

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

**RESPUESTA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* Raf.) CV.
ECHO BLUE A DIFERENTES DOSIS DE NITRÓGENO, CALCIO
Y MAGNESIO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS EN
HORTICULTURA**

PRESENTA:

CITLALY HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ



Instituto de Horticultura



**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

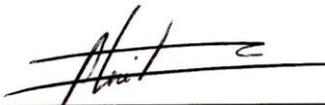
CHAPINGO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO, NOVIEMBRE DE 2011.

Respuesta de lisianthus (*Eustoma grandiflorum* Raf.) cv. Echo Blue a diferentes dosis de nitrógeno, calcio y magnesio.

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

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR 
DRA. ANA MARÍA CASTILLO GONZÁLEZ

ASESOR 
DR. ÉDILBERTO AVITIA GARCÍA

ASESOR 
DRA. LIBIA I. TREJO TÉLLEZ

ASESOR 
DRA. MARÍA TERESA COLINAS LEÓN

LECTOR EXTERNO 
DR. MARTÍN RUBI ARRIAGA

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo mexicano, que por medio del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) hicieron posible la realización de mis estudios de postgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, al Instituto de Horticultura y a sus profesores, que con sus cursos y enseñanzas han aportado conocimientos importantes en mi formación académica.

A la Doctora Ana María Castillo González, por el valioso tiempo dedicado, por las sugerencias y su incondicional apoyo a este trabajo de investigación.

Al Doctor Edilberto Avitia García, la Doctora Libia I. Trejo Téllez, la Dra. María Teresa Colinas León, el Doctor Martín Rubi Arriaga, el Doctor Joel Pineda Pineda y el Doctor Luis Alonso Valdéz Aguilar, por todo el apoyo y paciencia en la realización y revisión de este trabajo.

A mis amigos(as): Doctor Roberto García Espinosa, Juliana Bautista Calles, Petra Andrade Hoyos, Eduardo Molina Gayosso y Silvia Pliego Monreal, por su gran e incondicional amistad y por estar conmigo siempre.

A los laboratoristas: Angela Barrera Cortés, Antonio Díaz Santoyo, Yadira Pérez Reyes y Wenceslao Vidal García, por su valiosa y gran ayuda en la fase de laboratorio y a los ingenieros Eridani García Vázquez y José Israel Carrera Arzeta por su gran apoyo en la fase de campo.

DEDICATORIAS

A mis queridos padres, Semey Hernández Mendo y Amelia Hernández Prior, por haberme dado la vida, por guiarme en este sinuoso camino, por todo el apoyo moral y económico, por la gran comprensión y el amor incondicional que siempre me han mostrado. Me harían falta palabras para decirles todo lo que significan para mí, los amo con todas las fuerzas de mi alma y de mi corazón.

A mis hermanos Ameyali, Luis Semey y Ben Alí, por todos los momentos que hemos compartido, por el apoyo y comprensión que me han dado, por toda la felicidad que han traído a mi vida y por todo el amor que me han mostrado, hermanos, los quiero muchísimo.

A mis abuelos Juvencio Hernández Del Angel, Marcelina Mendo Lara, Gerardo Hernández Hinojosa, por sus sabias enseñanzas y por su gran amor, siempre estarán en mi corazón, y especialmente a mi querida abuelita María Luisa Prior Cortés, viejita linda, te has ido y has dejado un gran dolor y una gran tristeza en nuestros corazones, cada día que pasa derramo lágrimas porque aún no puedo creer que ya no estés con nosotros, te extrañamos tanto...lo que más me duele es no haberte dicho nunca que te amaba; te recuerdo sonriente, llena de vida, hermosa; lo único que me consuela es saber que estás en un lugar mejor, que estás en paz y ya no sientes más dolor, abuelita, siempre estarás en mi corazón...abuelita, este canto es para ti:

*Arrullo que dura la vida
tu sino me persigna
entre el amor y el dolor
llegó la hora de la despedida.*

*Arrullo que juega con brisa
la música es tu sonrisa
mi alimento, tu pecho, tu vida,
un instante, una luz, la partida.*

*Je vas y espero
que cruces sin dolor
y en paz nos dejes atrás.
Je quiero y deseo
que tu alma vuelva allá
a ser una estrella.*

*Ya llegó la nave que te llevará,
cruzaste ya el valle
de lágrimas el mar
Cuántas veces tu me cruzaste
y el sueño me arropó
hoy quiero acompañarte
hoy te arrullaré yo.*

TE AMO ABUELITA LINDA, DESCANSA EN PAZ...

A mi cuñado Felipe Reyes Fuentes, por mostrar el aprecio hacia mí al apoyarme cuando más los he necesitado. Gracias cuñado!

A mi querido sobrinito Felipe Reyes Hernández, el que me ha robado el corazón desde el primer instante en que vi sus hermosos ojos negros, el que ha traído a nuestra familia mucho amor, felicidad y cariño, el que lleva en su sangre, la continuación de nuestra estirpe...te amamos!

Doy gracias a la vida por aquel anochecer en la que veía las luces de la ciudad sobre el lago Ontario, llegando como una brisa de verano; repentino y fresco, aquel ser humano que trajo consigo el amor que a mi vida le hacía falta. Pero sobre todo, doy gracias a la vida por aquella

felicidad que ha llegado a mí y que será aún más grande cuando el sol y las flores del próximo verano nazcan otra vez.

A todos mis tíos y primos, por sus sugerencias y consejos y quienes además han sido fuente de mi inspiración para seguir superándome. Un agradecimiento especial a mi tía Amor Isabel Hernández Mendo, a mi tío Geoffrey M. Rodgers y a mis primos Patrick O. Rodgers-Hernández y Alexandre M. Rodgers-Hernández, por abrirme incondicionalmente las puertas de su hogar, por dejar que forme parte de su vida diaria, de considerarme un miembro más de su pequeña familia, por todas las cosas y los momentos que compartimos en esos meses, y que gracias a la gran ayuda brindada pude encontrar el camino con corazón, camino que me ha permitido tomar nuevamente el rumbo de mi vida, que me ha traído el amor, la paz y la inspiración para culminar este importante proyecto.

Sinceramente:

Citlaly Hernández Hernández

DATOS BIBLIOGRAFICOS DEL AUTOR

Citlaly Hernández Hernández es originaria de la comunidad de Ixcanelco, Tantoyuca, Veracruz, comunidad nahua que se encuentra en La Huasteca veracruzana, nació el 1 de abril de 1981 en Tantoyuca, Veracruz. En su pueblo natal realizó los estudios de educación preescolar, en el Jardín de Niños “Enrique C. Rebsamen”, y los de educación primaria en la Escuela Primaria Rural Federal “Benito Juárez”. En la Ciudad de Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, realizó los estudios a nivel secundaria en la Escuela Secundaria General N° 1 “Emiliano Zapata” en el período 1993-1996, y posteriormente, en el período 1996-1999 realizó sus estudios a nivel medio superior en el Centro de Estudios de Bachillerato 5/13, en esta misma ciudad. En 1999 ingresa al propedéutico y en el año 2000 al 2004 cursa la especialidad de Ingeniería en Agroecología en la Universidad Autónoma Chapingo. Su investigación de tesis de licenciatura se tituló: “Habilidad competitiva del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), una alternativa agroecológica para el control de malezas”. En 2004-2005 trabaja en la Organización no Gubernamental “Patronato Pro Zona Mazahua A. C.” en la línea Económica-Productiva Sustentable y Desarrollo Rural. En el 2005 inicia sus estudios de Postgrado en el Programa de Maestría en Fitopatología en el Colegio de Posgraduados campus Montecillo, culminando en el año del 2007 con la tesis titulada: “Dos visiones del mejoramiento genético por resistencia a los patosistemas del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y sus implicaciones”.

En el 2008 inicia sus estudios de Doctorado en el Departamento de Fitotecnia, Instituto de Horticultura, de la Universidad Autónoma Chapingo.

INDICE

	Página
I. RESUMEN GENERAL	1
II. GENERAL SUMMARY	3
III. INTRODUCCION GENERAL	5
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Importancia del cultivo	6
4.2. Botánica	7
4.3. Exigencias climáticas	8
4.3.1. Luz.....	8
4.3.2. Temperatura.....	9
4.3.3. Agua.....	10
4.4. Desarrollo y manejo del cultivo	11
4.4.1. Propagación.....	11
4.4.2. Trasplante.....	11
4.4.3. Ciclo del cultivo.....	12
4.4.4. Floración y cosecha de flores.....	13
4.4.5. Plagas y enfermedades.....	13
4.5. Nutrición	14
4.6. Función de los nutrimentos en las plantas	16
4.6.1. Nitrógeno.....	16
4.6.2. Fósforo.....	17

4.6.3. Potasio.....	17
4.6.4. Calcio.....	18
4.6.5. Magnesio	18
4.6.6. Azufre.....	18
4.7. Sintomatologías del diagnóstico.....	19
4.7.1. Síntomas de deficiencia.....	19
4.7.2. Síntomas de toxicidad.....	20
4.8. Niveles de abastecimiento nutrimental.....	20
4.8.1. Nivel o concentración crítica.....	21
4.9. Intervalos y curvas de abastecimiento nutrimental.....	22
4.10. Rangos de abastecimiento nutrimental.....	23
4.11. Interacciones nutrimentales en cultivos.....	25
4.11.1. Nitrógeno	27
4.11.2. Fósforo	29
4.11.3. Potasio	29
4.11.4. Calcio, magnesio y azufre	30
CAPÍTULO I. RESPUESTA DE LISIANTHUS (<i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) CV. ECHO BLUE A DIFERENTES DOSIS DE NITRÓGENO.....	32
RESUMEN.....	32
SUMMARY.....	34
1.1. INTRODUCCIÓN.....	36
1.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
1.2.1. Localización.....	36

1.2.2. Material vegetal utilizado	36
1.2.3. Diseño experimental, tratamientos y condiciones ambientales	36
1.2.4. Variables evaluadas	38
1.2.4.1. Altura de la planta y número de hojas	38
1.2.4.2. Área foliar.....	38
1.2.4.3. Volumen radical.....	38
1.2.4.4. Número de botones.....	38
1.2.4.5. Diámetro de tallo.....	39
1.2.4.6. Diámetro de flor.....	39
1.2.4.7. Vida poscosecha.....	39
1.2.4.8. Materia seca.....	39
1.2.4.9. Contenido de macronutrientes.....	40
1.2.5. Análisis estadístico	40
1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
1.3.1. Crecimiento vegetativo	41
1.3.1.1. Altura de la planta y número de hojas.....	41
1.3.1.2. Área foliar.....	42
1.3.1.3. Diámetro de tallo.....	42
1.3.1.4. Volumen radical.....	43
1.3.1.5. Número de botones	43
1.3.1.6. Diámetro de flor.....	43
1.3.2. Vida poscosecha	44

1.3.3. Materia seca.....	45
1.3.4. Contenido de macronutrientes por órgano en plantas de lisianthus.....	47
1.3.4.1. Contenido de macronutrientes en raíz.....	47
1.3.4.2. Contenido de macronutrientes en tallo.....	48
1.3.4.3. Contenido de macronutrientes en hoja.....	49
1.3.4.4. Contenido de macronutrientes en flor.....	50
1.3.5. Concentración nutrimental en hojas.....	51
1.3.6. Contenido total de macronutrientes.....	52
1.3.7. Distribución promedio de materia seca y nutrientes.....	53
1.3.8. Relaciones nutrimentales.....	55
1.4. CONCLUSIONES.....	58
1.5. LITERATURA CITADA.....	59
CAPÍTULO II. RESPUESTA DE LISIANTHUS (<i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) CV. ECHO BLUE A DIFERENTES DOSIS DE CALCIO.....	62
RESUMEN.....	62
SUMMARY.....	64
2.1. INTRODUCCIÓN.....	65
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	66
2.2.1. Localización.....	66
2.2.2. Material vegetal utilizado.....	66
2.2.3. Diseño experimental, tratamientos y condiciones ambientales.....	66

2.2.4. Variables evaluadas	68
2.2.4.1. Altura de la planta y número de hojas.....	68
2.2.4.2. Área foliar.....	68
2.2.4.3. Volumen radical.....	68
2.2.4.4. Número de botones.....	68
2.2.4.5. Diámetro de tallo.....	69
2.2.4.6. Diámetro de flor.....	69
2.2.4.7. Vida poscosecha.....	69
2.2.4.8. Materia seca.....	69
2.2.4.9. Contenido de macronutrientos.....	70
2.2.5. Análisis estadístico	70
2.3. RESULTADOS Y DISCUSION	71
2.3.1. Crecimiento vegetativo	71
2.3.1.1. Altura de la planta y número de hojas.....	71
2.3.1.2. Área foliar.....	72
2.3.1.3. Diámetro de tallo	72
2.3.1.4. Volumen radical.....	73
2.3.1.5. Número de botones.....	73
2.3.1.6. Vida poscosecha.....	74
2.3.2. Materia seca	75
2.3.3. Contenido de macronutrientos por órgano en plantas de lisanthus	77
2.3.3.1. Contenido de macronutrientos en raíz.....	77

2.3.3.2. Contenido de macronutrientos en tallo.....	78
2.3.3.3. Contenido de macronutrientos en hoja.....	79
2.3.3.4. Contenido de macronutrientos en flor.....	80
2.3.4. Concentración nutrimental en hojas.....	81
2.3.5. Contenido total de macronutrientos.....	82
2.3.6. Distribución promedio de materia seca y nutrientes.....	83
2.3.7. Relaciones nutrimentales.....	84
2.4. CONCLUSIONES.....	87
2.5. LITERATURA CITADA.....	88
CAPÍTULO III. RESPUESTA DE LISIANTHUS (<i>Eustoma grandiflorum</i> Raf.) CV. ECHO BLUE A DIFERENTES DOSIS DE MAGNESIO.....	92
RESUMEN.....	92
SUMMARY.....	94
3.1. INTRODUCCIÓN.....	95
3.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	97
3.2.1. Localización.....	97
3.2.2. Material vegetal utilizado.....	97
3.2.3. Diseño experimental, tratamientos y condiciones ambientales.....	97
3.2.4. Variables evaluadas.....	99
3.2.4.1. Altura de la planta y número de hojas	99
3.2.4.2. Área foliar.....	99
3.2.4.3. Volumen radical.....	99

3.2.4.4. Número de botones.....	99
3.2.4.5. Diámetro de tallo.....	100
3.2.4.6. Diámetro de flor.....	100
3.2.4.7. Vida poscosecha.....	100
3.2.4.8. Materia seca.....	100
3.2.4.9. Contenido de macronutrientos.....	101
3.2.5. Análisis estadístico.....	101
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	102
3.3.1. Crecimiento vegetativo.....	102
3.3.1.1. Altura de la planta y número de hojas.....	102
3.3.1.2. Área foliar.....	103
3.3.1.3. Diámetro de tallo.....	103
3.3.1.4. Volumen radical.....	103
3.3.1.5. Número de botones.....	104
3.3.1.6. Diámetro de flor.....	104
3.3.1.7. Vida poscosecha.....	105
3.3.2. Materia seca.....	106
3.3.3. Contenido de macronutrientos por órgano en plantas de lisianthus.....	107
3.3.3.1. Contenido de macronutrientos en raíz.....	107
3.3.3.2. Contenido de macronutrientos en tallo.....	108
3.3.3.3. Contenido de macronutrientos en hoja.....	109
3.3.3.4. Contenido de macronutrientos en flor.....	110

3.3.4. Concentración nutrimental en hojas.....	111
3.3.5. Contenido total de macronutrientos.....	113
3.3.6. Distribución promedio de materia seca y nutrimentos.....	114
3.3.7. Relaciones nutrimentales.....	115
3.4 CONCLUSIONES.....	116
3.5. LITERATURA CITADA.....	117
V. CONCLUSIONES GENERALES.....	119
IV. LITERATURA CITADA.....	120

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1. Composición y conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas.....	37
Cuadro 1.2. Altura y número de hojas promedio en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.....	42
Cuadro 1.3. Valores promedio de variables vegetativas en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.....	44
Cuadro 1.4. Contenido promedio de macronutrientos en raíz en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de nitrógeno en solución nutritiva.....	47
Cuadro 1.5. Contenido promedio de macronutrientos en tallo en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de nitrógeno en la solución nutritiva.....	48
Cuadro 1.6. Contenido promedio de macronutrientos en hoja en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de nitrógeno en la solución nutritiva.....	49
Cuadro 1.7. Contenido promedio de macronutrientos en flores en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de nitrógeno en la solución nutritiva.....	50
Cuadro 1.8. Concentración nutrimental (%) en hojas de plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.....	51
Cuadro 1.9. Contenido de macronutrientos en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.....	52
Cuadro 1.10. Relaciones nutrimentales en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.....	57
Cuadro 2.1. Composición y conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas.....	67

Cuadro 2.2. Altura y número de hojas promedio en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.....	72
Cuadro 2.3. Valores promedio de variables vegetativas en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.....	74
Cuadro 2.4. Contenido promedio de macronutrientos en raíz en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva.....	77
Cuadro 2.5. Contenido promedio de macronutrientos en tallo en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva	78
Cuadro 2.6. Contenido promedio de macronutrientos en hojas de plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva.....	79
Cuadro 2.7. Contenido promedio de macronutrientos en flores en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva	80
Cuadro 2.8. Concentración en porcentaje (%) de macronutrientos en hojas de plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.....	81
Cuadro 2.9. Contenido total de macronutrientos en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva.....	82
Cuadro 2.10. Relaciones nutrimentales en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva	85
Cuadro 3.1. Composición y conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas.....	98
Cuadro 3.2. Altura y número de hojas promedio en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.....	102
Cuadro 3.3. Valores promedio de variables vegetativas en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones	

de magnesio en la solución nutritiva.....	104
Cuadro 3.4. Contenido promedio de macronutrientos en raíz en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva.....	107
Cuadro 3.5. Contenido promedio de macronutrientos en tallo en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva.....	109
Cuadro 3.6. Contenido promedio de macronutrientos en hojas en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva.....	110
Cuadro 3.7. Contenido promedio de macronutrientos en flores en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva.....	111
Cuadro 3.8. Concentración nutrimental (%) en hojas de plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.....	112
Cuadro 3.9. Contenido de macronutrientos en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.....	113
Cuadro 3.10. Relaciones nutrimentales en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.....	115

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Vida poscosecha promedio de plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.....	45
Figura 1.2. Distribución de materia seca en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes niveles de nitrógeno en la solución nutritiva.....	46
Figura 1.3. Distribución de materia seca y de elementos en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva	55
Figura 2.1. Vida poscosecha promedio en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.....	75
Figura 2.2. Distribución de materia seca en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes niveles de Ca en solución nutritiva.....	76
Figura 2.3. Distribución de materia seca y de elementos por órgano en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva	84
Figura 3.1. Vida poscosecha promedio en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva	105
Figura 3.2. Distribución de materia seca en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes niveles de magnesio en la	

solución nutritiva..... 106

Figura 3.3. Distribución de materia seca y de elementos en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva..... 114

RESPUESTA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* Raf.) CV. ECHO BLUE A DIFERENTES DOSIS DE NITRÓGENO, CALCIO Y MAGNESIO

I. RESUMEN GENERAL

El lisianthus es una especie ornamental poco conocida en México, que gracias a lo atractivo de sus flores, está tomando importancia, pero las investigaciones sobre la nutrición de esta especie son escasas. El presente estudio tuvo como objetivos determinar la respuesta de lisianthus a diferentes dosis de nitrógeno, calcio y magnesio, establecer las concentraciones que se relacionen con la mayor calidad del cultivo y conocer la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta. Para ello, se evaluó el efecto de 10 dosis de N (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 500 y 600 mg·litro⁻¹), 10 dosis de Ca (0, 12.5, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 400 mg·litro⁻¹) y 10 dosis de Mg (0, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 mg·litro⁻¹) en la solución nutritiva, sobre el crecimiento, estado nutrimental de la planta, distribución de materia seca y de nutrimentos y vida en florero. Las plantas de lisianthus mostraron la mejor respuesta en crecimiento y vida poscosecha; así como en la biomasa acumulada con dosis intermedias de N (50 a 250 mg) y Ca (50, 100 y 150 mg), las cuales dieron como resultado concentraciones foliares de N de 2.16 a 3.22 %, y del Ca de

0.28, 0.59 y 0.67 %, respectivamente. El Mg tuvo poca influencia sobre crecimiento y acumulación de materia seca.

Palabras clave: distribución nutrimental, distribución de materia seca, contenido nutrimental, vida en florero.

II. GENERAL SUMMARY

Lisianthus is an ornamental species slightly known in Mexico, is becoming an interesting alternative for cut flower production by its very attractive flowers; but, the researches about lisianthus nutrition are scarce. The objectives of the present study were to determine the response of lisianthus to varying concentrations of nitrogen (N), calcium (Ca) and magnesium (Mg) in the nutrient solution, to establish the N, Ca and Mg concentrations associated with higher quality of cut flowers, and to define the distribution of dry mass and nutrients in plant organs. The effects of N concentration (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 500 y 600 mg·L⁻¹), Ca concentration (0, 12.5, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 400 mg·L⁻¹) and Mg concentration (0, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 mg·L⁻¹) in the nutrient solution on growth, nutrimental status, dry mass and mineral nutrient distribution, and vase life were studied. Plants grown with average solutions containing N and Ca exhibited the best growth and vase life and biomass accumulation. Leaf N concentration on these plants was from 2.16 to 3.22% and leaf Ca concentration on these plants was from 0.28, 0.59 and 0.67 % which may correspond to the sufficiency levels of lisianthus. Mg concentration exhibited few changes in the growth and dry biomass accumulation.

Keywords: dry mass distribution, nutrient content and concentration, nutrient distribution, vase life

III. INTRODUCCIÓN GENERAL

El *lisianthus* es una especie ornamental poco conocida en México, probablemente porque no se cultiva en grandes extensiones, ya que sólo se reportan en producción Arteaga, Coahuila; Zacatepec, Morelos; Villa Guerrero, Estado de México; Tecamachalco, Puebla y Guadalajara, Jalisco (Domínguez, 2008). Recientemente, esta ornamental está tomando importancia porque es una flor muy atractiva al consumidor por la elegancia y delicadeza de sus flores y por su excelente conservación en florero. Los programas de fertilización deben basarse en la demanda nutrimental de las especies en sus diferentes etapas fenológicas; en particular el *lisianthus* requiere de altas cantidades de nutrimentos, la insuficiencia de alguno de ellos resulta en plantas pequeñas, reducción en el desarrollo de brotes axilares basales y pocas flores, aún cuando no presente síntomas de deficiencia. Los requerimientos de N, K y Ca por esta especie son altos (Dole y Wilkins, 2005) y los requerimientos de Mg no se han determinado. Debido a que en nuestro país las investigaciones acerca de este cultivo son escasas, es importante generar el conocimiento de su proceso de producción y fertilización; para lo cual es necesario conocer las exigencias nutrimentales y generar las curvas de abastecimiento nutrimental. Por lo que el presente estudio tuvo como objetivos: a) determinar la respuesta de *lisianthus* a diferentes dosis de nitrógeno, calcio y magnesio, b) establecer las concentraciones que se relacionen con la mayor calidad del cultivo, c) conocer la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Importancia del cultivo

El lisianthus pertenece a la familia Gentinaceae, es una planta herbácea bienal, cultivada como anual, de tallo erecto, con follaje y flores ornamentales (Al Backes *et al.*, 2006). Es una planta nativa de los estados del norte de México y sur de Estados Unidos. Su hábitat natural le permite adaptarse a condiciones de baja humedad relativa y temperaturas, hasta cierto punto, extremas. Se encuentra creciendo a lo largo del cause de los arroyos y ríos donde siempre tiene acceso al agua (Domínguez, 2008).

Entre las flores para corte, el lisianthus es una planta de gran valor ornamental que está siendo introducida en los mercados internacionales con gran aceptación comercial gracias a sus sucesivos programas de mejora para la obtención de híbridos (Mazuela *et al.*, 2007). El interés actual de la producción de esta especie es debido principalmente a la gran diversidad de colores de las flores y la alta productividad (Fox, 1998).

Es una especie que se prevé aumente su demanda, ya que es muy atractiva para el consumidor, con gran variedad de colores y buena duración en maceta (Melgares de Aguilar, 1996). Esta planta ornamental está siendo cultivada como flor de corte y de maceta. Su producción y popularidad está creciendo al ser considerada como una de las diez más vendidas en el sistema holandés

(Komeoka, 1998, citado por Camargo *et al.*, 2004). Puede presentar tres colores básicos: azul, rosa y blanco (Halevy y Kofranek, 1984). Existen diferencias en preferencia en los tres mercados consumidores: el europeo prefiere el azul oscuro, en cuanto al japonés y brasileño prefieren el blanco con bordes azules (Camargo *et al.*, 2004). El *lisianthus* también se divide en flores simples y dobles, siendo el mercado europeo y japonés los que prefieren las primeras, y el americano y brasileño las flores dobles (Corr y Katz, 1997).

4.2. Botánica

El *lisianthus* es una planta de ciclo anual o bienal. Forma una roseta de hojas, sobre la cual se desarrolla un tallo de 40 ó 50 cm de largo; en cuyo extremo aparecen las flores largamente pediceladas de 6 a 9 cm de diámetro y de colores entre azul y el púrpura, en las variedades silvestres. A través de sucesivos programas de mejora, realizados en su mayoría por empresas japonesas, se han obtenido variedades híbridas F1 de flores rojas, blancas, albaricoque o con mezcla de colores; con longitudes de 60 a 90 cm, y flores sencillas o dobles, éstas últimas con dos o tres filas de pétalos (Melgares de Aguilar, 1996).

4.3. Exigencias climáticas

4.3.1. Luz

Las semillas pueden germinar bajo luz natural; sin embargo, la luz fluorescente es mejor. Después de la germinación, se usa luz natural o artificial con fotoperiodos de 8 a 12 h, hasta que se forman cuatro o cinco pares de hojas (Dole y Wilkins, 2005).

La floración no se ve influida por el fotoperíodo, por lo que no es necesario técnicas de iluminación para obtenerla, pero si podrá mejorarse la calidad si se ilumina con de longitud de onda de 400 a 700 nm en épocas de baja radiación, como en el invierno (Melgares de Aguilar, 1996). Las plantas que crecen en invernadero en áreas con luz alta durante primavera y verano pueden requerir protección contra el sol. El requerimiento óptimo de luz es de 4,000 pies candelas de luz natural. La cantidad óptima de luz al día para obtener la mayor calidad de planta es de 16 h; no obstante, las flores crecen más rápido en días más largos, finalmente serán flores independientes del fotoperíodo (Gill *et al.*, 2000). La inducción floral se acelera con lámparas HID (descarga de alta densidad, por sus siglas en inglés) en zonas con poca luz. La intensidad de luz se reduce en temperaturas bajas y mantienen el color de los pétalos durante el verano (Dole y Wilkins, 2005).

4.3.2. Temperatura

La germinación de las semillas se da entre los 20 y 25 °C en la luz. El crecimiento de las plántulas, después de la germinación, se da entre los 21 y 24 °C de temperatura durante el día y entre 16 y 18 °C de temperaturas nocturnas. Un promedio diario de temperatura de 18 °C es aceptable durante el período vegetativo hasta la formación de cuatro a cinco pares de hojas (Dole y Wilkins, 2005). La temperatura en condiciones de invernadero no debe exceder a los 20 °C durante la etapa de crecimiento. La mejor temperatura para el crecimiento es de 15 a 18 °C (Gill *et al.*, 2000).

La sensibilidad de *lisianthus* a altas temperaturas es elevada en el período inmediato después de la germinación de las semillas, época en la que éstas pueden inducir a la planta a la formación de una roseta de hojas que no desarrollen el tallo floral, o que la floración se retrase mucho (Melgares de Aguilar, 1996). Para un desarrollo adecuado del cultivo es necesario mantener un intervalo de temperatura que van de los 13 °C como mínimo, y hasta 28 °C como máximo; si pasa de los 30 °C durante varios días, después del transplante, ocasionará problemas de rosetas (Domínguez, 2008). Se considera que si la planta ha formado entre el quinto y sexto par de hojas, y no ha aparecido el tallo floral, es que ya se ha formado la roseta (Melgares de Aguilar, 1996).

4.3.3. Agua

Un aspecto muy importante en el que se debe de tener mucho cuidado, es el manejo del agua (Domínguez, 2008). No se debe exceder de agua a las plantas de *lisianthus* porque son muy susceptibles a las pudriciones de raíz y de corona, por lo que mantener un medio bien drenado es un requerimiento cultural (Dole y Wilkins, 2005). Durante los primeros 30 días la planta no tiene desarrollo vegetativo, en esta etapa es muy importante tener una buena humedad del suelo, ya que esta etapa será básica en su crecimiento posterior. Del día 30 a 60 empieza el desarrollo vegetativo y el crecimiento del tallo; aquí es recomendable el suelo con suficiente humedad, evitando mojar las hojas. A partir del día 60 el desarrollo de la planta empieza a hacer sombra sobre la cama donde está establecida, por lo que se recomienda tener mucho cuidado con el manejo del riego, ya que está en la etapa más susceptible y cualquier exceso de humedad (del suelo o del ambiente) ocasiona altos índices de mortandad. A partir del día 90 la planta alcanza un buen desarrollo y se empiezan a formar microclimas con mucha humedad, por lo que se recomienda reducir al mínimo los riegos, haciéndolos más espaciados, cuidando sólo de mantener buena humedad en el suelo para tener un buen desarrollo del cultivo (Domínguez, 2008).

4.4. Desarrollo y manejo del cultivo

4.4.1. Propagación

La principal forma de propagación es a través de semillas, las que germinan alrededor de los 10 a 15 días (Dole y Wilkins, 2005) a temperaturas de 20 a 25 °C, la propagación vegetativa por esquejes o mediante cultivo *in vitro* de tejidos también se utiliza (Griesbach *et al.*, 1988, Melgares de Aguilar, 1996). La siembra de semillas se realiza en charolas, el sustrato se debe mantener húmedo hasta la germinación y con un pH entre 6.0 y 6.5 (Domínguez, 2008). También se debe cuidar que la raíz llene la cavidad y que tenga desarrollo hacia abajo, evitando que se pase de tiempo, ya que la raíz empieza a torcerse y acarrea pérdida de calidad y dificultades de trasplante (Domínguez, 2008).

4.4.2. Trasplante

El trasplante se realiza después de 2 ó 3 meses o cuando cuatro o cinco pares de hojas estén formadas (Dole y Wilkins, 2005). Domínguez (2008) recomienda que durante los primeros 15 a 20 días posteriores al trasplante, se debe regar con manguera o regadera fina, cuidando de no maltratar las plantas; manteniendo la humedad relativa para evitar el estrés de la planta; después del establecimiento (20 días), el riego se realiza con cintillas de riego por goteo, reduciendo la humedad relativa y el ataque por hongos.

4.4.3. Ciclo del cultivo

El ciclo del cultivo total puede durar entre 90 y 120 días dependiendo de la variedad y época de plantación. Una vez trasplantado, el lisianthus pasa por tres etapas (Mazuela *et al.*,2007), los cuales se describen a continuación:

Etapa 1: la primera dura entre 20 y 30 días, y en ella la planta desarrolla poco su parte aérea, al contrario que las raíces y sus requerimientos son de nitratos y fosfato.

Etapa 2: en los siguientes 30 días, el tallo se alarga y emite tallos secundarios en número de cuatro a ocho según la variedad. Estos tallos alcanzan una altura entre 30 y 50 cm y aparecen los botones florales.

Etapa 3: con duración 30 días adicionales aproximadamente, los botones engrosan y se desarrollan, a la vez que sus pedúnculos se alargan hasta alcanzar su altura definitiva. Posteriormente los botones viran del color verde al propio de la variedad y finalmente abren. El número de botones oscila entre cuatro y diez por tallo (Melgares de Aguilar, 1996).

El total del ciclo, desde la plantación hasta la floración, puede durar entre 90 y 120 días, dependiendo de la variedad, época de plantación (Melgares de Aguilar, 1996) y condiciones climáticas; en algunas regiones de México existen ciclos de 70 a 80 días (Zacatepec, Morelos) y hasta de 180 días (Arteaga,

Coahuila) (Domínguez, 2008). El ciclo se alarga en plantaciones realizadas en épocas menos calurosas y con menos horas de sol (Melgares de Aguilar, 1996).

4.4.4. Floración y cosecha de flores

Al empezar la floración, normalmente, aparece un botón más desarrollado que los demás, que es eliminado tratando de uniformizar la floración y tener en el tallo de 2 a 3 flores abriendo al mismo tiempo (Domínguez, 2008). El corte de los tallos de *lisianthus* se realiza cuando tres flores comienzan a abrir. Si se realiza antes, puede ser que no abran muchos capullos terminales, además de que su atractivo de cara al consumidor es menor. Si por el contrario, se corta con demasiados botones florales abiertos, se pueden producir daños durante la manipulación y el transporte, y su duración en jarrón será menor. Los tallos se cortan escalonadamente según vayan floreciendo. Así, todos los tallos se recolectan en su punto óptimo de apertura, luego rebrota por los nudos dejados y da una nueva producción a los tres o cuatro meses, aunque será de menor calidad que la primera (Mazuela *et al.*, 2007).

4.4.5. Plagas y enfermedades

Entre las plagas que atacan al *lisianthus* se encuentran áfidos, mosquitas blancas, thrips y minador de las hojas que pueden dañar al cultivo si no se monitorean y se tratan. Los thrips pueden dañar especialmente a las flores de

colores oscuros porque al alimentarse dañan la apariencia (Dole y Wilkins, 2005).

Enfermedades de las raíces y pudriciones de corona causados por *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium* y *Rhizoctonia*, ocurren durante el estado vegetativo, los cuales pueden llegar a destruir toda la planta (Dole y Wilkins, 2005). *Lisianthus* es también susceptible a varios virus, incluyendo Virus de la mancha necrótica del impatiens (INSV), Virus del bronceado del tomate (TSWV) y Virus del mosaico amarillo del frijol (BYMV), Virus del mosaico del tabaco (TMV) y Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV), y también a la cenicilla vellosa (*Peronospora*), cenicilla polvorienta (*Leveillula taurica*), mancha de la hoja (*Cercospora eustomae*) y *Thielaviopsis* (Dreistadt, 2001; citado por Dole y Wilkins, 2005).

4.5. Nutrición

Lisianthus requiere altos niveles de nutrimentos, la insuficiencia de estos resulta en plantas pequeñas, reducción en el desarrollo de brotes axilares basales y pocas flores, así como generación de síntomas de deficiencia (Dole y Wilkins, 2005). *Lisianthus* tiene dos fases distintas de crecimiento. La primera fase es de crecimiento activo de las plántulas, este estado del desarrollo es el más largo y donde es importante mantener los niveles de fertilización pero no sobrefertilizar

(Gill *et al.*, 2000), ya que *lisianthus* es una planta sensible a la salinidad, que puede producir quemaduras en raíces y hojas, disminuyendo la calidad (Melgares de Aguilar, 1996).

Gill *et al.* (2000) recomiendan las siguientes directrices para una adecuada fertilización:

- Fertilizantes de liberación lenta pueden aplicarse inmediatamente después del trasplante.
- Usar nitrato como fuente de nitrógeno.
- La tasa de aplicación de potasio debe ser igual a la tasa de aplicación de nitrógeno.
- Suplementos de calcio pueden ser requeridos durante la producción, a menos que el sustrato contenga altos niveles de calcio.
- Disminuir la aplicación de nitrógeno y aumentar el potasio cuando las yemas florales se inicien.

Es recomendable realizar un análisis de suelo para determinar sus características y poder definir con más seguridad las acciones a seguir para un mejor aprovechamiento de los nutrimentos (Domínguez, 2008).

4.6. Función de los nutrimentos en las plantas

De los elementos presentes en la biósfera y detectados en el tejido de la planta, sólo ciertos elementos están determinados como esenciales. En la ausencia de un elemento esencial, una planta mostrará síntomas de deficiencia y morirá antes de complementar su ciclo de vida (Taiz y Zeiger, 1991). Las plantas en su metabolismo necesitan elementos químicos esenciales, los cuales deben ser aportados en cantidad y proporción adecuadas y en forma de iones asimilables (Muñoz, 2004). Los elementos esenciales son usualmente clasificados como macronutrimentos y micronutrimentos, de acuerdo a su concentración relativa en el tejido de la planta (Taiz y Zeiger, 1991).

4.6.1. Nitrógeno

El N es absorbido por los vegetales en forma de nitrato (NO_3^-) como de amonio (NH_4^+). Ejerce varias funciones, el ión NO_3^- experimenta una transformación tras su absorción, siendo reducido a la forma de amina (NH_2^-), para posteriormente utilizarlo en la formación de aminoácidos; también es constituyente de otros compuestos, por lo que juega un papel importante en numerosas reacciones metabólicas. Por otra parte, debido a que el nitrógeno forma parte de la molécula de clorofila, una deficiencia del mismo origina un color amarillento en las hojas (clorosis) (Urrestarazu, 2004).

4.6.2. Fósforo

El P es absorbido por los vegetales en una de sus dos formas, bien como ion fosfato monovalente (H_2PO_4^-) o como ion fosfato divalente (HPO_4^{2-}). El fósforo es un componente de los ácidos nucleicos, fosfoproteínas, fosfolípidos como las lecitinas, constituyentes de las membranas citoplasmáticas, enzimas y proteínas. Puesto que forma parte de ácidos nucleicos, genes y cromosomas, su papel resulta de vital importancia en el ciclo de vida de la planta. Interviene en los procesos de maduración y formación de semillas (Urrestarazu, 2004).

4.6.3. Potasio

Nutrimiento requerido por las células para aumentar su turgencia, mantener su potencial osmótico, en especial las células oclusivas, encargadas de la apertura de los estomas (Huber, 1985; citado por Urrestarazu, 2004). Se encuentra implicado en la captación de agua del suelo, retención de agua en los tejidos vegetales y transporte a larga distancia de agua y asimilados en el xilema y en el floema (Mengel, 1985; citado por Urrestarazu, 2004). El potasio es requerido también como activador de más de 60 enzimas. Este nutrimento tiene ciertos efectos sobre la calidad, debido a que las frutas y verduras que crecen con un aporte adecuado de potasio resisten, durante mucho más tiempo, que las que no han tenido un suministro adecuado de dicho ion (Urrestarazu, 2004).

4.6.4. Calcio

Este ión se encuentra en la planta en forma de pectato, componente importante de las paredes de las células vegetales. Está implicado en la expansión y división celular, influye en el pH celular, estabilidad estructural y permeabilidad de las membranas celulares. Actúa como ión regulador en la traslocación de carbohidratos, por efecto que ejerce sobre las células y paredes vegetales. También juega su papel en el proceso mitótico. Igualmente, ejerce un papel benéfico, ya que proporciona vigor a la planta, rigidez a la paja y a granos, e interviene en la formación de semillas (Urrestarazu, 2004).

4.6.5. Magnesio

Es un constituyente esencial de la molécula de clorofila y es cofactor de enzimas tales como transfosforilasas, dehidrogenasas y carboxilasas (Urrestarazu, 2004). Igualmente participa en la formación de azúcares y lípidos y activa la formación de cadenas polipeptídicas de aminoácidos (Tisdale *et al.*, 1985; citados por Urrestarazu, 2004).

4.6.6. Azufre

Es constituyente de aminoácidos tales como la cisteína, y metionina, esenciales para la formación de proteínas. También está implicado en la formación de vitaminas y en la síntesis de algunas hormonas (Urrestarazu, 2004).

4.7. Sintomatologías del diagnóstico

4.7.1. Síntomas de deficiencia

La deficiencia o carencia de uno de los elementos esenciales para el crecimiento vegetal se traducirá en una disminución del crecimiento normal de las plantas, y por tanto afectará negativamente el rendimiento o producción de los cultivos. Estos síntomas de deficiencia de un nutrimento han sido empleados durante mucho tiempo para diagnosticar problemas de crecimiento. Estas sintomatologías pueden clasificarse en cinco tipos (Urrestarazu, 2004):

1. Clorosis: síntoma caracterizado por un amarillamiento, que puede ser uniforme o intervenal, del tejido vegetal, debido principalmente a la reducción de todos y cada uno de los procesos que intervienen en la formación de clorofila.
2. Necrosis: también denominada muerte del tejido vegetal.
3. Falta de expansión: de hojas y tallos, originando lo que se conoce con el nombre de hojas en roseta.
4. Acumulación de antocianinas: se pone de manifiesto un color rojizo o púrpura de hojas y tallos, producida por la carencia de magnesio.
5. Enanismo: reducción del crecimiento, manifestándose en las hojas un intenso color verde o bien amarillento.

4.7.2. Síntomas de toxicidad

Los nutrimentos esenciales, así como los no esenciales, pueden ser absorbidos en cantidades altas tales que pueden resultar tóxicos para el crecimiento y productividad del cultivo. Dichos nutrimentos, si por cualquier causa son absorbidos en exceso, con relativa frecuencia originan desequilibrios con otros nutrimentos, dando como resultado un pobre crecimiento, desarrollo y producción de los vegetales, así como retraso en la madurez y plantas enanas y delgadas (Urrestarazu, 2004).

4.8. Niveles de abastecimiento nutrimental

Los problemas relacionados al contenido relativo de los nutrimentos en un cultivo están, de varias formas, conectados con problemas de fundamental importancia concerniente en técnicas de fertilización como, por ejemplo: la relación entre las cantidades aplicadas y absorbidas de un nutrimento en particular; la relación entre la cantidad absorbida del nutrimento y la producción de materia seca; y finalmente la relación entre la cantidad aplicada del mismo nutrimento y el rendimiento de la cosecha. Con un conocimiento más amplio de estas relaciones, se pueden resolver muchos problemas asociados con la nutrición de los cultivos (Alcántar *et al.*, 2007).

4.8.1. Nivel o concentración crítica

El nivel crítico es diferente para cada nutriente de la planta. Un concepto básico en la interpretación del estado de los cultivos, mediante el análisis de tejidos, es la “concentración crítica”, la cual se define como: aquella concentración de un nutriente justo abajo del nivel de crecimiento óptimo. Generalmente se asocia con una disminución de 5 a 10% del crecimiento o rendimiento máximo (Epstein y Arnon, 2005).

Se debe tener en cuenta que la concentración de un nutriente en la planta completa indica, solamente, la cantidad de nutriente extraída por un intervalo de tiempo determinado o para rendimientos específicos; esta información solamente es útil para determinar los niveles de mantenimiento de un nutriente que se deberán de aplicar para un rendimiento dado.

Los valores límite o críticos son específicos para cada cultivo y se refieren a la concentración del elemento en la planta, por arriba de la cual no habrá respuesta a la fertilización o en algunos casos a la concentración debajo de la cual se presentarán síntomas de deficiencia y por consiguiente, la disminución del rendimiento.

El valor de concentración de un solo nutriente tiene poco significado, ya que se tienen que considerar otros factores, tales como el balance nutricional, las condiciones edáficas y las características genotípicas del cultivo.

4.9. Intervalos y curvas de abastecimiento nutrimental

Los intervalos de abastecimiento, también llamados niveles críticos, se refieren a los intervalos de concentración nutrimental, asociados con algunas zonas dentro de los distintos segmentos de una curva de respuesta, resultante de relacionar los rendimientos con la concentración (deficiencia aguda, deficiencia latente o hambre oculta, suficiencia, exceso y toxicidad). Cuando se trabaja con un intervalo de abastecimiento, es fácil darse cuenta de que la interpretación del análisis puede ser menos errática que con un nivel crítico, debido a que muestran los niveles inferiores y superiores dentro de los cuales se puede inferir en que intervalo de abastecimiento se encuentra la muestra analizada, lo que proporciona un mejor índice de interpretación.

Una de las formas más efectivas para diagnosticar el estado nutrimental de los cultivos, lo constituye el uso de análisis foliar dirigido a definir los grados de abastecimiento en que éstos se encuentran, con base en la concentración que presenten sus tejidos, generalmente hojas, y el crecimiento o la producción. De una forma breve, lo anterior podría ser una definición de “curva de abastecimiento nutrimental” (Epstein y Arnonld, 2005).

La curva de abastecimiento nutrimental puede ser dividida en varios segmentos conocidos como “rangos de abastecimiento nutrimental”.

4.10. Rangos de abastecimiento nutrimental

Deficiencia severa. Es el nivel de concentración que se asocia con el estado fisiológico de la planta, donde se observan claramente síntomas de deficiencia y una severa reducción del crecimiento y producción.

Deficiencia moderada o latente. Es el intervalo que se asocia con una disminución del crecimiento o producción, pero en el cual la planta no muestra síntomas visibles de deficiencia.

Valor o nivel crítico. Se define como la concentración de un nutrimento determinado, en condiciones experimentales, donde otros factores de crecimiento se encuentran en un nivel óptimo, que se asocia con un valor predeterminado del rendimiento (o calidad) máxima. Este valor predeterminado corresponde entre 90 y 95% del rendimiento máximo y está comprendido dentro del intervalo de deficiencia moderada o latente.

Óptimo o buen abastecimiento. Dentro de este intervalo de concentración los cambios que ocurran no provocan aumento o disminución del crecimiento o producción. Esta clase también se conoce como adecuada, normal o satisfactoria.

Exceso o consumo de lujo. Se ubica entre los niveles óptimo y tóxico. En algunos cultivos este intervalo puede definirse objetivamente para su asociación con una producción de calidad o vigor.

Tóxico. La presencia de concentraciones extremadamente altas de un nutrimento se asocian, generalmente, con síntomas de toxicidad y frecuentemente con la reducción del crecimiento y producción y casi siempre con una disminución de calidad y vigor.

Valor, nivel o concentración crítica de toxicidad. En algunos casos se ha definido como aquel que se asocia con una reducción específica del rendimiento máximo, generalmente 10% de éste. En este caso se observan síntomas visibles de toxicidad, causados por la excesiva absorción. El crecimiento es pobre y raquíptico y la calidad de los productos deficiente.

Los datos referentes a valores, límites y grados de abastecimiento nutrimental son específicos para órganos determinados en las plantas; por lo general, las hojas y en un estadio de desarrollo específico. La curva de abastecimiento nutrimental, generalmente es específica para cada nutrimento y para cada especie y genotipo, lo cual indica que no se pueden hacer extrapolaciones de un cultivo a otro, aunque en algunos casos pueden existir similitudes. De igual manera, no es posible garantizar o utilizar la información obtenida en un lugar determinado para otros diferentes.

4.11. Interacciones nutrimentales en cultivos

La absorción de nutrimentos y el crecimiento vegetal pueden ser afectados por una interacción entre uno o más nutrimentos (Urrestarazu, 2004). Las interacciones nutrimentales en cultivos ocurren cuando el suministro de un nutrimento afecta la absorción y la utilización de otro nutrimento. Este tipo de interacciones es más común cuando uno de los nutrimentos está en una concentración excesiva en el medio de crecimiento (Fageria *et al.*, 1997). Las interacciones entre nutrimentos pueden ocurrir en la superficie de la raíz o dentro de la planta y pueden clasificarse en dos grandes categorías. La primera categoría son las interacciones que se producen entre dos iones que son capaces de formar un enlace químico. Interacciones en este caso son formaciones de precipitados o complejos. Por ejemplo, este tipo de interacciones ocurre cuando en los suelos ácidos decrece la concentración de casi todos los micronutrimentos, excepto el molibdeno (Fageria, 2001).

La segunda forma de interacción es entre iones, cuyas propiedades químicas son similares que compiten por el sitio de adsorción, absorción, transporte y función en la superficie de la raíz o dentro de los tejidos de la planta (Fageria, 2001). Tales interacciones son más comunes entre nutrimentos de tamaño, carga, geometría de coordinación y configuración electrónica similar (Robson y Pitman, 1983). Este tipo de interacción es más común entre Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ca^+ y Na^+ (Fageria, 2001).

Generalmente un exceso de un catión en el medio nutritivo reduce la absorción neta de otros cationes; mientras que la suma en el tejido de la planta a menudo permanece casi constante. Este fenómeno es llamado antagonismo de cationes (Dibb y Thompson, 1985).

La interacción entre nutrimentos puede ser positiva o negativa y posiblemente también puede no haber interacción. Cuando la combinación de dos nutrimentos resulta en una respuesta de crecimiento que es mayor que la suma de sus efectos individuales, la interacción es positiva. Cuando la combinación resulta en pérdidas, la interacción es negativa (Fageria, 2001).

La interacción entre nutrimentos está influenciada por factores como concentración del elemento, temperatura, intensidad luminosa, aireación del suelo, textura del suelo, pH del suelo, arquitectura de la raíz, tasa de transpiración y respiración de la planta, edad y tasa de crecimiento de la planta, especie de la planta y concentración interna de nutrimentos. Cuando se producen las interacciones, los cambios se inician en el nivel subcelular que puede en última instancia manifestarse a través de cambios en la tasa de respiración, fotosíntesis, división y expansión celular, utilización y translocación de carbohidratos y ácidos orgánicos. La influencia neta de estas interacciones y procesos producen el rendimiento final del cultivo (Fageria, 2001).

4.11.1. Nitrógeno

El nitrógeno (N) juega un papel fundamental en el metabolismo de las plantas y por lo tanto, en su crecimiento y desarrollo. La nutrición inorgánica de las plantas tiene, por lo tanto, que estar dominada por el N, ya que mejora tanto calidad como cantidad del producto. Bajo esta situación el entendimiento de las interacciones del N con otros nutrientes esenciales, es de fundamental importancia en la mejora del crecimiento y desarrollo de la planta (Fageria, 2001). Por ejemplo, la deficiencia de zinc en pepino llegó a ser más severa cuando se incrementó el nivel de N aplicado. La absorción de nutrientes puede estar profundamente afectada por la forma de N aplicado (NH_4^+ -N o NO_3^- -N) al cultivo. Estas respuestas varían con el pH, y una comparación válida puede ser hecha sólo cuando el pH es idéntico, y se mantiene constante en ambos tratamientos (Urrestarazu, 2004). En un estudio, concentraciones más altas de K, Ca, Mg y Na se encontraron en la materia seca de las plantas que recibían NO_3^+ -N (Kurvits y Kirkby, 1980). Kawasaki (1995) reportó que en arroz, trigo, maíz, calabaza y tomate, el contenido de Ca fue más alto cuando se usó NO_3^- -N como fuente de nitrógeno en la solución nutritiva comparada con el suministro de NH_4^- -N.

Wilkinson *et al.* (1999) reportaron que el N puede incrementar la absorción de P en plantas por aumento en el crecimiento de la raíz, por el incremento de la habilidad de las raíces para absorber y traslocar P, y por el decremento del pH en el suelo como resultado de la absorción de NH_4^+ incrementando de esta manera la solubilidad del P.

A medida que el pH disminuye a valores menores a 6.0, la absorción de K es inhibida en forma creciente por altos niveles de $\text{NH}_4^+\text{-N}$, debido a que el NH_4 como iones de H^+ a $\text{pH}=7$ y superior, el crecimiento se inhibe por la presencia de NH_3 libre (Findenegg, 1987).

La deficiencia de Mg en tomate es más severa con concentraciones crecientes de K, N y Ca, las cuales pueden causar reducciones en el rendimiento, las mayores pérdidas de rendimiento ocurren con altos niveles de N y K (Adatia y Winsor, 1971). En forma similar, niveles altos de N y K aumentaron la severidad de la deficiencia de Mg en tomate (Adams *et al.*, 1978) y en pepino (Adams *et al.*, 1992) y causaron reducciones considerables en rendimiento, aunque el efecto de altos niveles de K sería más perjudicial cuando la fuente de N es $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (Urrestarazu, 2004). La interacción negativa N-Mg también ha sido reportada por García-Hernández *et al.* (2007) en el cultivo de chile (*Capsicum frutescens* cv. Chiltepín) y por Magallanes-Quintanar *et al.* (2005) en nopal (*Opuntia ficus-indica*), aunque no se le ha dado una explicación fisiológica.

Numerosos trabajos han reportado interacciones positivas entre el N y P, la presencia de N induce el incremento en la absorción de P y altos rendimientos (Terman *et al.*, 1977; Adams, 1980).

4.11.2. Fósforo

La deficiencia de fósforo es el principal factor limitante del rendimiento en cultivos anuales en suelos ácidos y alcalinos, así como en regiones tropicales (Fageria *et al.* 1997). Esto significa que la evaluación de la interacción del fósforo con otro nutrimento es muy importante para mantener un balance del suministro de nutrimentos para mejorar el rendimiento de los cultivos (Fageria, 2001).

Interacciones positivas entre P y Mg es de esperarse, ya que el Mg es un activador de las enzimas inasas y activa muchas reacciones que envuelven la transferencia de fosfato (Fageria, 2001).

4.11.3. Potasio

El potasio es el único de los nutrimentos esenciales que juega una diversidad de funciones en los procesos del metabolismo de la planta (Dibb y Thompsom, 1985).

Un adecuado nivel de K es esencial para el uso eficiente del N en los cultivos. El potasio podría estar involucrado con la captación de NO_3^- (Fageria, 2001). La captación de NO_3^- puede ser afectada a través de la influencia del K en la translocación de los asimilados fotosintéticos, necesarios para soportar este proceso activo de captación (Ashley y Goodson, 1983).

El potasio tiene efectos antagónicos en la absorción del Ca y Mg, en concentraciones altas que dependen de la especie de la planta y de las condiciones ambientales (Fageria, 2001). Fageria (1983) estudió las interacciones del potasio con P, Ca y Mg en plantas de arroz creciendo en solución nutritiva. La concentración de Mg se incrementó en bajas concentraciones de K y sólo decreció a altas concentraciones. La alta absorción de P y Ca en bajas concentraciones de K se cree que es debida a la alta movilidad del K, que cuando se presenta en altas concentraciones tiende a deprimir la absorción de otros iones.

4.11.4. Calcio, magnesio y azufre

La clorosis causada por la falta de hierro es un problema en todo el mundo, particularmente en regiones áridas y semiáridas. Los suelos que son naturalmente secos inducen clorosis por la cal y frecuentemente contienen altas concentraciones (más de 20%) de carbonato de calcio. Aunque, el hierro es abundante en estos suelos no está disponible para que las plantas lo absorban. El contenido de calcio en gramíneas es generalmente más bajo que en plantas dicotiledóneas (Kawasaky, 1995). Ishizuka y Tanaka (1960; citados por Fageria, 2001), estudiaron interacciones de Ca con otros nutrimentos y reportaron que el Ca estimula la absorción de P y K bajo ciertos intervalos de concentración de iones en la solución nutritiva. La absorción de P por plantas de arroz en solución nutritiva fue significativamente decreciente con el incremento de las

concentraciones de Ca. De manera similar, la absorción de P y Mg decrecieron a altas concentraciones de Ca.

CAPÍTULO I. RESPUESTA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* Raf.) CV. ECHO BLUE A DIFERENTES DOSIS DE NITRÓGENO

RESUMEN

El lisianthus es una especie ornamental poco conocida en México, ya que no se cultiva en grandes extensiones, aunque está tomando importancia debido a que es una flor muy atractiva al consumidor; el que es atraído por la elegancia y delicadeza de sus flores y por su excelente conservación en florero. En consecuencia, las investigaciones acerca de la nutrición del cultivo son escasas. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la respuesta de lisianthus a diferentes dosis de nitrógeno, establecer las concentraciones relacionadas con la mayor calidad del cultivo y conocer la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta. Para ello se evaluó el efecto de 10 dosis de N (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 500 y 600 mg·litro⁻¹) en la solución nutritiva, sobre el crecimiento, estado nutrimental de la planta, distribución de materia seca y de nutrimentos y vida en florero. Las dosis a las que las plantas presentaron la mejor respuesta en crecimiento, acumulación de biomasa y vida en florero, fueron aquellas entre 50 y 250 mg de N. Con estas dosis las concentraciones foliares de N fueron de 2.16 a 3.22%, las que pueden ser las de suficiencia para este cultivo. Las dosis de N mejoraron la

concentración foliar de Ca y K y se disminuyó la de Mg, asimismo influyeron la distribución de materia seca y de nutrimentos en la planta. El orden de acumulación de materia seca fue: tallo>hoja>raíz=flor.

Palabras clave: distribución nutrimental, distribución de materia seca, concentración y contenido nutrimental, vida en florero.

SUMMARY

Lisianthus is an ornamental species that is slightly known in Mexico, probably because it is not widely cultivated by flower growers; nonetheless, in other countries, lisianthus is becoming an interesting alternative for cut flower production because consumers are enticed by its very attractive, delicate flowers and extended vase life. In consequence, research on mineral nutrition is scarce. The objectives of the present study were to determine the response of lisianthus to varying concentrations of nitrogen (N) in the nutrient solution, to establish the N concentration associated with higher quality of cut flowers, and to define the distribution of dry mass and nutrients in plant organs. The effects of N concentration in the nutrient solution (0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 500 y 600 mg·L⁻¹) on growth, nutrimental status, dry mass and mineral nutrient distribution, and vase life were studied. Plants grown with solutions containing N at 50 and 250 mg·L⁻¹ exhibited the best growth, biomass accumulation and vase life. Leaf N concentration on these plants was from 2.16 to 3.22%, which may correspond to the sufficiency levels of lisianthus, and were associated with increased leaf calcium and potassium concentration, decreased magnesium, and modified dry mass and nutrient distribution in plants. Dry mass distribution exhibited the following ranking: stems>leaves>roots=flowers.

Keywords: dry mass distribution, nutrient content and concentration, nutrient distribution, vase life.

1.1 INTRODUCCIÓN

El lisianthus es una especie ornamental poco conocida en México porque no se cultiva en grandes extensiones, ya que sólo se reportan 4 ha en producción; algunos de los estados productores son: Arteaga, Coahuila; Zacatepec, Morelos; Villa Guerrero, Estado de México; Tecamachalco, Puebla y Guadalajara, Jalisco (Domínguez, 2008). Recientemente, esta ornamental está tomando importancia porque es una flor muy atractiva al consumidor, el que es atraído por la elegancia y delicadeza de sus flores y por su excelente conservación en florero. Los programas de fertilización deben basarse en la demanda nutrimental de las especies en sus diferentes etapas fenológicas. El lisianthus requiere de altas cantidades de nutrimentos, la insuficiencia de alguno de ellos resulta en plantas pequeñas, reducción en el desarrollo de brotes axilares basales y pocas flores, aún cuando no presente síntomas de deficiencia. Los requerimientos de N, K y Ca por este cultivo son altos (Dole y Wilkins, 2005) y los requerimientos de Mg no se han determinado. Debido a que en nuestro país las investigaciones acerca de este cultivo son escasas, es importante generar el conocimiento de su proceso de producción y fertilización; para lo cual es necesario conocer las exigencias nutrimentales y generar las curvas de abastecimiento nutrimental. Por lo que el presente estudio tuvo como objetivos determinar la respuesta de lisianthus a diferentes dosis de nitrógeno, establecer las concentraciones que se relacionen con la mayor calidad del cultivo y conocer la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta.

1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

1.2.1. Localización

El experimento se estableció en un invernadero de cristal en Chapingo, Estado de México; localizado en las coordenadas geográficas 19° 29' de latitud norte y 98° 53' longitud oeste, con una altitud de 2 250 m.

1.2.2. Material vegetal utilizado

Las plantas de *lisianthus* utilizadas fueron del cultivar Echo Blue, obtenidas a partir de semilla; a los 100 días después de la siembra las plantas se colocaron en contenedores negros de 1 litro de capacidad con solución nutritiva preparada con base en la solución de Steiner (1961).

1.2.3. Diseño experimental, tratamientos y condiciones ambientales

El experimento se condujo bajo condiciones de temperatura máxima y mínima promedios de 32.5 °C y 12.3 °C, respectivamente; la humedad relativa máxima fue de 98.4 % y la mínima de 36.0 %. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 10 tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento,

los cuales consistieron en diferentes dosis de N: 0 (testigo), 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 500 y 600 mg·litro⁻¹ de N. La unidad experimental consistió en una planta. Se colocaron seis líneas con 50 unidades experimentales cada una, conformadas con las unidades de todos los tratamientos ubicadas al azar, con una separación de 50 cm entre líneas y 10 cm entre plantas. La oxigenación del sistema se llevó a cabo mediante bombas para pecera de la marca Élite 801 con capacidad de 15 galones, se colocaron dos bombas por línea para asegurar una oxigenación suficiente y uniforme. El oxígeno se midió con un medidor de oxígeno en solución (oxímetro) marca HANNA HI9142. La cantidad de oxígeno promedio entrante al sistema fue de 5.9 ppm. Las soluciones nutritivas se cambiaron cada ocho días durante el primer mes y posteriormente cada quince días. El pH de la solución se ajustó a 5.5 con ácido fosfórico o hidróxido de sodio. La conductividad eléctrica (CE) y las concentraciones de cada ión para cada solución nutritiva se muestran en el Cuadro 1.1.

Cuadro 1.1. Composición y conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas.

TRA (mg·litro ⁻¹ de N)	KNO ₃ (g litro)	Ca (NO ₃) ₂ (g litro)	Mg(NO ₃) ₂ (g litro)	Mg(NO ₃) ₂ *6 H ₂ O (g litro)	KH ₂ PO ₄ (g litro)	CaSO ₄ * H ₂ O (g litro)	MgSO ₄ *7H ₂ O (g litro)	CE (ds·m ⁻¹)
Testigo	0.00	0.00	0.00	0.14	0.44	0.58	0.23	1.9
50	0.00	0.43	0.00	0.14	0.47	0.31	0.26	1.8
100	0.28	0.44	0.10	0.14	0.26	0.34	0.19	1.9
150	0.51	0.59	0.11	0.14	0.09	0.27	0.20	2.1
200	0.42	1.01	0.22	0.14	0.19	0.00	0.12	2.4
250	0.60	1.08	0.38	0.14	0.09	0.00	0.00	2.6
300	0.72	1.27	0.47	0.13	0.09	0.00	0.00	3.0
350	0.85	1.46	0.56	0.13	0.09	0.00	0.00	3.3
500	1.23	2.03	0.84	0.13	0.09	0.00	0.00	4.4
600	1.48	2.41	1.02	0.13	0.09	0.00	0.00	5.1

1.2.4. Variables evaluadas

1.2.4.1. Altura de la planta y número de hojas

Estas dos variables se evaluaron semanalmente por tratamiento.

Al final del experimento (121 días después del trasplante) se evaluaron:

1.2.4.2. Área foliar

Se tomó una muestra de tres plantas de cada tratamiento y se evaluó el área foliar total con un integrador de área foliar LI-COR 3100.

1.2.4.3. Volumen radical

Por medio del método de desplazamiento de agua se evaluó el volumen radical en todas las repeticiones de cada tratamiento.

1.2.4.4. Número de botones

Se contó el número de botones florales de todas las repeticiones.

1.2.4.5. Diámetro de tallo

Con la ayuda de un vernier digital se midió el diámetro basal del tallo de todas las repeticiones.

1.2.4.6. Diámetro de flor

Esta variable se midió con un vernier digital en una muestra de tres plantas (repeticiones) por tratamiento (flores totalmente abiertas).

1.2.4.7. Vida poscosecha

La evaluación de esta variable se hizo en laboratorio, con temperaturas máximas y mínimas promedio de 17.7 y 15.5 °C, respectivamente; humedad relativa máxima y mínima promedio de 62.2 y 47.0 %, respectivamente. Se utilizaron tres repeticiones de cada tratamiento, las flores se colocaron en probetas de 100 mL con agua de la llave, se repuso diariamente el agua consumida y se registraron los días hasta la marchitez de la última flor y del tallo.

1.2.4.8. Materia seca

Para esta variable se utilizó la muestra con la cual se obtuvo el área foliar (tres plantas), la planta se separó por órganos (raíz, tallo, hojas y flores), se lavaron perfectamente con agua destilada, se colocaron en bolsas perforadas de papel

estraza, se metieron a un horno con aire forzado a 75 °C por 76 h o hasta llegar a peso constante, se pesó cada órgano en una balanza granataria marca Sartorius de 500 g.

1.2.4.9. Contenido de macronutrientes

Se usaron tres plantas por tratamiento, se tomó una muestra de 0.1 g de materia seca de cada órgano, se realizó una digestión húmeda con una mezcla de ácido sulfúrico y ácido perclórico (relación 4:1) y peróxido de hidrógeno. La determinación del contenido de N se hizo por el método micro Kjeldahl, para la determinación de la concentración de P se siguió el método colorímetro de molibdovanadato amarillo, la absorbancia se leyó a 470 nm en un espectrofotómetro (Thermo Spectronic) y la determinación de K, Ca y Mg se realizó con un Espectrómetro de Absorción Atómica de Varian modelo SpectraAA 220; en todos los casos se utilizó la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999). Las concentraciones se calcularon con base en el peso seco.

1.2.5. Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS, 2002).

1.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.3.1. Crecimiento vegetativo

1.3.1.1. Altura de la planta y número de hojas

La mayor altura se obtuvo con el tratamiento consistente en 150 mg de N (87.2 cm), que superó a la altura registrada en plantas del testigo en 31.8%. Ninguno de los tratamientos presentó diferencias estadísticas con el testigo, a excepción del tratamiento con 150 mg de N (Cuadro 1.2). El mayor número de hojas por planta se observó con los tratamientos de 100 a 250 mg de N (54 a 60 hojas), los que presentaron diferencia estadística significativa con el testigo (34.7 hojas) (Cuadro 1.2). Las plantas del testigo presentaron la menor altura y el menor número de hojas; así como hojas de color verde amarillento.

Cuadro 1.2. Altura y número de hojas promedio en plantas de lisanthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de N)	ALTURA DE PLANTA (cm)	NÚMERO DE HOJAS
Testigo	59.5 c ²	34.7 b
50	76.1 abc	44.4 ab
100	84.7 ab	53.6 a
150	87.2 a	57.9 a
200	76.3 abc	59.9 a
250	75.5 abc	56.0 a
300	77.5 abc	49.4 ab
350	72.0 abc	47.8 ab
500	70.2 abc	49.1 ab
600	64.6 bc	44.1 ab
CV	19.6	23.7
DMS	21.2	17.1

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

1.3.1.2. Área foliar

El tratamiento con 150 mg de N presentó aproximadamente cinco veces más área foliar que el testigo, que fue el tratamiento con la menor área foliar (Cuadro 1.3).

1.3.1.3. Diámetro de tallo

Las plantas con deficiencia, como con exceso de N, presentaron tallos delgados. El mayor diámetro de tallo se obtuvo con el tratamiento con 100 mg de N, los diámetros menores se obtuvieron con el tratamiento testigo, 500 y 600 mg (Cuadro 1.3).

1. 3.1.4. Volumen radical

Este volumen fue mayor con 100 mg de N, el menor volumen se obtuvo con 500 mg de N (Cuadro 1.3).

1.3.1.5. Número de botones

El número de botones florales fue más del doble que en el testigo, con los tratamientos de 150 y 200 mg de N (Cuadro 1.3).

1.3.1.6. Diámetro de flor

El diámetro de flor con 50 mg de N superó significativamente al del testigo y sin diferencia estadística con los tratamientos de 100 a 350 mg de N (Cuadro 1.3).

Cuadro 1.3. Valores promedio de variables vegetativas en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de N)	AF (cm ²)	DT (mm)	VR (mm ³)	NB (piezas)	DF (mm)
Testigo	280.90 c ^z	4.42 c	12.4 bc	4.0 b	54.85 c
50	685.20 bc	6.09 abc	14.5 abc	7.4 ab	83.87 a
100	908.20 ab	7.37 a	21.2 a	9.3 ab	74.51 ab
150	1314.10 a	6.71 ab	16.8 ab	9.9 a	74.81 ab
200	1185.90 ab	6.69 ab	16.2 ab	10.9 a	79.68 ab
250	648.10 bc	6.41 abc	12.7 bc	8.3 ab	75.58 ab
300	815.10 abc	5.93 abc	10.6 bc	8.6 ab	69.38 abc
350	1105.50 ab	6.51 ab	8.7 bc	6.4 ab	69.23 abc
500	853.40 abc	5.01 bc	7.7 c	7.6 ab	66.36 bc
600	835.90 abc	5.08 bc	9.2 bc	6.3 ab	73.02 ab
CV	17.31	22.88	43.6	47.9	8.10
DMS	591.67	2.00	8.2	9.1	17.07

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). AF: área foliar. DT: diámetro de tallo. VR: volumen radical. NB: número de botones florales. DF: diámetro de flor; CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

1.3.2. Vida poscosecha

La vida poscosecha no mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; sin embargo, se considera importante mencionar que las flores con 200 mg de N en la solución nutritiva tuvieron 25 días de duración, con una diferencia de 11 días con respecto a las flores del tratamiento testigo (Figura 1.1), lo cual representa un período de duración de las flores muy importante para el consumidor.

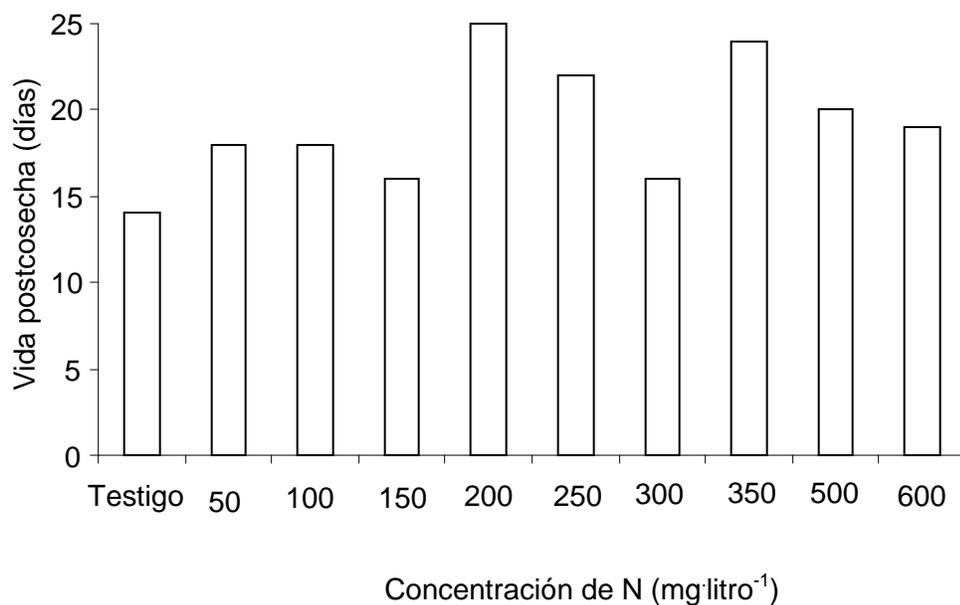


Figura 1.1. Vida poscosecha promedio de plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.

1.3.3. Materia seca

Los tratamientos que condujeron a la mayor acumulación total de materia seca en la planta fueron los que contenían de 100 a 250 mg de N (9.2 a 10.0 g); con concentraciones más bajas y más altas la biomasa disminuyó gradualmente. La mayor acumulación de materia seca en raíz y flor se presentó en el tratamiento con 250 mg de N; mientras que el tallo y hojas con el tratamiento de 150 mg de N tuvieron la mayor acumulación de materia seca (4.5 y 3.61 g, respectivamente). Los órganos que tuvieron la mayor acumulación fueron el tallo y las hojas en todos los tratamientos (Figura 1.2).

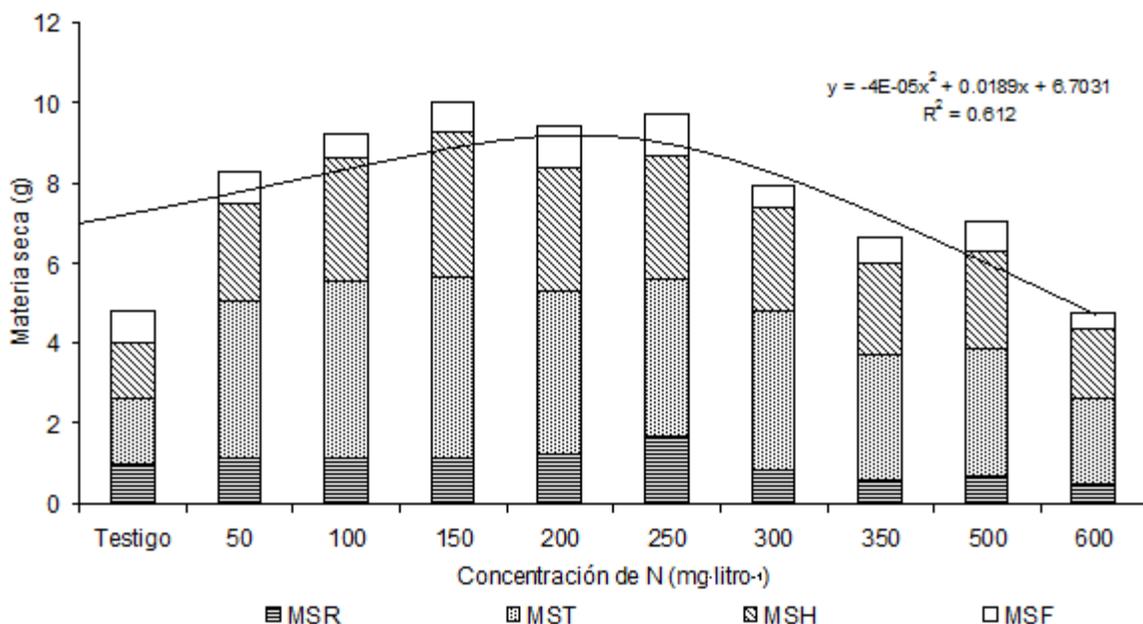


Figura 1.2. Distribución de materia seca en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes niveles de nitrógeno en la solución nutritiva. MSR: Materia seca de raíz, MST: Materia seca de tallo, MSH: Materia seca de hojas, MSF: Materia seca de flor.

Los mejores resultados de crecimiento de las plantas de lisianthus se obtuvieron con las dosis de 100 a 250 mg de N, lo que indica que con estas dosis la planta tiene el abastecimiento adecuado de N. Con las dosis por debajo de éstas, las plantas presentaron pobre crecimiento y las hojas fueron pálidas debido a la deficiencia de N. Una deficiencia de N se caracteriza por una tasa de crecimiento pobre; es decir, las plantas son pequeñas, los tallos delgados, las hojas pequeñas de color verde claro a amarillo y las más viejas a menudo se caen antes de tiempo (Fageria, 2001; Sánchez *et al.*, 2007; Barker y Bryson, 2007).

1.3.4. Contenido de macronutrientes por órgano en plantas de lisianthus

1.3.4.1. Contenido de macronutrientes en raíz

Los mayores contenidos de N, P, K, Ca y Mg en raíz se obtuvieron con los tratamientos de 100 a 250 mg de N. El mayor contenido de N (26.37 mg.planta⁻¹) en la planta se obtuvo con el tratamiento con 250 mg de N. Para P, la mejor respuesta se encontró con el tratamiento con 100 mg de N. El mayor contenido de K se encontró con el tratamiento 100 mg de N, los mayores contenidos de Ca se encontraron en los tratamientos de 50 a 200 mg de N. Se obtuvo el mayor contenido de Mg cuando se aplicaron 200 mg de N (Cuadro 1.4).

Cuadro 1.4. Contenido promedio de macronutrientes en raíz en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de nitrógeno en solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de N)	N (mg/planta)	P (mg/planta)	K (mg/planta)	Ca (mg/planta)	Mg (mg/planta)
Testigo	6.91 c ^z	4.35 cd	13.58 ab	11.06 ab	1.21 c
50	13.40 bc	7.58 abcd	16.15 ab	17.90 a	2.00 abc
100	15.60 b	11.31 a	25.09 a	20.57 a	2.27 ab
150	15.46 b	9.40 abc	16.20 ab	20.98 a	2.49 ab
200	18.29 ab	10.66 ab	20.75 ab	18.18 a	2.83 a
250	26.37 a	8.24 abcd	21.55 ab	15.80 ab	2.20 ab
300	19.87 ab	5.06 bcd	19.65 ab	12.59 ab	1.71 bc
350	15.22 b	3.34 d	10.99 b	12.47 ab	2.05 abc
500	14.14 bc	4.37 cd	18.96 ab	8.60 ab	1.72 bc
600	14.82 bc	2.56 d	16.28 ab	3.88 b	1.18 c
CV	17.76	31.05	26.08	32.68	16.63
DMS	8.22	6.00	13.51	13.42	0.95

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

1.3.4.2. Contenido de macronutrientes en tallo

El contenido de macronutrientos en tallo de *lisianthus* tuvo comportamiento similar al observado en raíz; es decir, los tratamientos entre 100 y 250 mg de N obtuvieron los mayores contenidos en N, P, K, Ca y Mg. La mayor cantidad de N, P y Ca (21.16, 2.84 y 2.43 mg/planta⁻¹, respectivamente) se obtuvo con el tratamiento con 250 mg de N; mientras que para el contenido de K y Mg, la mayor cantidad perteneció al tratamiento con 150 mg de N (Cuadro 1.5).

Cuadro 1.5. Contenido promedio de macronutrientos en tallo en plantas de *lisianthus* tratadas con diferentes niveles de nitrógeno en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de N)	N (mg/planta ⁻¹)	P (mg/planta ⁻¹)	K (mg/planta ⁻¹)	Ca (mg/planta ⁻¹)	Mg (mg/planta ⁻¹)
Testigo	7.95 d ²	0.93 b	11.88 cde	0.79 d	1.58 de
50	12.93 bcd	1.88 ab	17.19 bcde	1.44 bcd	2.21 bcd
100	13.63 abcd	1.65 ab	22.56 abcd	1.45 bcd	2.48 abc
150	17.23 abc	1.59 ab	32.43 a	2.31 ab	3.13 a
200	17.94 ab	2.06 ab	23.24 abc	1.91 abc	2.99 ab
250	21.16 a	2.84 a	26.72 ab	2.43 a	2.95 ab
300	10.41 bcd	1.84 ab	22.91 abcd	1.55 abcd	1.97 cde
350	11.95 bcd	1.54 ab	7.23 e	1.46 bcd	1.55 de
500	17.95 ab	1.95 ab	11.00 cde	1.89 abc	1.93 cde
600	9.47 cd	1.19 ab	9.40 de	1.38 cd	1.20 e
CV	19.37	36.82	25.85	18.95	13.58
DMS	7.87	1.89	13.79	0.91	0.86

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

1.3.4.3. Contenido de macronutrientos en hoja

El contenido de macronutrientos en hojas (Cuadro 1.6) muestra una respuesta diferente en el contenido de P y Ca comparada con la encontrada en raíz y tallo; el mayor contenido de P y Ca se encontró con el tratamiento con 250 y 500 mg de N, respectivamente y con diferencias estadísticas significativas con el testigo, los mayores contenidos de N, K y Mg se obtuvieron con los tratamientos de 150 a 250 mg de N, respuesta similar a la obtenida en raíz y tallo para estos macronutrientos.

Cuadro 1.6. Contenido promedio de macronutrientos en hoja en plantas de *lisanthus* tratadas con diferentes niveles de nitrógeno en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de N)	N (mg/planta)	P (mg/planta)	K (mg/planta)	Ca (mg/planta)	Mg (mg/planta)
Testigo	9.23 e ^z	1.31 b	13.30 c	3.67 b	4.58 bcd
50	20.35 bcd	4.17 a	22.26 ab	7.36 a	6.99 abc
100	25.22 ab	4.04 a	22.17 ab	6.01 ab	7.41 ab
150	21.64 bc	3.83 a	19.40 abc	6.33 ab	7.48 a
200	30.24 a	4.10 a	25.08 a	6.14 ab	6.81 abc
250	24.59 ab	4.59 a	25.53 a	7.50 a	6.48 abc
300	23.55 b	3.44 ab	21.88 ab	6.34 ab	5.26 abcd
350	16.47 cd	3.02 ab	20.65 abc	7.38 a	4.53 cd
500	22.64 b	3.31 ab	22.98 ab	7.53 a	4.22 cd
600	15.00 de	2.45 ab	15.84 bc	6.18 ab	2.60 d
CV	9.76	22.25	13.99	16.92	17.34
DMS	5.9	2.2	8.46	3.15	2.82

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

1.3.4.4. Contenido de macronutrientes en flor

El mayor contenido de N y Mg se encontró en el tratamiento con 150 mg de N. Se encontró diferencia estadística significativa en el contenido de P y K para todos los tratamientos en relación al testigo, el cual obtuvo la menor cantidad de estos macronutrientes; es decir, la aplicación de N en el cultivo aumentó el contenido de P y K; por otro lado, la aplicación de N no tuvo ningún efecto en el contenido de Ca. Es importante mencionar que con los tratamientos con 500 y 600 mg de N se afectaron la calidad de las flores, las cuales fueron de menor tamaño y de un color azul menos intenso (lila) en comparación con los demás tratamientos (Cuadro 1.7).

Cuadro 1.7. Contenido promedio de macronutrientes en flores en plantas de *lisianthus* tratadas con diferentes niveles de nitrógeno en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de N)	N (mg/planta)	P (mg/planta)	K (mg/planta)	Ca (mg/planta)	Mg (mg/planta)
Testigo	10.26 d ²	0.82 b	6.19 c	1.19 a	1.76 bc
50	14.02 dc	1.66 ab	11.36 abc	1.55 a	2.69 ab
100	18.39 abcd	1.78 ab	10.31 abc	2.04 a	3.04 a
150	24.54 a	2.83 ab	16.20 a	2.39 a	3.53 a
200	22.26 abc	2.51 ab	13.52 abc	1.66 a	2.68 ab
250	22.44 ab	1.85 ab	15.01 ab	1.63 a	2.43 ab
300	15.53 bdc	2.01 ab	8.81 abc	1.52 a	1.80 bc
350	19.91 abc	3.29 a	8.76 abc	4.66 a	1.10 c
500	17.77abcd	1.68 ab	9.93 abc	1.86 a	1.50 bc
600	11.34 d	1.16 ab	6.73 ab	1.23 a	1.15 c
CV	16.41	41.34	26.90	97.92	19.03
DMS	8.37	2.34	8.31	5.58	1.19

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

1.3.5. Concentración nutrimental en hojas

La mayor concentración foliar de N se registró en los tratamientos con 200, 300, 500 y 600 mg de N. Las dosis de N no tuvieron efecto sobre la concentración de P. Las dosis más altas de N en la solución nutritiva incrementaron las concentraciones de K y Ca, en tanto que la de Mg disminuyó (Cuadro 1.88).

Cuadro 1.8. Concentración nutrimental (%) en hojas de plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de N)	N	P	K	Ca	Mg
Testigo	1.91 d ^z	0.27 a	2.76 ab	0.76 bc	0.95 a
50	2.45 bcd	0.50 a	2.68 ab	0.89 bc	0.84 ab
100	2.74 abc	0.44 a	2.41 ab	0.65 c	0.81 ab
150	2.16 dc	0.38 a	1.94 b	0.63 c	0.75 ab
200	3.22 a	0.44 a	2.67 ab	0.65 c	0.73 ab
250	2.53 abcd	0.47 a	2.62 ab	0.77 bc	0.67 ab
300	2.98 ab	0.44 a	2.77 ab	0.80 bc	0.67 ab
350	2.48 abcd	0.45 a	3.11 ab	1.11 ab	0.68 ab
500	3.22 a	0.47 a	3.27 a	1.07 ab	0.60 b
600	3.15 ab	0.51 a	3.32 a	1.30 a	0.54 b
CV	9.71	21.91	14.72	15.12	16.50
DMS	0.75	0.28	1.17	0.38	0.34

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

1.3.6. Contenido total de macronutrientos

Los contenidos de N, P, K, Ca y Mg en la planta presentaron una tendencia a incrementarse hasta la dosis de 250 mg de N, con las dosis superiores se observó disminución. Las dosis de 150 a 250 mg de N fueron las que mejoraron el contenido nutrimental en las plantas, aunque la mejor dosis varió dependiendo del elemento (Cuadro 1.9).

Cuadro 1.9. Contenido de macronutrientos en plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de N)	N (mg·planta ⁻¹)	P (mg·planta ⁻¹)	K (mg·planta ⁻¹)	Ca (mg·planta ⁻¹)	Mg (mg·planta ⁻¹)
Testigo	34.35 f ²	7.41 d	44.95 e	16.71 ab	9.13 bc
50	60.70 de	15.28 abc	66.96 bcd	28.25 ab	13.90 a
100	72.85 cd	18.78 ab	80.13 abc	30.08 a	15.20 a
150	78.88 bc	17.65 abc	84.24 ab	32.00 a	16.64 a
200	88.72 ab	19.33 a	82.60 abc	27.89 ab	15.30 a
250	94.57 a	17.51 abc	88.81 a	27.36 ab	14.06 a
300	69.36 cd	12.35 bcd	73.25 abc	22.00 ab	10.73 b
350	63.55 de	11.18 cd	47.62 de	25.98 ab	9.23 b
500	72.50 cd	11.32 cd	62.87 cde	19.88 ab	9.36 b
600	50.64 e	7.37 d	48.24 de	12.67 b	6.13 c
CV	7.52	16.88	10.83	22.64	8.88
DMS	14.92	6.74	21.29	15.89	3.07

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

En las flores de corte se reporta de 3.1 a 4.7 % de N en hojas maduras, como valores de suficiencia, y alto mayor de 5% (Barker y Bryson, 2007). En este trabajo las concentraciones foliares de 2.16 a 3.22%, clasificadas como suficientes para el cultivo de *lisianthus*.

El efecto del N aplicado en la solución nutritiva sobre el aumento de la absorción de K y Ca y disminución de Mg demuestran sinergismo y antagonismo entre el N (aplicado en forma de NO_3^-) y los cationes, respectivamente. La absorción de NO_3^- estimula la absorción de cationes como el K y el Ca (Jones, 1998; Fageria, 2001), como lo observó Kawasaki (1995) en arroz, trigo, maíz, calabaza y jitomate; en donde el contenido de Ca aumentó cuando se aplicó N en forma de NO_3^- . La interacción negativa N-Mg también ha sido reportada por García-Hernández *et al.* (2007) en el cultivo de chile (*Capsicum frutescens* cv. Chiltepín) y por Magallanes-Quintanar *et al.* (2005) en nopal (*Opuntia ficus-indica*), aunque no se le ha dado una explicación fisiológica.

Numerosos trabajos han reportado una interacción positiva entre el N y el P, el cual induce el incremento en la absorción del P y como consecuencia en el rendimiento (Fageria, 2001); pero de acuerdo a nuestros resultados no se observó esa interacción, ya que el porcentaje de P no varió con las dosis de N; no obstante, el contenido de P en la planta disminuyó conforme la dosis de N se incrementó.

1.3.7. Distribución promedio de materia seca y nutrimentos

El tallo fue el órgano que acumuló más materia seca, seguido por la hoja; la raíz y flor acumularon cantidades similares de materia seca (Figura 1.3).

La mayor acumulación de N y Mg se encontró en las hojas; en la raíz se encontró el mayor contenido de P y Ca. La raíz, tallo y hojas presentaron contenidos similares de K. La flor presentó el menor contenido de P, K y Ca y similar de N y Mg al de raíz y tallo (Figura 1.3). Estos resultados se deben a que el N, P y K se encuentran, generalmente, en mayores concentraciones en hojas nuevas, maduras y en sus pecíolos; mientras que el Ca y Mg se concentran sólo en hojas maduras. El Mg, N, P y K son elementos muy móviles dentro de la planta, en cambio el Ca es inmóvil (Jones, 1998) y además su transporte depende de la transpiración (Mengel y Kirkby, 1987). Esta movilidad define en que parte de la planta se acumulan más los elementos (Jones, 1998).

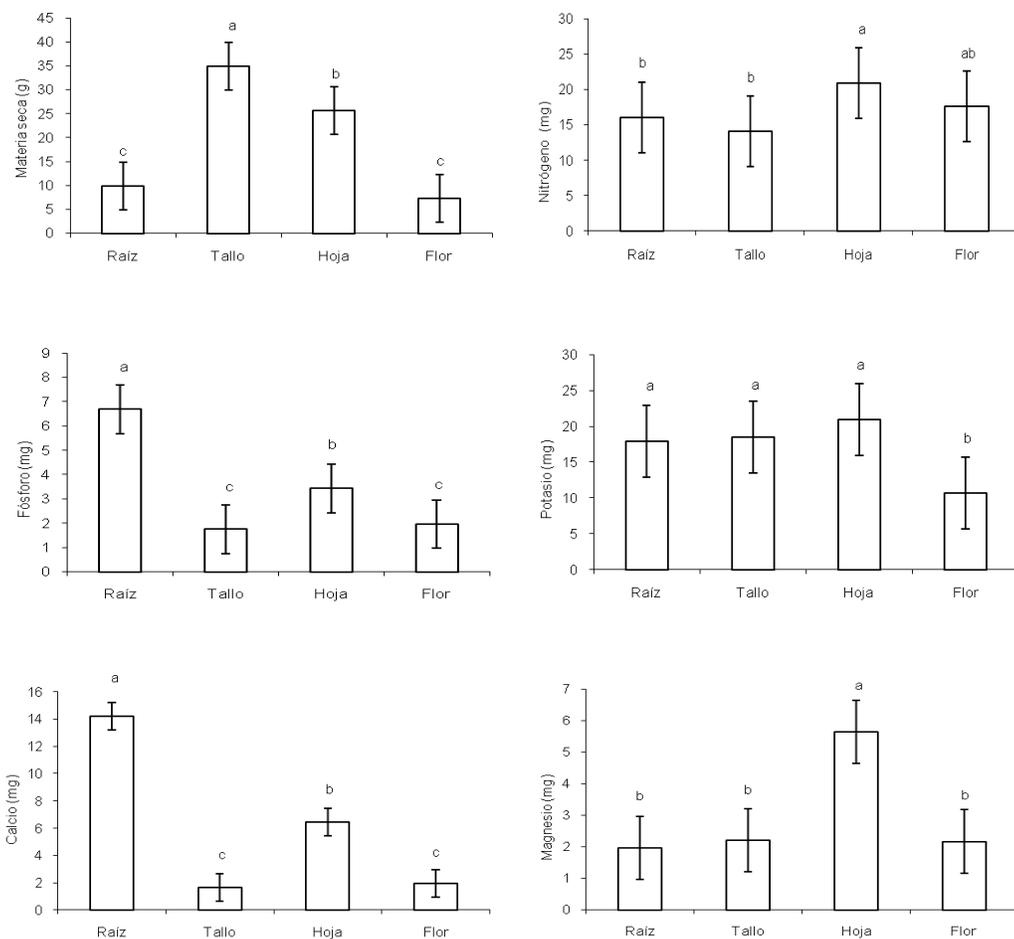


Figura 1.3. Distribución de materia seca y de elementos en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva. $n = 3 \pm$ error estándar.

1.3.8. Relaciones nutrimentales

Las dosis de N no modificaron las relaciones entre Ca:Mg y N:Ca. Las mayores proporciones K:Ca, K:Mg y N:Mg se encontraron con el tratamiento con 600 mg de N. Para las relaciones K:Ca y K:Mg, los valores tienden a aumentar

conforme se incrementa la dosis de N, es decir, la absorción de K aumentó conforme se incrementó la dosis de N-NO_3^- , con lo que se pudo detectar un sinergismo entre N-K (Cuadro 1.10). Fernández y Fox (1985) encontraron en el cultivo de plátano que los tratamientos con N afectan las concentraciones de K, Na, Ca y Mg solubles, ya que éstas se incrementan a medida que pasan de los bajos a los altos niveles de fertilización nitrogenada. Kemp (1983) menciona que el nivel de N en la solución nutritiva puede aumentar o disminuir la concentración de K en el tejido vegetal, a mayor nivel de N aumenta la entrada de K y menor nivel disminuye la absorción de este nutriente. El balance de los nutrientes esenciales es uno de los factores más importantes en el incremento del rendimiento de los cultivos. Las interacciones entre nutrientes son generalmente medidas en términos de la respuesta del crecimiento y cambio en la concentración de nutrientes, este tipo de interacciones es más común en iones con propiedades químicas similares, como el caso de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ (Fageria, 2001).

Cuadro 1.10. Relaciones nutrimentales en plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de nitrógeno en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de N)	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg	N:Ca	N:Mg
Testigo	2.8 ab ^z	5.0 b	1.8 a	2.2 a	3.8 d
50	2.4 ab	4.8 b	2.0 a	2.3 a	4.3 cd
100	2.7 ab	5.3 b	2.0 a	2.4 a	4.9 bcd
150	2.8 ab	5.1 b	1.9 a	2.6 a	4.7 cd
200	3.2 ab	5.4 b	1.8 a	3.4 a	5.8 abcd
250	3.3 ab	6.3 ab	2.0 a	3.6 a	6.8 abc
300	3.3 ab	6.9 ab	2.1 a	3.1 a	6.5 abcd
350	1.9 b	5.3 b	2.9 a	2.6 a	6.9 abc
500	3.2 ab	6.7 ab	2.1 a	3.6 a	7.8 ab
600	3.8 a	7.9 a	2.1 a	4.0 a	8.5 a
CV	20.4	14.3	22.3	21.7	16.7
DMS	1.7	2.4	1.3	1.9	2.9

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

Fageria (2001) menciona que el potasio a altas concentraciones tiene efectos antagónicos en la absorción de Ca^{2+} y Mg^{2+} , esto podemos observarlo en la proporción entre K:Mg, donde el potasio se encuentra hasta 7.9 veces más que el magnesio, indicando así una relación antagónica entre estos dos nutrimentos. Las relaciones entre N:Ca y N:Mg mostraron una respuesta a la fertilización nitrogenada, ya que el contenido de N aumentó conforme aumentó la dosis de fertilización nitrogenada.

1.4. CONCLUSIONES

Las dosis a las que las plantas de *lisianthus* presentaron la mejor respuesta en crecimiento y vida poscosecha; así como en la biomasa acumulada fueron aquellas entre 50 a 250 mg de N en la solución nutritiva. Con estas dosis las concentraciones foliares de N fueron de 2.16 a 3.22% las que parecen ser las de suficiencia para el cultivo de *lisianthus*. Las dosis altas de N incrementaron la concentración foliar de Ca y K y disminuyeron la de Mg, e influyeron en la distribución de materia seca y de nutrimentos en la planta. El tallo fue la estructura que acumuló más materia seca; N y el Mg se acumularon en mayor cantidad en las hojas, el P y Ca en la raíz y el K se distribuyó en cantidades similares en raíz, tallo y hojas.

1.5. LITERATURA CITADA

ALCÁNTAR, G. G.; SANDOVAL V. M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.

BARKER, A. V.; BRYSON G. M. 2007. Nitrogen. pp. 21-50. *In: Handbook of Plant Nutrition*. BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. (eds.). CRC Taylor & Francis. Boca Raton, FL. USA.

DOLE, J. M.; WILKINS, H. F. 2005. Floriculture Principles and Species. Second Edition. Ed. Pearson Prentice Hall. New Jersey, USA. 1023 p.

DOMÍNGUEZ, R. A. 2008. Lisianthus: una especie con alto potencial. Consejo Mexicano de la Flor. Ornamentales. Primera parte: Marzo-abril. 16 (3) 24-25.

FAGERIA V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8):1269-1290.

FERNÁNDEZ, F. M.; FOX, R. L. 1985. Efecto de la fertilización nitrogenada y potásica sobre la producción en el cultivo de plátano. *Anales de edafología y Agrobiología*. Tomo XLIV, Números 9-10. Madrid, España. pp. 1439-1452.

GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; VALDEZ-CEPEDA, L. D.; SERVÍN-VILLEGAS, R.; TROYO-DIEGUÉZ, B.; MURILLO-AMADOR, B.; RUEDA-PUENTE, E. O.; RODRÍGUEZ-ORTÍZ, J. C.; MAGALLANES-QUINTANAR, R. 2007. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en un cultivar semidomesticado de *Capsicum frutescens*. Revista Chapingo Serie Horticultura 13(2):133-140.

JONES, J. B. 1998. Plant Nutrition. Manual. CRC Press. Boca Raton, FL. USA. 149 p.

KAWASAKI T. 1995. Metabolism and physiology of calcium and magnesium. *In*: Science of the Rice Plant. Mutsuo, T.; Kumasawa, K.; Ishii, R.; Ishihara, K.; Hirata, H. (eds.). Food and Agricultural Policy Research Center: Tokyo, Japan. 2:412-419.

KEMP, A. 1983. The effects of fertilizer treatment of grassland on the biological availability of magnesium to ruminants. *In*: Role of Magnesium in Animal Nutrition, Fontenot, J.P.; Bunce, G.E.; Webb, K.E.; J. Allen, V.G. (eds.). VPI&SU: Blacksburg, V.A. pp. 143-157.

MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; BLANCOMACÍAS, F.; MÁRQUEZ-MADRID, M.; RUIZ-GARDUÑO, R. R.; PÉREZ-VEYNA, O.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; MURILLO-AMADOR, B.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. D.; MARTÍNEZ-RUBÍN DE CELIS, E. 2005. Compositional nutrient diagnosis in

nopal (*Opuntia ficus-indica*). Journal of the Professional Association for Cactus Development 6:78-89.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4^a ed. International Potash Institute. Bern, Switzerland. 687 p.

SÁNCHEZ, G. P.; MOLINOS DA SILVA, C.; ALCÁNTAR, G. G.; SALDOVAL, V. M. 2007. Diagnóstico nutrimental en plantas. *In*: Nutrición de Cultivos. Alcántar, G. G.; Trejo-Téllez, L. I. (eds.). Colegio de Postgraduados. Ed. Mundi-Prensa México. México. pp. 202-247.

SAS INSTITUTE INC., CARY, NC. 2002. Statistical Analysis System. For Windows 9.0. USA.

STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15:1.

CAPÍTULO II. RESPUESTA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* Raf.)

CV. ECHO BLUE A DIFERENTES DOSIS DE CALCIO

RESUMEN

El calcio es esencial como N, P, K y otros nutrimentos para el crecimiento saludable de las plantas. Cuando la disponibilidad del Ca es baja, el rendimiento y la calidad del cultivo disminuyen. Los objetivos de este trabajo fueron determinar la respuesta de lisianthus a diferentes dosis de calcio, establecer las concentraciones que se relacionan con la mayor calidad del cultivo y conocer la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta; para ello se evaluaron diferentes dosis de Ca (0, 12.5, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400 mg·litro⁻¹) en la solución nutritiva, sobre el crecimiento, estado nutricional de la planta, distribución de materia seca y de nutrimentos y vida en florero. Las plantas de lisianthus mostraron la mejor respuesta en crecimiento y acumulación de biomasa entre las dosis de 50, 100 y 150 mg de Ca. Con estas dosis las concentraciones foliares de Ca fueron de 0.28, 0.59 y 0.67 %, respectivamente; al parecer estas dosis son las de suficiencia para el cultivo de lisianthus. La mayor cantidad de N se acumuló en las hojas; la raíz y tallo concentraron mayor cantidad de P, la raíz, tallo y hojas acumularon cantidades similares de K, el Ca se concentró en su mayoría en la raíz y en las hojas y el Mg se distribuyó uniformemente en toda la planta.

El orden de acumulación de la materia seca fue: tallo>hoja>raíz=flor.

Palabras clave: distribución nutrimental, distribución de materia seca, concentración y contenido nutrimental, vida en florero.

SUMMARY

Calcium is essential as N, P, K and other nutrients for healthy plant growth. When the low Ca availability, performance and reduced crop quality. The objectives of the present study were to determine the response of lisianthus to varying concentrations of calcium (Ca) in the nutrient solution, to establish the Ca concentration associated with higher quality of cut flowers, and to define the distribution of dry mass and nutrients in plant organs. The effects of Ca concentration in the nutrient solution Ca (0, 12.5, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 400 mg·L⁻¹) on growth, nutritional status, dry mass and mineral nutrient distribution, and vase life were studied. Plants grown with solutions containing Ca at 50, 100 and 150 mg exhibited the best growth, biomass accumulation and vase life. Leaf Ca concentration on these plants was from 0.28, 0.59 and 0.67 %, which may correspond to the sufficiency levels of lisianthus. Nitrogen was accumulated in the leaves, P concentration in roots and stems; root, stem and leaves accumulated similar K concentration, Ca was accumulated in leaves and roots and Mg was distributed uniformly throughout the plant. Dry mass distribution exhibited the following ranking: stems>leaves>roots=flowers.

Keywords: dry mass distribution, nutrient content and concentration, nutrient distribution, vase life.

2.1. INTRODUCCIÓN

El calcio es un catión divalente alcalino-térreo, esencial y juega varios papeles importantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Cuando la disponibilidad del Ca^{+2} es baja, el rendimiento y la calidad del cultivo disminuyen (Fageria y Gheyi, 1999).

El calcio es un componente del pectato de calcio, que se encuentra en la lámina media de la pared celular. Una vez que el calcio entra en la lámina media, el movimiento es irreversible y, en consecuencia, si una planta sufre de la falta de calcio en cualquier etapa, las partes nuevas de crecimiento no pueden recibir un suministro de calcio de los tejidos más viejos (Ishizuka, 1978). El calcio juega un papel importante en el cultivo de *lisianthus*, pues necesita altos niveles del mismo, para su crecimiento óptimo. Una deficiencia de calcio resulta en puntas quemadas en la hojas inmaduras, disminución de yemas y tallos frágiles (Gill *et al.*, 2000). Las carencias de calcio se manifiestan según Rodríguez (1992), con una menor capacidad de síntesis de proteínas en la plantas, menor desarrollo radical, clorosis marcada en hojas, principalmente jóvenes, poco crecimiento de los tallos y hojas, produciéndose además, una muerte de los meristemas, la planta se muestra menos crecida y desarrollada. Por lo que el presente estudio tuvo como objetivos determinar la respuesta de *lisianthus* a diferentes dosis de calcio, establecer las concentraciones que se relacionen con la mayor calidad del cultivo y conocer la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1. Localización

El experimento se estableció en un invernadero de cristal en Chapingo, Estado de México; localizado en las coordenadas geográficas 19° 29' de latitud norte y 98° 53' longitud oeste, con una altitud de 2 250 m.

2.2.2. Material vegetal utilizado

Las plantas de *lisianthus* utilizadas fueron del cultivar Echo Blue, obtenidas a partir de semilla; a los 100 días después de la siembra las plantas se colocaron en contenedores negros de 1 L de capacidad con solución nutritiva preparada con base en la solución de Steiner (1961).

2.2.3. Diseño experimental, tratamientos y condiciones ambientales

El experimento se condujo bajo condiciones de temperaturas máximas y mínimas promedio de 32.5 y 12.3 °C, respectivamente; y humedades relativas máxima y mínima de 98.4 y 36.0 %, respectivamente. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 10 tratamientos y 10 repeticiones por

tratamiento, los cuales consistieron en diferentes dosis de Ca: 0 (testigo), 12.5, 25 50, 100, 150, 200, 250, 300 y 400 mg·litro⁻¹ de Ca. La unidad experimental consistió en una planta. Se colocaron seis líneas con 50 unidades experimentales cada una, conformadas con las unidades de todos los tratamientos ubicadas al azar, con una separación de 50 cm entre líneas y 10 cm entre plantas. La oxigenación del sistema se llevó a cabo mediante bombas para pecera de la marca Élite 801 con capacidad de 15 galones, se colocaron dos bombas por línea para asegurar una oxigenación suficiente y uniforme. El oxígeno se midió con un medidor de oxígeno en solución (oxímetro) marca HANNA HI9142. La cantidad de oxígeno promedio entrante al sistema fue de 5.9 ppm. Las soluciones nutritivas se cambiaron cada ocho días durante el primer mes y posteriormente cada quince días. El pH de la solución se ajustó a 5.5 con ácido fosfórico o hidróxido de sodio. La conductividad eléctrica (CE) y las concentraciones de cada ión para cada solución nutritiva se muestran en el Cuadro 2.1.

Cuadro 2.1. Composición y conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas.

TRA (mg·litro ⁻¹ de Ca)	KNO ₃ (g·litro ⁻¹)	Ca (NO ₃) ₂ (g·litro ⁻¹)	Mg(NO ₃) ₂ (g·litro ⁻¹)	Mg(NO ₃) ₂ *6 H ₂ O (g·litro ⁻¹)	KH ₂ PO ₄ (g·litro ⁻¹)	CaSO ₄ * H ₂ O (g·litro ⁻¹)	MgSO ₄ *7H ₂ O (g·litro ⁻¹)	CE (ds·m ⁻¹)
Testigo	0.90	0.00	0.31	0.06	0.14	0.00	0.24	1.9
12.5	0.92	0.00	0.34	0.06	0.14	0.00	0.27	2.0
25	0.87	0.00	0.46	0.07	0.22	0.00	0.19	2.1
50	1.03	0.15	0.17	0.07	0.06	0.00	0.45	2.0
100	0.93	0.44	0.06	0.08	0.07	0.00	0.49	2.1
150	0.78	0.73	0.00	0.09	0.10	0.00	0.48	2.3
200	0.59	1.03	0.00	0.09	0.18	0.00	0.42	2.4
250	0.40	1.32	0.00	0.10	0.26	0.00	0.34	2.6
300	0.00	1.86	0.00	0.11	0.38	0.03	0.17	2.8
400	0.00	2.00	0.00	0.12	0.34	0.14	0.16	2.9

2.2.4. Variables evaluadas

2.2.4.1. Altura de la planta y número de hojas

Estas dos variables se evaluaron semanalmente por tratamiento.

Al final del experimento (121 días después del trasplante) se evaluaron:

2.2.4.2. Área foliar

Se tomó una muestra de tres plantas de cada tratamiento y se evaluó el área foliar total con un integrador de área foliar LI-COR 3100.

2.2.4.3. Volumen radical

Por medio del método de desplazamiento de agua se evaluó el volumen radical en todas las repeticiones de cada tratamiento.

2.2.4.4. Número de botones

Se contó el número de botones florales de todas las repeticiones.

2.2.4.5. Diámetro de tallo

Con la ayuda de un vernier digital se midió el diámetro basal del tallo de todas las repeticiones.

2.2.4.6. Diámetro de flor

Esta variable se midió con un vernier digital en una muestra de tres plantas (repeticiones) por tratamiento (flores totalmente abiertas).

2.2.4.7. Vida poscosecha

La evaluación de esta variable se hizo en laboratorio, con temperaturas máximas y mínimas promedio de 17.7 y 15.5 °C, respectivamente; humedades relativas máxima y mínima promedio de 62.2 y 47.0 %, respectivamente. Se utilizaron tres repeticiones de cada tratamiento, las flores se colocaron en probetas de 100 mL con agua de la llave, se repuso diariamente el agua consumida y se registraron los días hasta la marchitez de la última flor y del tallo.

2.2.4.8. Materia seca

Para esta variable se utilizó la muestra con la cual se obtuvo el área foliar (tres plantas), la planta se separó por órganos (raíz, tallo, hojas y flores), se lavaron perfectamente con agua destilada, se colocaron en bolsas perforadas de papel

estraza, se metieron a un horno con aire forzado a 75 °C por 76 h o hasta llegar a peso constante, después del secado se pesó cada órgano en una balanza granataria marca Sartorius de 500 g.

2.2.4.9. Contenido de macronutrientes

Se usaron tres plantas por tratamiento, se tomó una muestra de 0.1 g de materia seca de cada órgano, se realizó una digestión húmeda con una mezcla de ácido sulfúrico y ácido perclórico (relación 4:1) y peróxido de hidrógeno. La determinación del contenido de N se hizo por el método micro Kjeldahl, para la determinación de la concentración de P se siguió el método colorímetro de molibdovanadato amarillo, la absorbancia se leyó a 470 nm en un espectrofotómetro (Thermo Spectronic) y la determinación de K, Ca y Mg se realizó con un Espectrómetro de Absorción Atómica de Varian modelo SpectraAA 220; en todos los casos se utilizó la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999). Las concentraciones se calcularon con base en el peso seco.

2.2.5. Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS, 2002).

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Crecimiento vegetativo

2.3.1.1. Altura de la planta y número de hojas

La altura de la planta y el número de hojas en las plantas de *lisianthus* no respondieron a la aplicación de Ca, al no encontrar diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo. Sin embargo, la mayor altura correspondió al tratamiento con 100 mg de Ca, con una diferencia de 16.5 cm comparado con el tratamiento con 400 mg de Ca en el que se registró la menor altura de planta; en el tratamiento con 12.5 mg de Ca se obtuvo el mayor número de hojas (60.9) (Cuadro 2.2). Romero *et al.*, (2007) obtuvieron en plantas ornamentales de sombra que la aplicación excesiva de Ca (hasta 440 mg.L⁻¹) durante el ciclo de producción disminuyó el número de hojas; sin embargo, no afectó la altura de la planta.

Cuadro 2.2. Altura y número de hojas promedio en plantas de lisanthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de Ca)	ALTURA DE PLANTA (cm)	NÚMERO DE HOJAS
Testigo	74.1 a ^z	54.1 a
12.5	77.3 a	60.9 a
25	65.0 a	51.0 a
50	79.7 a	51.0 a
100	82.0 a	51.9 a
150	80.3 a	53.2 a
200	76.9 a	54.0 a
250	77.6 a	48.4 a
300	77.7 a	55.5 a
400	65.5 a	48.4 a
CV	18.0	32.1
DMS	24.2	30.0

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

2.3.1.2. Área foliar

La mayor área foliar se encontró en el tratamiento con 50 mg de Ca, con una diferencia de 557 cm² con el tratamiento de menor área foliar (25 mg de Ca), con diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 2.3).

2.3.1.3. Diámetro de tallo

El mayor diámetro de tallo correspondió al tratamiento con 400 mg Ca (9.30 mm), sólo se encontró diferencia estadística significativa con el tratamiento con 25 mg de Ca (4.94 mm) (Cuadro 2.3). Concentraciones de 120, 200, 280, 360 y

440 mg.L⁻¹ de Ca aplicadas durante el ciclo de producción no afectaron el diámetro de tallo de plantas ornamentales de sombra (Romero *et al.*, 2007).

Las plantas necesitan una cantidad importante de Ca para un crecimiento adecuado, al respecto, Urrestarazu (2004) menciona que el Ca está implicado en la expansión y división celular, también juega un papel en el proceso mitótico. El Ca juega un papel muy importante en el mantenimiento de la integridad de la membrana celular. (Fageria *et al.*, 1997).

2.3.1.4. Volumen radical

La aplicación de Ca no tuvo efectos en el volumen radical, al no encontrar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Cuadro 2.3).

2.3.1.5. Número de botones

No se encontró ningún efecto del Ca en el número de botones por planta; sin embargo, se observó una tendencia a aumentar la cantidad de botones en aquellos tratamientos de 100 a 300 mg de Ca (Cuadro 2.3). El número de flores abiertas y botones cerrados en plantas ornamentales de sombra no fueron afectados al final del ciclo del cultivo y al final de período de poscosecha por la aplicación de dosis altas (hasta 440 mg.L⁻¹) de Ca aplicadas durante el ciclo de producción (Romero *et al.*, 2007).

Cuadro 2.3. Valores promedio de variables vegetativas en plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de Ca)	AF (cm ²)	DT (mm)	VR (mm ³)	NB (piezas)
Testigo	676.80 ab ^z	5.87 ab	12.70 a	6.44 a
12.5	824.80 ab	7.30 a	15.30 a	6.50 a
25	555.80 b	4.94 b	9.30 a	7.67 a
50	1112.80 a	6.20 ab	13.80 a	5.75 a
100	718.50 ab	6.48 ab	16.10 a	8.78 a
150	998.00 ab	6.77 ab	11.40 a	9.00 a
200	680.90 ab	5.63 ab	12.20 a	9.63 a
250	665.70 b	6.03 ab	9.70 a	8.13 a
300	725.80 ab	5.73 ab	9.30 a	10.80 a
400	639.20 b	9.30 a	9.40 a	8.50 a
CV	20.28	19.11	42.92	46.84
DMS	445.61	1.92	7.43	7.25

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). AF: área foliar. DT: diámetro de tallo. VR: volumen radical. NB: número de botones florales. DF: diámetro de flor; CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

2.3.1.6. Vida poscosecha

La mayor vida poscosecha se encontró con el tratamiento con 12.5 mg de Ca (23 días), con diferencia estadística significativa con respecto al testigo de 9.7 días (Figura 2.1). Es importante mencionar que los tratamientos con 25 y 50 mg de Ca fueron atacados por un patógeno y murieron antes de que las flores se desarrollaran completamente; los síntomas mostrados indican un posible ataque del hongo *Pythium* sp. El crecimiento de la raíz es severamente restringido en plantas deficientes de Ca, las raíces se vuelven propensas a las infecciones por bacterias y hongos (Fageria, 2009).

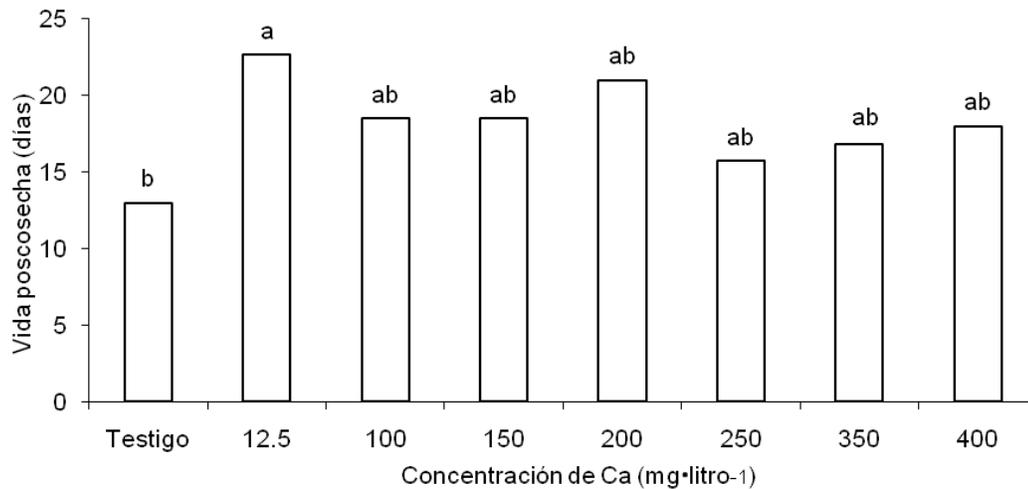


Figura 2.1. Vida poscosecha promedio en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.

2.3.2. Materia seca

Los tratamientos con 100 y 150 mg de Ca registraron la mayor acumulación de materia seca total (9.4 y 9.1 g, respectivamente), con tendencia a disminuir en los tratamientos con menor y mayor cantidad de Ca, con excepción del tratamiento con 400 mg de Ca que obtuvo un valor similar (8.83 g) a los tratamientos con mayor acumulación de materia seca. El tratamiento con mayor acumulación de materia seca en raíz fue con 12.5 mg de Ca (1.27 g), mientras que el mayor contenido de materia seca proveniente de las flores se encontró con el tratamiento con 100 mg de Ca (1.16 g). Los tratamientos con 100, 150 y 400 mg de Ca obtuvieron la mayor materia seca en hojas y tallo. Para todos los tratamientos, el mayor contenido de materia seca se encontró en el tallo y en las hojas (Figura 2.2).

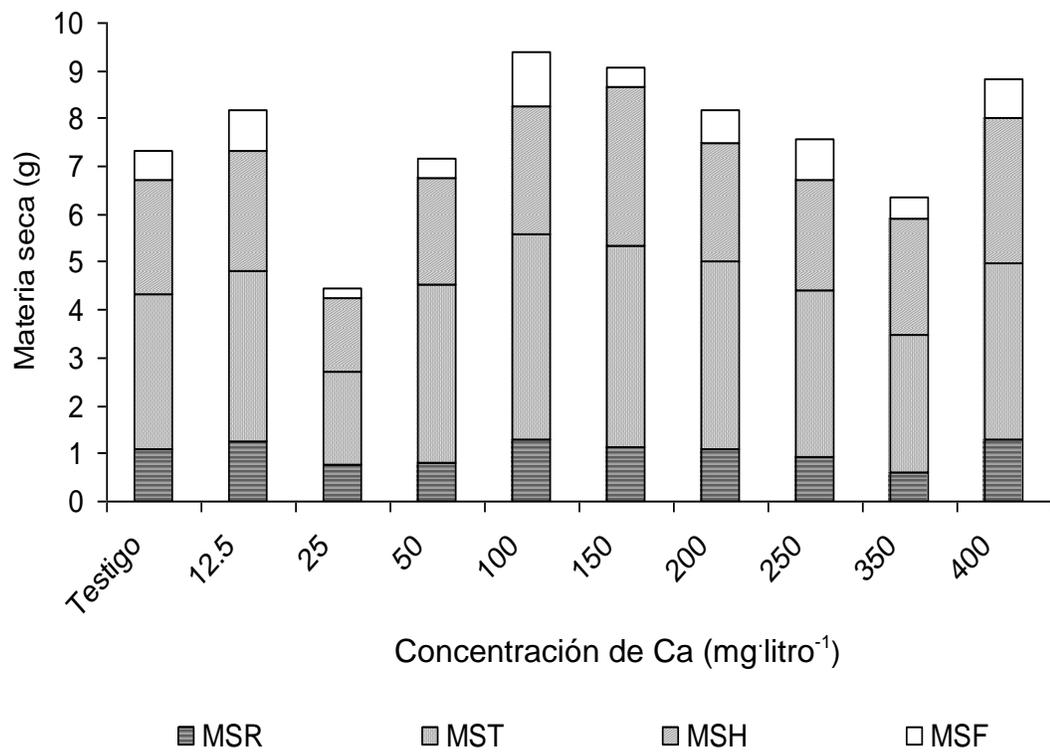


Figura 2.2. Distribución de materia seca en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes niveles de Ca en solución nutritiva. MSR: materia seca de raíz, MST: materia seca de tallo, MSH: materia seca de hojas, MSF: materia seca de flor.

2.3.3. Contenido de macronutrientes por órgano en plantas de lisianthus

2.3.3.1. Contenido de macronutrientes en raíz

El aumento en el contenido de Ca en las plantas de lisianthus incrementó la absorción en raíz de los macronutrientes objeto de estudio, con excepción del Mg que mostró comportamiento opuesto. El mayor contenido de N, P, K y Ca se obtuvo en el tratamiento con 400 mg de Ca, con una tendencia al aumento de estos macronutrientes al incrementarse la dosis de Ca. El mayor contenido de Mg se registró en el tratamiento con 100 mg de Ca, el cual disminuyó gradualmente conforme aumentó el contenido de Ca (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Contenido promedio de macronutrientes en raíz en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Ca)	N (mg·planta ⁻¹)	P (mg·planta ⁻¹)	K (mg·planta ⁻¹)	Ca (mg·planta ⁻¹)	Mg (mg·planta ⁻¹)
Testigo	17.19 ab ^z	2.84 c	17.16 ab	1.64 d	2.21 ab
12.5	15.92 abc	3.76 bc	23.22 a	1.88 d	2.17 ab
25	6.93 c	2.24 c	11.07 ab	1.26 d	1.42 b
50	12.85 bc	2.96 c	5.12 b	2.81 d	1.24 b
100	20.56 ab	5.31 abc	15.64 ab	5.87 c	3.26 a
150	21.87 ab	4.52 abc	16.13 ab	6.69 bc	2.65 ab
200	19.72 ab	5.16 abc	17.85 ab	7.04 bc	2.43 ab
250	19.30 ab	6.69 ab	22.78 a	7.46 bc	1.99 ab
350	15.78 abc	4.55 abc	18.16 ab	8.85 b	1.25 b
400	24.31 a	6.97 a	25.90 a	16.25 a	1.75 ab
CV	18.78	24.55	32.26	15.20	28.05
DMS	9.47	3.19	16.14	2.63	1.65

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

2.3.3.2. Contenido de macronutrientes en tallo

El tallo mostró un comportamiento semejante al de la raíz en cuanto a la respuesta a la aplicación de Ca, es decir, la mayor acumulación de N, P, K y Ca se registró en el tratamiento con 400 mg de Ca; mientras que la mayor cantidad de Mg se encontró en el tratamiento con 100 mg de Ca. Sólo el Ca mostró un aumento al incrementarse la dosis de Ca, comportamiento totalmente esperado para esta solución nutritiva (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5. Contenido promedio de macronutrientes en tallo en plantas de *lisanthus* tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Ca)	N (mg·planta ⁻¹)	P (mg·planta ⁻¹)	K (mg·planta ⁻¹)	Ca (mg·planta ⁻¹)	Mg (mg·planta ⁻¹)
Testigo	13.78 ab ²	1.81 a	13.97 bc	0.97 ef	2.02 bc
12.5	14.17 ab	1.78 a	15.60 abc	1.23 def	2.39 abc
25	8.05 b	1.61 a	12.39 c	0.69 f	1.53 c
50	14.89 ab	2.13 a	17.66 abc	1.01 def	2.58 ab
100	17.84 a	2.09 a	18.57 abc	1.69 cde	3.15 a
150	12.39 ab	2.00 a	18.65 abc	1.84 cde	3.02 ab
200	13.03 ab	1.56 a	17.46 abc	1.93 cd	2.38 abc
250	12.44 ab	1.96 a	19.71 ab	2.37 bc	2.47 abc
350	14.95 ab	1.86 a	14.06 bc	2.96 b	1.89 c
400	21.21 a	2.66 a	22.48 a	4.57 a	2.40 abc
CV	22.73	21.73	14.79	16.80	16.22
DMS	9.38	1.22	7.30	0.93	1.12

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

2.3.3.3. Contenido de macronutrientes en hoja

El mayor contenido foliar de N se registró en los tratamientos con 150, 250 y 400 mg de Ca; mientras que para P, el tratamiento con 350 mg de Ca fue el que alcanzó el mayor contenido. El contenido foliar de K no fue influenciado por las concentraciones de Ca en la solución nutritiva; con el tratamiento con 100 mg de Ca se obtuvo el más alto contenido de Mg; el N, P, K y Mg no mostraron una tendencia clara en la acumulación foliar. Existe una tendencia clara de aumento foliar de Ca al aumentar en la dosis nutritiva la cantidad de Ca; así, el mayor contenido de este nutriente se obtuvo en el tratamiento con 400 mg de Ca (Cuadro 2.6).

Cuadro 2.6. Contenido promedio de macronutrientes en hojas de plantas de *lisianthus* tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Ca)	N (mg·planta ⁻¹)	P (mg·planta ⁻¹)	K (mg·planta ⁻¹)	Ca (mg·planta ⁻¹)	Mg (mg·planta ⁻¹)
Testigo	17.74 ab ^z	2.90 bc	18.06 a	1.64 d	6.01 b
12.5	21.68 ab	3.49 abc	18.86 a	1.88 d	6.65 b
25	14.22 b	2.18 c	11.30 a	1.25 d	3.92 c
50	24.66 ab	3.59 abc	16.16 a	2.81 d	7.12 b
100	24.47 ab	3.82 abc	14.67 a	5.87 c	9.46 a
150	28.84 a	3.61 abc	23.29 a	6.70 bc	6.95 b
200	22.09 ab	3.46 abc	16.94 a	7.03 bc	5.74 cb
250	26.78 a	3.51 abc	10.61 a	7.46 bc	5.18 cb
350	20.36 ab	5.71 a	15.52 a	8.85 b	3.90 c
400	28.66 a	5.20 ab	20.93 a	16.25 a	5.25 cb
CV	18.10	25.88	33.44	15.20	11.69
DMS	12.01	2.80	16.04	2.63	5.01

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

2.3.3.4. Contenido de macronutrientes en flor

Las flores acumularon mayor contenido de N y P con el tratamiento con 400 mg de Ca, la acumulación de K fue similar en todos los tratamientos, la mayor cantidad de Ca se registró en los tratamientos con 100 y 200 mg de Ca y para Mg en el tratamiento con 100 mg de Ca. Las dosis bajas de Ca (0 y 12.5 mg) disminuyeron la absorción de N, P y Ca, sin mostrar tendencia definida en ninguno de los casos (Cuadro 2.7).

Cuadro 2.7. Contenido promedio de macronutrientes en flores en plantas de *lisianthus* tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Ca)	N (mg·planta ⁻¹)	P (mg·planta ⁻¹)	K (mg·planta ⁻¹)	Ca (mg·planta ⁻¹)	Mg (mg·planta ⁻¹)
Testigo	16.08 b ²	1.64 b	14.34 a	0.48 c	2.75 ab
12.5	11.80 b	1.43 b	9.61 a	0.49 c	2.36 abc
50	16.60 ab	2.05 ab	4.68 a	0.52 c	1.54 cd
100	16.53 ab	2.20 ab	13.33 a	1.84 a	2.92 a
150	16.55 ab	1.82 b	8.04 a	0.92 bc	1.10 d
200	13.81 b	1.43 b	12.46 a	2.38 a	1.81 bcd
250	20.79 ab	1.77 b	7.29 a	1.77 ab	1.57 cd
350	15.61 b	1.75 b	5.76 a	1.61 ab	1.12 d
400	25.83 a	2.81 a	5.63 a	1.57 ab	1.11 d
CV	19.20	16.28	37.61	24.94	19.83
DMS	9.38	0.87	9.70	0.92	1.03

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

2.3.4. Concentración nutrimental en hojas

La mayor concentración foliar de N, P y Ca se registró en el tratamiento con 400 mg de Ca. Los tratamientos con 12.5, 250 y 400 mg de Ca acumularon la mayor cantidad de K. La concentración de P (con diferencia estadística con relación al testigo) y Ca tendió a aumentar con las soluciones nutritivas que en su composición contenían mayor cantidad de Ca. Las soluciones conteniendo entre 100 y 200 mg de Ca produjeron plantas con la mayor concentración de Mg, con tendencia a disminuir en las soluciones nutritivas con mayor y menor concentración de Ca (Cuadro 2.8).

Cuadro 2.8. Concentración en porcentaje (%) de macronutrientes en hojas de plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Ca)	N	P	K	Ca	Mg
Testigo	1.72 ab ^z	0.28 c	1.72 ab	0.16 d	0.22 ab
12.5	1.59 abc	0.38 c	2.32 a	0.19 d	0.22 ab
25	0.69 c	0.22 c	1.11 ab	0.13 d	0.14 b
50	1.29 c	0.30 c	0.51 b	0.28 d	0.12 b
100	2.06 ab	0.53 abc	1.56 ab	0.59 c	0.33 a
150	2.19 a	0.45 abc	1.61 ab	0.67 bc	0.27 ab
200	1.97 ab	0.52 abc	1.78 ab	0.70 bc	0.24 ab
250	1.93 ab	0.67 ab	2.28 a	0.75 bc	0.20 ab
350	1.58 abc	0.46 abc	1.82 ab	0.89 b	0.13 b
400	2.43 a	0.70 a	2.59 a	1.63 a	0.18 ab
CV	18.10	25.88	33.44	15.20	16.22
DMS	9.47	0.32	1.61	0.26	0.17

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

2.3.5. Contenido total de macronutrientos

Las altas concentraciones de Ca favorecieron la absorción de N, P, K y Ca y disminuyeron la absorción de Mg, las plantas tratadas con soluciones nutritivas con bajas cantidades de Ca, también registraron disminución en el contenido de Mg. En general, las soluciones nutritivas con dosis elevadas (400 mg de Ca) mejoraron el contenido nutrimental en las plantas de *lisianthus* (Cuadro 2.9).

Cuadro 2.9. Contenido total de macronutrientos en plantas de *lisianthus* tratadas con diferentes niveles de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Ca)	N (mg·planta ⁻¹)	P (mg·planta ⁻¹)	K (mg·planta ⁻¹)	Ca (mg·planta ⁻¹)	Mg (mg·planta ⁻¹)
Testigo	64.79 b ^z	9.20 bc	63.53 abc	4.74 d	9.00 b
12.5	63.56 b	10.47 bc	67.30 ab	5.47 d	9.31 b
25	38.93 c	8.04 c	43.61 c	3.27 d	5.96 d
50	69.00 b	10.72 bc	46.35 bc	7.15 d	7.95 bcd
100	79.40 b	13.42 ab	62.22 abc	15.27 c	12.48 a
150	79.66 b	11.96 bc	61.62 abc	16.14 c	9.79 b
200	68.65 b	11.63 bc	68.76 ab	18.38 bc	9.00 b
250	79.30 b	13.92 ab	60.40 abc	19.06 bc	8.50 bc
350	66.70 b	13.88 ab	53.50 abc	22.26 b	6.15 cd
400	100.00 a	17.62 a	74.93 a	38.64 a	7.66 bcd
CV	8.63	14.80	14.33	12.83	9.48
DMS	17.7	5.17	24.96	5.62	2.35

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

2.3.6. Distribución promedio de materia seca y nutrimentos

Los órganos que acumularon mayor cantidad de materia seca fueron el tallo y las hojas. La mayor cantidad de N se acumuló en las hojas, los órganos que acumularon mayor cantidad de P fueron la raíz y la hoja, el K registró cantidades similares en la raíz, el tallo y las hojas; la raíz y las hojas acumularon la mayor cantidad de Ca, el Mg se distribuyó en cantidades similares en toda la planta (Figura 2.3).

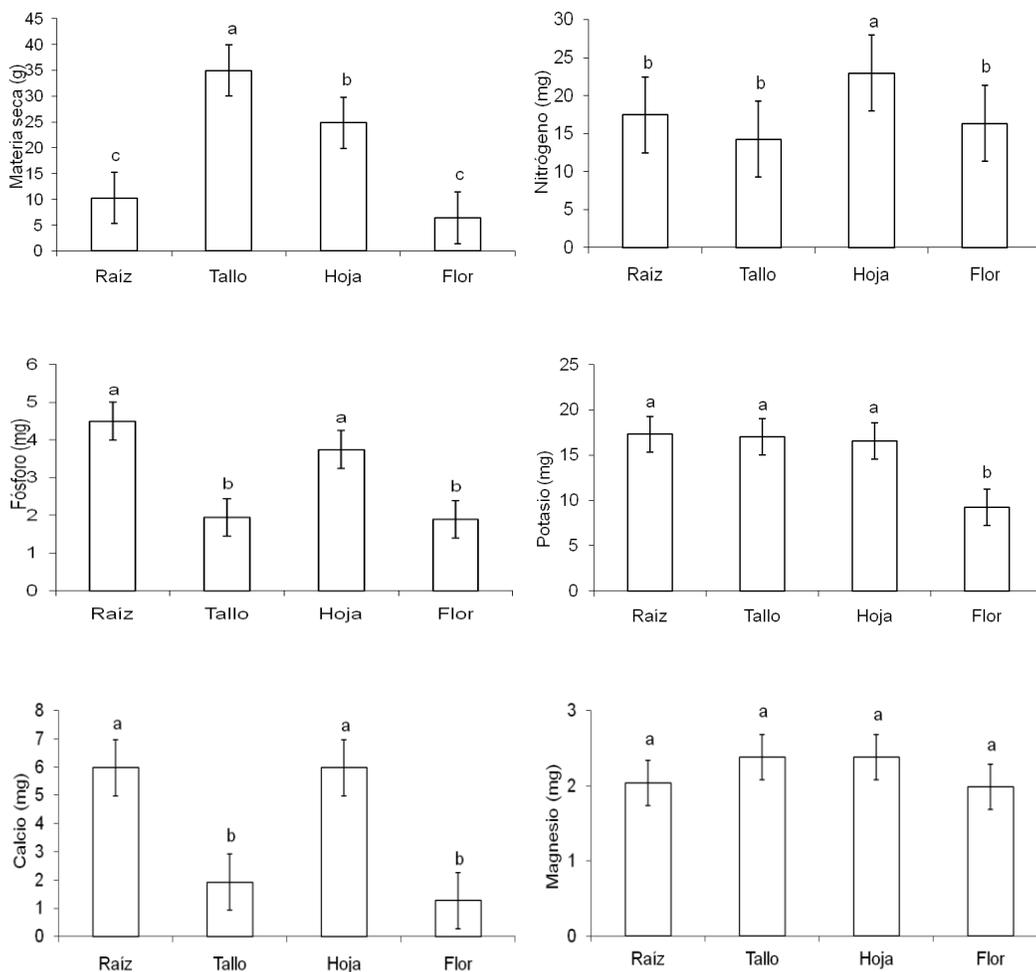


Figura 2.3. Distribución de materia seca y de elementos por órgano en plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva. Promedio de tres repeticiones \pm error estándar.

2.3.7. Relaciones nutrimentales

La relación K:Ca y N:Ca disminuyó conforme se aumentó la dosis de Ca en las soluciones nutritivas, las dosis bajas y altas de Ca aumentaron la relación K:Mg, obteniendo las más bajas en los tratamientos con 50 y 100 mg de Ca, la

relación Ca:Mg aumentó conforme se aumentó la dosis de Ca, las soluciones nutritivas con dosis altas de Ca tendieron a aumentar la proporción N:Mg (Cuadro 2.10).

Cuadro 2.10. Relaciones nutrimentales en plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de calcio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg.litro ⁻¹ de Ca)	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg	N:Ca	N:Mg
Testigo	13.5 a ²	7.1 abc	0.5 e	13.7 a	7.3 bc
12.5	12.3 ab	7.2 abc	0.6 e	11.6 ab	6.9 c
25	10.9 b	7.8 abc	0.7 e	9.1 c	6.5 c
50	6.1 c	5.5 c	0.9 de	9.7 bc	8.8 bc
100	4.1 dc	5.0 c	1.2 cde	5.2 d	6.4 c
150	3.9 de	6.4 bc	1.7 cde	5.1 de	8.3 bc
200	3.7 de	7.7 abc	2.1 cd	3.8 def	7.7 bc
250	3.2 de	7.1 abc	2.3 c	4.2 def	9.3 bc
300	2.4 de	8.7 ab	3.6 b	3.0 ef	10.9 ab
400	2.0 e	9.8 a	5.1 a	2.6 f	13.3 a
CV	11.7	14.4	22.3	10.9	15.8
DMS	2.1	3.0	1.2	2.1	3.9

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). DMS: diferencia mínima significativa. CV: coeficiente de variación.

Las dosis altas de Ca inhibieron la absorción del K y N, es decir, existe un antagonismo entre el K-Ca y entre el N-Ca, al obtener mayor cantidad de estos nutrimentos en los tratamientos con soluciones nutritivas con dosis bajas de Ca. García-Hernández *et al.*, (2007) también identificaron un antagonismo entre N-Ca en *Capsicum frutescens* cv. Chiltepín. La interacción negativa N-Ca ha sido ya reportada para los cultivos de nopal (*Opuntia ficusindica*) en el estado de Zacatecas (Magallanes-Quintanar *et al.*, 2005) y frijol yorimón (*Vigna unguiculata*) cultivado en zonas áridas (García-Hernández *et al.*, 2005). Dicha

interacción puede ser consecuencia de una correlación negativa entre los iones NH_4^+ y Ca^{2+} (Marschner, 1986; 1995).

2.4. CONCLUSIONES

Las plantas de lisianthus mostraron la mejor respuesta en crecimiento y acumulación de biomasa entre las dosis de 50 a 150 mg de Ca; por el contrario, fue en la solución nutritiva conteniendo 12.5 mg de Ca donde se obtuvo la mayor vida poscosecha. Con 50, 100 y 150 mg, las concentraciones foliares de Ca fueron de 0.28, 0.59 y 0.67%, respectivamente; al parecer dosis de suficiencia para el cultivo de lisianthus. La concentración foliar de N, P, K y Ca aumentaron con concentraciones mayores de Ca, mientras que la de Mg disminuyó. Las soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de Ca influyeron en la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta. El mayor contenido de materia seca se acumuló en el tallo y en las hojas; las hojas acumularon mayor cantidad de N, el P en raíz y hoja, las raíz, tallo y hojas acumularon cantidades similares de K, el Ca se concentró en su mayoría en la raíz y en las hojas y el Mg se distribuyó uniformemente en toda la planta.

2.5. LITERATURA CITADA

ALCÁNTAR, G. G., M. SANDOVAL V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.

FAGERIA, N. K. 2009. The use of nutrients in crops plants. CRC Press Taylor & Francis Group. New York. 430 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. 1997. Growth and mineral nutrition of field crops. 2nd edition. New York: Marcel Dekker. pp.441-490

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. 1999. Efficient crop production. Campina Grande, Brazil: Federal University of Paraiba. 547 p.

GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; ÁVILA-SERRANO, N. Y.; MURILLO-AMADOR, B.; NIETO-GARIBAY, A.; MAGALLANES-QUINTANAR, R.; LARRINAGA, J.; TROYODIÉGUEZ, E. 2005. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms for cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) grown on desert calcareous soil. Plant and Soil 217(1-2):297-307.

GARCÍA-HERNÁNDEZ, J.L.; VALDEZ-CEPEDA, L.D.; SERVÍN-VILLEGAS R.; TROYA-DIEGUÉZ, E.; MURILLO-AMADOR, B.; RUEDA-PUENTE, E.O.; RODRÍGUEZ-ORTÍZ, J.C.; MAGALLANES-QUINTANAR, R. 2007. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en un cultivar semidomesticado de *Capsicum frutescens*. Revista Chapingo. Serie Horticultura 13(2):133-140.

GILL S. A.; BLESSINGTON, T.; DUTKY, E. M.; BALGE, R.; ROSS, D. S.; ROSENKRANZ, G.; BUTLER, B.; KLICK, S.; RESEER, R. 2000. Production of lisianthus as a cut flowers. University of Maryland Cooperative Extension. Fact sheet 770. pp.1-12.

ISHIZUKA, Y. 1978. Nutrient deficiencies of crops. Taipei, Taiwan: Asia and Pacific (ASPAC), Food and Fertilizer Technology Center. p 100.

MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; BLANCOMACÍAS, F.; MÁRQUEZ-MADRID, M.; RUIZ-GARDUÑO, R. R.; PÉREZ-VEYNA, O.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; MURILLO-AMADOR, B.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. D.; MARTÍNEZ-RUBÍN DE CELIS, E. 2005. Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). Journal of the Professional Association for Cactus Development 6:78-89.

MARSCHNER, H. 1986. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, Orlando, San Diego. 673 p.

MARSCHNER, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press Inc., New York, 887 p.

MELGARES-AGUILAR, C. J. 1996. El cultivo de lisianthus (I parte). Horticultura. Nº 113: 13-16.

RODRÍGUEZ, S. A. 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F. 157 p.

ROMERO F.R.; GLANDON, J.; TABER, H.G. 2007. Effect of Excessive Calcium Applications on Growth and Postharvest Performance of Bedding-plant Impatiens. Journal of Plant Nutrition 30(10-12):1639-1649.

SAS INSTITUTE INC., CARY, NC. 2002. Statistical Analysis System. For Windows 9.0. USA.

STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15:134-154.

URRESTARAZU, G. M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3^a Edición.
Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México. 913 p.

CAPÍTULO III. RESPUESTA DE LISIANTHUS (*Eustoma grandiflorum* Raf.)

CV. ECHO BLUE A DIFERENTES DOSIS DE MAGNESIO

RESUMEN

Las plantas deficientes en magnesio son menos vigorosas, frecuentemente se atrofian y suelen tener un retraso en su etapa reproductiva. El presente estudio tuvo como objetivos determinar la respuesta de lisianthus a diferentes dosis de magnesio, establecer las concentraciones que se relacionen con la mayor calidad del cultivo y conocer la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta. Para ello, se evaluó el efecto de 10 dosis de Mg (0, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 mg·litro⁻¹) en la solución nutritiva, sobre el crecimiento, estado nutrimental de la planta, distribución de materia seca y de nutrimentos y vida en florero. Las soluciones nutritivas modificaron poco la respuesta en crecimiento y en acumulación de biomasa en las plantas de lisianthus, por lo que no se puede establecer una dosis de suficiencia. La concentración foliar de N, K y Mg no se modificaron con la aplicación de Mg, el P disminuyó su concentración foliar con concentraciones mayores de Mg y el Ca alcanzó sus mayores concentraciones en los tratamientos con 0 a 60 mg de Mg. Las hojas acumularon la mayor cantidad de N y Mg y el P, K y Ca en la raíz. El orden de acumulación de materia seca fue: tallo>hoja>raíz=flor.

Palabras clave: distribución nutrimental, materia seca, concentración y contenido nutrimental, vida en florero.

SUMMARY

Deficient plants in magnesium are less vigorous, often are stunted and usually have a delay in their reproductive years. The objectives of the present study were to determine the response of lisianthus to varying concentrations of magnesium (Mg) in the nutrient solution, to establish the Mg concentration associated with higher quality of cut flowers, and to define the distribution of dry mass and nutrients in plant organs. The effects of Mg concentration in the nutrient solution (0, 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 mg·L⁻¹) on growth, nutrimental status, dry mass and mineral nutrient distribution, and vase life were studied. Foliar concentration of N, K and Mg did not change with the application of Mg, the foliar P concentration decreased with higher concentrations of Mg and Ca was the greatest concentrations with 0 to 60 mg of Mg. The leaves accumulated N and Mg. P, K and Ca were accumulated in the roots. Dry mass distribution exhibited the following ranking: stems>leaves>roots=flowers.

Keywords: dry mass distribution, nutrient content and concentration, nutrient distribution, vase life.

3.1. INTRODUCCIÓN

La concentración de un elemento esencial en el tejido de la planta es un criterio importante para el diagnóstico de deficiencia o suficiencia. El magnesio (Mg^{2+}) es un macronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de todas las plantas. La disponibilidad y el comportamiento en la nutrición de la planta del Mg^{2+} son similares a los del calcio; sin embargo, los requerimientos para el crecimiento de las plantas son menores que las de calcio. La disponibilidad del Mg^{2+} en las plantas está influenciada por muchos factores, como la concentración del Mg^{2+} en la solución del suelo, el grado de saturación del Mg^{2+} , la presencia de otros cationes como K^+ y Ca^{2+} , el pH del suelo, el tipo de arcilla y la especie de planta o el genotipo dentro de cada especie (Fageria, 2009).

Las funciones del Mg^{2+} en las plantas son muchas, las más importantes son su papel como activador enzimático y como componente de la molécula de clorofila (Fageria y Gheyi, 1999). El magnesio es un elemento móvil en la planta y los síntomas de deficiencia aparecen primero en las hojas y tejidos más viejos. Los síntomas de deficiencia se caracterizan por una coloración clara entre las venas o clorosis intervenal. Las hojas se vuelven quebradizas y los márgenes rizados. Aparecen manchas oscuras necróticas, las hojas con una severa deficiencia se tornan moradas rojizas y los bordes y las puntas de las

hojas pueden morir cuando el Mg^{2+} es traslocado de un tejido viejo a un tejido nuevo (Clark, 1984).

Las plantas deficientes en magnesio son menos vigorosas, frecuentemente se atrofian y suelen tener un retraso en su etapa reproductiva (Clark, 1993). Pocas veces el exceso de magnesio perjudica directamente a la planta, pero suprime la absorción de Ca, K y Mn y reduce el crecimiento de la planta (Jones y Huber, 2007). Por lo que el presente estudio tuvo como objetivos determinar la respuesta de *lisianthus* a diferentes dosis de magnesio, establecer las concentraciones que se relacionen con la mayor calidad del cultivo y conocer la distribución de materia seca y nutrimentos en la planta.

3.2. MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1. Localización

El experimento se estableció en un invernadero de cristal en Chapingo, Estado de México; localizado en las coordenadas geográficas 19° 29' de latitud norte y 98° 53' longitud oeste, con una altitud de 2 250 m.

3.2.2. Material vegetal utilizado

Las plantas de *lisianthus* utilizadas fueron del cultivar Echo Blue, obtenidas a partir de semilla; a los 100 días después de la siembra las plantas se colocaron en contenedores negros de 1 litro de capacidad con solución nutritiva preparada con base en la solución de Steiner (1961).

3.2.3. Diseño experimental, tratamientos y condiciones ambientales

El experimento se condujo bajo condiciones de temperaturas máximas y mínimas promedio de 32.5 y 12.3 °C, respectivamente; y humedad relativa máxima de 98.4 % y mínima de 36.0 %. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con 10 tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento,

los cuales consistieron en diferentes dosis de Mg: Testigo (0), 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 y 240 mg de Mg·litro⁻¹. La unidad experimental consistió en una planta. Se colocaron seis líneas con 50 unidades experimentales cada una, conformadas con las unidades de todos los tratamientos ubicadas al azar, con una separación de 50 cm entre líneas y 10 cm entre plantas. La oxigenación del sistema se llevó a cabo mediante bombas para pecera de la marca Élite 801 con capacidad de 15 galones, se colocaron dos bombas por línea para asegurar una oxigenación suficiente y uniforme. El oxígeno se midió con un medidor de oxígeno en solución (oxímetro) marca HANNA HI9142. La cantidad de oxígeno promedio entrante al sistema fue de 5.9 ppm. Las soluciones nutritivas se cambiaron cada ocho días durante el primer mes y posteriormente cada quince días. El pH de la solución se ajustó a 5.5 con ácido fosfórico o hidróxido de sodio. La conductividad eléctrica (CE) y las concentraciones de cada ión para cada solución nutritiva se muestran en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Composición y conductividad eléctrica de las soluciones nutritivas.

TRA (mg·litro ⁻¹ de Mg)	KNO ₃ (g·litro)	Ca (NO ₃) ₂ (g·litro)	Mg(N O ₃) ₂ (g·litro)	Mg(NO ₃) ₂ *6 H ₂ O (g·litro)	KH ₂ PO ₄ (g·litro)	CaSO ₄ *H ₂ O (g·litro)	MgSO ₄ *7H ₂ O (g·litro)	CE (ds·m ⁻¹)
Testigo	0.32	0.98	0.00	0.06	0.31	0.00	0.00	1.96
15	0.32	1.01	0.00	0.06	0.33	0.00	0.00	2.28
30	0.37	1.01	0.00	0.07	0.28	0.00	0.10	2.26
60	0.51	0.91	0.00	0.07	0.10	0.00	0.40	2.12
90	0.45	0.82	0.26	0.08	0.09	0.00	0.45	2.28
120	0.35	0.72	0.56	0.09	0.12	0.00	0.46	2.48
150	0.25	0.69	0.88	0.10	0.18	0.00	0.46	2.77
180	0.43	0.66	0.84	0.11	0.00	0.00	0.80	2.86
210	0.40	0.63	1.06	0.13	0.00	0.00	0.89	3.04
240	0.38	0.59	1.29	0.14	0.00	0.00	0.97	3.23

3.2.4. Variables evaluadas

3.2.4.1. Altura de la planta y número de hojas

Estas dos variables se evaluaron semanalmente por tratamiento.

Al final del experimento (121 días después del trasplante) se evaluaron:

3.2.4.2. Área foliar

Se tomó una muestra de tres plantas de cada tratamiento y se evaluó el área foliar total con un integrador de área foliar LI-COR 3100.

3.2.4.3. Volumen radical

Por medio del método de desplazamiento de agua se evaluó el volumen radical en todas las repeticiones de cada tratamiento.

3.2.4.4. Número de botones

Se contó el número de botones florales de todas las repeticiones.

3.2.4.5. Diámetro de tallo

Con la ayuda de un vernier digital se midió el diámetro basal del tallo de todas las repeticiones.

3.2.4.6. Diámetro de flor

Esta variable se midió con un vernier digital en una muestra de tres plantas (repeticiones) por tratamiento (flores totalmente abiertas).

3.2.4.7. Vida poscosecha

La evaluación de esta variable se hizo en laboratorio, con temperaturas máxima y mínima promedio de 17.7 y 15.5 °C, respectivamente; humedades relativas máxima y mínima promedio de 62.2 y 47.0 %, respectivamente. Se utilizaron tres repeticiones de cada tratamiento, las flores se colocaron en probetas de 100 ml con agua de la llave, se repuso diariamente el agua consumida y se registraron los días hasta la marchitez de la última flor y del tallo.

3.2.4.8. Materia seca

Para esta variable se utilizó la muestra con la cual se obtuvo el área foliar (tres plantas), la planta se separó por órganos (raíz, tallo, hojas y flores), se lavaron perfectamente con agua destilada, se colocaron en bolsas perforadas de papel estraza, se metieron en un horno con aire forzado a 75 °C por 76 horas o hasta

llegar a peso constante, se pesó cada órgano en una balanza granataria marca Sartorius de 500 g.

3.2.4.9. Contenido de macronutrientes

Se usaron tres plantas por tratamiento, se tomó una muestra de 0.1 g de materia seca de cada órgano, se realizó una digestión húmeda con una mezcla de ácido sulfúrico y ácido perclórico (relación 4:1) y peróxido de hidrógeno. La determinación del contenido de N se hizo por el método micro Kjeldahl, para la determinación de la concentración de P se siguió el método colorímetro de molibdovanadato amarillo, la absorbancia se leyó a 470 nm en un espectrofotómetro (Thermo Spectronic) y la determinación de K, Ca y Mg se realizó con un Espectrómetro de Absorción Atómica de Varian modelo SpectraAA 220; en todos los casos se utilizó la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999). Las concentraciones se calcularon con base en el peso seco.

3.2.5. Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza y la comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa Statistical Analysis System (SAS) versión 9.0 (SAS, 2002).

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Crecimiento vegetativo

3.3.1.1. Altura de la planta y número de hojas

El Mg contenido en las soluciones nutritivas no tuvo efecto en la altura y el número de hojas en las plantas de *lisianthus*; la altura osciló entre 73 y 87 cm y el número de hojas entre 50 y 55 (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2. Altura y número de hojas promedio en plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de Mg)	ALTURA DE PLANTA (cm)	NÚMERO DE HOJAS
Testigo	82.8 a ²	55.8 a
15	78.8 a	52.8 a
30	81.6 a	54.8 a
60	73.4 a	54.8 a
90	78.1 a	54.2 a
120	81.6 a	53.2 a
150	78.2 a	50.8 a
180	83.7 a	54.8 a
210	86.9 a	54.9 a
240	85.4 a	55.6 a
CV	17.3	23.1
DMS	20.3	18.2

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

3.3.1.2. Área foliar

El comportamiento del área foliar mostró inconsistencia a la aplicación de Mg en las soluciones nutritivas, al encontrar las mayores medias en los tratamientos con 15, 90 y 240 mg de Mg, tratamientos con diferencia estadística significativa con respecto al testigo (Cuadro 3.3).

3.3.1.3. Diámetro de tallo

El diámetro de tallo no respondió a la aplicación de Mg, al no encontrar diferencias estadísticas significativas con respecto al testigo (Cuadro 3.3).

3.3.1.4. Volumen radical

De acuerdo con la comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$), las soluciones nutritivas no modificaron la respuesta en el volumen radical; sin embargo, se observó una tendencia a disminuir conforme se aumentó la dosis de Mg (Cuadro 3.3).

3.3.1.5. Número de botones

A pesar de no encontrar diferencias estadísticas en el número de botones en ninguno de los tratamientos, se observó un aumento en esta variable al aumentar la dosis de Mg en la solución nutritiva (Cuadro 3.3).

3.3.1.6. Diámetro de flor

Las dosis de Mg no modificaron el diámetro de flor en las plantas de lisianthus (Cuadro 3.3).

Cuadro 3.3. Valores promedio de variables vegetativas en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg.litro ⁻¹ de Mg)	AF (cm ²)	DT (mm)	VR (mm ³)	NB (piezas)	DF (mm)
Testigo	805.61 c ²	6.53 a	16.20 a	6.44 a	66.57 a
15	1242.09 a	6.44 a	14.60 a	6.50 a	70.75 a
30	901.87 bc	6.35 a	13.60 a	7.67 a	73.51 a
60	737.32 c	6.15 a	13.30 a	5.75 a	72.81 a
90	1154.19 a	6.57 a	12.30 a	8.78 a	77.50 a
120	1105.12 ab	6.79 a	13.20 a	9.00 a	70.23 a
150	852.76 c	6.09 a	10.90 a	9.63 a	75.76 a
180	446.51 d	6.12 a	11.80 a	8.13 a	68.99 a
210	899.07 bc	6.54 a	12.30 a	10.80 a	76.72 a
240	1145.94 a	6.70 a	12.30 a	8.50 a	70.70 a
CV	25.48	19.72	35.36	40.35	12.06
DMS	243.16	4.59	6.70	5.61	5.01

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). AF: área foliar. DT: diámetro de tallo. VR: volumen radical. NB: número de botones florales. DF: diámetro de flor; CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

Mortvedt *et al.* (1972) hacen énfasis en la compleja naturaleza de las relaciones entre crecimiento de la planta, la concentración de nutrimentos en solución y la concentración de los mismos dentro de la planta; el crecimiento depende de varios factores que interactúan entre sí, tales como: el abastecimiento de nutrimentos, el intervalo de absorción de los nutrimentos, la distribución de éstos hacia sitios funcionales y la movilidad de los mismos.

3.3.1.7. Vida poscosecha

La vida poscosecha en las plantas de *lisianthus* aumentó con la dosis de 90 mg de Mg, con una diferencia de casi 10 días entre al testigo y con el tratamiento de 90 mg de Mg; por otra parte, la vida poscosecha disminuyó con dosis bajas y altas de Mg (Figura 3.1).

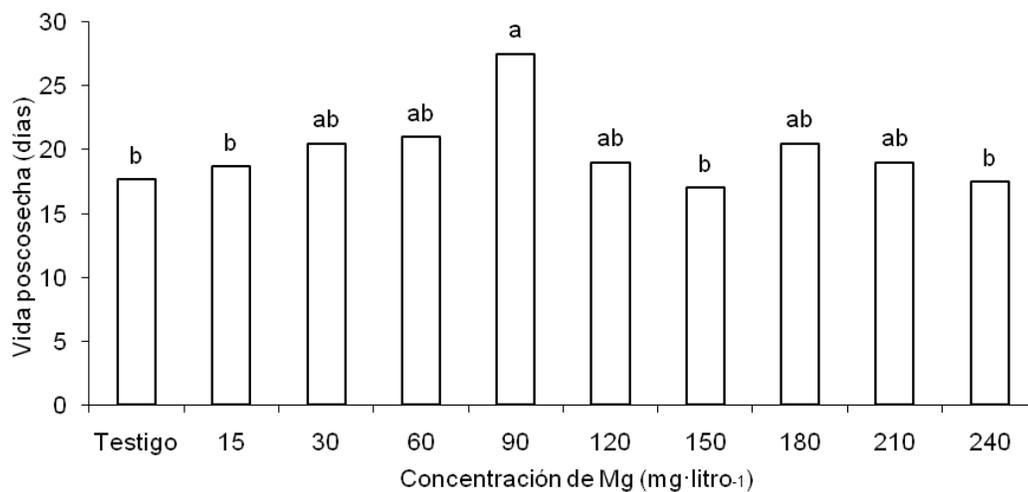


Figura 3.1. Vida poscosecha promedio en plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.

3.3.2. Materia seca

Las soluciones nutritivas no causaron efecto en el contenido de materia seca en las plantas de lisianthus; sin embargo, se observa una tendencia a aumentar el contenido de materia seca en los tratamientos con soluciones nutritivas con dosis bajas y dosis altas de Mg. El tallo y las hojas fueron los órganos que acumularon mayor contenido de materia seca (Figura 3.2).

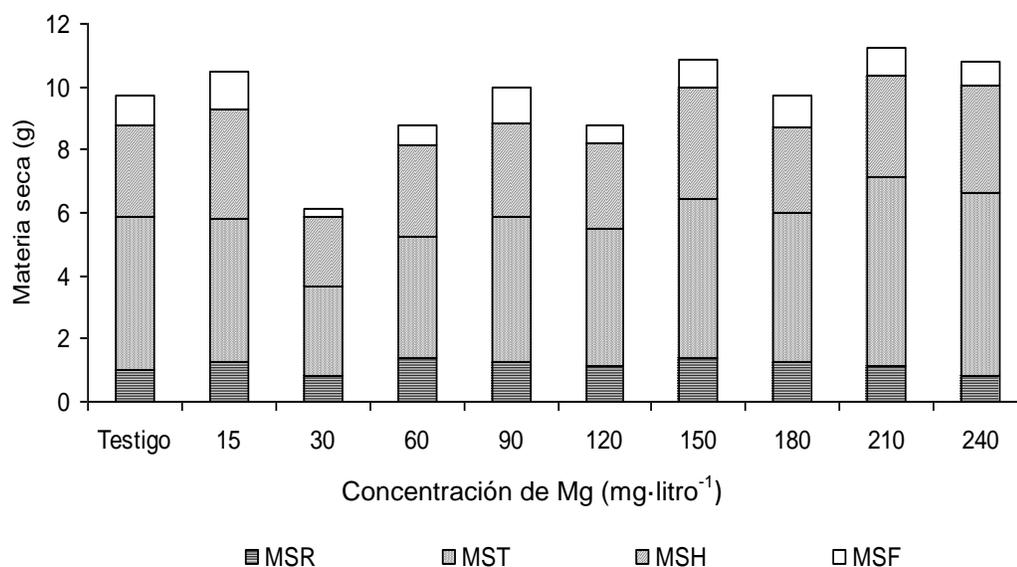


Figura 3.2. Distribución de materia seca en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva. MSR: Materia seca de raíz; MST: Materia seca de tallo, MSH: Materia seca de hojas, MSF: Materia seca de flor.

3.3.3. Contenido de macronutrientes por órgano en plantas de lisianthus

3.3.3.1. Contenido de macronutrientes en raíz

Los cambios de P y Ca en raíz de lisianthus no tuvieron cambios significativos con las soluciones nutritivas aplicadas. El mayor contenido de N se encontró en raíces de plantas tratadas con una solución nutritiva con 150 mg de Mg. Los contenidos de K y Mg disminuyeron con el tratamiento con 30 mg de Mg. La mayor cantidad de K se registró en el tratamiento con 150 mg de Mg y para Mg en la dosis con 60 mg de Mg (Cuadro 3.4).

Cuadro 3.4. Contenido promedio de macronutrientes en raíz en plantas de lisianthus tratadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de Mg)	N (mg planta ⁻¹)	P (mg planta ⁻¹)	K (mg planta ⁻¹)	Ca (mg planta ⁻¹)	Mg (mg planta ⁻¹)
Testigo	33.54 a ^z	8.96 a	37.09 bcde	15.89 a	3.88 abc
15	33.99 a	10.43 a	53.76 abc	20.24 a	4.35 abc
30	15.14 b	7.41 a	24.08 e	16.78 a	2.50 c
60	26.37 ab	7.19 a	28.40 de	18.37 a	5.29 a
90	30.91 a	7.38 a	35.99 cde	29.10 a	4.84 ab
120	23.85 ab	7.76 a	50.02 abcd	13.14 a	3.18 bc
150	38.43 a	10.38 a	63.14 a	21.69 a	4.45 ab
180	29.17 ab	8.23 a	55.99 abc	22.46 a	4.08 abc
210	31.86 a	8.58 a	57.96 abc	12.49 a	4.51 ab
240	32.19 a	10.04 a	61.19 ab	13.48 a	4.96 ab
CV	15.35	7.75	24.83	21.9	1.95
DMS	17.97	31.08	18.37	41.24	16.03

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

3.3.3.2. Contenido de macronutrientes en tallo

El mayor contenido de N en tallo se registró en el tratamiento con 150 mg de Mg con una diferencia de 13.31 mg con respecto al tratamiento con el menor contenido (30 mg de Mg). El contenido de P y Ca no se vieron afectados por ninguna de las soluciones nutritivas aplicadas. La aplicación de Mg disminuyó la absorción de K, observándose antagonismo entre estos dos iones. El potasio según Rodríguez (1992), es absorbido por la planta en su forma catiónica, K^+ . La absorción en el suelo está relacionada con la concentración de otros cationes, como es el caso de magnesio (Mg^{2+}), por problemas de competencia iónica, en la cual son absorbidos con mayor facilidad y velocidad los cationes que tienen una sola carga positiva que los que tienen mayor cantidad (Rodríguez, 1992).

Se registró el mayor contenido de Mg en el tratamiento con 60 mg de Mg, el cual tendió a disminuir con los tratamientos con menores y mayores dosis de Mg (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5. Contenido promedio de macronutrientos en tallo en plantas de *lisanthus* tratadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Mg)	N (mg·planta ⁻¹)	P (mg·planta ⁻¹)	K (mg·planta ⁻¹)	Ca (mg·planta ⁻¹)	Mg (mg·planta ⁻¹)
Testigo	27.03 ab ^z	3.36 a	41.21 a	3.46 a	4.28 abc
15	24.71 ab	3.41 a	41.77 a	3.20 a	4.80 ab
30	17.16 b	1.95 a	26.74 bc	1.97 a	2.83 c
60	25.18 ab	3.40 a	37.23 ab	2.95 a	5.10 a
90	19.62 ab	2.85 a	21.83 c	3.40 a	4.48 ab
120	23.35 ab	2.79 a	22.96 c	2.69 a	3.70 abc
150	30.47 a	3.04 a	28.88 bc	3.57 a	3.97 abc
180	22.14 ab	3.45 a	24.11 c	3.47 a	3.61 bc
210	22.73 ab	2.77 a	19.27 c	3.05 a	4.09 abc
240	24.27 ab	2.83 a	20.28 c	3.27 a	3.96 abc
CV	16.08	19.95	13.85	17.83	12.34
DMS	11.01	1.72	11.39	1.6	1.46

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

3.3.3.3. Contenido de macronutrientos en hoja

El mayor contenido foliar de N se registró en los tratamientos con 180 y 210 mg de Mg; el testigo fue el que registró mayor contenido de P, posiblemente esta respuesta se deba a un antagonismo entre el Mg y el P. Se observó un sinergismo entre el Mg y el K al obtener el menor contenido de K en el testigo y el mayor contenido en el tratamiento con 240 mg de Mg. En el tratamiento sin Mg (testigo) se obtuvo el menor contenido de Ca con diferencias significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) con los demás tratamientos, comportamiento contrario al descrito por Jones y Huber (2007), quienes mencionan que pocas veces el exceso de magnesio perjudica directamente a la planta, pero suprime la absorción de Ca, K y Mn y reduce el crecimiento de la planta. El contenido foliar de Mg fue mayor en los tratamientos con las dosis más altas de Mg (210 y 240

mg de Mg), comportamiento normal si consideramos que entre más Mg tenga la solución nutritiva, mayor absorción del nutrimento (Cuadro 3.6).

Cuadro 3.6. Contenido promedio de macronutrientes en hojas en plantas de *lisianthus* tratadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Mg)	N (mg·planta ⁻¹)	P (mg·planta ⁻¹)	K (mg·planta ⁻¹)	Ca (mg·planta ⁻¹)	Mg (mg·planta ⁻¹)
Testigo	41.31 ab ^z	8.18 a	21.62 c	12.69 a	9.83 abc
15	35.81 ab	5.90 ab	32.45 bc	12.05 ab	10.20 abc
30	23.75 b	4.11 b	36.13 abc	7.78 bc	6.38 c
60	33.54 ab	5.77 ab	36.70 abc	12.08 ab	11.51 ab
90	41.05 ab	5.70 ab	37.81 abc	11.19 abc	10.13 abc
120	31.98 ab	4.27 b	39.62 abc	7.34 c	8.19 bc
150	39.89 ab	5.82 ab	43.84 ab	9.93 abc	10.20 abc
180	44.35 a	5.28 ab	46.01 ab	9.46 abc	11.92 ab
210	42.64 a	5.44 ab	46.06 ab	8.13 bc	13.13 a
240	32.19 ab	5.51 ab	52.45 a	8.00 bc	13.61 a
CV	17.00	20.47	17.03	15.29	15.11
DMS	18.01	3.31	19.34	4.36	4.59

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

3.3.3.4. Contenido de macronutrientes en flor

El contenido de N en flores de *lisianthus* no mostró cambios en respuesta a la aplicación de diferentes dosis de Mg. El efecto del Mg en la absorción de P fue variable al obtener los mayores contenidos de este elemento en los tratamientos con 0, 15, 150 y 240 mg de Ca; es decir, se obtuvo la mayor absorción del nutrimento tanto en dosis bajas, como altas e intermedias de Mg. El menor contenido de K, Ca y Mg se registró en el tratamiento con 30 mg de

Mg; mientras que el mayor contenido fue variable para cada uno de estos nutrientes, y se obtuvo en los tratamientos con 210, 0 y 150 mg de Mg, respectivamente (Cuadro 3.7).

Cuadro 3.7. Contenido promedio de macronutrientos en flores en plantas de *lisianthus* tratadas con diferentes niveles de magnesio en la solución nutritiva.

TRA (mg litro ⁻¹ de Mg)	N (mg planta ⁻¹)	P (mg planta ⁻¹)	K (mg planta ⁻¹)	Ca (mg planta ⁻¹)	Mg (mg planta ⁻¹)
Testigo	35.95 a ^z	3.43 a	18.15 abc	3.92 a	3.61 bcd
15	38.99 a	3.86 a	20.55 ab	3.44 ab	3.80 abcd
30	21.91 a	1.64 b	8.33 c	1.76 b	1.75 e
60	36.79 a	3.32 ab	10.39 bc	2.82 ab	2.72 de
90	34.55 a	2.95 ab	16.74 abc	3.01 ab	3.43 cd
120	35.38 a	3.36 ab	13.37 abc	2.09 ab	3.11 cde
150	40.31 a	3.64 a	19.95 ab	2.68 ab	5.11 a
180	26.02 a	2.90 ab	17.03 abc	2.30 ab	4.41 abc
210	32.90 a	3.34 ab	21.68 a	2.22 ab	4.99 ab
240	27.63 a	3.57 a	18.03 abc	2.37 ab	4.33 abc
CV	22.56	19.96	22.76	26.04	13.70
DMS	21.55	1.85	10.81	2.00	1.48

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

3.3.4. Concentración nutrimental en hojas

Los contenidos de nitrógeno y potasio foliares no mostraron variaciones con la aplicación de las soluciones nutritivas en ninguna de sus dosis de Mg. Respuesta similar se encontró en el Mg, que de acuerdo al análisis estadístico, no se encontraron diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$) entre

tratamientos, pero se observa que a mayor cantidad de Mg en la solución, mayor cantidad de Mg foliar. El mayor contenido de P se registró en el testigo, con una tendencia a disminuir conforme se aumentó la dosis de Mg, respuesta que sugiere un antagonismo entre el Mg y el P. Las mayores concentraciones de Ca se registraron en los tratamientos de 0 a 60 mg de Mg, disminuyendo conforme se aumentó la dosis de Mg en la solución (Cuadro 3.8), mostrando un antagonismo Ca-Mg. Jones y Huber (2007) mencionan que el exceso de magnesio suprime la absorción de Ca, K y Mn y reduce el crecimiento de la planta.

Cuadro 3.8. Concentración nutrimental (%) en hojas de plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg·litro ⁻¹ de Mg)	N	P	K	Ca	Mg
Testigo	2.88 a	0.57 a	2.76 a	0.89 a	0.69 a
15	2.24 a	0.39 ab	2.26 a	0.75 abc	0.64 a
30	2.52 a	0.44 ab	2.30 a	0.83 ab	0.68 a
60	2.48 a	0.43 ab	2.71 a	0.89 a	0.85 a
90	2.70 a	0.38 ab	2.49 a	0.74 abc	0.67 a
120	2.43 a	0.32 b	2.46 a	0.56 bc	0.62 a
150	2.40 a	0.35 ab	2.64 a	0.60 bc	0.61 a
180	3.02 a	0.36 ab	3.14 a	0.64 abc	0.81 a
210	2.59 a	0.33 b	2.80 a	0.49 c	0.80 a
240	2.05 a	0.35 ab	3.34 a	0.51 c	0.87 a
CV	16.48	20.10	16.49	14.32	14.57
DMS	1.21	0.23	1.28	0.29	0.30

²Medias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

3.3.5. Contenido total de macronutrientos

El mayor contenido de N en la planta se registró en el tratamiento con 150 mg de Mg. Los contenidos de P y Mg no mostraron respuesta a los tratamientos aplicados. Los tratamientos con dosis de Mg de 180 a 240 mg por litro aumentaron la cantidad de K en la planta, comportamiento que muestra un posible sinergismo entre K-Mg. El mayor contenido de Ca se obtuvo en los tratamientos con 15 y 150 mg de Mg, sin mostrar ninguna tendencia para este macronutriente (Cuadro 3.9).

Cuadro 3.9. Contenido de macronutrientos en plantas de *lisianthus* cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.

TRA (mg litro ⁻¹ de Mg)	N (mg planta ⁻¹)	P (mg planta ⁻¹)	K (mg planta ⁻¹)	Ca (mg planta ⁻¹)	Mg (mg planta ⁻¹)
Testigo	137.82 ab ^z	35.95 a	21.06 ab	136.06 abc	23.94 a
15	133.50 ab	38.94 a	23.15 ab	152.22 a	23.60 a
30	77.97 c	28.28 a	13.47 c	80.77 d	15.12 a
60	121.89 ab	36.22 a	24.62 a	112.72 bcd	19.68 a
90	126.12 ab	46.70 a	22.88 ab	112.37 cd	21.20 a
120	114.55 b	25.25 a	18.17 bc	118.80 abcd	18.18 a
150	149.09 a	37.88 a	23.72 ab	155.81 a	22.89 a
180	121.68 ab	37.69 a	24.02 a	143.19 abc	19.86 a
210	130.12 ab	25.89 a	26.71 a	144.91 abc	20.12 a
240	116.27 ab	27.11 a	26.86 a	151.95 ab	19.53 a
CV	8.28	22.63	8.78	10.39	15.44
DMS	29.43	22.24	5.72	30.31	9.11

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

3.3.6. Distribución promedio de materia seca y nutrientes

El órgano que acumuló mayor materia seca en la planta de lisianthus fue el tallo, con diferencias estadísticas con los demás órganos. La mayor cantidad de N y Mg se registró en las hojas, mientras que en raíz se acumuló la mayor cantidad de P, K y Ca (Figura 3.3).

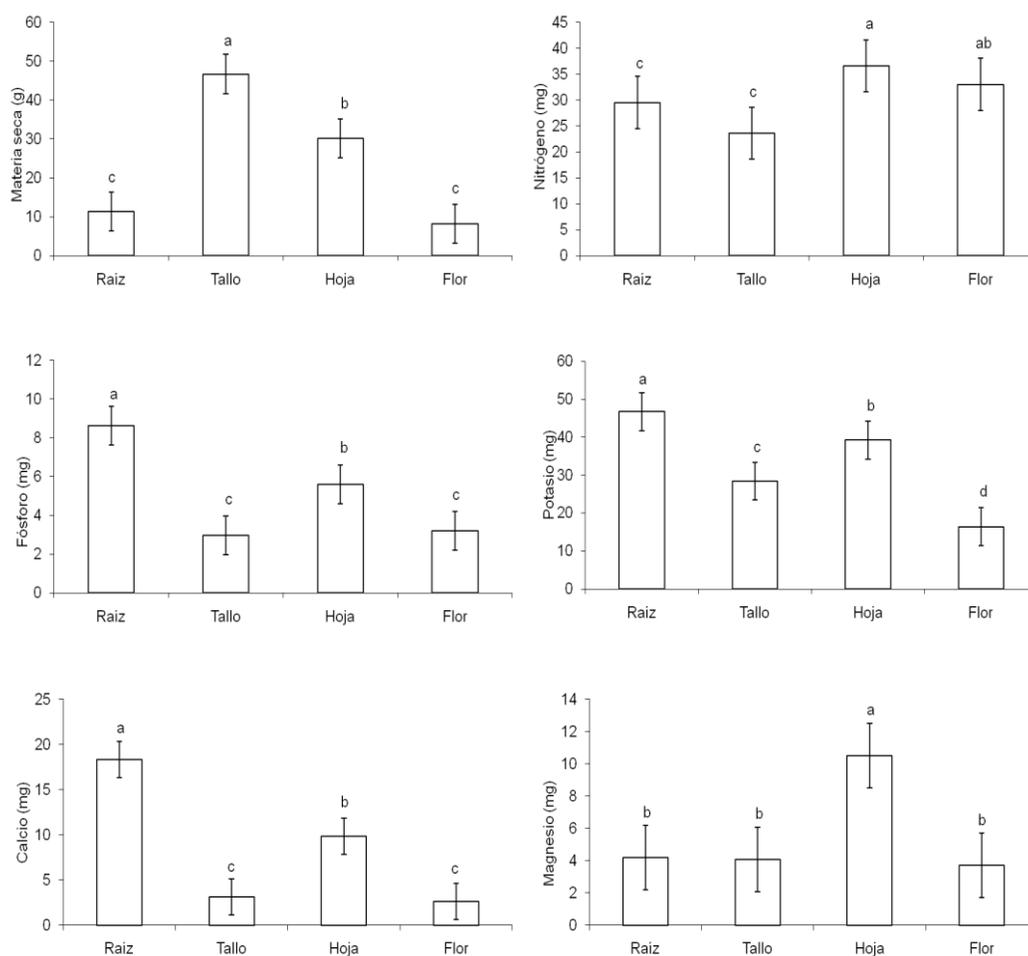


Figura 3.3. Distribución de materia seca y de elementos en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva. $n = 3 \pm$ error estándar.

3.3.7. Relaciones nutrimentales

La mayor proporción entre K:Ca correspondió a los tratamientos con 210 y 240 mg de Mg. Las relaciones entre K:Mg, Ca:Mg y N:Ca no fueron modificadas con las soluciones nutritivas en ninguna de sus dosis de Mg. La mayor proporción entre N:Mg se obtuvo en el tratamiento con 0 mg de Mg y la mayor proporción fue para el tratamiento con 240 mg de Mg, disminución gradual al aumentar la dosis de Mg que sugiere un antagonismo entre N:Mg (Cuadro 3.10). García-Hernández *et al.*, (2009) también encontraron una posible interacción negativa (antagonismo) para K:Mg en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). Las relaciones entre nutrientes pueden ser positivas o negativas y puede ser posible que no haya interacción (Fageria, 2001).

Cuadro 3.10. Relaciones nutrimentales en plantas de lisianthus cv. Echo Blue cultivadas con diferentes concentraciones de magnesio en la solución nutritiva.

TRATAMIENTO (mg litro ⁻¹ de Mg)	K:Ca	K:Mg	Ca:Mg	N:Ca	N:Mg
Testigo	4.1 ab ^z	6.3 a	1.7 a	4.1 a	6.4 a
15	4.5 ab	6.7 a	1.7 a	4.0 a	5.8 ab
30	2.9 ab	6.0 a	2.1 a	2.8 a	5.8 ab
60	3.1 ab	4.6 a	1.5 a	3.4 a	5.0 ab
90	2.4 b	5.0 a	2.1 a	2.7 a	5.6 ab
120	4.8 ab	6.6 a	1.4 a	4.6 a	6.3 ab
150	4.2 ab	6.6 a	1.6 a	4.0 a	6.3 ab
180	3.9 ab	6.0 a	1.6 a	3.3 a	5.1 ab
210	5.6 a	5.4 a	1.0 a	5.0 a	4.9 ab
240	5.8 a	5.7 a	1.0 a	4.4 a	4.3 b
CV	26.8	12.2	25.1	24.3	13.2
DMS	3.2	2.1	1.1	2.7	2.1

^zMedias con la misma letra dentro de columnas no son diferentes estadísticamente (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. DMS: diferencia mínima significativa.

3.4. CONCLUSIONES

Las soluciones nutritivas con las dosis de Mg evaluadas influenciaron el crecimiento y la acumulación de biomasa en las plantas de *lisianthus*, los mayores valores en área foliar se obtuvieron con los tratamientos de 15, 90 y 240 mg de Mg, sin ninguna tendencia observable; la vida poscosecha alcanzó su máximo valor en la dosis de 90 mg de Mg; aunque no hubo efecto de las dosis nutritivas en la biomasa, se observó una tendencia a aumentar la MS al aumentar la dosis de Mg, por lo que no se puede establecer una dosis de suficiencia.

Los contenidos foliares de N, K y Mg no se modificaron con la aplicación de Mg; se observó un antagonismo Mg-P y Mg-Ca, el P disminuyó su concentración foliar con concentraciones mayores de Mg y el Ca alcanzó sus mayores concentraciones en los tratamientos con 0 a 60 mg de Mg.

La mayor cantidad de materia seca se acumuló en el tallo, las hojas acumularon la mayor cantidad de N y Mg y el P, K y Ca en la raíz de las plantas de *lisianthus*.

3.5. LITERATURA CITADA

ALCÁNTAR, G. G.; SANDOVAL V. M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.

CLARK, R. B. 1984. Physiological aspects of calcium, magnesium, and molybdenum deficiencies in plants. *In: Soil acidity and liming*, 2nd edition, F. Adams, (ed.). Madison, WI: ASA. 99-170.

CLARK, R. B. 1993. Sorghum. *In: Nutrient deficiencies & toxicities in crop plants*, W. F. Bennett, (ed.). St. Paul, MN: The American Phytopathological Society, American Phytopathological Society Press. 21-26.

FAGERIA V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. *Journal of Plant Nutrition* 24(8):1269-1290.

FAGERIA, N. K. 2009. The use of nutrients in crops plants. CRC Press Taylor & Francis Group. New York. 430 p.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. 1999. Efficient crop production. Campina Grande, Brazil: Federal University of Paraiba. 547 p.

GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; ORONA-CASTILLO, I.; GONZÁLEZ-CERVANTES, G.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; MURILLO-AMADOR, B.; TROYO-DIÉGUEZ, E.; FORTIS-HERNÁNDEZ, M.; SEGURA-CASTRUITA, M. A. 2009. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en nogal pecanero (*Carya illinoensis*). Revista Chapingo Serie Horticultura 15(2):141-147.

JONES, J. B.; HUBER, D. M. 2007. Magnesium and plant disease. *In*: Mineral nutrition and plant disease, L. E. Datnoff, W. H. Elmer, and D. M. Huber (eds.). St. Paul, MN: The American Phytopathological Society. 95-100.

MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M .; LINDSAY, W. L. 1972. Micronutrients in agriculture. SSSA, Inc. Madison, Wis. 760 p.

RODRÍGUEZ, S. A. 1992. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F. 157 p.

SAS INSTITUTE INC., CARY, NC. 2002. Statistical Analysis System. For Windows 9.0. USA.

STEINER, A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and Soil 15:1.

V. CONCLUSIONES GENERALES

Las plantas tratadas con dosis intermedias de N (50 a 250 mg) y Ca (50, 100 y 150 mg) presentaron la mejor respuesta en crecimiento y vida poscosecha; así como en la biomasa acumulada, dosis que equivalen a concentraciones foliares de N de 2.16 a 3.22 % y del Ca de 0.28, 0.59 y 0.67 %; respectivamente, dosis de suficiencia para el cultivo de lisianthus. No se pudo establecer dosis de suficiencia para Mg debido a que los efectos de las soluciones nutritivas modificaron poco la respuesta en crecimiento y acumulación de materia seca.

Las plantas de lisianthus mejoraron la concentración foliar de macronutrientes, a excepción de Mg, con dosis mayores de N y Ca y con dosis menores de Mg.

Se encontró una relación nutrimental positiva K-Mg y tres negativas entre N-Mg, P-Mg y Ca –Mg.

En general, la mayor cantidad de materia seca se acumuló en el tallo y en las hojas; las hojas acumularon mayor cantidad de N y Mg y en raíz se acumuló la mayor cantidad de Ca, P y K.

IV. LITERATURA CITADA

ADAMS, F. 1980. Interactions of phosphorus with other elements in soil and plants. In The role of phosphorus in agriculture; Dinauer, R. C., (eds.); America Society of Agronomy: Madison, WI, 655-680.

ADAMS, P.; GRAVES, C. J.; WINDSOR, G. M. 1978. Tomato yields in the relation to the nitrogen, potassium and magnesium status of the plants and de peat substrate. *Plant Soil*, 49:137-148.

ADAMS, P.; GRAVES, C. J.; WINDSOR, G. M. 1992. Some responses of cucumber, grown in beds of peat, to N, K, and Mg. *Journal of Horticultural Science.*, 67: 877-884.

ADATIA, M. H.; WINSOR, G. W. 1971. Magnesium deficiency in glasshouse tomatoes. *Ann. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst.*, 1970:186-192.

AL BACKES, F. A., BARBOSA, J. G.; SEDIYAMA, M. A. N.; MARTÍNEZ, H. E. P.; CECON, P. R.; BARBOSA, M. S. 2006. Produção de lisianthus cultivado em vasos com diferentes soluções nutritivas e formas de condução. *Horticultura Brasileira*. 24(1):6-10.

ALCÁNTAR, G. G.; TREJO-TÉLLEZ, L. I.; FERNÁNDEZ, L. P.; RODRÍGUEZ, M. N. M. 2007. Elementos esenciales. *In: Nutrición de cultivos*. Alcántar

González Gabriel y Trejo-Téllez Libia I. (eds.). Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa México. México. Págs. 8-45.

ASHLEY, D. A.; GOODSON, R. D. 1983. Effects of time and plant K status on C-Labeled photosynthate movement in cotton. *Crop Science* 12:686-690.

CAMARGO, M. S.; CHIMIZU, L.K.; SAITO, M. A.; KAMEOKA, C. H.; MELLO, S. C.; CARMELLO, Q. A. C. 2004. Crescimento e absorção de nutrientes pelo *Lisianthus (Eustoma grandiflorum)* cultivado em solo. *Horticultura Brasileira* 22(1): 143-146.

CORR, B.; KATZ, P. 1997. A grower's guide to lisianthus production. *Floracultura International*. 7:16-20

DIBB, D. W.; THOMPSON, W. R. Jr. 1985. Interacciones of potassium with other nutrients. *In: Potassium in Agriculture; Munson, R.D (ed.)*. ASA-CSSA-SSSA: Madison, WI. P. 515-533.

DOLE, M. J.; WILKINS, F. H. 2005. Floriculture principles and species. Second edition. Ed. Prentice Hall. USA. 1023 p.

DOMÍNGUEZ, R. A. 2008. Lisianthus: una especie con alto potencial. Consejo Mexicano de la Flor. Ornamentales. Primera parte: Marzo-abril. México. 16 (3) 24-25.

EPSTEIN, E.; ARNONLD, J. B.. 2005. Mineral nutricion of plants: Principles and perspectives. Second Edition. Sinaver Associates Inc. Publisher. Sunderland. Massachusetts. 399 p.

FAGERIA, N. K. 1983. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. Plant Soil 70:309-316.

FAGERIA N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. 1997. Growth and mineral nutrition of crop plants, 2nd Ed.; Marcel Dekker, Inc. New York. 127 p.

FAGERIA V. D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. Journal of plant nutrition 24(8):1269-1290.

FINDENEGG, G. R. 1987. A comparative study of ammonium toxicity at different constant pH of the nutrient solution. Plant Soil 103:239-243.

FOX, R. 1998. Lisianthus-a specialty cut flower. Practical Hydroponics & Greenhouses. pp. 43-51.

GARCÍA-HERNÁNDEZ, J.L.; VALDEZ-CEPEDA, L.D.; SERVÍN-VILLEGAS, R.; TROYA-DIEGUÉZ, E.; MURILLO-AMADOR, B.; RUEDA-PUENTE, E.O.; RODRÍGUEZ-ORTÍZ, J.C.; MAGALLANES-QUINTANAR, R. 2007. Interacciones nutrimentales y normas de diagnóstico de nutrimento compuesto en un cultivar semidomesticado de *Capsicum frutescens*. Revista Chapingo. Serie Horticultura 13(2):133-140.

GILL S. A.; BLESSINGTON, T.; DUTKY, E. M.; BALGE, R.; ROSS, S.; ROSENKRANZ, G.; BUTLER, B.; KLICK, S.; RESEER, R. 2000. Production of lisianthus as a cut flowers. University of Maryland Cooperative Extension. Fact sheet 770. pp.1-12.

GRIESBACH, R.J.; SEMENIUK, M. R.; LAWSON, R.H. 1988. Tissue culture in the improvement of *Eustoma*. HortScience 19:845-847.

HALEVY, A. H.; KOFRANEK, A. M. 1984. Evaluation of lisianthus as a new flower crop. HortScience 19:845-847.

KAWASAKI, T. 1995. Metabolism and physiology of calcium and magnesium. *In: Science of the Rice Plant*; Mutsuo, T., Kumasawa, K., Ishii, R., Ishihara, K., Hirata, H., (eds.). Food and Agricultural Policy Research Center: Tokyo, Japan. 2:412-419.

KURVITS, A.; KIRKBY, E. A. 1980. The growth and mineral composition of sunflowers plants, (*Helianthus annuus*) utilizing nitrate- or ammonium-nitrogen when grown in continuous flowing culture system. Act Horticultural 98:139-148.

MAGALLANES-QUINTANAR, R.; VALDEZ-CEPEDA, R. D.; BLANCOMACÍAS, F.; MÁRQUEZ-MADRID, M.; RUIZ-GARDUÑO, R. R.; PÉREZ-VEYNA, O.; GARCÍA-HERNÁNDEZ, J. L.; MURILLO-AMADOR, B.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. D.; MARTÍNEZ-RUBÍN DE CELIS, E. 2005. Compositional nutrient diagnosis in nopal (*Opuntia ficus-indica*). Journal of the Professional Association for Cactus Development 6:78-89.

MAZUELA, P.; DE LA RIVA, F.; URRESTARAZU, M. 2007. Cultivo de lisianthus en perlita. Planta flor. N° 124. 92-94.

MELGARES DE AGUILAR, C. J. 1996. El cultivo de lisianthus (I parte). Horticultura 113: 13-16.

MUÑOZ, R. J. J. 2004. Formulación de Solución Nutritiva. In: Manual de Producción Hortícola en Invernadero. Castellanos, J. Z. (ed.). Segunda edición. INTRAGRI. 469 p.

ROBSON, A.D.; PITMAN, J.B. 1983. Interacciones between nutrients in higher plants. *In: Inorganic plant nutrition: Encyclopedia of Plant Physiology*, Vol. 1; Lauchli, A., R.L. Bielecki (eds.). Springer-Verlag: New York. 147-180 pp.

TAIZ L., ZEIGER, E. 1991. Plant physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Redwood City, California, USA. 565 p.

TERMAN, G. L.; NOGGLE, J. C.; HUNT, C. M. 1977. Growth rate-nutrient concentration relationship during early growth of corn as effected by applied N, P and K. *Soil Science Society American* 41:363-368.

URRESTARAZU, G. M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. 3^a Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, Barcelona, México. 913 p.

WILKINSON, S. R.; GRUNES, D. L.; SUMMER, M.E. 1999. Nutrient interactions in soil and plant nutrition. *In*: Handbook of Soil Science; Summer, M. E. (ed.). CRC Press: Boca Raton, FL, 89-112 pp.