·L ⁻¹	0.72	b	3.90	ab	3.27	a	2.96	ab	10.85	ab
7.8 meq·L ⁻¹	1.09	ab	6.51	ab	4.22	a	3.68	ab	15.5	ab
DMSH	0.62		4.41		NS		1.52		9.16	
CV %	23.69		27.53		27.87		16.89		23.19	

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

El peso seco total no presentó diferencias estadísticas significativas en las muestras colectadas a los 85, 115 y 150 ddt, sin embargo, a los 180 días se mostró un incremento mayor en el peso seco total de plantas bajo el tratamiento donde se aplicó una concentración de potasio de 4.4 meq·L⁻¹ de K, mientras que el menor peso se observó en los tratamientos donde se aplicaron solo 3.3 meq·L⁻¹ de K (Figura 8).

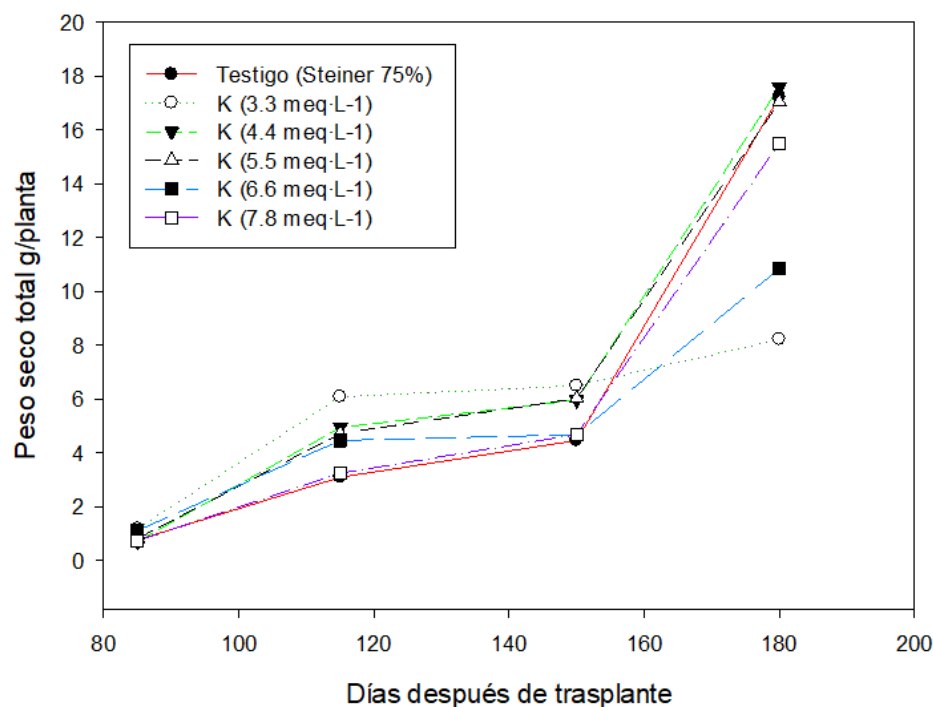


Figura 8 Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva en el peso seco total de lisianthus.

5.2.2. Diámetro de tallo

El efecto de los tratamientos sobre el diámetro de tallo de lisianthus se observó a partir de los 135 ddt, donde los tratamientos de 3.3 y 6.6 meq·L⁻¹ presentaron mayor efecto sobre la variable con 6.25 y 5.88 mm de diámetro medio, respectivamente. El tratamiento que presentó el menor efecto a los 135 y 150 ddt fue el testigo, Solución Steiner al 75 % (Cuadro 17).

Cuadro 17. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva en el diámetro medio (mm) de tallo de lisianthus cv. Mariachi Blue.

Tratamientos	Diámetro (mm)											
	ddt											
	75		90		105		120		135		150	
SS al 75 %	2.13	a ^z	2.88	a	3.50	a	3.88	a	4.00	b	4.29	b
3.3 meq·L⁻¹	3.00	a	4.50	a	5.13	a	5.75	a	6.25	a	6.44	a
4.4 meq·L⁻¹	2.63	a	3.63	a	4.38	a	4.75	a	5.50	ab	5.86	ab
5.5 meq·L⁻¹	2.88	a	4.25	a	5.25	a	5.63	a	5.50	ab	6.44	a
6.6 meq·L⁻¹	3.00	a	4.25	a	4.75	a	5.38	a	5.88	a	6.34	a
7.8 meq·L⁻¹	3.00	a	3.75	a	4.63	a	4.88	a	5.25	ab	6.04	ab
DMSH	NS		NS		NS		NS		1.73		1.79	
CV %	20.06		19.83		18.85		17.96		14.28		13.53	

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.2.3. Número de hojas y número de entrenudos

Para las variables número de entrenudos y número de hojas no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos durante el ciclo de cultivo (Cuadro 18).

5.2.4. Área foliar

El testigo presentó mayor área foliar (1245.2 cm²) en comparación con la obtenida a una concentración de 3.3 meq·L⁻¹ de potasio a los 180 ddt el resto de los tratamientos no son diferentes entre sí (Cuadro 18).

5.2.5. Longitud de plantas

La longitud de planta presentó diferencias estadísticas en la última etapa del cultivo, al momento del corte. La concentración de 5.5 meq·L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva generó el mayor efecto en altura de planta (79.33 cm en

promedio), la concentración potásica de 3.3 meq·L⁻¹ tuvo en promedio 60 cm de altura (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva en número de entrenudos, número de hojas y área foliar de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.

Tratamientos	Número de entrenudos	Número de hojas	Área foliar (cm ²)	Longitud de planta (cm)
SS al 75 %	12.25 a	89.70 a	1245.20 a ^z	73.00 ab
3.3 meq·L ⁻¹	13.50 a	50.00 a	526.20 b	60.00 b
4.4 meq·L ⁻¹	13.25 a	80.70 a	1136.90 ab	75.50 ab
5.5 meq·L ⁻¹	12.75 a	78.70 a	1117.90 ab	79.33 a
6.6 meq·L ⁻¹	13.75 a	53.70 a	681.30 ab	67.00 ab
7.8 meq·L ⁻¹	14 a	64.00 a	835.50 ab	72.50 ab
DMSH	NS	NS	635.59	15.76
CV %	11.53	23.6	25.09	8.07

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, SS: solución Steiner.

5.2.6. Unidades SPAD

Las diferentes concentraciones de potasio en la solución nutritiva tuvieron efecto similar y sobresaliente con relación al contenido de clorofila en las hojas (Unidades SPAD) en comparación con el testigo (Steiner 75 %) (Cuadro 19).

Cuadro 19. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva en el contenido de clorofila (unidades SPAD) en hojas de lisianthus cv. Mariachi Blue.

Tratamientos	Unidades SPAD	
	135 ddt	150 ddt
SS al 75 %	56.53 b ^z	56.48 b
3.3 meq·L ⁻¹	66.38 a	68.65 a
4.4 meq·L ⁻¹	69.85 a	72.65 a
5.5 meq·L ⁻¹	69.15 a	71.15 a
6.6 meq·L ⁻¹	70.98 a	72.08 a
7.8 meq·L ⁻¹	65.93 a	69.38 a
DMSH	8.06	8.72
CV %	5.40	5.67

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, CV: Coeficiente de Variación, ddt: días después de trasplante, SS: solución Steiner.

5.3. Variables de calidad de flor en cosecha

5.3.1. Días a cosecha

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos para esta variable (Cuadro 20).

5.3.2. Número de brotes

El testigo con la Solución Steiner al 75 % presentó el menor número promedio de brotes; los tratamientos con las concentraciones de 3.3, 4.4 y 7.8 meq·L⁻¹ tuvieron el mayor efecto en comparación con el testigo (Cuadro 20).

5.3.3. Número de botones

La concentración de 4.4 meq·L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva no presentó diferencias estadísticas significativas con las concentraciones de 3.3, 5.5, 6.6 y 7.8 meq·L⁻¹. El testigo tuvo el menor efecto en el número de botones (Cuadro 20).

5.3.4. Diámetro floral

No hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el diámetro floral de lisianthus cv. Mariachi Blue (Cuadro 20).

Cuadro 20. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva en crecimiento de lisianthus cv. Mariachi Blue al momento de la cosecha.

Tratamientos	Días a cosecha		Número de brotes		Número de botones		Diámetro floral (cm)	
SS al 75 %	153.3	a ^z	2.8	b	12.8	b	8.3	a
3.3 meq·L ⁻¹	152.3	a	5.5	a	20.0	ab	8.2	a
4.4 meq·L ⁻¹	165.0	a	5.3	a	23.5	a	8.4	a
5.5 meq·L ⁻¹	154.8	a	4.3	ab	19.8	ab	8.8	a
6.6 meq·L ⁻¹	158.8	a	4.5	ab	16.3	ab	8.0	a
7.8 meq·L ⁻¹	162.5	a	5.3	a	20.5	ab	8.2	a
DMSH	NS		2.3		10.2		NS	
CV %	6.4		22.4		24.2		8.0	

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, SS: solución Steiner.

5.4. Variables de calidad de flor en postcosecha

5.4.1. Días en florero

En esta variable no se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de potasio (Cuadro 21).

4.9.1. Número de botones abiertos en postcosecha

El tratamiento con la menor concentración de potasio tuvo el mayor número de botones abiertos en promedio (9.3), en contraste, la concentración potásica de 6.6 meq·L⁻¹ tuvo el menor efecto en esta variable con un promedio de 5.8 botones abiertos.

Cuadro 21. Efecto de la aplicación de diferentes dosis de potasio en la solución nutritiva en la vida postcosecha y el número de flores abiertas en florero de lisianthus cv. Mariachi Blue.

Tratamientos	Vida en florero		Número de botones abiertos	
SS al 75 %	16.5	a	6.5	ab ^z
3.3 meq·L ⁻¹	17.0	a	9.3	a
4.4 meq·L ⁻¹	15.5	a	8.8	ab
5.5 meq·L ⁻¹	16.8	a	6.8	ab
6.6 meq·L ⁻¹	15.8	a	5.8	b
7.8 meq·L ⁻¹	15.5	a	7.5	ab
DMSH	NS		3.3	
CV %	9.3		19.8	

^z Medias con la misma letra, dentro de columnas, son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de medias de Tukey con ($P=0.05$). DMSH: Diferencias Mínima Significativa Honesta, NS: Diferencias NO significativas, CV: Coeficiente de Variación, SS: solución Steiner.

5.5. Curva de abastecimiento nutrimental

Los modelos de regresión correspondientes a peso seco y área foliar en función de la aplicación de potasio en solución nutritiva y en función de la concentración de potasio presente en las hojas, fueron ajustados debido a la variabilidad de los datos causados por factores externos como son la heterogeneidad de las plántulas al momento del trasplante, las condiciones ambientales adversas en la

estación de invierno y las restricciones de acceso a los invernaderos en periodo de pandemia; la finalidad del ajuste fue reducir el error y obtener una curva típica del comportamiento entre la aplicación de nutrimentos y variables de crecimiento de la planta.

En la Figura 9 se presenta la curva respuesta modelada con la variable peso seco total de plantas de *lisianthus* analizadas a los 180 ddt y los tratamientos que consisten en concentraciones crecientes de potasio en la solución nutritiva. La curva resultó en un modelo polinomial cuyo coeficiente de determinación es $R^2 = 0.81$, significa que el 81% de la variación en peso seco de *lisianthus* se explica por el contenido de potasio en tejido foliar y el resto corresponde al error ocasionado por el genotipo, ambiente, problemas fitosanitarios, errores de muestreo, etc. El rango de suficiencia para alcanzar el máximo peso seco total se encuentra entre 5.5 y 6.6 meq·L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva dentro de las dosis estudiadas, concentraciones diferentes a este rango pueden afectar negativamente la expresión óptima de esta variable.

El rango de abastecimiento que logra la mayor producción en peso seco corresponde a concentraciones encontradas en tejido foliar de 3.3 y 3.6 % de potasio, mientras que el menor peso seco total se expresa con 3.0 y 3.1 % (Figura 10), dichas concentraciones de potasio en tejido foliar corresponden a la dosis baja (3.3 meq·L⁻¹) y alta de potasio (7.8 meq·L⁻¹) aplicadas en solución nutritiva (Figura 11).

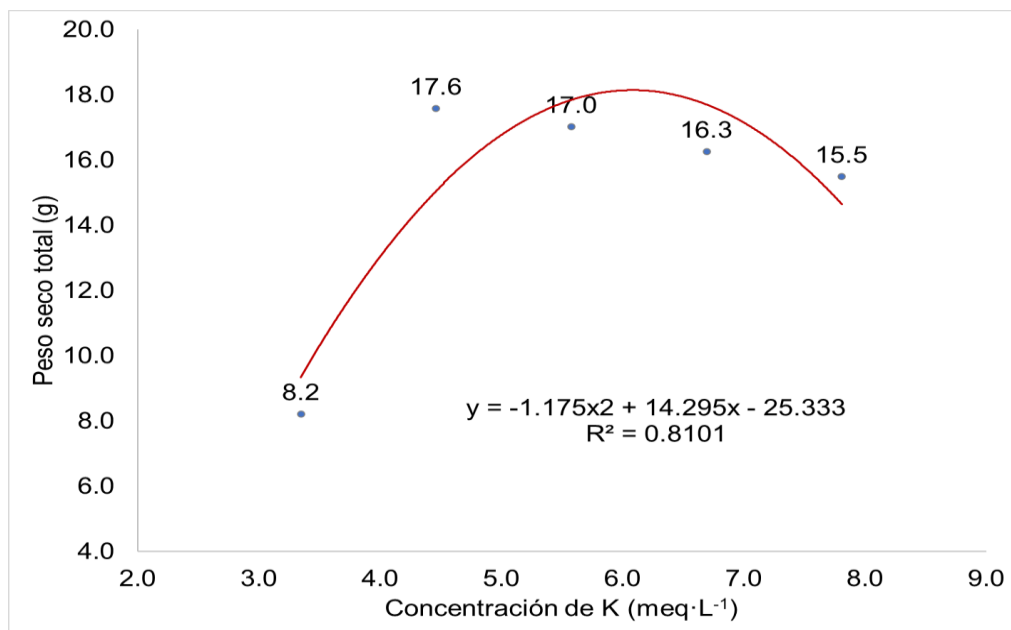


Figura 9. Curva respuesta de peso seco total en función de la concentración de potasio en solución nutritiva en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.

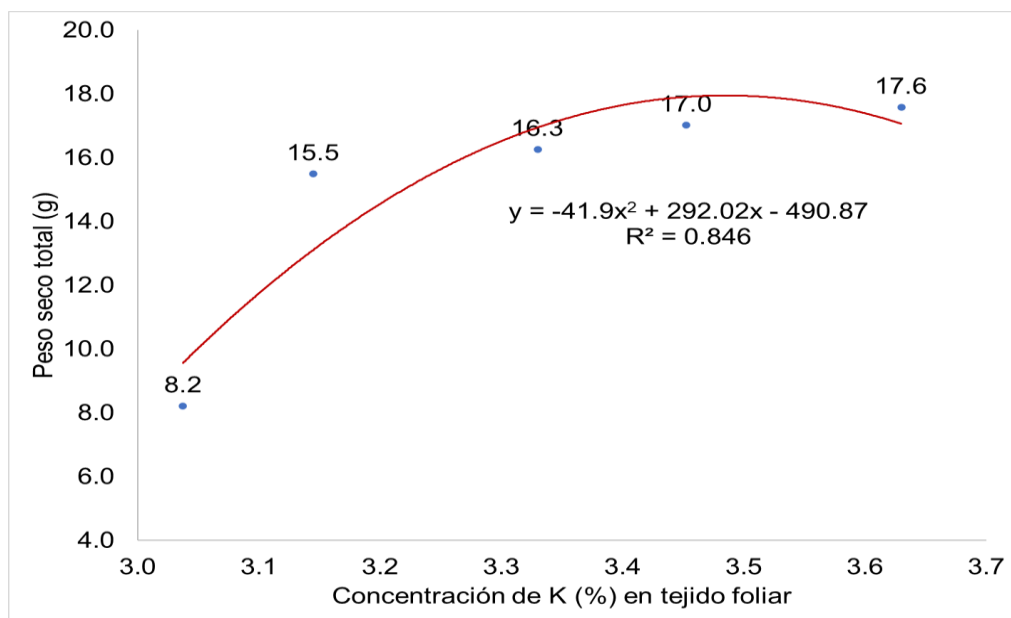


Figura 10. Curva respuesta de peso seco total en función por la concentración de potasio en el tejido foliar en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.

En la Figura 11 se muestra la curva respuesta que relaciona el potasio encontrado en el tejido foliar (%) en función de las dosis crecientes de potasio aplicadas en solución nutritiva ($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$) el coeficiente de determinación es $R^2 = 0.72$, significa que el 72 % de la variación de potasio en el tejido se explica por la dosis de potasio en estudio. El modelo polinomial muestra como existe un aumento de la concentración de potasio en tejido con las dosis bajas de potasio de 3.3 a 4.4 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$, las concentraciones más altas de potasio en tejido se relacionan con dosis aplicadas de 4.4 y 5.5 $\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$ y por encima de esta dosis a mayor dosis aplicada la concentración de potasio en hojas disminuye.

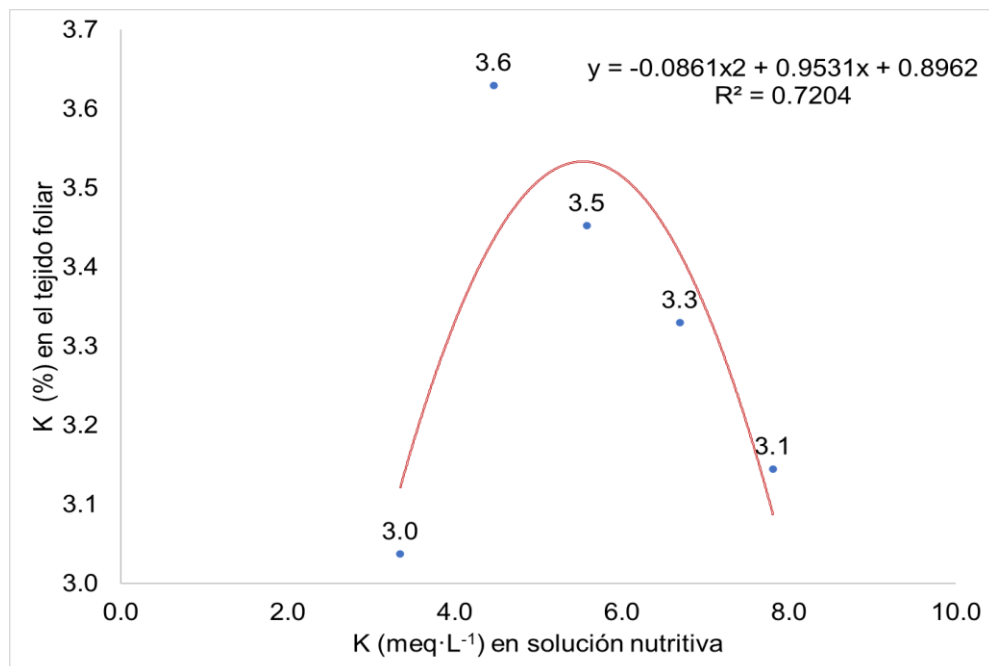


Figura 11. Curva respuesta del potasio absorbido por las hojas (K %) en función de la dosis aplicada en solución nutritiva K ($\text{meq}\cdot\text{L}^{-1}$).

La curva respuesta correspondiente al área foliar en función de los tratamientos de concentraciones de potasio aplicadas en la solución nutritiva, corresponde a un modelo polinomial con $R^2 = 0.83$, esto indica que el modelo explica el 83 % de la variación en el área foliar de lisianthus en función de la concentración de

potasio. La mayor área foliar (1136.9 y 1117.9 cm²) corresponden a 4.4 y 5.5 meq·L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva, aplicaciones de potasio fuera de este intervalo pueden ocasionar efectos negativos que ocasionan menor área foliar (Figura 12) .

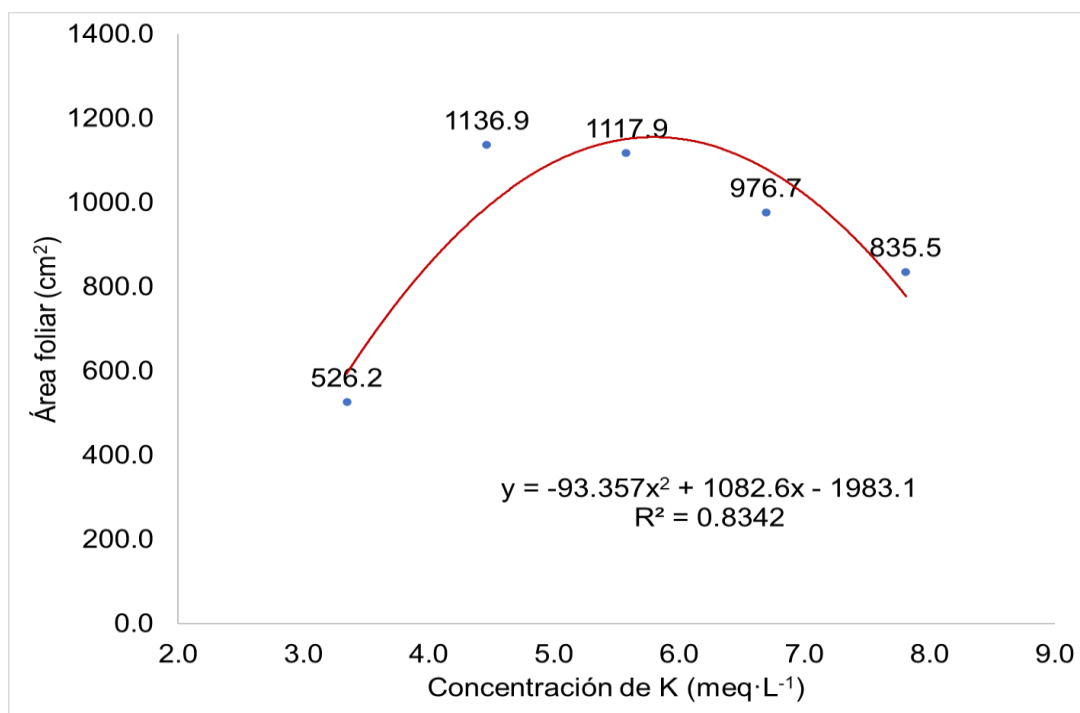


Figura 12. Curva respuesta del área foliar en función de la concentración de potasio en la solución nutritiva en plantas de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.

El contenido de potasio en el tejido foliar osciló entre 3.0 y 3.6 %, la concentración de potasio que relacionó la mayor área foliar fue de 3.5 a 3.6 % (Figura 13), el modelo de la curva tuvo un coeficiente de determinación de $R^2=0.97$ lo cual indica una alta relación entre la variación en área foliar con respecto a la concentración de potasio en tejido.

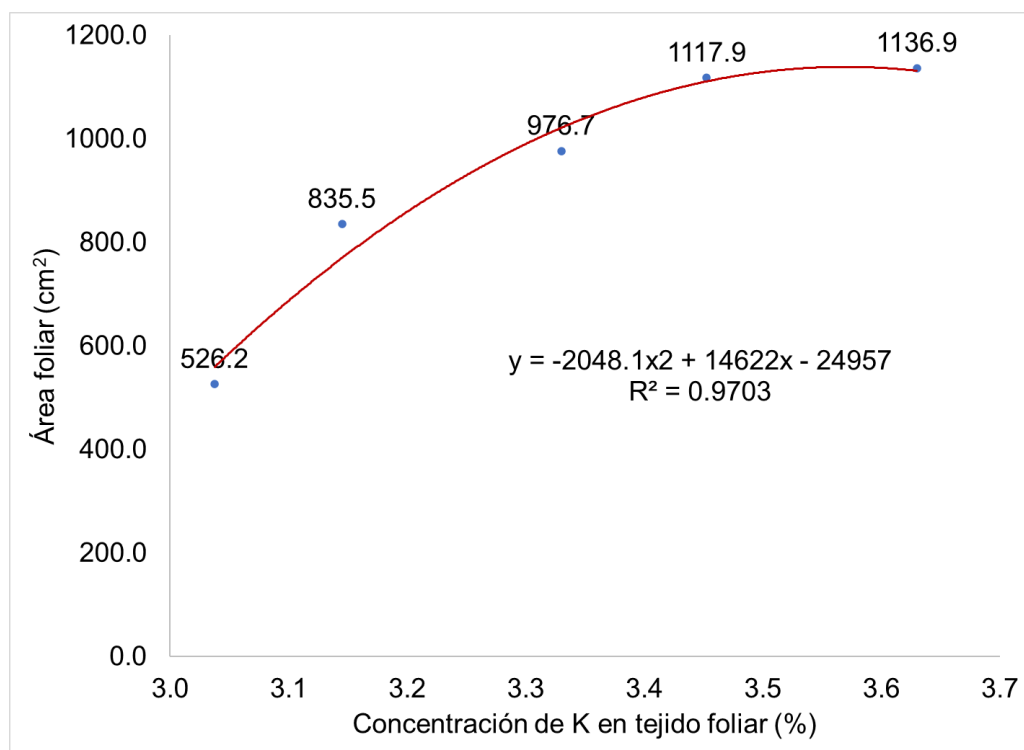


Figura 13. Curva respuesta del área foliar en función de la concentración de potasio en el tejido foliar de lisianthus cv. Mariachi Blue a los 180 días después de trasplante.

6. DISCUSIÓN

6.1. Análisis nutrimental

La concentración de nitrógeno varía dentro de especies y familias, los cultivos herbáceos fertilizados comúnmente superan el 3 % de nitrógeno en el peso seco de hojas maduras (Barker & Pilbeam, 2007); por otra parte, Jones et al. (1991) establecen que la concentración de suficiencia para la mayoría de los cultivos se encuentra entre 2.5 y 3.5 % en las hojas. El contenido promedio de nitrógeno foliar en este estudio fue de 3.27, 3.05, 3.16 y 2.59 % a los 85, 115, 150 y 180 ddt, respectivamente. Este comportamiento concuerda con lo descrito por Barker y Pilbeam (2007) donde en las primeras etapas de crecimiento las

concentraciones de nitrógeno serán altas y a medida que las plantas maduran, las concentraciones de nitrógeno en los órganos de las plantas disminuyen.

En este estudio se observó una tendencia de menor acumulación de nitrógeno foliar cuando se aplicó la solución Steiner al 75 % y la dosis baja de potasio, esto podría deberse a que en la solución testigo se aplicó solo nitrato como fuente de nitrógeno, Hernández-Pérez et al. (2015) reportaron que la acumulación de nitrógeno en el tejido foliar de *lisianthus* cv ABC Blue fue menor con la aplicación de nitrógeno en forma de nitrato en la solución nutritiva. Por otra parte, Milford y Johnston (2009) establecen que el nivel de potasio en solución influye en la absorción nutrimental de los cultivos, principalmente en la respuesta al nitrógeno, las bajas concentraciones de potasio en la solución del suelo pueden disminuir la respuesta al fertilizante nitrogenado aplicado.

El contenido de fósforo en hojas de *lisianthus* se comportó de la misma manera que el contenido de nitrógeno a través del tiempo. Se sabe que el fósforo representa de 0.15 a 1.0 % del peso seco total en muchos cultivos, con valores de suficiencia de 0.2 a 0.4 % en hojas maduras (Jones et al., 1991), los resultados del presente estudio estuvieron dentro del rango de suficiencia.

En el análisis foliar se pudo observar que el potasio se acumuló en menor concentración en el tratamiento testigo (solución Steiner al 75%) y en el tratamiento con las dosis más bajas de potasio; posteriormente el incremento de la dosis de potasio aplicada en solución nutritiva favoreció el aumento en la concentración foliar de potasio; sin embargo, la concentración foliar disminuyó cuando se aplicó la dosis más alta de potasio. A través del tiempo las concentraciones promedio obtenidas fueron de 3.52, 3.98, 4.0 y 3.27 % a los 85, 115, 150 y 180 ddt, respectivamente; valores que están dentro del intervalo de suficiencia de acuerdo con Jones et al. (1991) quienes señalaron que el potasio forma parte del 1.0 al 5.0 % del peso seco del tejido foliar, con valores de suficiencia de 1.5 a 3.0 %. En este experimento las plantas de *lisianthus* extrajeron mayor cantidad de potasio que de nitrógeno, lo anterior también se ha reportado en investigación con *lisianthus* cv. Mariachi Pink, donde se registró al

potasio como el elemento más extraído (Castillo-González et al., 2017), dicho comportamiento es semejante a algunos cultivos de grano cuya demanda de potasio es mayor que de nitrógeno (Kant y Kafkafi, 2002).

La absorción de potasio puede verse fuertemente deprimida por otros cationes, como el Mg^{2+} , NH_4^+ y Ca^{2+} , así como por H^+ , es decir, por pH bajo. Se han reportado incrementos en las concentraciones de Na^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} en respuesta a la deficiencia de potasio y disminución en las concentraciones de estos cationes a concentraciones altas de potasio (Hernández et al., 2012). En este estudio se observó un efecto antagónico de potasio con Mg en la etapa reproductiva, ya que, a concentraciones mayores de potasio aplicado en la solución nutritiva, el contenido de magnesio foliar fue menor; sin embargo, no se presentaron síntomas de deficiencia de este nutrimento debido a que las concentraciones foliares de 0.91, 0.79, 0.85 y 0.52 % correspondientes a las cuatro etapas de muestreo, están dentro de las concentraciones de suficiencia de acuerdo con Jones et al. (1991) quienes establecieron que el contenido de magnesio varía entre 0.15 a 1.0 % del peso seco del tejido foliar y el valor de suficiencia es de 0.25 % en la mayoría de los cultivos.

Por otra parte, se conoce que la estimulación de la absorción de potasio mediante concentraciones que aumentan proporcionalmente reducirá la absorción o el transporte de calcio (Sonneveld & Voogt, 2009). En este estudio el calcio tuvo un comportamiento similar al magnesio, en la etapa final del cultivo a los 180 ddt, donde se observó una disminución de la concentración foliar de calcio cuando la concentración aplicada de potasio se incrementó. Las concentraciones promedio de calcio en cada muestreo fueron de 1.18, 1.03, 1.02, 1.55 %, las cuales se encuentran dentro del intervalo de la mayoría de los cultivos, es decir entre 0.2 a 3.0 % (Jones et al., 1991).

El sodio y el potasio, siendo elementos adyacentes en el Grupo I de la tabla periódica, tienen propiedades químicas similares. El sodio se considera un elemento benéfico ya que no cumple con los criterios de esencialidad para la mayoría de las plantas con excepción de algunas halófitas y algunas especies

C4 (Barker y Pilbeam, 2007). El papel del potasio en la turgencia celular puede desempeñarse por el sodio, y en cierta medida por el calcio y magnesio, en presencia de bajas concentraciones de potasio (Hafsi y Abdelly, 2014). En el presente estudio se observó mayor acumulación de sodio a bajas concentraciones de potasio en la solución nutritiva; sin embargo, a pesar de la alta concentración foliar de sodio en hojas de lisianthus, no se observaron síntomas de toxicidad. Valdez-Aguilar et al. (2014) encontraron que el lisianthus cv. Echo Blue puede tolerar concentraciones altas de sodio en comparación con otras especies, obteniendo un buen crecimiento aun con concentraciones foliares en hojas maduras de $600 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ y en hojas jóvenes de $375 \text{ mmol}\cdot\text{kg}^{-1}$ de sodio, superiores a las establecidas en maíz y frijol.

En cuanto a los micronutrientes, de acuerdo con Fageria et al. (2010), la concentración promedio de micronutrientes esenciales en materia seca, suficiente para el crecimiento de los cultivos es de 112, 55, 20 y $6 \text{ mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$ para hierro, manganeso, zinc y cobre, respectivamente. Dichas concentraciones, con excepción del cobre, son superiores a lo encontrado en lisianthus; sin embargo, no se presentaron síntomas de deficiencia en el cultivo.

6.2. Variables de crecimiento y desarrollo

De acuerdo con modelos estimados en lisianthus cv. Mariachi Blue, la acumulación de materia seca muestra dos etapas, la primera que comprende desde el trasplante al inicio de floración donde el incremento es lineal y la segunda posterior al inicio de floración, que refleja un incremento muy marcado en la pendiente debido al desarrollo de flores (Alvarado-Camarillo, 2018b). Lo anterior explica que las diferencias significativas en el peso seco total de lisianthus se vio reflejado en la etapa reproductiva, a los 180 ddt, influenciado principalmente por la variación en el peso de botones y tallos, ya que en hojas no hubo diferencias significativas, el efecto en el peso seco de tallo y botón se vio

afectado por la dosis de potasio, a menor concentración aplicada menor peso seco y viceversa, esto puede atribuirse a la reducción en fotosíntesis debido a la falta de potasio en la planta y la restricción del transporte de foto asimilados desde los tejidos de origen a otras estructuras de demanda, en este caso, la translocación de fotosintatos desde las hojas a las flores (Kanai et al., 2011).

El área foliar a los 180 ddt fue menor con la dosis baja de potasio aplicada en solución nutritiva, dicho efecto se ha reportado en el cultivo de algodón cuya deficiencia de potasio indujo la reducción del área foliar (Hu et al., 2017).

El índice SPAD es utilizado para evaluar de manera indirecta el estado del nitrógeno y clorofilas en las plantas, éste se puede medir con el equipo SPAD-502 Minolta (Gianquinto et al., 2003). Las dosis crecientes de potasio no afectaron los promedios de unidades SPAD, sin embargo, sí presentaron diferencias con la solución nutritiva Steiner que manifestó los menores promedios. Las unidades SPAD aumentaron en dichas mediciones a través del tiempo, resultados que difieren con Cunha et al. (2015) quienes identificaron un modelo polinomial cuadrático decreciente que representó la disminución del SPAD a lo largo del crecimiento de la planta e identificaron el periodo de mayor necesidad de nitrógeno en *lisianthus* cv. Mariachi Blue, entre los 63 y 105 ddt posterior al pinch, con valores entre 52.14 y 52.78 unidades SPAD, valores inferiores a los encontrados en este experimento.

La altura de planta al final del ciclo de cultivo se vio afectada por las dosis de potasio, la menor altura se registró con la menor concentración de potasio aplicada en solución, resultados similares se observaron en un estudio realizado por Barzegar et al. (2019) en *lisianthus* donde la aplicación de 400 mg·L⁻¹ de potasio aumentó el número de hojas y la altura de plantas en un 10 y 5% más que con la aplicación de 300 mg·L⁻¹.

6.3. Calidad postcosecha

Los diferentes tratamientos no afectaron la vida en florero de lisianthus. El número de flores abiertas después del corte se favoreció con el tratamiento cuya concentración aplicada de potasio fue la más baja, esto probablemente se deba al mayor diámetro de tallo y menor altura que se expresó con dicho tratamiento lo que permite una mejor absorción de agua al resto del tallo durante la vida en florero; el promedio de flores abiertas en postcosecha fue de 7.45 mientras que De La Riva-Morales et al. (2013) reportaron en el mismo cultivar Mariachi Blue un promedio de flores abiertas de 4.46, resultados menores comparados con este experimento.

6.4. Curvas de abastecimiento de potasio

Los resultados de las curvas de abastecimiento de potasio permitieron observar los rangos de deficiencia moderada, suficiencia y toxicidad en un nivel mínimo de potasio en cultivo de lisianthus cultivar Mariachi Blue.

El rango adecuado o suficiente indica los valores relacionados con los máximos rendimientos (Alcántar-González & Trejo-Téllez, 2007), de acuerdo con Jones et al. (1991) los valores de suficiencia de potasio están dentro del intervalo 1.5 a 3.0 % de potasio en tejido foliar para la mayoría de los cultivos, en este estudio el intervalo de suficiencia se obtuvo entre 3.3 y 3.6 %, dichos resultados podrían explicarse por la alta capacidad del cultivo en extraer y acumular este elemento (Castillo-González et al., 2017) ya que a pesar del amplio intervalo de dosis aplicadas de potasio en solución nutritiva que van desde 3.3 a 7.8 meq·L⁻¹, en el análisis foliar se obtuvo un intervalo estrecho de concentraciones de dicho nutriente que está entre 3.0 a 3.6 %.

El intervalo estudiado entre 3.3 a 4.4 meq·L⁻¹ se identificó en un intervalo de suministro con deficiencia moderada de acuerdo con lo descrito por Osorio (2012), este intervalo también se denomina “hambre oculta” donde las concentraciones bajas en el tejido no siempre se relacionan con síntomas visuales; sin embargo, puede repercutir en la calidad del producto. Según Chen et al. (2018) las plantas de lisianthus con deficiencias de potasio presentaron

menor concentración de clorofila y necrosis terminal, sin embargo, en este estudio las plantas no manifestaron dichos síntomas.

En una curva de abasto nutrimental, la toxicidad incipiente se manifiesta en una ligera reducción en el crecimiento y acumulación de biomasa, en esta zona de concentración se encuentra el nivel crítico de toxicidad (Sánchez-García et al., 2016), y conforme la concentración del nutrimento continúa aparecen los síntomas visuales de toxicidad, definiéndose el intervalo de toxicidad y una disminución significativa del crecimiento, efectos que son más probables con los micronutrientes (Fageria et al., 2010). En este estudio se observó, en el intervalo de suministro de potasio entre 6.6 - 7.8 meq·L⁻¹ en la solución nutritiva, una ligera disminución en peso seco y área foliar, pero no correspondieron con la mayor concentración de potasio en el tejido. Sin embargo, se obtuvieron concentraciones menores de calcio y magnesio en el tejido foliar, quizás como resultado del efecto antagónico de potasio en la absorción de estos nutrientes.

7. CONCLUSIONES

Las variables peso seco total y área foliar permitieron modelar las curvas de respuesta a la concentración de potasio en el tejido en función de concentraciones crecientes de potasio en la solución nutritiva durante el crecimiento de *lisianthus* cv. Mariachi blue.

El intervalo de suministro de potasio que produjo la mejor respuesta en diferentes variables de crecimiento en *lisianthus* está entre 4.4 y 6.6 meq·L⁻¹ en solución nutritiva relacionados a concentraciones foliares entre 3.6 y 3.3 % de potasio, sugeridas como las concentraciones de suficiencia, las concentraciones fuera de este rango ocasionaron un efecto antagónico del K sobre la acumulación de Ca, Mg y Na, sin presentar síntomas de deficiencia. Se determinó que con el suministro de potasio de 5.5 y 6.6 meq·L⁻¹ se propició un mejor crecimiento,

reflejado en un mayor peso seco total, mientras que las dosis aplicadas de potasio entre 4.4 y 5.5 meq·L⁻¹ en solución nutritiva manifestaron la mayor área foliar.

En el rango de suministro de 3.3 a 4.4 meq·L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva, la planta tuvo reducciones en altura, peso seco total y área foliar, correspondientes a concentraciones foliares de 3.0 a 3.6 % de potasio por lo que se considera un rango de deficiencia moderada.

En el intervalo de concentración de 3.3-7.8 meq·L⁻¹ de potasio en la solución nutritiva no se expresaron con claridad los diferentes rangos de suficiencia (deficiencia severa, deficiencia moderada, suficiencia, consumo de lujo, toxicidad) de una curva de abastecimiento nutrimental, se requiere ampliar el rango de concentraciones de potasio para obtener las diferentes categorías de la curva de abastecimiento.

8. LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Alcántar-González, G., & Trejo-Téllez, L. I. (2007). *Nutrición de cultivos* (2da Ed). Mundi-Prensa.
- Alvarado-Camarillo, D., Castillo-González, A. M., Valdez-Aguilar, L. A., & García-Santiago, J. C. (2018a). Balance and concentration of nitrogen and potassium affect growth and nutrient status in soilless cultivated lisianthus. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B Soil & Plant Science*, 68(6), 496-504. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1433873>
- Alvarado-Camarillo, D., Valdez-Aguilar, L. A., & Cadena-Zapata, M. (2018b). Crecimiento y programa de fertilización para lisianthus en base a la acumulación nutrimental. *AGROProductividad*, 11(8), 3-11. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1090>

- Anitha, K., Sharathkumar, M., Kumar, P. J., & Jegadeeswari, V. (2016). A Simple, non-destructive method of leaf area estimation in Lisianthus, *Eustoma grandiflorum* (Raf). Shinn. *Current Biotica*, 9(4), 313-321.
- Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., & Morisigue, D. (2009). El sistema flotante como alternativa para la producción de plantines de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* L.). *Agriscientia*, 26(2), 63-69. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v26.n2.2755>
- Barker, A. V. & Pilbeam D. J. (Eds.) (2007). *Handbook of plant nutrition*. CRC Press
- Barzegar, R., Ghehsareh, M. G., & Bahalo, Z. (2019). The effect of different concentrations of potassium and calcium of nutrient solution on growth and flowering of lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shiann. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 10(1), 1-11.
- Bloom, A. J., Meyerhoff, P. A., Taylor, A. R., & Rost, T. L. (2002). Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(4), 416-431. <https://doi.org/10.1007/s00344-003-0009-8>
- Britto, D. T., & Kronzucker, H. J. (2002). NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159(6), 567-584. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-0774>
- Camargo, M. S. D, Shimizu, L. K., Saito, M. A., Kameoka, C. H., Mello, S. D. C., & Carmello, Q. A. D. C. (2004). Crescimento e absorção de nutrientes pelo lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) cultivado em solo. *Horticultura Brasileira*, 22(1), 143-146. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000100030>
- Castillo-González, A., Avitia-García, E., Valdez-Aguilar, L., & Velázquez-Maldonado, J. (2017). Extracción nutrimental en lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. Mariachi Pink. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 345-354. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.55>
- Chen, C. T., Lee, C. L., & Yeh, D. M. (2018). Effects of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, or magnesium deficiency on growth and photosynthesis of *Eustoma*. *HortScience*, 53(6), 795-798. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12947-18>
- Cunha, A. R. D., Katz, I., Sousa, A. D. P., & Martinez, R. A. M. (2015). Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de lisianthus en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. *Idesia (Arica)*, 33(2), 97-105. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000200012>

- De La Riva-Morales, F. P., Mazuela-Águila, 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. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.003>
- Dole J. M., & Wilkins H. F. (2005). *Floriculture. Principles and species* (2ª Ed.). Pearson.
- Domínguez, A. R. (2002). *Cultivo del lisianthus (Eustoma grandiflorum). flores de altura*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Espinoza-Flores, A., Mejía-Muñoz, J. M., Colinas-León, M. T., Rodríguez Elizalde, M. A., Urbanczyk Pyc, A. E. & Beltran Bernal M. A. (2009). *Catalogo nacional de especies y variedades comerciales de plantas y flores producidas en México*. Universidad Autónoma Chapingo.
- Etchevers, J. D. B. (1999). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 209-219. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317305>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2010). *Growth and mineral nutrition of field crops* (3ª ed.). Taylor and Francis Group.
- Fernández Pavía, Y., & Trejo Téllez, L. (2018). Biología, importancia económica y principales líneas de investigación en lisianthus: una especie ornamental nativa de México. *Agroproductividad*, 11(8), 177-182. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i8.1115>
- Flores-Pérez, S., Valdez-Aguilar, L. A., Castillo-González, A. M., & Avitia-García, E. (2018). Abastecimiento de nitrógeno en lisianthus (*Eustoma grandiflorum* [Raf.] Shinn) cv. ABC2 Lavanda. *AGROProductividad*, 11(8), 55-60.
- Gianquinto, G., Sambo P., & Bona S. (2003). The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: A methodological approach. *Acta Horticulturae*, 32(607), 197-204. [10.17660/ActaHortic.2003.607.30](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.607.30)
- Hafsi, C., Debez, A., & Abdelly, C. (2014). Potassium deficiency in plants: effects and signaling cascades. *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(5), 1055-1070. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1491-2>
- Halevy, A. H., & Kofranek, A. M. (1984). Evaluation of lisianthus as a new flower crop. *HortScience*, 19(6), 845-847.

- Harbaugh, B. K. (2007). *Lisianthus*. In N. O. Anderson (Ed.), *Flower breeding and genetics*. (pp. 644-663). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4428-1_24
- Hernández, D. C., Cervantes, A. M., Pelier, D. L., & Rondón, P. P. (2014). Evaluación de los parámetros de manejo de los sistemas de microirrigación mediante el criterio de Merriam y Keller. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(1), 37-40.
- Hernández, M., Fernandez-Garcia, N., Garcia-Garma, J., Rubio-Asensio, J. S. Rubio, F., & Olmos, E. (2012) Potassium starvation induces oxidative stress in *Solanum lycopersicum* L. roots. *Journal of Plant Physiology*, 169(14), 1366–1374. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.05.015>
- Hernández-Pérez, A., Valdez-Aguilar, L. A., Villegas-Torres, O. G., Alía-Tejacal, I., Trejo-Téllez, L. I., & Sainz-Aispuro, M. D. J. (2016). Effects of ammonium and calcium on lisianthus growth. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 57(2), 123-131. <https://doi.org/10.1007/s13580-016-0004-1>
- Hernández-Pérez, A., Villegas-Torres, O. G., Valdez-Aguilar, L. A., Alía-Tejacal, I., López-Martínez, V., & Domínguez-Patiño, M. L. (2015). Tolerancia de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* (Raf.) Shinn.) a elevadas concentraciones de amonio en la solución nutritiva. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(3), 467-482. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i3.632>
- Hu, W., Coomer, T. D., Loka, D. A., Oosterhuis, D. M., & Zhou, Z. (2017). Potassium deficiency affects the carbon-nitrogen balance in cotton leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 408-417. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.005>
- Jones, J.B., Wolf, B., & Mills, H. A. (1991). *Plant analysis Handbook. A practical sampling, preparation analysis and interpretation guide*. Micro-Magro Publ.
- Kamiab, F., Shahmoradzadeh Fahreji, S., & Zamani Bahramabadi, E. (2017). Antimicrobial and physiological effects of silver and silicon nanoparticles on vase life of *Lisianthus* (*Eustoma grandiflora* cv. Echo) flowers. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 4(1), 135-144.
- Kanai, S., Moghaieb, R. E., El-Shemy, H. A., Panigrahi, R., Mohapatra, P. K., Ito, J., Nguyen, N.T., Saneoka, H., & Fujita, K. (2011). Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative sink in green

- house tomato prior to its effects on source activity. *Plant Science*, 180(2), 368-374. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.10.011>
- Kant, S., & Kafkafi, U. (2002). *Absorción de potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos*. The Hebrew University of Jerusalem.
- López-Guerrero, A. G., Zenteno-Savín, T., Rivera-Cabrera, F., Izquierdo-Oviedo, H., & Soriano-Melgar, L. D. A. A. (2021). Pectin-derived oligosaccharins effects on flower buds opening, pigmentation and antioxidant content of cut lisianthus flowers. *Scientia Horticulturae*, 279, 109909. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109909>
- Marchese, J. A., Katz, I., Sousa, A. P., & Rodrigues, J. D. (2005). Gas exchange in lisianthus plants (*Eustoma grandiflorum*) submitted to different doses of nitrogen. *Photosynthetica*, 43(2), 303-305. <https://doi.org/10.1007/s11099-005-0050-x>
- Marschner, P. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3^a Ed.). Academic Press of Elsevier
- Melgares de Aguilar, J. (1996a). El cultivo de lisiantus (parte I). *Horticultura*, 113, 13-16.
- Melgares de Aguilar, J. (1996b). El cultivo de lisiantus (parte II). *Horticultura*, 113, 47-50.
- Mendoza-Villarreal, R., Valdez-Aguilar, L. A., Sandoval-Rangel, A., Robledo-Torres, V., & Benavides-Mendoza, A. (2015). Tolerance of lisianthus to high ammonium levels in rockwool culture. *Journal of Plant Nutrition*, 38(1), 73-82. <https://doi.org/10.1080/01904167.2014.920379>
- Milford, G. F. J., & Johnston, A. E. (2009). Potassium and nitrogen interactions in crop production. *Nawozy i Nawożenie (Fertilisers and Fertilization)*, 6(34), 143-162.
- Osorio, N. W. (2012). El análisis foliar: una poderosa herramienta para diagnosticar el estado nutricional de los cultivos, pasturas y plantaciones. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(3), 1-4.
- Pandey, G. K., & Mahiwal, S. (2020). *Role of potassium in plants*. Springer.
- Saeedi, R., Etemadi, N., Nikbakht, A., Khoshgoftarmanesh, A. H., & Sabzalian, M. R. (2015). Calcium chelated with amino acids improves quality and postharvest life of lisianthus (*Eustoma grandiflorum* cv. Cinderella Lime). *HortScience*, 50(9), 1394-1398. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.9.1394>

- Sakata. (2011). Lisianthus cut flower production. Obtenido el 20 de noviembre de 2021 de <https://sakataornamentals.com/>
- Sánchez-García, P., Molino da Silva, C., Alcántar-González, G. y M. Sandoval-Villa. 2016. Diagnóstico Nutricional en Plantas. In: Alcántar-Gonzalez, G., Trejo-Tellez. I. L. y Gómez-Merino, C. F. (Eds). *Nutrición de Cultivos* (2ª ed. Pp 443). Colegio de Posgraduados.
- SAS INSTITUTE INC. 2014. Base SAS 9.4 procedures guide. Second Edition, Volumes 1, 2, 3, and 4. Cary, NC: SAS Institute Inc. 1906p.
- Sonneveld, C., & Voogt, W. (2009). Tissue Test. In *Plant nutrition of greenhouse crops* (pp. 83-98). Springer.
- Valdez-Aguilar, L. A., Castillo-González, A. M., Alia, T. I., Galván, L. J., & Rojas-Velázquez, A. N. (2011). Estudios de nutrición de liliun y lisianthus en sistemas sin suelo. *Memorias del primer simposio de nutrición de ornamentales* (pp. 3-10). Universidad Autónoma del estado de Morelos.
- Valdez-Aguilar, L. A., Grieve, C. M., & Poss, J. A. (2014). Response of Lisianthus to irrigation with saline water: ion relations. *Journal of Plant Nutrition*, 37(4), 546-561. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.867982>
- Wani, M. A., Nazki, I. T., Din, A., Iqbal, S., Wani, S. A., & Khan, F. U. (2018). Floriculture sustainability initiative: The dawn of new era. In *Sustainable Agriculture Reviews* 27 (pp. 91-127). Springer, Cham.
- Wani, M. A., Nazki, I. T., Din, A., Iqbal, S., Wani, S. A., & Khan, F. U. (2018). Floriculture Sustainability Initiative: The Dawn of New Era. In Lichtfouse, E. (ed.), *Sustainable Agriculture Reviews* (pp. 91-127). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75190-0_4
- Zaccai, M., & Edri, N. (2002). Floral transition in lisianthus (*Eustoma grandiflorum*). *Scientia Horticulturae*, 95(4), 333-340. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00057-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00057-2)