



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

**RESPUESTAS AGRONÓMICAS Y FISIOLÓGICAS DEL
TULIPÁN (*Tulipa gesneriana* L.) AL LANTANO**

MARIBEL RAMÍREZ MARTÍNEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2011

La presente tesis, titulada **Respuestas agronómicas y fisiológicas del tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) al lantano**, realizada por la alumna **Maribel Ramírez Martínez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

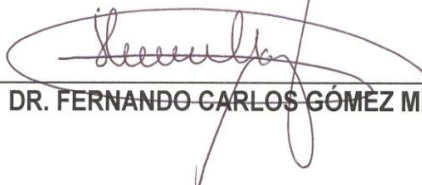
DOCTORA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA:



DRA. LIBIA IRIS TREJO-TÉLLEZ

ASESOR:



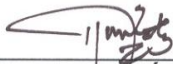
DR. FERNANDO CARLOS GÓMEZ MERINO

ASESORA:



DRA. ANA MARÍA CASTILLO GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. ISMAEL HERNÁNDEZ RÍOS

ASESORA:



DRA. ELIZABETH HERNÁNDEZ ACOSTA

Montecillo, Texcoco, México, Marzo de 2011

RESPUESTAS AGRONÓMICAS Y FISIOLÓGICAS DEL TULIPÁN

(*Tulipa gesneriana* L.) AL LANTANO

Maribel Ramírez Martínez, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2011

En esta investigación se presentan resultados de tres experimentos para evaluar el efecto del suministro de lantano (La) en variables agronómicas y fisiológicas de tulipán en solución nutritiva. En el experimento uno se evaluó el efecto del suministro de La (5, 10, 20, 30 y 40 μM) y dos fuentes [LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$] durante el ciclo de cultivo de tulipán var. Ile de France, sobre la tasa de crecimiento absoluto (TCA), tasa de crecimiento relativo (TCR), acumulación y distribución de materia seca y acumulación nutrimental. Por efecto de fuente de La no se observaron diferencias significativas. Se observó que la concentración 20 μM La^3 aceleró la emergencia, expansión de hoja y floración en comparación con el testigo; por el contrario, concentraciones mayores (40 μM La^{3+}) indujeron senescencia respecto al testigo. La mayor acumulación de materia seca total se registró a los 30, 45 y 60 días después de la plantación (ddp) con el uso de LaCl_3 . Se observó incrementó en la TCA con 20 μM La^{3+} por aumento en la materia seca acumulada a los 30 y 45 días después de la plantación. La adición La^{3+} incrementó la concentración y acumulación de N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn en hojas, flores y bulbos. Con LaCl_3 fue mayor la concentración y acumulación de macro y micronutrientes en flores, en tanto que $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ promovió mayores niveles de estas variables en bulbo. En segundo experimento se evaluaron las concentraciones y fuentes de La antes citadas suministradas a lo largo del ciclo de cultivo, sobre distintas respuestas morfológicas, fisiológicas y bioquímicas determinadas al momento del corte y postcosecha en tulipán cvs. Ile de France y Christmas Dream. En el cv. Ile de France se incrementaron los valores de parámetros de crecimiento con 5 o 10 μM La^{3+} , mientras que en Christmas Dream fue con 40 μM La^{3+} . La acumulación de biomasa fresca y seca total para los dos cultivares fue superior al adicionar 40 μM La^{3+} ; en Ile de France fue más alta con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y en Christmas Dream con LaCl_3 . En la etapa de postcosecha, el mayor consumo de agua en Ile de France y Christmas Dream, se observó con concentraciones bajas y altas, respectivamente. Vida en florero, contenido de clorofila, azúcares, proteínas y aminoácidos se incrementaron al adicionar La^{3+} ; pero la mejor fuente y concentración mostró diferencia entre cultivares. En el tercer experimento se estudió en postcosecha el efecto de ácido ascórbico, LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ como soluciones preservadoras en 15 cultivares comerciales de tulipán. Las mejores soluciones preservadoras para las variables evaluadas fueron las que contenían LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$.

Palabras clave: *fenología, materia seca, concentración, altura de planta, diámetro, clorofilas, proteínas, azúcares, vida en florero, variedad, solución preservadora.*

AGRONOMICAL AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF TULIP (*Tulipa gesneriana* L.) TO LANTHANUM

Maribel Ramírez Martínez, Dra.

Colegio de Postgraduados, 2011

In this study I present results of three experiments carried out in order to evaluate the effect of lanthanum (La) on tulip in nutrient solution. In experiment one, the effect of La supply (5, 10, 20, 30 y 40 μM) derived from two sources [LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$] during the crop cycle of tulip var. Ile de France on the absolute growth rate (TCA), relative growth rate (TCR), dry matter accumulation and distribution, and accumulation of nutrients. No significant effects of La source were observed. The concentration 20 μM La^{3+} , accelerated emergency, leaf expansion and flowering in comparison to the control. Conversely, higher La concentrations (40 μM La^{3+}) induced senescence respect to the control. The highest accumulation of total dry matter was registered 30, 45 y 60 days after planting (dap), with the application of LaCl_3 . The TCA increased with the application of 20 μM La^{3+} as a result of the increase in accumulated dry matter 30 y 45 dap. Addition of La^{3+} increased N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn concentration and accumulation in leaves, flowers and bulbs. LaCl_3 caused higher macro and micronutrient concentration and accumulation in flowers, whereas $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ promoted higher levels of these variables in bulbs. In the experiment two I evaluated the effect of concentrations and La sources supplied during the whole crop cycle on morphological, physiological and biochemical responses determined at the moment of cutting and postharvest of tulip flowers cvs. Ile de France and Christmas Dream. In cv. Ile de France higher values of the growth variables were observed when 5 to 10 μM La^{3+} , were added, while in cv. Christmas Dream the highest values were observed at 40 μM La^{3+} . Total fresh and dry biomass accumulation in both cultivars were higher when 40 μM La^{3+} , were added to the nutrient solution; in Ile de France the highest accumulation was observed with $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, whereas in Christmas Dream it was registered with LaCl_3 . During postharvest stage, the highest water consumption was observed with low La concentrations in Ile de France, while in Christmas Dream it was registered with high La applications. Vase life, chlorophyll content, sugars, proteins, and amino acids increased when La^{3+} was added, though La^{3+} source and concentration showed significant differences between cultivars. In the experiment three, the effect of ascorbic acid, LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ as preservation solutions were evaluated during the postharvest stage in 15 commercial tulip cultivars. The best preservation solutions were those containing LaCl_3 or $\text{La}(\text{NO}_3)_3$.

Key words: *phenology, dry matter, concentration, plant height, diameter, chlorophyll, proteins, sugars, vase life, varieties, preservation solution.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme estar en esta vida, por escuchar mis oraciones y darme el valor y la fortaleza, que necesite para seguir adelante hasta alcanzar mis metas. Por darme una segunda oportunidad para valorar cada instante de la vida con sencillez, humildad y honestidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado y servir de soporte para seguir adelante con mis estudios de Postgrado.

Al Colegio de Postgraduados agradezco el apoyo y facilidades brindadas en mi desarrollo profesional.

A la Dra. Libia I. Trejo-Téllez, Por compartirme sus conocimientos, principios y apoyo incondicional en todo momento en la dirección de la investigación. Le agradezco justo ahora y por siempre su tiempo, dedicación, paciencia, comprensión y entusiasmo para la culminación de mis estudios. Muchas gracias por su profesionalismo, calidad humana, sinceridad y amistad, por ser una gran persona.

Al Dr. Fernando Gómez Merino, por el apoyo brindado para seguir adelante y aportaciones certeras en mi investigación, pero sobre todo enseñarme que la exigencia y disciplina son fundamentales para dar lo mejor de si mismo.

A la Dra. Ana María Castillo, Dra. Elizabeth Hernández Acosta y Dr. Ismael Hernández Ríos por la asesoría, sugerencias y aportaciones realizadas en el presente trabajo y por el apoyo profesional como compañeros durante mi posgrado.

A todos los integrantes de mi Consejo particular (Asesores y Sinodal), reitero mi sincera gratitud, admiración y respeto.

A Sol, por tu apoyo incondicional, por ser sincera y honesta, por acompañarme en mis altas y bajas, por confiar en mí. De ti aprendí que mi opinión vale lo suficiente como para ser expresada y defendida.

A los doctores y maestros, amigos, compañeros y demás personas de quienes siempre tuve presentes sus consejos y buenos deseos en mis estudios de posgrado.

A docentes del Área de Nutrición Vegetal, por instruirme con la mejor actitud desde el principio y que de alguna manera contribuyeron en mi formación profesional durante mi estancia en el Colegio.

Al personal de la biblioteca y sala de cómputo, laboratorios de Nutrición Vegetal y Postcosecha, a los responsables del área de invernaderos por las facilidades y apoyo brindado para llevar a cabo mi investigación.

A las Líneas Prioritarias de Investigación 4 (Agronegocios, Agroecoturismo y Arquitectura del Paisaje) y 5 (Biotecnología Microbiana, Vegetal y Animal, del Colegio de Postgraduados) por todas las facilidades y apoyo prestados en la realización de esta investigación.

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios por iluminarme con sus bendiciones

A mi mamá y papá: Guadalupe y Guillermo, Por ser los verdaderos pilares que sostuvieron con fuerza mi mirada hacia el horizonte, que secaron mis lágrimas, alimentaron mi coraje y ganas de superarme, fueron ustedes el tesoro más preciado que la vida me regaló y a quienes le estaré eternamente agradecida. Mis maestros y guías que se involucraron en mi devenir, en mis decisiones, en mi aprendizaje y contribuyeron sin condiciones ni precio, con mis logros, con mis virtudes, con mis valores y principios... A ustedes les dedico, no sólo éste trabajo sino cada aplauso, bendición y reconocimiento que recibo.

A mis hermanos Guillermo, Bárbara, Cesar y Sofía por ser la esencia para inspirar mi vida con un solo objetivo, inculcar en su corazón un ejemplo de vida, trabajo, superación y respeto por nosotros mismos. Gracias por ser esa luz que me motivo para finalmente ser junto con todos ustedes uno solo.

A mis sobrinos Chuchito, Katy y Keñita por que con su amor, ternura e inocencia han llenado cada instante de mi vida en alegría y motivación. Por esperar siempre lo mejor de mí.

A mi Abuelito Epigmenio, por estar con nosotros, por sus consejos y por enseñarme en todo momento el valor de la honradez, trabajo y humildad.

A usted Dra. Libia con admiración y respeto, por ser la guía entre mis aspiraciones y mis logros. Es ahora que está cosechando los frutos de la primera semilla que vio nacer un día, muchas gracias por ayudarme a madurar en múltiples sentidos. Pero principalmente, por compartir conmigo sus conocimientos y reconocer mis logros y mis sacrificios. Por recordar como caí para recordarme lo bien que me levanté.

A mi amigo, compañero y novio Juan Carlos, por ser mi apoyo incondicional en todo momento, por enseñarme cuánto valgo como persona, Por estar conmigo siempre hasta el último momento y motivarme con tus logros y consejos, por el respeto, amor y alegría que me has brindado durante estos años y por lograr juntos nuestra meta profesional. TQM.

A mi misma, por que lo que llevo de vida ha requerido sacrificios, respeto, voluntad, disciplina, vivencias y responsabilidades que enfrenté a pesar de todo percance. Y finalizo expresando mi orgullo por haber llegado hasta aquí y por ser quién soy.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN GENERAL.....	i
ABSTRACT.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Producción florícola: una visión general.....	1
1.1.1. Floricultura mundial.....	1
1.1.2. Floricultura nacional.....	2
1.1.3. Principales especies cultivadas.....	3
1.2. El tulipán.....	4
1.2.1. Características generales y producción.....	4
1.3. Lantano.....	6
1.3.1. Características e historia.....	6
1.3.2. Concentración del lantano y elementos tierras raras en el suelo.....	8
1.3.3. Absorción de lantano y elementos tierras raras.....	9
1.3.4. Concentración y distribución de lantano y tierras raras en plantas...	10
1.3.5. Aplicación de lantano y elementos tierras raras en la agricultura.....	11
1.3.6. Efecto de lantano y elementos tierras raras en ornamentales.....	15
1.4. Conclusiones de la revisión de literatura y planteamiento de la investigación.....	16
LITERATURA CITADA.....	17
CAPÍTULO II. INFLUENCIA DEL LANTANO SOBRE EL CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN TULIPÁN (<i>Tulipa gesneriana</i> L.).....	21
RESUMEN.....	21
I. I. INTRODUCCIÓN.....	22
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	23
2.1. Importancia del análisis de crecimientos en las plantas.....	23
2.2. Biomasa seca y curvas de crecimiento.....	24
2.3. Curvas de absorción nutrimental en la plantas.....	24
2.4. Interacción nutrimental.....	25
2.5. Interacción de lantano y elementos tierras raras con otros nutrimentos..	27
III. OBJETIVOS.....	32
3.1. Objetivo general.....	32
3.1.1. Objetivos específicos.....	32
IV. HIPÓTESIS.....	33
4.1. Hipótesis general.....	33
4.1.1. Hipótesis específicas.....	33

	Página
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
5.1 Localización del área de estudio.....	34
5.2 Manejo de cultivo.....	34
5.3 Tratamiento y diseño experimental.....	35
5.4 Variables evaluadas.....	36
5.4.1 Etapas fenológicas.....	36
5.4.1.1. Emergencia.....	36
5.4.1.2. Expansión de hoja.....	36
5.4.1.3. Floración.....	36
5.4.1.4. Senescencia.....	36
5.4.2. Tasa de crecimiento relativo (TCR).....	36
5.4.3. Tasa de crecimiento absoluto (TCA).....	36
5.4.4. Materia seca (g planta ⁻¹).....	36
5.4.5. Análisis químico de tejido vegetal.....	37
5.5. Análisis estadístico.....	37
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
6.1. Etapas fenológicas.....	38
6.2. Tasa de crecimiento relativo (TCR) y tasa de crecimiento absoluto (TCA).....	40
6.3. Acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta y total.....	43
6.3.1. Efecto de la fuente de La ³⁺	43
6.3.2. Efecto de la concentración de La ³⁺	45
6.4. Distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta.....	48
6.4.1. Efecto de la fuente de La ³⁺	48
6.4.2. Efecto de la concentración de La ³⁺	49
6.5. Concentración nutrimental en los diferentes órganos de la planta.....	51
6.5.1. Efecto de la fuente de La ³⁺	51
6.5.1.1. Concentración en hoja.....	51
6.5.1.2. Concentración en flor.....	55
6.5.1.3. Concentración en bulbo.....	58
6.5.2. Efecto de la concentración de La ³⁺	61
6.5.2.1. Concentración en hoja.....	61
6.5.2.2. Concentración en flor.....	63
6.5.2.3. Concentración en bulbo.....	65
6.5.3. Concentración de lantano en los diferentes órganos de la planta....	71
6.5.3.1. Efecto de la fuente de La ³⁺	71
6.5.3.2. Efecto de la concentración de La ³⁺	73
6.6. Acumulación nutrimental en los diferentes órganos de la planta.....	74
6.6.1. Efecto de la fuente de La ³⁺	74
6.6.1.1. Acumulación en hoja.....	74
6.6.1.2. Acumulación en flor.....	77
6.6.1.3. Acumulación en bulbo.....	80
6.6.2. Efecto de la concentración de La ³⁺	84
6.6.2.1. Acumulación en hoja.....	84
6.6.2.2. Acumulación en flor.....	86
6.6.2.3. Acumulación en bulbo.....	87
6.6.3. Acumulación de lantano en los diferentes órganos de la planta.....	90
6.6.3.1. Efecto de la fuente de La ³⁺	90
6.6.3.2. Efecto de la concentración de La ³⁺	91

	Página
VII. CONCLUSIONES.....	93
VIII. LITERATURA CITADA.....	95
CAPÍTULO III. RESPUESTAS MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA Y DE CALIDAD EN TULIPÁN (<i>Tulipa gesneriana</i> L.) AL LANTANO.....	98
RESUMEN.....	98
I. INTRODUCCIÓN.....	99
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	100
2.1. Importancia de factores nutrimentales en especies ornamentales.....	100
2.2. Suministro de lantano (La^{3+}) sobre el desarrollo y fisiología vegetal.....	100
2.2.1. Efecto del La^{3+} sobre el desarrollo vegetal.....	100
2.2.2. Efecto del La^{3+} sobre la fisiología vegetal.....	103
2.2.2.1. Contenido de clorofila.....	104
2.2.2.2. Contenido de azúcares.....	105
2.2.2.3. Contenido de aminoácidos y proteínas.....	105
III. OBJETIVOS.....	107
3.1. Objetivo general.....	107
3.1.1. Objetivos específicos.....	107
IV. HIPÓTESIS.....	108
4.1. Hipótesis general.....	108
4.1.1. Hipótesis específicas.....	108
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	109
5.1. Localización del área de estudio.....	109
5.2. Material vegetal.....	109
5.3. Manejo de cultivo.....	109
5.4. Diseño experimental.....	110
5.5. Variables de estudio.....	110
5.5.1. Parámetros cuantitativos de calidad (morfología de la planta).....	110
5.5.1.1. Altura de planta (cm).....	110
5.5.1.2. Longitud y diámetro de capullo (cm).....	111
5.5.1.3. Longitud de tallo (cm).....	111
5.5.1.4. Diámetro de tallo (cm).....	111
5.5.1.5. Acumulación y distribución de biomasa fresca (g).....	111
5.5.1.6. Acumulación y distribución de biomasa seca (g).....	111
5.5.2. Parámetros cualitativos de la calidad (fisiología de la planta).....	111
5.5.2.1. Consumo de agua (mL).....	111
5.5.2.2. Peso del tallo floral fresco.....	111
5.5.2.3. Vida en florero (Días).....	111
5.5.2.4. Contenido de clorofila (mg g^{-1} PF).....	111
5.5.2.5. Azúcares solubles totales (mg g^{-1} PF).....	112
5.5.2.6. Proteínas solubles totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ PF).....	112
5.5.2.7. Aminoácidos solubles totales ($\mu\text{M g}^{-1}$ PF).....	112
5.6. Análisis estadístico.....	112
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	113
6.1. Parámetros cuantitativos de calidad (morfología de la planta).....	113
6.1.1. Altura de planta.....	113
6.1.1.1. Altura de planta por efecto de fuente de La^{3+}	113
6.1.1.2. Altura de planta por efecto de concentración de La^{3+}	113

	Página
6.1.1.3. Altura de planta por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	116
6.1.2. Longitud y diámetro de capullo.....	118
6.1.2.1. Longitud y diámetro de capullo por efecto de fuente de La^{3+}	118
6.1.2.2. Longitud y diámetro de capullo por efecto de concentración de La^{3+}	118
6.1.2.3. Longitud y diámetro de capullo por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	120
6.1.3. Longitud de tallo floral.....	121
6.1.3.1. Longitud de tallo floral por efecto de fuente de La^{3+}	121
6.1.3.2. Longitud de tallo floral por efecto de concentración de La^{3+} ..	122
6.1.3.3. Longitud del tallo floral por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	123
6.1.4. Diámetro de tallo floral.....	123
6.1.4.1. Diámetro de tallo floral por efecto de la fuente de La^{3+}	123
6.1.4.2. Diámetro de tallo floral por efecto de concentración de La^{3+} ..	124
6.1.4.3. Diámetro de tallo floral por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	126
6.1.5. Acumulación y distribución de biomasa fresca.....	127
6.1.5.1. Acumulación y distribución de biomasa fresca por efecto de fuente de La^{3+}	127
6.1.5.2. Acumulación y distribución de biomasa fresca por efecto de la concentración de La^{3+}	128
6.1.5.3. Acumulación y distribución de biomasa fresca por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	131
6.1.6. Acumulación y distribución de biomasa seca.....	133
6.1.6.1. Acumulación y distribución de biomasa seca por efecto de fuente de La^{3+}	133
6.1.6.2. Acumulación y distribución de biomasa seca en tulipán por efecto de concentración de La^{3+}	134
6.1.6.3. Acumulación y distribución de biomasa seca por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	136
6.2. Parámetros cualitativos de calidad (fisiología de la planta).....	138
6.2.1. Consumo de agua en tallos florales.....	138
6.2.1.1. Consumo de agua en tallos florales por efecto de fuente de La^{3+}	138
6.2.1.2. Consumo de agua en tallos florales por efecto de la concentración de La^{3+}	139
6.2.1.3. Consumo de agua en tallos florales por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	141
6.2.2. Peso del tallo floral fresco.....	142
6.2.2.1. Peso del tallo floral fresco por efecto de fuente de La^{3+}	142
6.2.2.2. Peso del tallo floral fresco por efecto de la concentración de La^{3+}	143
6.2.2.3. Peso del tallo floral fresco por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	144
6.2.3. Vida en florero.....	145
6.2.3.1. Vida en florero por efecto de fuente de La^{3+}	145
6.2.3.2. Vida en florero por efecto de la concentración de La^{3+}	145

	Página
6.2.3.3. Vida de florero por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	146
6.2.4. Contenido de clorofilas iniciales en hoja.....	146
6.2.4.1. Contenido de clorofilas iniciales por efecto de la fuente de La^{3+}	146
6.2.4.2. Contenido de clorofilas iniciales por efecto de la concentración de La^{3+}	147
6.2.4.3. Contenido de clorofilas iniciales por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	149
6.2.5. Contenido de clorofilas finales en hoja.....	150
6.2.5.1. Contenido de clorofilas finales por efecto de la fuente de La^{3+}	150
6.2.5.2. Contenido de clorofilas finales por efecto de la concentración de La^{3+}	150
6.2.5.3. Clorofilas finales por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	152
6.2.6. Contenido de azúcares totales.....	153
6.2.6.1. Contenido de azúcares iniciales y finales por efecto de la fuente de La^{3+}	153
6.2.6.2. Contenido de azúcares iniciales y finales por efecto de la concentración de La^{3+}	154
6.2.6.3. Contenido de azúcares iniciales y finales por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	155
6.2.7. Contenido de proteínas en hoja.....	156
6.2.7.1. Contenido de proteína en hoja por efecto de fuente de La^{3+}	156
6.2.7.2. Contenido de proteína en hoja por efecto de la concentración de La^{3+}	157
6.2.7.3. Contenido de proteínas por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	159
6.2.8. Contenido de aminoácidos en hoja.....	160
6.2.8.1. Contenido de aminoácidos en hoja por efecto de fuente de La^{3+}	160
6.2.8.2. Contenido de aminoácidos en hoja por efecto de la concentración de La^{3+}	160
6.2.8.3. Contenido de aminoácidos por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}	161
VII. CONCLUSIONES.....	163
VIII. LITERATURA CITADA.....	164
CAPÍTULO IV. CRECIMIENTO DE VARIEDADES DE TULIPÁN (<i>Tulipa gesneriana</i> L.) Y EFECTO DE LANTANO EN POSTCOSECHA..	168
RESUMEN.....	168
I. INTRODUCCIÓN.....	169
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	170
2.1. Senescencia en flores de corte.....	170
2.2. Las macromoléculas en postcosecha de ornamentales.....	170
2.2.1. Azúcares.....	170
2.2.2. Proteínas.....	171

	Página
2.3. Soluciones preservadoras en postcosecha.....	172
2.4. Mecanismos de desarrollo y fisiología en ornamentales.....	173
2.4.1. Gravitropismo.....	173
2.5. Efecto de lantano y ácido ascórbico en postcosecha de ornamentales...	174
III. OBJETIVOS.....	177
3.1. Objetivo general.....	177
3.1.1. Objetivos específicos.....	177
IV. HIPÓTESIS.....	178
4.1. Hipótesis generales.....	178
4.1.1. Hipótesis específicas.....	178
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	179
5.1. Ubicación del experimento de la primera fase.....	179
5.2. Establecimiento y manejo de cultivo.....	179
5.3. Material vegetal.....	179
5.4. Variables evaluadas.....	183
5.4.1. Variables fenológicas.....	183
5.4.1.1. Días a emergencia (DE).....	183
5.4.1.2. Diferenciación de primer entrenudo (DPE).....	183
5.4.1.3. Días a inicio de floración (DIF).....	183
5.4.1.4. Días a floración (DF).....	183
5.4.2. Variables de crecimiento.....	183
5.4.2.1. Altura de planta (cm).....	183
5.4.2.2. Diámetro de tallo (cm).....	183
5.4.2.3. Número de hojas.....	183
5.4.2.4. Longitud de hoja (cm).....	183
5.4.2.5. Ancho de hoja (cm).....	183
5.4.2.6. Firmeza de tallo.....	183
5.5. Diseño experimental y análisis estadístico.....	184
5.6. Manejo del experimento en la segunda fase.....	184
5.7. Tratamientos.....	184
5.8. Variables de estudio en postcosecha.....	184
5.8.1. Variables de crecimiento, consumo de agua y vida en florero.....	184
5.8.1.1. Diámetro de capullo (cm).....	184
5.8.1.2. Longitud de capullo (cm).....	184
5.8.1.3. Forma de capullo.....	185
5.8.1.4. Longitud de tallo floral (cm).....	185
5.8.1.5. Longitud de entrenudo apical inicial y final (cm).....	185
5.8.1.6. Longitud de entrenudo basal inicial y final (cm).....	185
5.8.1.7. Peso fresco de tallo (g).....	185
5.8.1.8. Incremento relativo de peso fresco de tallo (%).....	185
5.8.1.9. Consumo de agua (mL).....	185
5.8.1.10. Consumo relativo de agua (%).....	185
5.8.1.11. Curvatura del tallo.....	186
5.8.1.12. Vida en florero (días).....	187
5.8.2. Variables fisiológicas.....	188
5.9. Diseño experimental y análisis estadístico.....	188
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	189
6.1. Variables fenológicas.....	189
6.1.1. Días a emergencia (DE).....	189
6.1.2. Diferenciación de primer entrenudo (DPE).....	189

	Página
6.1.3. Días a inicio de floración (DIF).....	189
6.1.4. Días a floración (DF).....	191
6.2. Varbles de crecimiento.....	191
6.2.1. Altura de planta.....	191
6.2.2. Diámetro de tallo.....	195
6.2.3. Número de hojas.....	196
6.2.4. Longitud de hoja.....	196
6.2.5. Ancho de hoja.....	198
6.2.6. Firmeza de tallo.....	198
6.3. Variables de crecimiento, consumo de agua y vida en florero.....	199
6.3.1. Diámetro de capullo.....	199
6.3.1.1. Diámetro de capullo por efecto de la variedad.....	199
6.3.1.2. Diámetro de capullo por efecto de la solución preservadora.....	200
6.3.1.3. Diámetro de capullo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	201
6.3.2. Longitud de capullo.....	203
6.3.2.1. Longitud de capullo por efecto de la variedad.....	203
6.3.2.2. Longitud de capullo por efecto de la solución preservadora..	204
6.3.2.3. Longitud de capullo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	205
6.3.3. Forma de capullo.....	207
6.3.3.1. Forma de capullo por efecto de la variedad.....	207
6.3.3.2. Forma de capullo por efecto de la solución preservadora....	209
6.3.3.3. Forma de capullo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	209
6.3.4. Longitud de tallo floral.....	211
6.3.4.1. Longitud de tallo floral por efecto de la variedad.....	211
6.3.4.2. Longitud de tallo floral por efecto de la solución preservadora.....	213
6.3.4.3. Longitud de tallo floral por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	213
6.3.5. Longitud de entrenudos en el tallo floral.....	216
6.3.5.1. Longitud de entrenudos en el tallo floral por efecto de la variedad.....	216
6.3.5.2. Longitud de entrenudos en el tallo floral por efecto de la solución preservadora.....	217
6.3.5.3. Longitud de entrenudos en el tallo floral por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	218
6.3.6. Peso fresco de tallo.....	220
6.3.6.1. Peso fresco de tallo por efecto de la variedad.....	220
6.3.6.2. Peso fresco de tallo por efecto de la solución preservadora.....	221
6.3.6.3. Peso fresco de tallo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	222
6.3.7. Incremento relativo del peso fresco de tallo.....	224
6.3.7.1. Incremento relativo del peso fresco de tallo por efecto de la variedad.....	224
6.3.7.2. Incremento relativo del peso fresco de tallo por efecto de la solución preservadora.....	225
6.3.7.3. Incremento relativo del peso fresco de tallo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	226

	Página
6.3.8. Consumo de agua en tallos florales.....	229
6.3.8.1. Consumo de agua en tallos florales por efecto de la variedad.....	229
6.3.8.2. Consumo de agua en tallos florales por efecto la solución preservadora.....	230
6.3.8.3. Consumo de agua en tallos florales por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	231
6.3.9. Consumo relativo de agua.....	233
6.3.9.1. Consumo relativo de agua por efecto de la variedad.....	233
6.3.9.2. Consumo de agua por efecto la solución preservadora.....	234
6.3.9.3. Consumo relativo de agua por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	234
6.3.10. Curvatura del tallo floral.....	236
6.3.10.1. Curvatura del tallo floral por efecto de la variedad.....	236
6.3.10.2. Curvatura en el tallo floral por efecto de la solución preservadora.....	238
6.3.10.3. Curvatura en el tallo floral por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	239
6.3.11. Vida en florero.....	241
6.3.11.1. Vida en florero por efecto de la variedad.....	241
6.3.11.2. Vida en florero por efecto de la solución preservadora.....	243
6.3.11.3. Vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	243
6.4. Variables fisiológicas.....	245
6.4.1. Contenido de clorofilas al momento del corte y al último día en florero.....	245
6.4.1.1. Contenido de clorofilas al momento del corte y al último día en florero por efecto de la variedad.....	245
6.4.1.2. Contenido de clorofilas al último día en florero por efecto de la solución preservadora.....	246
6.4.1.3. Contenido de clorofilas el último día en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	248
6.4.2. Contenido de azúcares al momento del corte y al último día en florero.....	250
6.4.2.1. Contenido de azúcares al momento del corte y al último día en florero por efecto de la variedad.....	250
6.4.2.2. Contenido de azúcares al último día en florero por efecto por efecto de la solución preservadora.....	252
6.4.2.3. Contenido de azúcares al último día en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	252
6.4.3. Contenido de proteína al momento del corte y al último día en florero.....	254
6.4.3.1. Contenido de proteínas al momento del corte y al último día en florero por efecto de la variedad.....	254
6.4.3.2. Contenido de proteínas al último día en florero por efecto de la solución preservadora.....	255
6.4.3.3. Contenido de proteína al último día en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	256
6.4.4. Contenido de aminoácidos al momento del corte y al último día en florero.....	257

	Página
6.4.4.1. Contenido de aminoácidos al momento del corte y al último día en florero por efecto de la variedad.....	257
6.4.4.2. Contenido de aminoácidos al último día en florero por efecto de la solución preservadora.....	258
6.4.4.3. Contenido de aminoácidos al último día en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora...	259
VII. CONCLUSIONES.....	261
VIII. LITERATURA CITADA.....	262
CAPÍTULO V. SEÑALIZACIÓN CELULAR DEL LANTANO Y CONCENTRACIONES INTRACELULARES EN LAS PLANTA.	267
5.1. Señalización celular de lantano en plantas superiores.....	267
5.2. Propuesta de modelo de señalización celular de lantano.....	270
LITERATURA CITADA.....	272

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO I

	Página
Cuadro 1 Elementos tierras raras (REE), su descubrimiento y algunas de sus propiedades químicas.....	7

CAPÍTULO II

Cuadro 1 Características químicas de lantano y algunos nutrimentos esenciales.....	27
Cuadro 2 Tratamientos evaluados en tulipán con lantano en la solución nutritiva.....	35
Cuadro 3 Días a emergencia, expansión de hoja, floración y senescencia por efecto de la fuente (F), concentración (C) e interacción FxC en tulipán cv. Ile de France.....	39
Cuadro 4 Tasas de crecimiento relativo (TCR) y tasa de crecimiento absoluta (TCA) en tulipán cv. Ile de France según la fuente de lantano aplicado durante el ciclo de cultivo.....	41
Cuadro 5 Acumulación materia seca en los diferentes órganos y total en plantas de tulipán cv. Ile de France durante el ciclo de cultivo con diferentes concentraciones de lantano.....	46
Cuadro 6 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France a los 15 ddp (emergencia).....	61
Cuadro 7 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France a los 30 ddp (expansión de hoja).....	62
Cuadro 8 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France a los 45 ddp (floración).....	63
Cuadro 9 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France a los 60 ddp (senescencia).....	63
Cuadro 10 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en flor de tulipán cv. Ile de France a los 45 ddp (floración).....	64
Cuadro 11 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en flor de tulipán cv. Ile de France a los 60 ddp (senescencia).....	65
Cuadro 12 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France a los 15 ddp (emergencia).....	66
Cuadro 13 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France a los 30 ddp (expansión de hoja).....	66
Cuadro 14 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France a los 45 ddp (floración).....	67
Cuadro 15 Efecto del La ³⁺ sobre la concentración nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France a los 60 ddp (senescencia).....	67
Cuadro 16 Orden nutrimental promedio en los diferentes órganos de tulipán cv Ile de France.....	71
Cuadro 17 Concentración de La ³⁺ (mg kg ⁻¹ MS) por efecto de la fuente y concentración en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France...	72
Cuadro 18 Acumulación nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France 15 ddp (emergencia), en respuesta a la concentración de lantano.....	84

	Página
Cuadro 19	Acumulación nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France 30 ddp (expansión de hoja), en respuesta a la concentración de lantano..... 85
Cuadro 20	Acumulación nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France 45 ddp (floración), en respuesta a la concentración de lantano..... 85
Cuadro 21	Acumulación nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France 60 ddp (senescencia), en respuesta a la concentración de lantano..... 86
Cuadro 22	Acumulación nutrimental en flores de tulipán cv. Ile de France 45 ddp (floración), en respuesta a la concentración de lantano..... 86
Cuadro 23	Acumulación nutrimental en flores de tulipán cv. Ile de France 60 dds (senescencia), en respuesta a la concentración de lantano..... 87
Cuadro 24	Acumulación nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France 15 ddp (emergencia), en respuesta a la concentración de lantano..... 88
Cuadro 25	Acumulación nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France 30 dds (expansión de hoja), en respuesta a la concentración de lantano..... 89
Cuadro 26	Acumulación nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France 45 ddp (floración), en respuesta a la concentración de lantano..... 89
Cuadro 27	Acumulación nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France 60 ddp (senescencia), en respuesta a la concentración de lantano. 90
Cuadro 28	Acumulación de La^{3+} (μg) por efecto de la fuente y concentración en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France..... 91

CAPÍTULO III

Cuadro 1	Tratamientos evaluados en tulipán con lantano en la solución nutritiva..... 110
Cuadro 2	Altura de planta (cm) en cultivares de tulipán durante el ciclo de cultivo en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva..... 113
Cuadro 3	Altura de planta (cm) en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} 117
Cuadro 4	Longitud y diámetro de capullo en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva..... 118
Cuadro 5	Longitud y diámetro de capullo en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} 120
Cuadro 6	Longitud de tallo (cm) en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva..... 121
Cuadro 7	Longitud del tallo floral (cm) en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} 123
Cuadro 8	Diámetro de tallo basal, medio y superior en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva... 124
Cuadro 9	Diámetro de tallo basal, medio y superior en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} 126
Cuadro 10	Acumulación de biomasa fresca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva..... 127

	Página	
Cuadro 11	Acumulación de biomasa fresca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán en función de la concentración de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	129
Cuadro 12	Acumulación de biomasa fresca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	131
Cuadro 13	Acumulación de biomasa seca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	133
Cuadro 14	Acumulación de biomasa seca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán en función de la concentración de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	135
Cuadro 15	Acumulación de biomasa seca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	137
Cuadro 16	Consumo de agua (mL) durante la vida de florero en tallos de cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	139
Cuadro 17	Consumo de agua (mL) durante la vida de florero en tallos de cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	141
Cuadro 18	Peso fresco de tallos florales (g) durante la vida de florero de cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	142
Cuadro 19	Peso fresco de tallos florales (g) durante la vida de florero de cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	144
Cuadro 20	Vida en florero de tallos florales de cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	145
Cuadro 21	Vida en florero de tallos florales de cultivares de tulipán en función de la concentración de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	145
Cuadro 22	Vida en florero de tallos florales de cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	146
Cuadro 23	Contenido de clorofila a, b y total en hojas de cultivares tulipán al momento de corte (iniciales) en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	147
Cuadro 24	Contenido de clorofila a, b y total en hojas de cultivares tulipán al momento de corte (iniciales), por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	149
Cuadro 25	Contenido de clorofila a, b y total en hojas de cultivares tulipán al final de vida en florero (finales) en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	150
Cuadro 26	Contenido de clorofila a, b y total en hojas de cultivares tulipán al final de vida en florero (finales), por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	151
Cuadro 27	Contenido de azúcares iniciales (al momento del corte) y finales (final de vida en florero) en pétalos de cultivares tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	153

	Página
Cuadro 28	Contenido de azúcares iniciales (al momento del corte) y finales (final de vida en florero) en pétalos de cultivares tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} 156
Cuadro 29	Contenido de proteínas iniciales (al momento del corte) y finales (final de vida en florero) en hojas de cultivares tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva..... 157
Cuadro 30	Contenido de proteína en hojas cultivares tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} 159
Cuadro 31	Contenido de aminoácidos iniciales (al momento del corte) y finales (final de vida en florero) en hoja de cultivares tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva..... 160
Cuadro 32	Contenido de aminoácidos en hojas cultivares tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} 162

CAPÍTULO IV

Cuadro 1	Características agronómicas de 15 variedades de tulipán evaluadas en otoño-invierno 2009..... 180
Cuadro 2	Parámetros de firmeza de tallo en tulipán al momento del corte 184
Cuadro 3	Tratamientos probados para la conservación de tallos florales de tulipán..... 184
Cuadro 4	Diámetro de capullo en postcosecha de diferentes variedades de tulipán..... 200
Cuadro 5	Diámetro de capullo en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora..... 202
Cuadro 6	Longitud de capullo en postcosecha de diferentes variedades de tulipán..... 204
Cuadro 7	Longitud de capullo en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora..... 206
Cuadro 8	Forma de capullo en postcosecha de diferentes variedades de tulipán..... 208
Cuadro 9	Forma de capullo en tulipán por efecto de la solución preservadora..... 209
Cuadro 10	Forma de capullo en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora..... 210
Cuadro 11	Longitud de tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán..... 212
Cuadro 12	Longitud de tallo floral en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora..... 214
Cuadro 13	Longitud de entrenudo basal y apical en el tallo floral al momento del corte y al último día en florero de diferentes variedades de tulipán..... 216
Cuadro 14	Longitud de entrenudo basal y apical en el tallo floral a los 2 días después del corte (ddc) y en el último día en florero en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora..... 218
Cuadro 15	Peso fresco del tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán..... 220
Cuadro 16	Peso fresco del tallo floral en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora..... 222

		Página
Cuadro 17	Incremento relativo del peso fresco de tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.....	225
Cuadro 18	Incremento relativo del peso fresco de tallo floral en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	227
Cuadro 19	Consumo de agua en postcosecha de tallos florales de diferentes variedades de tulipán.....	229
Cuadro 20	Consumo de agua de tallos florales en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	231
Cuadro 21	Consumo relativo de agua del tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.....	233
Cuadro 22	Consumo relativo de agua del tallo floral en postcosecha en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	235
Cuadro 23	Curvatura del tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.....	237
Cuadro 24	Curvatura del tallo floral en postcosecha en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	240
Cuadro 25	Vida en florero de tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	244
Cuadro 26	Contenido de clorofila a, b y total en hoja de diferentes variedades de tulipán al momento del corte y al último día en florero.....	245
Cuadro 27	Contenido de clorofilas en hoja de tulipán al final de la vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	248
Cuadro 28	Contenido azúcares totales en pétalos de diferentes variedades de tulipán al momento del corte y al último día en florero.....	251
Cuadro 29	Contenido de azúcares totales en pétalos de tulipán al final de la vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	253
Cuadro 30	Contenido de proteína soluble total en hoja de diferentes variedades de tulipán al momento del corte y en el último día en florero.....	254
Cuadro 31	Contenido de proteína soluble total en hoja tulipán al final de la vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	256
Cuadro 32	Contenido de aminoácidos totales en hoja de diferentes variedades de tulipán al momento del corte y al último día en florero.....	258
Cuadro 33	Contenido de proteína soluble total en hoja tulipán al final de la vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.....	260

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

	Página
Figura 1	38
Figura 2	41
Figura 3	42
Figura 4	44
Figura 5	49
Figura 6	50
Figura 7	52
Figura 8	54
Figura 9	56
Figura 10	57

	Página
Figura 11	59
Figura 12	60
Figura 13	69
Figura 14	70
Figura 15	75
Figura 16	76
Figura 17	78
Figura 18	79
Figura 19	82
Figura 20	83

CAPÍTULO III

	Página	
Figura 1	Altura de plantas de tulipán Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) con distintas concentraciones de La^{3+} en diferentes fechas de evaluación. Cada subfigura representa los días después de la plantación (ddp) en el cv. Ile de France-en el cv. Christmas Dream. A: 8-8, B: 14-16, C: 20-24, D: 30-31, E: 35-39, F: 40-45. Barras del mismo cultivar con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la prueba LSD ($P \leq 0.05$).....	115
Figura 2	Longitud de capullo de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La^{3+} . Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	119
Figura 3	Diámetro de capullo de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La^{3+} . Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	120
Figura 4	Longitud de tallo de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), al momento del corte con distintas concentraciones de La^{3+} . Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	122
Figura 5	Diámetro de tallo en tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) al momento de corte con distintas concentraciones de La^{3+} . A: Basal, B: Medio y C: Superior. Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	125
Figura 6	Distribución de biomasa fresca en los diferentes órganos de cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	128
Figura 7	Distribución de biomasa fresca en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France (A) y cv. Christmas Dream (B) en función de la concentración de La^{3+} suministrada en la solución nutritiva.....	130
Figura 8	Distribución de biomasa fresca en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France (A) y Christmas Dream (B) por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	132
Figura 9	Distribución de biomasa seca en los diferentes órganos de cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.....	134
Figura 10	Distribución de biomasa seca en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France (A) y Christmas Dream (B) en función de la concentración de La^{3+} suministrada en la solución nutritiva.....	136
Figura 11	Distribución de biomasa seca en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France (A) y Christmas Dream (B) por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+}	138

Figura 12	Consumo de agua durante la vida en florero de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) con distintas concentraciones de La^{3+} . Días en florero: A. Tres; B. Cinco; C. Siete; D. Nueve; E. Once; F. Trece. Barras del mismo cultivar con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).....	140
Figura 13	Peso fresco del tallo floral durante la vida en florero de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) con distintas concentraciones de La^{3+} . Días en florero: A. Tres; B. Cinco; C. Siete; D. Nueve; E. Once; F. Trece. Barras del mismo cultivar con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).....	143
Figura 14	Contenido de clorofila a, b y total en hojas de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) al momento del corte (inicial), con distintas concentraciones de La^{3+} . Barras del mismo cultivar en cada subfigura con letras distintas, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	148
Figura 15	Contenido de clorofila a, b y total en hojas de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) al final de vida en florero (final), con distintas concentraciones de La^{3+} . Barras del mismo cultivar en cada subfigura con letras distintas, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	151
Figura 16	Contenido de azúcares en pétalos de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La^{3+} . A: al momento del corte (iniciales) y B: final de vida en florero (finales). Barras del mismo cultivar en cada subfigura con letras distintas, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	154
Figura 17	Contenido de proteínas en hojas de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La^{3+} . A: al momento del corte (iniciales) y B: final de vida en florero (finales). Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	158
Figura 18	Contenido de aminoácidos en hojas de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La^{3+} . A: al momento del corte (iniciales) y B: final de vida en florero (finales). Barras del mismo cultivar en cada subfigura con letras distintas, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	161

CAPÍTULO IV

Figura 1	Diagrama esquemático que muestra la forma de capullo en función del grado de apertura de tulipán en postcosecha.....	185
Figura 2	Representación esquemática de la curvatura de tallos florales en tulipán.....	186

	Página
Figura 3	187
Figura 4	190
Figura 5	193
Figura 6	194
Figura 7	195
Figura 8	197
Figura 9	199
Figura 10	201
Figura 11	205

	Página	
Figura 12	Longitud de tallo floral de tulipán en postcosecha con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	213
Figura 13	Longitud del entrenudo basal y apical en el tallo floral a los 2 días después del corte (2 ddc) y al último día en florero con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	217
Figura 14	Peso fresco del tallo floral de tulipán en postcosecha con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	221
Figura 15	Incremento relativo del peso fresco de tallo floral en con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	226
Figura 16	Consumo de agua de tallos florales con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	230
Figura 17	Consumo relativo de agua del tallo floral con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	234
Figura 18	Curvatura del tallo flora con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	239
Figura 19	Vida en florero de diferentes variedades de tulipán. Barras con letras distintas indican diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).	242
Figura 20	Vida en florero en tulipán con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	243
Figura 21	Contenido de clorofila a, b y total en hoja de tulipán al final de la vida en florero con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$	247

	Página
Figura 22	252
Figura 23	255
Figura 24	259

CAPÍTULO V

Figura 1	271
----------	-----

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Producción florícola: una visión general

1.1.1. Floricultura mundial

El cultivo de flores de corte es una de las actividades más rentables en el mundo. En particular, en la década de los ochentas la floricultura como empresa, empezó a desarrollarse en algunos países de América Latina, destacando Colombia, Ecuador y México. Posteriormente, países de otras regiones del mundo (Israel, India, Japón, Kenia, Marruecos, Costa de Marfil, Etiopía y Ruanda) se incorporaron al mercado global como oferentes de flores de corte (Musalem, 2006).

A nivel mundial se pueden distinguir dos tipos de producción de flores de corte en función de su calidad: aquellas para el mercado interno y aquellas dedicadas principalmente para el mercado de exportación. Los países que destinan su producción a satisfacer el mercado interno son China, Japón, India, Italia, México y Estados Unidos; mientras que, los principales países exportadores son Holanda (3 mil millones de dólares) y Colombia (700 millones de dólares) quienes en conjunto exportan más del 70% de las flores que se comercializan en el mundo. Las exportaciones de Holanda prácticamente se van al mercado Europeo, seguida del mercado norteamericano y en menor proporción para Asia. En Colombia la gran parte de sus ventas se destinan a Estados Unidos y en segundo lugar hacia Europa. Así, generalmente los productores de Asia destinan su producción al mercado europeo, los del sureste asiático hacia Japón, los del Centro y Sudamérica hacia Canadá, Estados Unidos y en menor medida a Europa. Sin embargo, el mercado internacional ha visto el surgimiento de numerosos oferentes de flores, sin importancia significativa, como Israel, cuyas exportaciones se dirigen principalmente a Holanda, otros países europeos y Estados Unidos; también está España, cuyas ventas se realizan en países europeos. Zimbabue, Uganda, Tanzania y Zambia realizan sus exportaciones principalmente hacia Holanda y otros países europeos (AIPH, 2004).

En 2004 se cultivó una superficie de casi 365 mil ha a nivel mundial con flores de corte y plantas de maceta; de éstas, el 68% se cultivan en Asia, el 14% en América (7% en América del Norte y 7% en Centro y Sudamérica), en Europa el 16%, y el 2% en África.

El valor de la producción mundial de flores de corte y de maceta se ubica cerca de los 68.2 mil millones de dólares (Musalem, 2006).

La demanda de flores depende del nivel de ingresos de la población. Los países industrializados tienden a comprar una mayor cantidad de flores y sus exigencias son mayores en cuestiones de calidad e innovación, entre otras características. Así por ejemplo, existen países en Europa cuyo consumo per cápita de flores supera los 50 dólares por año, mientras que en otros no llega a 10 dólares. El consumo per cápita durante el año 2000 en México fue cerca de 10 dólares al año. Para 2008 bajó a 8 dólares (Cárdenas, 2009). Los principales países importadores son Alemania, Reino Unido y Estados Unidos con 1048, 1005 y 880 millones de dólares, en su conjunto compran poco más del 50% de las flores que se comercializan en el mundo (5447 millones de dólares) (AIPH, 2004).

1.1.2. Floricultura nacional

En México la producción comercial de flores de corte se inició en la década de los cuarenta con la familia japonesa Matsumoto y los españoles Barto, quienes trajeron rosales, crisantemos, claveles, anturios, gladiolos y tulipanes (Álamos *et al.*, 2009). Posteriormente, el cultivo de flores en México pasó de ser una tradición a una actividad rentable, con potencial de crecimiento tanto en el mercado interno como en el exterior; prueba de ello, es que en el año 2008 se destinaron 16 268 ha a la producción de flores, lo que significó un incremento de 950 ha en comparación con el año 2007 (Cárdenas, 2008). Sin embargo, pese al potencial productivo con el que cuenta México en el sector florícola, su participación en el mercado internacional es reducida, estimándose las exportaciones en menos del 1% del total mundial, siendo Estados Unidos el principal mercado donde va más del 90% del volumen de la exportaciones (aproximadamente 18 millones de dólares para el 2005), seguido de otros países como Canadá, Japón, Panamá y algunos países europeos (Cárdenas, 2009).

En México, el 92% de la producción de cultivos ornamentales se concentra en cinco estados: Estado de México (74%); Morelos (5%); Puebla (5%); Sinaloa (4%) y Baja California (4%). No se cuenta con información del Distrito Federal y estados como Colima, Chiapas, Michoacán y Veracruz, donde a pesar de ser centros de

comercialización del país, en ocasiones tienen aportes al volumen de exportación (SEDAGRO, 2006).

En el país se calcula que existen aproximadamente 10 mil productores, de los cuales 95% son pequeños y medianos y el resto son tecnificados, generándose 150 mil empleos permanentes directos, 200 mil permanentes indirectos y 50 mil estacionales (Cárdenas, 2009). La mayor producción se obtiene a cielo abierto (93%) y el resto se hace bajo condiciones controladas (7%).

En el Estado de México, ya sea bajo cielo abierto (88%) o en invernadero (12%), la superficie cultivada con flores ha aumentado durante la última década (entre el año 1994 y 2004 la superficie cultivada creció en (37%), resaltando la importancia que tiene la actividad florícola dentro de la economía del estado y también la buena aceptación que va adquiriendo el producto mexicano en el consumidor (Orozco y Martínez, 2003).

El Estado de México aporta el 44% la superficie total nacional y 74% de la producción. Su superficie cultivada es de 5 864 ha produciendo alrededor de 24.3 millones de gruesas, 14.3 millones de macetas y 5.3 millones de manojos, lo que equivale a 3 046 millones de pesos. Los principales municipios productores son Villa Guerrero (57%), Tenancingo (12%) y Coatepec de Harinas (10%) con 20.7, 4.3 y 3.6 millones de toneladas de flores, respectivamente. El 90% de la producción es destinada a satisfacer el mercado nacional y se comercializa principalmente en las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey; sólo el 10% es destinado a la exportación, principalmente a Estados Unidos (Cárdenas, 2009).

1.1.3. Principales especies cultivadas

En México se producen alrededor de 50 especies diferentes de flores. Las principales son rosas, gladiolas, claveles y crisantemos, que representan el 56% de la superficie cultivada y el 84% de la producción de flores. Algunas de las especies más cultivadas a cielo abierto son gladiola (*Gladiolus* spp. L.), clavel (*Dianthus caryophyllus*), crisantemo (*Chrysanthemum* spp.), nardo (*Polianthus tuberosa*), girasol (*Helianthus annuus* L.), ave de paraíso (*Strelitzia reginae*), agapando (*Agapanthus umbellatus*), estátice (*Limonium sinuatum*), nube (*Gypsophila paniculata*) y alhelí (*Matthiola incana*), entre

otras. El cultivo en túnel o microtúnel posibilita la obtención de un producto de mayor calidad que a cielo abierto con una inversión mínima.

Las especies más cultivadas son clavel (*Dianthus caryophyllus*), crisantemo (*Chrysanthemum* spp.), solidago (*Solidago virgaurea*), alstroemeria (*Alstroemeria aurantiaca*) y aster (*Aster alpinus*). Bajo el sistema semi-tecnificado se desarrolla: rosa (*Rosa* spp.), gerbera (*Gerbera jamesonii*), liliium (*Lilium candidum*), limonium (*Limonium sinuatum*), solidago (*Solidago virgaurea*), aster (*Aster alpinus*), gypsophilia (*Gypsophila paniculata*), lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) y liatris (*Liatris spicata*). Con sistema tecnificado se cultiva la rosa (*Rosa* spp.), gerbera (*Gerbera jamesonii*), liliium (*Lilium candidum*), limonium (*Limonium sinuatum*), solidago (*Solidago virgaurea*), aster (*Aster alpinus*), lisianthus (*Eustoma grandiflorum*), orquídea (Familia Orquidaceae), alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*), hypericum (*Hypericum calycinum*), snapdragon (*Antirrhinum majus*), ruscus (*Ruscus aculeatus*) y gypsophilia (*Gypsophila paniculata*) (Musalem, 2006).

A pesar de la gran variedad de flores que se pueden producir en México, el comercio exterior está centrado en un número reducido de éstas, destacando las siguientes: rosa (*Rosa* spp.), gladiola (*Gladiolus* spp. L.), estátice (*Limonium sinuatum*), margarita (*Chrysanthemum leucanthemum*) y clavel (*Dianthus caryophyllus*). Sin embargo, existen especies que por sus características y condiciones de México pueden introducirse como nuevas alternativas o bien incrementar su producción tal es el caso del iris (*Iris germanica*), delphinium (*Delphinium ajacis*), anturio (*Anthurium andreanum*), snapdragon (*Antirrhinum majus*), aster (*Aster alpinus*), hypericum (*Hypericum calycinum*), dalia (*Dahlia* spp.), hortensia (*Hydrangea macrophylla*) y tulipán (*Tulipa* spp.) (Cárdenas, 2009).

1.2. El tulipán

1.2.1. Características generales y producción

El tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) es una monocotiledónea de la familia Liliaceae (Soriano, 1991). El centro de origen se localiza principalmente en el área mediterránea y el noreste asiático, aunque la mayoría de las variedades cultivadas actualmente proceden de las regiones montañosas de Asia menor, Persia, el Cáucaso y Turdetania.

Es una planta bulbosa herbácea con un corto periodo de floración, normalmente en invierno. El bulbo corresponde al órgano de reserva y multiplicación, y está formado por un tallo axial, corto y carnoso cuya parte inferior se denomina placa basal, a partir de la cual se desarrollan raíces adventicias. El tallo superior o ápice es el que envuelve a un meristemo recubierto con dos a seis escamas gruesas. El bulbo consta de dos escamas exteriores secas (túnicas) que lo protegen de daños mecánicos o de la deshidratación y de escamas interiores carnosas (láminas), cuya función es almacenar sustancias de reserva; entre éstas hay yemas laterales que dan origen a bulbos hijos. Las hojas son escasas (1 a 4) de color verde grisáceo, algo carnosas, carecen de peciolo, nacen de la parte baja de la planta. Las flores son solitarias formada por seis segmentos libres dispuestos en dos verticilios; el androceo consta de seis estambres y el estigma es trilobado. El fruto es una cápsula (Pecchi, 2000).

Es la bulbosa más popular ya que ocupa una superficie mundial aproximada de 12 mil ha de las cuales el 87% se ubican en Holanda. Destacan también Reino Unido, Estados Unidos, Japón, Polonia y Francia. En el hemisferio sur, Australia y Chile son los principales productores. Se cultiva con dos objetivos principales: una dedicada a la producción de bulbos o propagación, y la otra a la producción de flores a partir de bulbos comerciales; se emplea en la decoración de áreas verdes o como cultivo en maceta y flor de corte (Cirielli, 1998).

La producción mundial de tulipán para flor de corte en 2007 fue de 1 328 millones de tallos (14% de la producción de flores de corte), con un valor aproximado de 239 millones de dólares (Cárdenas, 2009), cifras que nos muestran la importancia económica de esta especie.

En México su cultivo es escaso, pero bien cotizado con un amplio mercado nacional. El valor de la flor en el país es elevado, y equivale aproximadamente 1.6 dólares (20 pesos) en comparación con el valor medio mundial que es de 0.2 dólares (2.5 pesos) (Plasmeijer y Yanai, 2007). El elevado costo en México se debe a que no existe la producción de bulbos comerciales y se requiere su importación, además de que la planta es muy susceptible a cambios de temperatura, luz y humedad relativa. La fertilización de esta especie y la interacción entre nutrimentos es diferente a los cultivos tradicionales y presenta una serie de desórdenes fisiológicos que disminuyen su vida

postcosecha. Dentro de los elementos benéficos uno que tiene poca o nula aplicación en la agricultura de México es el lantano (La^{3+}), que al suministrarse en bajas concentraciones al suelo, vía foliar o en solución nutritiva afecta el comportamiento fisiológico y bioquímico vegetal, originando una mayor producción de materia seca y rendimiento en distintos cultivos (Asher, 1991); en especies florícolas mejora la absorción nutrimental, crecimiento e iniciación floral y disminuye problemas en postcosecha (Suzuki *et al.*, 2001; He y Loh, 2000; Kim *et al.*, 2005).

1.3. Lantano

1.3.1. Características e historia

La tabla periódica actualmente contiene 118 elementos (Karol *et al.*, 2003) de los cuales 17 (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, B, Mo, S, Cl) son considerados esenciales para todas las plantas. Elementos como sodio (Na), níquel (Ni) y silicio (Si) son benéficos en algunas plantas bajo ciertas condiciones (Asher, 1991; Epstein y Bloom, 2005). Otros elementos se han encontrado en el tejido vegetal, pudiendo en un futuro agregarse a la lista de elementos benéficos para algunas plantas, como ha sido el caso del aluminio (Al), cerio (Ce) y lantano (La) (Asher, 1991).

El La^{3+} fue descubierto por el químico sueco Carl Gustaf Mosander en el año de 1839, al calentar nitrato de Ce, extrajo una sal que al tratarla con un ácido fuerte (níttrico) quedó un residuo insoluble. La parte soluble con propiedades diferentes, enmascaraba una tierra diferente que denominó Lanthana derivada del verbo griego *lanthanein* que significa “escondido” ya que el mineral se encontraba oculto en el mineral de Ce.

El lantano presenta un número atómico de 57, peso atómico de $138.91 \text{ g mol}^{-1}$; tiene una densidad de 6.17 g cm^{-3} , punto de fusión y ebullición de 920 y 3470 °C, respectivamente, y un radio iónico de 1.15 \AA (Evans, 1990). Junto con otros elementos forma parte del grupo III de la tabla periódica denominados lantánidos. Este grupo de elementos tiene un estado de oxidación (EO) más frecuente es el trivalente (3+) y están constituidos por 17 elementos (Cuadro 1), que poseen un comportamiento químico análogo, aunque sus propiedades físicas son muy diferentes.

Cuadro 1. Elementos tierras raras (REE), su descubrimiento y algunas de sus propiedades químicas (Puche *et al.*, 2000; Hu *et al.*, 2004).

Elemento y símbolo	Descubridor	Año	Origen del nombre	Número atómico	Peso atómico (g mol ⁻¹)	Radio iónico (Å)
Itrio (Y)	Gadolin	1794	Poblado de Ytterby, Suecia	39	88.905	0.88
Cerio (Ce)	Berzilius y Lisinger	1803	Ceres, un asteroide descubierto en 1801	58	140.120	1.034, 0.92 (Ce ⁴⁺)
Lantano (La)	Mosander	1839	Del griego <i>lanthanein</i> , que permanece oculto	57	138.910	1.061
Terbio (Tb)	Mosander	1843	Poblado de Ytterby, Suecia	65	158.924	0.923
Erbio (Er)	Mosander	1843	Poblado de Ytterby, Suecia	68	167.260	0.881
Tulio (Tm)	Cleve	1878	De Thule, región norte de origen romano	69	168.934	0.869
Yterbio (Yb)	Marignac	1878	Poblado de Ytterby, Suecia	70	173.040	0.858
Samarium (Sm)	de Boisbaudran	1879	De samarkita, nombre de origen ruso "Samarski"	62	150.350	0.964
Holmio (Ho)	Soret, Cleve	1879	Del latín <i>Holmia</i> , Estocolmo	67	164.930	0.894
Escandio (Sc)	Nilson	1879	Escandinavia	21	44.956	0.68
Gadolinio (Gd)	Marignac	1880	En honor al Químico Gadolin	64	157.250	0.938
Praseodimio (Pr)	von Welsbach	1885	Del griego <i>prasios</i> , verde, doble	59	140.907	1.0113
Neodimio (Nd)	von Welsbach	1885	Del griego <i>neo</i> , nuevo	60	144.240	0.995
Disprosio (Dy)	de Boisbaudran	1886	Del griego <i>dysprositos</i> , material resistente	66	162.500	0.908
Europio (Eu)	Crookes	1889	Europa	63	151.960	0.950, 1.09 (Eu ²⁺)
Lutecio (Lu)	von Welsbach, Urbain	1908	Del latín <i>Lutetia</i> , Paris	71	174.970	0.848
Prometio (Pm)	Marinsky, Glendenin, Coryell	1947	Del Dios Prometheus, "Dios con estola de fuego"	61	Isótopos 141-15	0.979

1.3.2. Concentración del lantano y elementos tierras raras en el suelo

En condiciones naturales los REE están extensamente dispersos en muchos minerales primarios y secundarios, tales como fosfatos, carbonatos, fluoruros y silicatos (especialmente pegmatitas y granitos). Se encuentra también en rocas ígneas metamórficas (Tyler, 2004). El contenido promedio en la corteza terrestre es aproximadamente de 0.015% (150 mg kg⁻¹) igual a lo mostrado por el cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) y mucho más alto que el estaño (Sn), cobalto (Co), plata (Ag) y mercurio (Hg) (Tyler, 2004). Los principales REE son Ce, Y, Nd y La, con una concentración en el suelo de 46, 28, 24 y 28 mg kg⁻¹, respectivamente. El Ce y el Y se encuentra en mayor proporción en la corteza que el Pb, molibdeno (Mo) o arsénico (As); mientras que el La o Nd se presentan en cantidades similares al Pb. De los REE el que se encuentran en menor cantidad es el Tm con 0.2 mg kg⁻¹; sin embargo, supera al oro (Au), platino (Pt) y yodo (I) (Brown *et al.*, 1990).

Los suelos arcillosos contienen mayor cantidad de REE que los arenosos; sin embargo, en ambos se pierden por erosión y lixiviación. Los microorganismos y el contenido de materia orgánica ayudan a controlar estos procesos, debido a que grupos orgánicos con carga negativa forman complejos con REE, especialmente con cationes trivalentes (Hu *et al.*, 2004). Otros factores que influyen en el contenido y disponibilidad de REE son: pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), humedad, contenido de fosfatos y sulfatos y potencial redox (Tyler, 2004). La adsorción de La³⁺ depende de la CIC y pH (Jones, 1997). Wen *et al.* (2002) encontraron una mayor concentración de La disponible al disminuir el valor del pH.

La fuerte afinidad por oxígeno y fosfato, explica la alta incidencia de REE en compuestos fosfatados, en la roca fosfórica comercial (usada para la producción de ácido fosfórico, fósforo elemental y fertilizantes fosfatados). El contenido de REE expresado como óxido de elementos raros (REO) es de 0.015% en Marruecos, 0.14% en Túnez, 0.29% en Estados Unidos, 0.21% en Rusia y 0.58% en el sur de África. Las reservas totales de REE en el mundo son estimadas en 100 millones de Mg de REO. China ocupa el primer lugar con el 43%, del que se extrajeron de minas tan sólo en el año 2000, 73 000 ton de REO; mientras que en el año 2001, esta cifra alcanzó las

75 000 ton, correspondiendo al 87 y 90% de la producción mundial, respectivamente (Hu *et al.*, 2004).

1.3.3. Absorción de lantano y elementos tierras raras

La información sobre la absorción, traslocación y acumulación de REE ayuda a comprender los efectos fisiológicos que provocan estos elementos dentro de la planta.

Después de la aplicación de REE a las plantas, éstos pueden ser absorbidos principalmente vía raíz; no obstante, también puede ocurrir a través de las hojas cuando se aplican vía foliar (Fashui *et al.*, 2000).

Brown *et al.* (1990) observaron en el suelo la mejor absorción de REE cuando se adicionaron junto a fertilizantes nitrogenados y potásicos, mientras que con fosfatados disminuyó. Además, los quelatos en el suelo influyen en la absorción de REE. Actualmente no se ha establecido con precisión si los REE atraviesan o no la pared celular (Gao *et al.*, 2003). Cosgrove (1997) señala que los REE se absorben como iones y como tal pueden quedar “atrapados” en la pared celular reduciendo la concentración de éstos en el medio, y adicionalmente se inhibe su transporte a través de la membrana plasmática. Sin embargo, Liu y Hasenstein (2005), encontraron un mayor crecimiento radical en maíz debido a la estabilización del citoesqueleto provocado por la entrada de La^{3+} a la célula. Cuando los REE son absorbidos pasan a los tejidos vasculares de la raíz y de éstos al vástago a través del flujo de agua. En algunos REE se limita su movilidad debido a que se unen en el tejido vascular a iones no difusibles como el COOH; esta unión dependerá del número atómico del elemento, por lo que existen diferencias cuando se adiciona un sólo elemento o una mezcla de REE (Xu *et al.*, 2003).

En colza (*Brassica napus* L.) bajo condiciones de hidroponía y suministrando Nd se encontró la acumulación de este elemento en la pared celular y espacios celulares radicales y la mayor distribución se mostró en raíz; en el vástago tal acumulación fue menor. Con lantano la distribución fue diferente, debido a que éste si penetró a través de las paredes celulares. Huang *et al.* (2001) encontraron La^{3+} en raíces de soya sólo en las membranas celulares. En lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), cuando se aplica

La³⁺ vía foliar se absorbe por los estomas o cutícula, por tanto, su acumulación es mayor en hoja, seguida de tallo y raíz (Chua, 1998).

1.3.4. Concentración y distribución de lantano y tierras raras en plantas

La concentración de REE en plantas vasculares es baja y representan diferencias entre especies. No hay una concentración “típica” de REE, pues en algunas plantas la concentración es muy baja (expresada en nanogramos g⁻¹ de materia seca); en otras, se presentan valores altos de concentración (Hu *et al.*, 2004). De igual modo, concentraciones bajas se han reportado en granos como arroz (*Oryza sativa* L.) y trigo (*Triticum aestivum* L.) (Sun *et al.*, 1994) y vegetales como calabaza (*Cucurbita pepo* L.) (Bibak *et al.*, 1999) con valores que oscilan entre 10⁻⁴ a 10⁻² µg g⁻¹. En maíz (*Zea mays* L.), la concentración de La³⁺ es de 0.12 y 0.52 µg g⁻¹ en vástago y raíz, respectivamente. En frijol chino (*Vigna unguiculata*), la concentración de La³⁺ fue de 0.17 y 0.73 µg g⁻¹ en vástago y raíz, respectivamente (Diatloff *et al.*, 2008). En trigo oscila entre 0.12 y 0.43 µg g⁻¹ para vástago, y entre 1.1 y 10.0 µg g⁻¹ en raíz (Zhang y Shan, 2001). En mostaza es de 6.0 y 500 µg g⁻¹ en vástago y raíz, respectivamente (Xiong *et al.*, 2006). En vástago de arroz se han registrado concentraciones de La³⁺ entre 0.35 y 0.49 µg g⁻¹ (Zeng *et al.*, 2006).

La relación planta/suelo (factor de transferencia) de REE oscila entre 0.04 a 0.09, es decir, de 1 mg en la planta hay entre 25 y 11 mg en el suelo (Tyler y Olsson, 2001). Hu *et al.* (2004) reporta un factor de transferencia de 0.02 a 0.03.

La distribución de REE entre los principales órganos de la planta presenta diferencias considerables, siendo la raíz el órgano que presenta la concentración más alta. Raíces de maíz y vigna en condiciones de hidroponía acumularon de 10 a 150% más lantano que el vástago (Diatloff *et al.*, 1995). Resultados similares se observaron en trigo (Zhang y Shan, 2001), frijol (von Tucher *et al.*, 2001) y mostaza (Xiong *et al.*, 2006). En maíz, arroz y trigo presenta una distribución de REE como sigue: raíz>hoja>tallo>grano o fruto (Li *et al.*, 1998; Wen *et al.*, 2001; Xu *et al.*, 2002). Sin embargo, hay variaciones entre los diferentes elementos tierras raras (Wei *et al.*, 2001).

Por ejemplo, generalmente los REE ligeros (peso atómico menor a 153) presentan la siguiente distribución: hoja>raíz>tallo>pecíolo y los REE pesados (peso atómico mayor

a 153) la distribución siguiente: raíz>tallo>hoja>pecíolo (Wei *et al.*, 2001); es pertinente indicar que este patrón presenta diferencias entre especies y en función del método de aplicación. Hong *et al.* (2000), encontraron una mayor concentración de REE en hoja cuando el suministro de REE fue foliar, siendo 10 veces mayor en comparación el suministro a la raíz, 100 veces más que en tallo y 3000 veces más que en grano.

1.3.5. Aplicación de lantano y elementos tierras raras en la agricultura

Los primeros reportes sobre el efecto de los REE en el crecimiento de la planta fueron publicados por científicos rusos, rumanos y búlgaros a principios del siglo XIX, quienes encontraron efectos en su mayoría positivos. En 1972, la investigación sistemática comenzó en China y presentó un gran impacto práctico en la agricultura (Guo *et al.*, 1988). Poco después se reportó mayor crecimiento en varias especies con bajas concentraciones de lantánidos, iniciando así el uso comercial de los REE en la agricultura en ese país. Estos experimentos despertaron el interés de otros países, especialmente de aquellos que poseían grandes cantidades naturales de REE, como Australia. Sin embargo, la información sobre el uso agrícola de REE comenzó a estar disponible a nivel internacional hasta la década de los noventa, incluso actualmente la información es poco accesible ya que la mayoría de los informes se escriben en idioma original, además con frecuencia faltan detalles de los métodos experimentales. Así, el conocimiento sobre la efectividad de la aplicación de REE para la producción de los cultivos es contradictorio. Por lo tanto, es necesario generar información más detallada y verificar lo realizado en otros países.

Actualmente en la literatura se reportan efectos positivos, negativos e incluso en algunos casos no hay respuesta a la aplicación de REE. Estas diferencias son atribuidas a la dosis y forma de aplicación, propiedades físicas y químicas del suelo, interacción con otros nutrientes y tipo de cultivo.

Se ha reportado que la aplicación de La^{3+} y de otros REE, ya sea al suelo, solución hidropónica o vía foliar, disueltos en agua a la semilla e incluso adicionados a herbicidas, incrementan la acumulación de materia seca, rendimiento y calidad en cereales como: maíz (*Zea mays* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), avena (*Avena sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.); cultivos ricos en azúcares

como caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y remolacha (*Beta vulgaris* L.); cultivos industriales como caucho (*Ficus elastica* Roxb.), tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), soya (*Glycine max* L.), cacahuate (*Arachis hypogaea* L.), algodón (*Gossypium hirsutum* L.), lino (*Linum usitatissimum*) y colza (*Brassica napus* L.). En frutas como manzana (*Pyrus malus* L.), sandía (*Citrullus vulgaris* L.), melón (*Cucumis melo*), pepino (*Cucumis sativus* L.), uva (*Vitis vinifera* L.), grosella (*Ribes rubrum*), plátano (*Musa paradisiaca*) y naranja (*Citrus sinensis* L.); vegetales como papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Physalis ixocarpa* Brot.), col (*Brassica oleracea* L.), calabaza (*Cucurbita pepo* L.) y hongos comestibles (*Pleurotus ostreatus*); forrajeras como alfalfa (*Medicago sativa* L.), pasto ballico (*Lolium multiflorum*) y centeno (*Secale cereale*); especies silvícolas como pino (*Pinus sylvestris* L.), álamo (*Populus* sp.); ornamentales como cempasúchil (*Tagetes erecta*), perritos (*Antirrhinum majus*) y tulipán (*Tulipa* spp.) y otros como *Arabidopsis thaliana* han mostrado incrementos del 8 a 50 % (Tribe *et al.*, 1990). Sin embargo, lo típico es de 5 a 15% (Xiong, 1995).

En trigo se observó un incremento en la materia seca de vástago cuando se aplicaron 2 mg REE kg suelo⁻¹. Un suministro mayor no presentó cambios (Zhang y Shan, 2001). Jie y Yu (1985), reportan un incremento en el volumen radical (12.2%) y peso seco (20%) después de la aplicación de REE. Al sumergir la semilla en 1.1., 2.2, 5.5, 11, 55 y 110 g de REE L⁻¹ (CeCl₃ + Nd(NO₃)₃) por 45 min fue mayor la materia seca en vástago, oscilando entre 17.9 a 21.7 en comparación con el testigo. Aplicando 600 g de REE (La, Ce, Pr y Nd), ha⁻¹ año⁻¹ durante 10 años el rendimiento de grano se incrementó entre el 4 y 10% (Hong *et al.*, 1996).

d'Aquino *et al.* (2009) mencionan que diferentes concentraciones de REE no afectaron la duración y porcentaje de germinación, así como la acumulación de materia seca en vástago; sin embargo, con 0.01 y 0.1 mM de REE fue mayor el crecimiento radical en las plántulas. Resultados similares reportan Zeng *et al.* (1999), quienes encontraron una mayor longitud radical al aplicar de 5 a 10 mg L⁻¹ de REE en la solución nutritiva.

En maíz, un incremento en la producción de granos de 8.5 a 18.5 se observó con la aplicación de REE (Xiong *et al.*, 2000). Cui y Zhao (1994) disolviendo REE (Nd(NO₃)₃ y La(NO₃)₃) en agua y aplicándolo a la semilla de maíz se incrementó en 15.4 % el índice de área foliar y el rendimiento. Zeng *et al.* (1999) concluyeron que la mejor

concentración para un mayor crecimiento radical en trigo fue de 0.005 a 001 mg L⁻¹ de REE en solución. En soya según Xiong *et al.* (2000) y Qiao y Zhang (1989) el rendimiento se incrementa en 8.9 y 8.1%, respectivamente con la aplicación de REE.

También se ha encontrado que semillas sumergidas en solución con REE presentan una mejor germinación, incrementándose del 4.4 a 9.6% (Xiong *et al.*, 2000). Los mejores resultados de acuerdo con Zhu y Wu (1982) se presentaron con 1 a 10 mg L⁻¹ de REE en solución, al obtener entre 74 y 94% de germinación en semilla de soya. Zeng *et al.* (1999) en condiciones de hidroponía reportaron el mayor crecimiento radical con 5 mg L⁻¹ de REE. Chen (1991) observó una mayor y mejor formación de nódulos y por tanto una fijación de N más alta con la aplicación de REE.

En pepino la aplicación foliar de 0.1% de REE incrementó el número de frutos (en promedio 5.8 %) y el rendimiento (en 0.67 kg) por planta. En tomate el comportamiento fue similar, ya que al aplicar vía foliar una concentración de 0.1 y 0.2 % de REE el rendimiento fue mayor en 11.7 y 10.3 %, respectivamente (Järvan, 2001). Con la aplicación foliar de 10 a 1000 µg L⁻¹ de REE en colza el rendimiento se incrementó, siendo la dosis óptima 500 µg L⁻¹ (Ren y Xiao, 1987). En diversos cultivos se ha encontrado que la aplicación de REE mejora la fotosíntesis e incrementa el crecimiento de los cultivos bajo condiciones de estrés como sequía (Ning, 1994) y salinidad (Gou *et al.*, 1993), debido a que se incrementa la actividad de enzimas antioxidantes (Ning, 1994; Guo *et al.*, 1993).

La inmersión de semillas de chícharo en soluciones con REE en concentraciones de 1.1 y 2.2 g L⁻¹ durante 3.5 h, incrementó el contenido de materia seca entre 13 y 27 %, en el rendimiento de vaina verde el incremento fue entre 18.7 a 21.8 % respectivamente (Järvan, 2001).

Por otro lado, se ha observado que el suministro de La³⁺ en la solución nutritiva en concentraciones menores a 10, 30 y 40 mg L⁻¹ en los cultivos de trigo, colza y arroz, respectivamente, estimula el crecimiento (Xiong y Zhang, 1997). Perverill *et al.* (1997) mencionan que de 3.5 a 72 µmol L⁻¹ de lantano se incrementa la producción de materia seca en 90, 38 y 78% en cebada, canola y ballico, respectivamente. La concentración en trigo que incrementó la longitud de raíz y crecimiento de vástago fue de 0.5 mg La³⁺ L⁻¹ (Hu *et al.*, 2002). Pang *et al.* (2002), reportaron el mayor crecimiento de vástago en

trigo con 0.05 g L^{-1} de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, particularmente a los cinco días después de la aplicación. En experimentos de campo un incremento del 11% en el rendimiento se reportó al suministrar 500 g La ha^{-1} como LaCl_3 (Maheswaran *et al.*, 2001).

En cebada en invernadero, se suministraron 5 y 10 kg $\text{La}^{3+} \text{ ha}^{-1}$, observándose incrementos del 10 y 17% para biomasa fresca, 12.5% en biomasa seca y 6 a 10% para altura de planta; con 5 kg de La ha^{-1} se registró un incremento en la longitud de hoja. En varias localidades el mayor contenido de materia seca fue con dosis que oscilaron entre 1 y 20 kg ha^{-1} de La^{3+} (Meehan *et al.*, 1996). En campo el mejor rendimiento fue con $250 \text{ g La}^{3+} \text{ ha}^{-1}$; en otro experimento éste se mostró con dosis entre 62.5 y 250 g $\text{La}^{3+} \text{ ha}^{-1}$ (Maheswaran *et al.*, 2001). Este mismo autor recomienda aplicar vía foliar y al suelo dosis de $667 \text{ g La}^{3+} \text{ ha}^{-1}$ y de $1 \text{ kg La}^{3+} \text{ ha}^{-1}$, respectivamente, para obtener un mayor rendimiento.

En canola establecida en invernadero y utilizando sustrato inerte, se incrementó la producción de materia seca de vástago y el área foliar, cuando se suministraron dosis de lantano de 5 y 10 mg $\text{La}^{3+} \text{ L}^{-1}$ (Meehan *et al.*, 1996). Xiong *et al.* (2006) encontró la mayor longitud de raíz en plantas colza cuando fueron tratadas con $0.25 \text{ mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$; mientras que la materia seca fue más alta con 1 y 5 mg $\text{La}^{3+} \text{ L}^{-1}$. Con la aplicación foliar, el mayor rendimiento fue con 1 334 y 2 666 kg $\text{La}^{3+} \text{ ha}^{-1}$.

En arroz, una concentración de La^{3+} de 0.05 a 150 mg L^{-1} , incrementó el rendimiento por planta debido al mayor número de granos. Dosis menores a 0.75 mg L^{-1} favorecieron el crecimiento de vástago y la raíz (Xie *et al.*, 2002). En maíz, frijol y vigna no se encontraron diferencias significativas en la acumulación de materia seca en vástago y raíz con el suministro de La^{3+} en pequeñas concentraciones a la solución nutritiva (von Tucher y Schmidhalter, 2005; Diatloff *et al.*, 2008; von Tucher *et al.*, 2001). Hu *et al.* (2006) encontraron una mayor longitud, biomasa seca de raíz y vástago con $0.10 \text{ g La}^{3+} \text{ kg}^{-1}$ suelo. Liu y Hasenstein (2005) observaron una mayor tasa de crecimiento radical con dosis de $1 \text{ }\mu\text{M}$, $100 \text{ }\mu\text{M}$ y 1 mM de La^{3+} en maíz.

El lantano, además de modificar la morfología de la planta, también influye en diversos procesos fisiológicos como: fotosíntesis, contenido de cloroplastos, clorofila y enzimas y absorción nutricional (Zeng *et al.*, 2000; Shi *et al.*, 2006; Fashui *et al.*, 2005; Chen *et al.*, 2001).

Aunque el suministro de REE y en particular de lantano, incrementa la productividad de los cultivos, en algunos casos se han encontrado efectos tóxicos de estos elementos, relacionados de manera general con la dosis y vía de administración. Zeng *et al.* (1999) encontraron que concentraciones mayores a 100 ppm de REE disminuyeron el crecimiento radical en trigo, maíz, soya y pepino. Por otra parte, Järvan (2001) encontró en trigo un menor número de tallos y un peso de materia seca más bajo al sumergir la semilla en concentraciones mayores a 5.4 g REE L⁻¹. Con la aplicación foliar de 0.5 % de REE, Diatloff *et al.* (1996) reporta daños a las hojas en maíz y vigna (quemaduras y necrosis), lo que causó una disminución en la producción de materia seca en 17 y 27%, respectivamente. Diatloff *et al.* (1999) reportaron que concentraciones de La³⁺ entre 0.1 a 0.2 mg L⁻¹ en la solución nutritiva son tóxicas para el crecimiento radical en maíz y vigna; mientras que con 0.03 a 0.7 mg L⁻¹ se redujo el crecimiento de vástago y la absorción de nutrimentos en ambas especies. En trigo una concentración de 25 mg La³⁺ L⁻¹ inhibió el crecimiento radical (Hu *et al.*, 2002). Xie *et al.* (2002), indican que el peso de materia seca de vástago y del grano en arroz disminuyeron significativamente con concentraciones de La³⁺ en solución ≥ 1.5 mg L⁻¹. Zeng *et al.* (2006) reportaron una concentración crítica tóxica para arroz (disminución en el rendimiento del 10 %) de 42.0 mg La³⁺ kg⁻¹ a 83.0 mg La kg⁻¹ en diferentes suelos. Con canola, la dosis tóxica para el crecimiento radical (longitud) es mayor a 0.1 mg La³⁺ L⁻¹ (Xiong *et al.*, 2006). Von Tucher y Schmidhalter (2005) encontraron en frijol que la elongación radical fue menor en 20% cuando las plantas fueron tratadas con 1 μ M La³⁺ L⁻¹ y en cerca de 90% con 25 μ M La³⁺ L⁻¹. La biomasa de vástago fue menor en todas las concentraciones de lantano evaluadas (0, 1, 2, 10 y 20 μ M L⁻¹). Resultados similares encontraron von Tucher *et al.* (2001) en maíz, cuando dosis mayores a 0.10 mg La³⁺ por kg de suelo redujeron significativamente el crecimiento radical (longitud y acumulación de materia seca) y de vástago (acumulación de materia seca).

1.3.6. Efecto de lantano y elementos tierras raras en ornamentales

El suministro de REE ha sido menos estudiado en plantas ornamentales o flores de corte en comparación con cultivos básicos o industriales. Sin embargo, se ha observado su aplicación en perrito de corte (*Antirrhinum majus*), cempasúchil (*Tagetes*

erecta) y tulipán (*Tulipa* spp.). En tallos de perrito de corte, se observó que el LaCl_3 inhibe la curvatura de espigas en posición horizontal y vertical debido a que el lantano disminuye la elongación de tallo y diversos procesos dependientes del gravitropismo. Así, con tallo en posición horizontal (180°) después de 24 h el ángulo del tratamiento control fue de 185° , mientras que con 20 mM de LaCl_3 fue de 150° . Dosis altas de LaCl_3 (20 y 30 mM) disminuyeron la tasa de elongación de tallo (Friedman *et al.*, 1998). En tulipán Kim *et al.* (2005) encontraron una respuesta en la curvatura y elongación de tallo similar al perrito con 25 mM de LaCl_3 . En cempasúchil con $10 \mu\text{mol La kg}^{-1}$ de suelo se encontró una mayor concentración de Fe y Zn (Suzuki *et al.*, 2001).

1.4. Conclusiones de la revisión de literatura y planteamiento de la investigación

La floricultura en nuestro país actualmente se encuentra en ascenso y el tulipán, se encuentra bien posicionado en el mercado nacional, por lo que es necesario generar estrategias que permitan incrementar su producción y disminuir aquellas fisiopatías que afectan la vida postcosecha. Una alternativa es la aplicación de elementos tierras raras como el lantano (La^{3+}), que en distintos cultivos se ha observado que afecta la morfología y fisiología de la planta. La aplicación de este elemento no está documentada en nuestro país y a nivel internacional la información es escasa. Así, la aplicación de La^{3+} en tulipán se justifica para comprender el efecto de éste en la fenología, acumulación y distribución de materia seca, absorción e interacción nutrimental, y demás procesos bioquímicos que son alterados en la planta.

En el contexto anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del lantano sobre respuestas morfológicas y fisiológicas en tulipán (*Tulipa gesneriana*).

La información derivada de esta investigación se presenta a continuación en tres capítulos:

- Capítulo II. Influencia del lantano sobre el crecimiento y absorción nutrimental en tulipán (*Tulipa gesneriana* L.).
- Capítulo III. Respuestas morfológica, fisiológica y de calidad en tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) al lantano.
- Capítulo IV. Crecimiento de variedades de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) y efecto de lantano en postcosecha.

LITERATURA CITADA

- AIPH. 2004.** Union Fleurs: International Statistics Flowers and Plants. <http://www.aiph.org/>. International Organisation of Horticultural. Consultada: enero 2009.
- Álamos, C. K. A.; Ávila, S. L.; Figueroa C., S. A.; Hernández, S. A. y Méndez P. V. 2009.** Importación de heliconias de Colombia hacia México. Seminario: Disposiciones normativas del comercio exterior en México y su aplicación. IPN. México. 182 p.
- Asher, C. J. 1991.** Beneficial elements, functional nutrients, and possible new essential elements. *In:* Mortvedt, J. J.; Coz, F. R.; Shuman, I. M.; Welch, R. M. (Eds.), *Micronutrients in Agriculture*. 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison, WI. pp. 703-723.
- Bibak, A.; Stürup, S.; Knudsen, L. and Gundersen, V. 1999.** Concentrations of 63 elements in cabbage and sprouts in Denmark. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 2409-2418.
- Brown, P. H.; Rathjen, A. H.; Graham, R. D. and Tribe, D. E. 1990.** Rare earth elements in biological systems. *In:* Gschneidner, Jr. and Eyring, L (Eds.) *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Elsevier Sciences Publisher B. V., New-York. pp. 423-453.
- Cárdenas, S. A. 2008.** Floricultura, viverismo, arboricultura y jardinería: La industria de flores de corte en México. Guía verde. México, D.F. pp 54-57.
- Cárdenas, S. A. 2009.** Floricultura, viverismo, arboricultura y jardinería: La industria de flores de corte en México. Guía verde. México, D.F. pp 48-50.
- Chen, W. J.; Tao, Y.; Gu, Y. H. and Zhao, G. W. 2001.** Effects of lanthanide chloride on photosynthesis and dry matter accumulation in tobacco seedlings. *Biol. Trace. Elem. Res.* 79: 169-176.
- Chua, H. 1998.** Bio-accumulation of environmental residues of rare earth elements in aquatic flora *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms in Guangdong Province of China. *Sci. Total Environ.* 214: 79-85.
- Cirielli, J. R. 1998.** Historia, expansión, morfología y ciclo del tulipán. Convenio INTA-PCIA. Santa Cruz, Bolivia. 9 p.
- Cosgrove, D. I. 1997.** Assembly and enlargement of the primary cell wall in plants. *Ann. Rev. Cell Dev. Biol.* 13: 171-201.
- Cui, W. H. and Zhao Y. R. 1994.** Effect of seed dressing using different rate of REEs on physiological index and yield of corn. *Chinese Rare Earths* 15(1): 34-37.
- D'Aquino, L.; de Pinto M. C.; Nardi L.; Morgana M. and Tommasi F. 2009.** Effect of some light rare earth elements on seed germination, seedling growth and antioxidant metabolism in *Triticum durum*. *Chemosphere* 75(7): 900-905.
- Diatloff, E.; Asher, C. J. and Smith, F. W. 1999.** The effects of rare earth elements on the growth and nutrition of plants. *Mater. Sci. Forum* 315: 354-360.
- Diatloff, E.; Asher, C. J. and Smith, F. W. 1996.** Rare earth elements and plant growth. Department of Agriculture. The University of Queensland Brisbane.
- Diatloff, E.; Smith, F. W. and Asher C. J. 2008.** Effect of lanthanum and cerium on the growth and mineral nutrition of corn and mungbean. *Ann. Bot.-London* 101: 971-982.
- Diatloff, E.; Smith, F. W. and Asher, C. J. 1995.** Rare earth elements and plant growth: II. Responses of corn and mungbean to low concentrations of lanthanum in dilute, continuously flowing nutrient. *Environment* 293: 97-105.
- Epstein, E. and Bloom, A. J. 2005.** *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2a ed. Sinauer. Sunderland, MA, EEUU. 50 p.
- Evans, C. H. 1990.** *Biochemistry of the Lanthanides* New York: Plenum Press. Fractionation and multiple regression analysis. *Environ. Pollut.* 102: 269-277.
- Fashui, H.; Weiping, S.; Zhigang, W.; Minguang, Y.; Jia, Y.; Jiajia, L.; Ye, S. and Qunhua X. 2005.** Effect of La (III) on the growth and aging of root of loquat plantlet *in vitro*. *Biol. Trace. Elem. Res.* 101: 185-191.
- Fashui, H.; Zhenggui, W. and Guiwen, Z. 2000.** Effect of lanthanum on aged seed germination of rice. *Biol. Trace Elem. Res.* 75: 205-213.
- Friedman, H.; Meir, S.; Rosenberger, I.; Halevy, A. H.; Kaufman, P. B. and Philosoph-Hadas, S. 1998.** Inhibition of the gravitropic response of snapdragon spikes by the calcium-channel blocker lanthanum chloride. *Plant Physiol.* 118: 483-492.
- Gao, Y. S.; Zeng, F. L.; Yi, A.; Ping, S. and Jing, L. H. 2003.** Research of the entry of rare earth elements Eu^{3+} and La^{3+} into plant cell. *Biol. Trace Elem. Res.* 91: 253-265.

- Guo, B. S.; Zhu, W. M. and Hu, C. P. 1993. New frontiers of rare elements application in agriculture. Chinese Rare Earth 15(6): 37-39.
- Guo, B. S.; Zhu, W. M.; Xiong, P. K.; Ji, Y. J.; Liu, Z. and Wu, Z. M. 1988. Rare Earths in Agriculture. Agricultural Scientific Technological Press. Beijing, China. pp. 23 – 208.
- He, Y. W. and Loh, C. S. 2000. Cerium and lanthanum promote floral initiation and reproductive growth of *Arabidopsis thaliana*. Plant Sci. 159: 117-124.
- Hong, W. M.; Duan, X. B.; Cao, Z. S.; Hu, C. P.; Zheng, W. and Qu, H. J. 1996. Long-term location test of REEs on Agriculture and REE Residual Analysis in Wheat seeds. In: Proceedings of the first Sino-Dutch Workshop on the Environmental Behavior and Ecotoxicology of Rare Earth Elements, 15. - 16. October. Beijing, China. pp. 83-87.
- Hong, W.; Wu, Z.; Wang, S.; Wang, Y.; Zhu, Y.; Yang, J. and Chen, J. 2000. The study of external rare earth distributions in plant and soil by means of ^{141}Ce radioactive tracing isotope method. J. Rare Earths 18: 82-83.
- Hu, X.; Ding, Z. H.; Chen, Y. J.; Wang, X. R. and Dai, L. M. 2002. Bioaccumulation of lanthanum and cerium and their effects on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Chemosphere 48: 621-629.
- Hu, X.; Wang, X. R. and Wang, C. 2006. Biaccumulation of lanthanum and its effect on growth of maize seedlings in a red loamy soil. Pedosphere 16(6): 799-805.
- Hu, Z.; Richter, H.; Sparovek, G. and Schnug, E. 2004. Physiological and biochemical effects of rare earth elements on plants and their agricultural significance: a review. J. Plant Nutr. 27: 183-220.
- Huang, B.; Cai, J.; Rui, L. and Zheng, Z. 2001. Rare earth elements in plasma membranes of cells of soybean roots. J. Chinese Rare Earth Soc. 22(3): 56-58.
- Järvan, M. 2001. Rare earth elements affecting the biological processes and yielding abilities of cultivates crops. Estonian Res. Institute of Agric. 17-22.
- Jie, H. G. and Yu, Z. H. 1985. Effects of REEs on increasing yield and physiology of wheat. J Heilongjiang. Agric Sci. 1: 25-29.
- Jones, D. L. 1997. Trivalent metals (Cr, Y, Rh, La, Pr, Gd) sorption in two acid soils and its consequences for bioremediation. Eur. J. Soil Sci. 48: 697-702.
- Karol, P. J.; Nakahara, H.; Petley, B. W. and Vogt, E. 2003. On the claims for discovery of elements (IUPAC Technical report) Rare App. Chem. 75: 1601-1611.
- Kim, H. J.; Holcomb, E. J. and Brown, K. M. 2005. Lanthanum effects on gravitropics responses of cut tulip flowers. Acta Hort. 669: 417-423.
- Li, F.; Shan, X.; Zhang, T. and Zhang, S. 1998. Evaluation of plant availability of rare earth elements in soils by chemical fractionation and multiple regression analysis. Environ. Pollut. 102: 269-277.
- Liu, M. and Hasenstein, K. H. 2005. La^{3+} uptake and its effect on the cytoskeleton in root protoplasts of *Zea mays* L. Plant Physiol. 220(2): 658-666.
- Maheswaran, J.; Meehan, B.; Reddy, N.; Peverill, K. and Buckingham, S. D. 2001. Impact of Rare Earth Elements on plant physiology and productivity. Rural Industries Research and Development Corporation 1(145): 1-40.
- Meehan, B. J.; Peverill, K. I. and Buckingham, S. D. 1996. Enhanced productivity of crops and pastures by application of rare earth elements. Final Report to Rural Industries Research and Development Corporation. 40 p.
- Musalem, L. O. 2006. La Floricultura Mexicana, el Gigante que está despertando. Claridades Agropecuarias 154: 3-38.
- Ning, J. B. 1994. Reserarch on the effects of rare earth elements on improve crops yield. Chinese Rare Earth 16(1): 63-65.
- Orozco, H. M. E. y Martínez, M. M. 2003. Competitividad local de la agricultura ornamental en México. Universidad Autónoma del Estado de México. pp. 29-42.
- Pang, X.; Wang, D. H.; Xing, X. Y.; Peng, A.; Zhang, F. S. and Li, C. J. 2002. Effect of La^{3+} on the activities of antioxidant enzymes in wheat seedlings under lead stress in solution culture. Chemosphere 47: 1033-1039.
- Plasmeijer, J. and Yanai, C. 2007. Cut Flowers and Ornamental Plants: Market News Service. International Trade Centre. 9: 1-25.
- Pecchi, T. P. 2000. Generalidades, botánica y fisiología del tulipán. Técnicas de producción, de tulipanes. Provincia de Arauco, Región Bío Bío. 12-24 pp.

- Perverill, K.; Meehan, B.; Buckingham, S. and Maheswaran, J. 1997.** The role of application of rare earth elements in enhancement of crop and pasture production. *Rare Earth* 31: 69-85.
- Puche, R. S.; Cascales, C.; Porcher, P. y Maestro, P. 2000.** Tierras raras: Materiales avanzados. Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid, CSIC, Madrid. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*. Octubre-Diciembre. 11-26 pp.
- Qiao, X. B. and Zhang, G. Q. 1989.** Experiments for spraying REEs in soybean. *J. Henan Agricultural Sciences* 12: 9-10.
- Ren, S. Y. and Xiao, C. L. 1987.** Technologies and effect of application of REEs in rapeseed. *Chinese Rare Earths* 8(3): 20- 25.
- SEDAGRO. 2006.** Información Florícola del Estado de México. Dirección General de Agricultura. Dirección de Cultivos Intensivos.
- Shi, P.; Huang, Z. and Chen, G. 2006.** Influence of lanthanum on the accumulation of trace elements in Chloroplasts of cucumber seedling leaves. *Biol. Trace. Elem. Res.* 109: 181-188.
- Soriano, J. 1991.** Plantas Bulbosas en Jardinería. Floraprint. Madrid, España. 142 p.
- Sun, J.; Zhao, H. and Wang, Y. 1994.** Study on the contents of trace rare earth elements and their distribution in wheat and rice samples. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 179: 377-383.
- Suzuki, H.; Kumagai, H.; Mori, F.; Sakamoto, K.; Inubushi, K. and Enomoto, S. 2001.** Influence of lanthanum on the uptake of various elements by marigold. *Focused on New Trends in Bio-Trace Elements Research.* 35: 80-81.
- Tribe, D. E.; Robards, K. H.; Reghenzani, J. R. and Ashe, C. J. 1990.** Report to the Australian Academy of Technological Sciences and Engineering. Report, University of Queensland, Australia.
- Tyler, G. 2004.** Rare earth elements in soil and plant systems- a review. *Plant Soil.* 267: 191-206.
- Tyler, G. and Olsson, T. 2001.** Plant uptake of major and minor elements as influenced by soil acidity and liming. *Plant Soil.* 230: 307-321.
- von Tucher, S. and Schmidhalter, U. 2005.** Lanthanum uptake from soil and nutrient solution and its effects on plant growth. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.* 168:574- 580.
- von Tucher, S.; Goy, C. and Schmidhalter, U. 2001.** Effect of lanthanum on growth and composition of mineral nutrients of *Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus* and *Zea mays* L. conv. *saccharata*. *Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-ecosystems.* pp. 524-525.
- Wei, Z.; Yin, M.; Zhang, X.; Hong, F.; Li, B.; Tao, Y.; Zhao, G. and Yan, C. 2001.** Rare earth elements in naturally grown fern *Dicranopteris linearis* in relation to their variation in soils in south-Jiangxi region (southern China). *Environ. Pollut.* 114(3): 345-355.
- Wen, B.; Yuan, D.; Shan, X.; Li, F. and Zhang, S. 2001.** The influence of rare earth element fertilizer application on the distribution and bioaccumulation of rare earth elements in plants under field conditions. *Chem. Spec. Bioavailab.* 13: 39-48.
- Wen, B.; Shan, X.; Lin, J.; Tang, G.; Bai, N. and Yuan, D. 2002.** Desorption kinetics of yttrium, lanthanum and cerium from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66(4): 1198-1206.
- Xie, Z. B.; Zhu, J. G.; Chu, H. Y.; Zhang, Y. L.; Zeng, Q.; Ma, H. L. and Cao, Z. H. 2002.** Effect on lanthanum on rice production, nutrient uptake, and distribution. *J. Plant Nutr.* 25(10): 2315-2331.
- Xiong, B. K. 1995.** Application of Rare Earths in Chinese Agriculture and their perspectives of Development. *In: Proceeding of the Rare Earths in Agriculture Seminar*, 20. Canberra, ACT Australia .September 1995. pp. 5-9.
- Xiong, B. K.; Cheng, P.; Guo, B. S. and Zheng, W. 2000.** Agricultural and Forestry Research and Application of Rare Earth. Metallurgical Industrial Press, Beijing.
- Xiong, J. and Zhang, Z. 1997.** Maximum threshold of rare earth concentration and crop growth. *Chinese J. Ecol.* 16(1): 1-7.
- Xiong, L. S.; Xiong, T. Z.; Chen, C. Y. and Huang, H. 2006.** Interactive effects of lanthanum and cadmium on plant growth and mineral element uptake in crisped-leaf mustard under hydroponic conditions. *J. Plant Nutr.* 29: 1889-1902.
- Xu, X.; Zhu, W.; Wang, Z. and Witkamp, G. 2002.** Distribution of rare earths and heavy metals in field-grown maize after application of rare earth-containing fertilizer. *Sci. Total Environ.* 293: 97-105.
- Xu, X.; Zhu, W.; Wang, Z. and Witkamp, G. J. 2003.** Accumulation of rare earth elements in maize plants (*Zea mays* L.) after application of mixtures of rare earth elements and lanthanum. *Plant Soil* 252(2): 267-277.
- Zeng, F. L.; Shi, P.; Zhang, M. F. and Deng, R. W. 2000.** Effect of lanthanum on ion absorption cucumber seedling leave. *Biol. Trace Elem. Res.* 78(1-3): 265-270.

- Zeng, F. L.; Zhang, M. F.; Zhou, S. M.; Wu, J. G. and Deng, R. W. 1999.** The effect of lanthanide chloride on abscisic acid and electron-transport activity of some crops. *Biol. Trace Elem. Res.* 67: 277-284.
- Zeng, Q.; Zhu, J. G.; Cheng, H. L.; Xie, Z. B. and Chu, H. Y. 2006.** Phytotoxicity of lanthanum in rice in haplic acrisols and cambisols. *J. Ecotoxicol. Environ. Safety* 64: 226-233.
- Zhang, S. and Shan, X. Q. 2001.** Speciation of rare earth elements in soil and accumulation by wheat with rare earth fertilizer application. *Environ. Pollut.* 112: 395-405.
- Zhang, X. Y. and Zhang, S. Y. 1989.** Effect of REEs on configuration at seedling stage of corn. *J. Shanxi Agric. Univ.* 1: 36-41.
- Zhu, Z. M. and Wu, T. B. 1982.** Study effect of REEs on soybean. *Rare Metals* 3: 15-19.

CAPÍTULO II. INFLUENCIA DEL LANTANO SOBRE EL CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN NUTRIMENTAL EN TULIPÁN (*Tulipa gesneriana* L.)

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del lantano (La^{3+}) sobre fenología, crecimiento y acumulación nutrimental de tulipán Ile de France. El estudio se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Texcoco, México, bajo condiciones de invernadero en otoño-invierno del 2007, plantando bulbos calibre 12+ en macetas de 6" con un sustrato compuesto de tezontle de 3 mm y Promix®. Durante el desarrollo del cultivo el riego se realizó manualmente con solución nutritiva universal de Steiner al 50%, adicionando a la solución los tratamientos estudiados que fueron dos fuentes químicas de La^{3+} [LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$] con cinco concentraciones (0, 5, 10, 20, 30 y 40 μM). Se realizó un experimento factorial completo 5 X 2 y una distribución completamente al azar. Se evaluó la fenología, tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento absoluto (TCA), acumulación y distribución de materia seca y acumulación nutrimental en hoja, tallo, flor y bulbo. La aplicación de La^{3+} como LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ no afectó fenología del cultivo; sin embargo, con 20 μM La^{3+} fue menor el tiempo a emergencia, expansión de hoja y floración y mayor a senescencia. El ciclo de cultivo disminuyó al adicionar 40 μM La^{3+} . La mayor acumulación de materia seca total (AMST) a los 30, 45 y 60 días después de la plantación (ddp) fue con LaCl_3 , debido a que fue más alta la TCR y TAC. Con respecto a las concentraciones el incrementó en la TCA con 20 μM La^{3+} mejoró la AMST a los 30 y 45 ddp. En general, la distribución de materia seca fue más alta en el bulbo, seguida del tallo y la hoja; la flor mostró la menor acumulación. Durante el desarrollo del cultivo la adición La^{3+} incrementó la concentración y acumulación de N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn en la hoja y de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn en flor y bulbo. Con LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ fue mayor la concentración y acumulación de macro y micronutrientes en flor y bulbo, respectivamente. En todos los órganos la concentración más alta de La^{3+} a los 15, 30, 45 y 60 ddp se observó al adicionar 40 μM La^{3+} y con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$.

Palabras clave: *fenología, materia seca, concentración, acumulación, hoja, tallo, flor, bulbo, tierras raras, floricultura*

I. INTRODUCCIÓN

El tulipán es un cultivo que requiere de un manejo intensivo para un óptimo crecimiento y desarrollo. Sin embargo, hay escasa información sobre crecimiento y fenología. Los estudios sobre el crecimiento permiten cuantificar duración del ciclo, definición de las etapas de desarrollo, distribución de los fotoasimilados por órgano; aspectos básicos para comprender mejor los procesos fisiológicos que determinan la producción vegetal y así fundamentar racionalmente las mejores prácticas de manejo del cultivo que permitan incrementar el rendimiento y en el caso de plantas ornamentales incrementar su vida en florero, como es el caso de la nutrición mineral (Barrientos, 1988). En particular, la dosis y fuente de fertilización son consideradas determinantes en la producción de flores y bulbos, y éstas se deben analizar en función de la tasa de crecimiento y acumulación nutrimental del cultivo (Pinochet, 1999).

Por ello, resulta indispensable buscar alternativas tecnológicas que permitan incrementar la eficiencia del aprovechamiento de nutrimentos y agua. Para conocer la demanda total de un cultivo, es necesario considerar también la acumulación de materia seca total y su distribución en los diferentes órganos de la planta, como un equilibrio funcional dependiente del tiempo o estado de desarrollo (Brouwer, 1962); la cual es dependiente de una amplia gama de factores ambientales, genéticos y la interacción entre ambos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia del análisis de crecimiento en las plantas

El crecimiento se define como un incremento constante en el tamaño de un organismo, que está acompañado de dos procesos: morfogénesis y diferenciación. El primero, es el desarrollo de la forma o modelo de la célula u órgano, en tanto el segundo es el proceso por el cual las células cambian estructural y bioquímicamente para formar o adquirir funciones especializadas (Taiz y Zeiger, 1991). Ambos procesos se pueden medir mediante la tasa absoluta de crecimiento, en función de la cantidad de materia seca en crecimiento presente y la tasa de funcionamiento de ésta, en relación con la influencia del ambiente (Milthorpe y Moorby, 1982).

El estudio del crecimiento de un cultivo mediante la cuantificación de los factores responsables del mismo en un periodo de tiempo determinado, nos permite efectuar un análisis detallado mediante la interpretación de datos primarios simples tales como biomasa seca total de la planta, área foliar, peso de hojas, etc. De esta manera, se pueden explicar las variaciones en el crecimiento del cultivo, utilizando a la planta entera como una macroestructura (Karimi y Siddique, 1991). Algunos índices que reflejan la fisiología de la planta, además de permitirnos interpretar la dinámica de crecimiento del cultivo son: la tasa de crecimiento relativo (TCR), que expresa el aumento en materia seca por unidad de materia seca presente o inicial en un periodo de tiempo determinado, que generalmente se expresa en $g\ g^{-1}\ día^{-1}$; y la tasa de crecimiento absoluto (TAC) que expresa la biomasa seca absoluta por unidad y tiempo (inicial y final), que generalmente se expresa en $g\ día^{-1}$ (Hunt, 2003).

En ambos casos, los resultados que se obtienen se refieren al incremento de biomasa seca por unidad de tiempo. Así, la interpretación de éstos se realiza considerando que valores mayores que 1, indican la existencia de un exceso de asimilados disponibles para otros procesos del crecimiento como son floración, formación de órganos de acumulación, etc. En estas condiciones la planta funciona como una unidad fotosintéticamente eficiente. Mientras que el tener valores menores a 1, es indicativo de que se está utilizando una mayor proporción de asimilados para aumentar el área foliar con relación a la biomasa seca total de la planta.

2.2. Biomasa seca y curvas de crecimiento

La biomasa seca es el criterio más apropiado para medir el crecimiento y la magnitud del sistema de asimilación de la planta, referido, frecuentemente, al área foliar total (Taiz y Zeiger, 1991). Por su parte, el área foliar es la medida usual del tejido fotosintético de una comunidad de plantas. Además, la cantidad de área foliar es importante, porque determina la cantidad o importe de energía solar que es absorbida y convertida a materiales orgánicos (Shibles, 1987), además de considerar que los fotoasimilados son importados desde las hojas del eje principal del tallo floral en ornamentales.

Regularmente en las curvas de crecimiento de los cultivos, se distinguen tres etapas: la primera, una fase inicial o logarítmica, donde la planta joven cuenta con un área foliar y un sistema radical reducido; la segunda, una fase vegetativa o exponencial donde el crecimiento es rápido y el poder de asimilación de la planta aumenta a medida que sus órganos se desarrollan, y la tercera, es una fase de estabilización, donde después del inicio de la floración ocurre una disminución del crecimiento hasta estabilizarse (Rylski, 1986).

2.3. Curvas de absorción nutrimental en la planta

Las curvas de absorción nutrimental, permiten conocer la demanda de los diferentes nutrimentos durante el ciclo del cultivo y su relación en las diferentes etapas fenológicas. Concretamente, permiten conocer la cantidad de nutrimentos que es absorbida por el cultivo en un tiempo definido y para cada órgano, y por lo tanto, representan las cantidades mínimas a las que debe tener acceso un cultivo para producir eficientemente. Es importante señalar, el papel que juega en la nutrición cada uno de los órganos que conforman la planta (Austin, 1989).

Así, las hojas y sus partes (peciolos, láminas) representan la inversión de los recursos nutrimentales de las plantas en procesos fisiológicos directamente ligados a las tasas de intercambio gaseoso (asimilación fotosintética del CO_2 , transpiración). La composición química típica de la materia seca de una hoja puede ser como sigue: 60% carbohidratos, 25% proteínas, 5% lípidos y 10% minerales. La demanda de nutrimentos por parte de las hojas cambia durante el ciclo de vida, y muestra una relación estrecha

con la tasa y las características del crecimiento (Salisbury y Ross, 1985). La longevidad de las hojas está fuertemente determinada por el estado fisiológico de las plantas en el momento de su producción. La aplicación de nutrimentos en función de la demanda (una consecuencia del ciclo fenológico) debería constituir la base de la fertilización de los cultivos (Austin, 1989; Hunt, 2003).

Los tallos constituyen la vía para el movimiento de nutrimentos a larga distancia dentro de la planta, tanto en el xilema como en el floema de la raíz al follaje y viceversa. Los tallos representan a la vez un importante consumidor de recursos minerales para sustentar la producción de tejidos vasculares y accesorios, la actividad del cambium y el crecimiento expansivo en especies perennes (Salisbury y Ross, 1985). La composición química de la savia del xilema que ingresa al follaje puede indicar a las hojas el estado nutricional de las raíces y del suelo, de manera que éstas puedan coordinar la producción y exportación de asimilados en respuesta tanto a factores fisiológicos como edáficos (Bidwell, 1993).

Al igual que los tallos, las raíces y bulbos pueden constituir un importante órgano para el almacenamiento de reservas, agua, minerales y carbohidratos. Asimismo, señales químicas provenientes de la raíz, tanto de naturaleza hormonal como mineral, regulan las relaciones hídricas y el metabolismo de las hojas y de los tallos. Las raíces gruesas y las raíces finas difieren en distribución, morfología, longevidad y funcionamiento. Las raíces gruesas y profundas garantizan el anclaje y extraen agua y minerales de horizontes más profundos del suelo; constituyen además importantes reservorios de recursos. Las raíces finas son más efímeras y responden dinámicamente a los cambios en el ambiente del suelo y a las señales fisiológicas provenientes de la parte aérea (Taiz y Zeiger, 1991).

2.4. Interacción nutrimental

La interacción entre los nutrimentos en las plantas de cultivo se produce cuando el suministro de un nutrimento afecta la absorción y utilización de otros nutrimentos. Este tipo de interacción es más común cuando un nutrimento se encuentra en exceso en el medio de cultivo (Fageria *et al.*, 1997). La interacción nutrimental puede ocurrir en la superficie de la raíz o dentro de la planta y se clasifica en dos principales categorías.

En la primera están los precipitados o complejos que ocurren entre iones por su capacidad de formar vínculos químicos; la segunda, es entre iones con propiedades tan similares que compiten por el sitio de adsorción, absorción, transporte y función en la raíz de la planta o dentro de sus tejidos. Estas interacciones son comunes entre nutrimentos de tamaño similar, carga, geometría de coordinación y configuración electrónica, por ejemplo entre Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ (Fageria, 2001).

Hiatt y Leggett (1974) sugieren que las interacciones catión-catión y anión-anión ocurren sobre todo a nivel membrana y son principalmente de carácter competitivo. La interacción catión-anión ocurre en la membrana y en procesos celulares después de la absorción; siendo éstas últimas menos conocidas. Epstein y Bloom (2005), señaló que el contenido de cationes en el material vegetal depende de la disponibilidad particular de un catión y la presencia o ausencia de otros cationes en el medio de cultivo. Generalmente el exceso de un catión en el medio nutritivo reduce la absorción de otros cationes, mientras que la suma de cationes en el tejido vegetal tiende a permanecer constante. Este fenómeno se denomina antagonismo catiónico (Dibb y Thompson, 1985).

La interacción entre nutrimentos puede ser positiva o negativa. Cuando la respuesta del cultivo a la combinación de nutrimentos es más grande que la suma de sus efectos individuales, la interacción es positiva. Cuando el efecto de la combinación es menor, la interacción es negativa. En el primer caso, los nutrimentos presentan sinergismo y en el último es antagonismo. Si no hay diferencia de manera unitaria o combinada, no hay interacción.

La interacción nutrimental es afectada por factores como concentración, temperatura, intensidad luminosa, aireación del suelo, humedad del suelo, pH, arquitectura de la raíz, tasa de respiración y crecimiento, edad de la planta y especie. La importancia en la producción de cultivos de las interacciones nutrimentales, es un reflejo indirecto de su contribución al rendimiento. Investigaciones al respecto muestran que los más altos rendimientos han sido obtenidos donde los nutrimentos y otros factores de crecimiento están favorablemente balanceado, cuando uno se aleja de ese estado los antagonismos se reflejan en una reducción del rendimiento; las interacciones de antagonismo y sinergismo están determinadas por el nivel de cada nutrimento en el

suelo, la especie y propiedades físico-químicas y biológicas del suelo (Fageria y Baligar, 1999).

Mortued *et al.* (1972) reconocen la complejidad de las relaciones entre el crecimiento de la planta, la concentración de nutrimentos en la solución y la concentración de los mismos dentro de la planta. El crecimiento o acumulación de materia seca depende de varios factores que interactúan entre sí, tales como: el abastecimiento de nutrimentos, intervalo de absorción, distribución de éstos hacia los sitios funcionales y la movilidad de los mismos.

2.5. Interacción de lantano y elementos tierras raras con otros nutrimentos

Las propiedades químicas del lantano (La^{3+}) y en general de los elementos del grupo de las tierras raras (REE), hacen que tengan la capacidad de sustituir a un gran número de iones metálicos, como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} y Mn^{2+} , por tanto afectan en gran medida la absorción, transferencia y asimilación nutrimental (Evans, 1983) como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características químicas de lantano y algunos nutrimentos esenciales (Loss, 2003).

Elemento	Valencia	Peso atómico (g mol ⁻¹)	Radio iónico (Å)	Radio atómico (Å)	Estado de oxidación
N	1 ⁺ , 2 ⁺ , 3 ⁺ , 3 ⁻	14.00	1.71	0.92	-3
P	3 ⁺ , 3 ⁻	30.97	0.34	1.28	+5
K	1 ⁺	39.09	1.33	2.35	+1
Ca	2 ⁺	40.08	0.99	1.97	+2
Mg	2 ⁺	24.30	0.65	1.60	+2
Mn	2 ⁺ , 3 ⁺ , 4 ⁺	54.93	0.80	1.26	+2
Fe	2 ⁺ , 3 ⁺	55.84	0.64	1.26	+3
Cu	1 ⁺ , 2 ⁺	63.54	0.69	1.28	+2
Zn	2 ⁺	65.37	0.74	1.38	+2
La	3 ⁺	138.90	1.15	1.87	+3

En arroz, al estudiar la dinámica de absorción de La^{3+} , Ce^{3+} , NH_4^+ y NO_3^- , Hu y Zhu (1994) encontraron que la adición de La^{3+} y Ce incrementó la absorción de NO_3^- y disminuyó la de NH_4^+ . Sin embargo, Lai *et al.* (1989) al sumergir semillas de tomate con 50 g de REE L⁻¹ encontraron una mayor absorción de NO_3^- en 8.13%, lo que sugiere que el efecto de elementos de las REE sobre la absorción nutrimental depende del

método de aplicación. En algodón la aplicación de La^{3+} en solución nutritiva incrementó el contenido de N (Zhu, 1986).

En experimentos con sustratos y en campo con trigo, el suministro de REE incrementó la absorción de N (Jie y Yu, 1985; Zhu, 1992). Ning y Xiao (1989) encontró que después de utilizar REE como fertilizante en arroz, la absorción de N aumentó en 16.4%. En maíz, al sumergir las semillas en una solución de REE, el contenido de NO_3^- -N se incrementó 37.4% (An y Chen, 1994). Diatloff *et al.* (2008) encontraron una menor concentración de N en vástago de maíz al suministrar 0.2, 0.9 y 5 μM de La. En raíz fue mayor la concentración hasta con un suministro de 0.9 μM de La. En frijol chino, en ambos órganos las concentraciones fueron menores cuando se suministró La^{3+} . En frijol, el suministro de La^{3+} en concentraciones de 0 a 20 $\mu\text{M L}^{-1}$ incrementó el contenido de N en vástago y raíces aproximadamente en 12% en cada órgano. En maíz los cambios fueron poco significativos debido a que en vástago el aumento en la concentración de N fue del 2% y en raíz disminuyó en 2% (von Toucher *et al.*, 2001).

La absorción de P en arroz se incrementó 12% después de fertilizar con REE (Ning y Xiao, 1989). En trigo, con la aplicación de REE fue mayor la absorción de P aproximadamente de 10 a 12.3% (Zhu y Hu, 1998). Al sumergir semillas de chícharo en soluciones de REE en dosis entre 5.5 a 22 g L^{-1} se incrementó el contenido de P en raíz en un intervalo de 7.5 a 25.3%. La aplicación de REE incrementó la absorción de fosfato en pepino, soya, frijol chino y tabaco (Wu *et al.*, 1984) debido a que el La^{3+} induce la liberación de fosfatasas en el suelo (Leonard *et al.*, 1975). En arroz se encontró que dosis de 0.05 a 30 $\text{mg de La}^{3+} \text{ L}^{-1}$ incrementó la concentración de P en la raíz; mientras que en el vástago, dosis menores de La^{3+} (0.05 a 9 mg L^{-1}), disminuyeron la concentración de P. En maíz, el suministro más alto de La^{3+} incrementó la concentración del P en vástago; sin embargo, en raíz éste disminuyó. En frijol chino, el tratamiento con lantano disminuyó la concentración de P tanto en vástago como en raíz (Diatloff *et al.*, 2008). De la misma manera, en frijol el La^{3+} disminuyó la concentración de P en vástago y raíz cuando se adicionó este elemento (von Toucher *et al.*, 2001).

La absorción de K en arroz se incrementó en 8.5% después de la aplicación de REE (Ning y Xiao, 1989). En chícharo con un intervalo de 5.5 a 22 g L^{-1} de REE, se incrementó el contenido de K oscilando entre 14.4 a 28.9 % (Järvan, 2001). En cebada,

se reportaron resultados similares, pues el suministro de La^{3+} mejoró la concentración de K en el vástago entre 11 y 14% (Meehan *et al.*, 2001). En raíces de maíz la absorción de K en función de La^{3+} presentó diferencias significativas, observándose una disminución en la concentración de K (Leonard *et al.*, 1975). La adición de 0.2, 0.9 y 5 mM de La^{3+} disminuyó en promedio 19, 24 y 6 % la concentración de K en vástago de frijol chino, raíz de frijol chino y vástago de maíz, respectivamente (Diatloff *et al.*, 2008). En frijol, von Toucher *et al.* (2001) reportaron una menor absorción de K cuando fue tratado con La^{3+} . En plántulas de maíz se observó un comportamiento similar (Hu *et al.*, 2006).

En plantas de maíz tratadas con solución conteniendo $5 \mu\text{M}$ de $\text{La}^{3+} \text{L}^{-1}$, se registró una disminución en la concentración de Ca en raíz en 41% (Diatloff *et al.*, 1995). En trigo tratado con 0, 6.5, 2.0, 10.0 y 25.0 mg de $\text{La}^{3+} \text{L}^{-1}$, se tuvieron concentraciones de Ca de 3.75, 3.45, 2.01, 1.31 y 1.27 mg g^{-1} , respectivamente (Hu *et al.*, 2006). En plántulas de maíz con la adición de $2.5 \text{ g La}^{3+} \text{ kg}^{-1}$ suelo, se redujo la concentración de Ca en el vástago 48% y en raíz se incrementó en 13% (Hu *et al.*, 2006). Resultados diferentes reportaron von Toucher *et al.* (2001) al encontrar en maíz y frijol una menor cantidad de Ca en vástago y raíz cuando fueron ambas especies tratadas con La^{3+} , resultados que coinciden con los reportados por Diatloff *et al.* (2008) en maíz y frijol chino. En arroz la adición de 0 a 30 mg de $\text{La}^{3+} \text{L}^{-1}$ no afectó la absorción de Ca en raíz; sin embargo, en vástago la adición de La en todas las concentraciones, disminuyó el Ca; en grano, el contenido de Ca fue mayor hasta la dosis de La^{3+} de 3 mg L^{-1} ; concentraciones superiores lo disminuyeron. En cuanto a la concentración de Ca, fue mayor en raíz y menor en vástago y grano a medida que se aumentó la concentración de La^{3+} (Xie *et al.*, 2002). Ogurusu *et al.* (1991) encontraron que el La^{3+} inhibió la absorción de Ca, debido a que éste se introduce a través de la Ca^{2+} -ATPasa, cambiando la carga neta de la membrana celular. Rangel (1994) encontró que el La^{3+} puede reemplazar al Ca en la membrana citoplásmica, disminuyendo en consecuencia la absorción de Ca.

En arroz el suministro de $0.75 \text{ mg La}^{3+} \text{L}^{-1}$ incrementó significativamente la absorción en raíz de Cu, Fe y Mg. En cambio, los micronutrientes Mn y Zn no presentaron diferencias cuando la concentración de La^{3+} fue mayor a 0.75 mg L^{-1} . La absorción de Fe y Mg en el vástago fue menor al aumentar la concentración de La^{3+} . En grano la

absorción de la mayoría de los nutrimentos se incrementó con bajas concentraciones de La^{3+} (0.05 a 3 mg L^{-1}). Con 30 mg L^{-1} la absorción en grano de Cu, Zn, Mn, Fe y Mg disminuyó significativamente (Xie *et al.*, 2002).

En canola (*Brassica napus*), la adición de 0.05, 0.25, 1.0 y 5.0 $\text{mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$ disminuyó la concentración de Fe, Mn y Zn en la raíz; por el contrario, la de Cu fue mayor. El comportamiento nutrimental en vástago fue diferente de acuerdo a la concentración de La^{3+} . El Fe tuvo mayor concentración cuando se suministró La^{3+} ; el Mn registró su mayor concentración con 0.05 $\text{mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$ y en dosis superiores disminuyó. En el caso del Cu, dosis altas de La^{3+} (1 y 5 mg L^{-1}) favorecen su absorción. Al aumentar la concentración de La^{3+} , disminuye el contenido de Zn (Xiong *et al.*, 2006). Hu *et al.* (2002) mencionan que el suministro de La^{3+} afecta negativamente la absorción de Mg, Cu, Zn y Mn en plántulas de trigo. En maíz disminuyó el contenido de Ca, Na, Zn, Mn y Fe en el vástago, cuando fue suministrado en una dosis de 5 μM , en comparación con plantas testigo sin La^{3+} .

En frijol chino, el tratamiento con 0.2 μM de La^{3+} disminuyó la concentración de Cu, Fe y Mn en 50, 17 y 29% en comparación con el testigo, respectivamente. El contenido de S, Mg, Na, Zn y B no se afectó. Al incrementar la concentración de La^{3+} a 0.9 μM , disminuyó significativamente la concentración de Mg, Mn y Fe. En raíz al aumentar la concentración de La^{3+} , Cu y B no se vieron afectados; mientras que S, Ca, Mg, Zn y Mn disminuyeron (Diatlof *et al.*, 2008). Von Toucher *et al.* (2001) concluye que dosis de La entre 1 y 20 $\mu\text{M L}^{-1}$ inducen cambios en la composición nutrimental de frijol y maíz. En la raíz de frijol aumentó 83 y 96% la concentración de Mg y Mn, respectivamente; y disminuyó la de S en 30%. En vástago sólo la concentración de Mg se incrementó con el tratamiento con lantano; mientras que las de S y Mn disminuyeron. Para maíz, la concentración de Mg aumentó por efecto del La^{3+} en 100 y 130% en vástago y raíz, respectivamente. El lantano redujo la concentración de Mn en ambos órganos.

Hu *et al.* (2006) encontraron en plántulas de maíz que el suministro de 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 g La^{3+} por kg^{-1} de sustrato, redujo la concentración de Ca, Fe, Cu y Zn tanto en vástago como en raíz. Los nutrimentos Mn y Mg presentaron una tendencia diferente en presencia de La^{3+} ; la concentración de Mn disminuyó en el vástago, en raíz presentó sus valores máximos con dosis entre 1.5 y 2.5 g La^{3+} por kg^{-1} ; mientras que la

concentración de Mg fue más alta con un suministro de 0.1 g La³⁺ por kg⁻¹ y dosis superiores la disminuyeron. En cempasúchil fue mayor el contenido de Fe, Cu, Zn y con 10 μM La³⁺ por kg⁻¹ de sustrato Na y Mn disminuyeron (Suzuki *et al.*, 2001).

En conclusión, la productividad de los cultivos con suministro de La o REE dependerá en parte de la concentración, de la especie y la tasa de absorción nutrimental y de la interacción entre nutrientes, ya que el flujo iónico a nivel celular afecta diversos procesos morfológicos y fisiológicos que influyen en el crecimiento y acumulación de materia seca. Así, los objetivos de la investigación presentada en este capítulo se muestran a continuación.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Analizar la influencia del lantano en la absorción de macro y micronutrientos en cada órgano de la planta de tulipán, así como sobre la distribución y curva de acumulación de biomasa seca para cada órgano de la planta.

3.1.1. Objetivos específicos

- Determinar la distribución y curva de acumulación de biomasa seca por órgano en tulipán en función de la adición de lantano.
- Evaluar el efecto de la fuente y concentración de lantano; así como su interacción, sobre la extracción y acumulación nutrimental en órganos de tulipán por etapa fenológica.

IV. HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis general

- El lantano influye sobre la absorción nutrimental, crecimiento y contenido de biomasa seca en hoja, tallo, flor y bulbo de tulipán en distintas etapas fenológicas.

4.1.1. Hipótesis específicas

- El suministro de 10 μM de lantano en tulipán, aumenta la acumulación de biomasa seca en hoja y bulbo durante la floración y senescencia.
- La aplicación de concentraciones de lantano menores a 40 μM en la solución nutritiva, activan la acumulación de K, Ca y Mg durante la expansión foliar en tulipán.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del área de estudio

La investigación se realizó en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19° 29' N y 98° 53' O y 2250 m de altitud), bajo condiciones de invernadero durante el ciclo otoño-invierno 2007. La temperatura diurna durante el desarrollo del cultivo fue de 23.0, 14.2 y 18.5 °C máxima, mínima y promedio, respectivamente. La temperatura nocturna máxima, mínima y promedio fue de 10.0, 2.5 y 7.5 °C, respectivamente. La humedad relativa durante el día fue de 42% y por la noche de 75%. Las intensidades luminosas diurna y nocturna fueron de 188 y 4 lumens m⁻², respectivamente.

5.2. Manejo del cultivo

La plantación se realizó en tezontle de 3 mm mezclado con Promix® (70/30 v/v) (Ramírez, 2006) utilizando bulbos de tulipán cv Ile de France calibre 12⁺. Antes de la plantación se limpiaron y desinfectaron los bulbos, por un periodo de 15 min con Ridomil Bravo (ingrediente activo metalaxil+clorotalonil) y Captán (i. a. tioftalamidas) en dosis de 2 g L⁻¹ y 1 g L⁻¹, respectivamente.


Durante el ciclo del cultivo el riego se realizó manualmente con solución nutritiva universal de Steiner al 50% formulada con reactivos grado analítico, conteniendo 0.531 g L⁻¹ de Ca(NO₃)₂ 4H₂O, 0.151 g L⁻¹ de KNO₃, 0.068 g L⁻¹ de KH₂PO₄, 0.246 g L⁻¹ de MgSO₄ 7H₂O y 0.130 g L⁻¹ de K₂SO₄. La solución nutritiva se complementó con micronutrientes en las concentraciones siguientes: 1.6 mg L⁻¹ de Mn, 0.11 mg L⁻¹ de Cu, 0.23 mg L⁻¹ de Zn. El hierro fue abastecido como Fe-EDTA a una concentración de 5 mg L⁻¹ a partir de una solución concentrada preparada según el método descrito por Steiner y van Winden (1970), además de incorporar las diferentes concentraciones de lantano y el pH de la solución se ajustó a 5.5 con HCl 1N.

En el cultivo se llevaron a cabo cuatro muestreos con intervalos de 15 días a partir de la emergencia de la primera hoja, considerando las siguientes etapas de desarrollo: emergencia, expansión de hojas, floración y senescencia. Por cada muestreo se cosecharon tres plantas completas por tratamiento; y posteriormente se procedió a separar la planta en bulbo, tallo, hoja y flor.

5.3. Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron dos fuentes químicas de lantano con cinco concentraciones, adicionadas a la solución nutritiva. El tratamiento testigo fue sin lantano (Cuadro 2). Se utilizó un diseño factorial completo 5 X 2, con 12 repeticiones y una distribución completamente al azar. Las unidades experimentales fueron macetas de 6 pulgadas (6”).

Cuadro 2. Tratamientos evaluados en tulipán con lantano en la solución nutritiva

	Tratamiento	Concentración de La ⁺³ μM	Fuente química	Variedad
 <p>Ile de France</p>	1	0	Testigo	Ile de France
	2	5	LaCl ₃	Ile de France
	3	10	LaCl ₃	Ile de France
	4	20	LaCl ₃	Ile de France
	5	30	LaCl ₃	Ile de France
	6	40	LaCl ₃	Ile de France
	7	0	Testigo	Ile de France
	8	5	La(NO ₃) ₃	Ile de France
	9	10	La(NO ₃) ₃	Ile de France
	10	20	La(NO ₃) ₃	Ile de France
	11	30	La(NO ₃) ₃	Ile de France
	12	40	La(NO ₃) ₃	Ile de France

La aplicación de tratamientos se inició 10 días después de la plantación (ddp), aplicando 50 mL por maceta cada tercer día durante una semana. Posteriormente se aumentó a 100 mL por maceta diariamente.

5.4. Variables evaluadas

5.4.1. Etapas fenológicas

5.4.1.1. Emergencia: Se definió como el tiempo entre la siembra y la emergencia del 50% de las plantas (12-15 ddp).

5.4.1.2. Expansión de hoja: Se estableció entre la aparición del primer y segundo entrenudo en el tallo floral (25-30 ddp).

5.4.1.3. Floración: Se consideró cuando el 50% de plantas presentan coloración del capullo definido (apertura floral de capullo) (40-45 ddp).

5.4.1.4. Senescencia: Ocurrió desde el momento en que iniciaron los cambios en coloración, marchitamiento de la corola y caída de tépalos (60-65 ddp).

5.4.2. Tasa de crecimiento relativo (TCR): Esta variable permite estimar la cantidad de biomasa seca acumulada por unidad de biomasa seca presente por día ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$). La fórmula utilizada para determinarla fue la siguiente:

$$\text{TCR} = \frac{\ln \text{PS}_2 - \ln \text{PS}_1}{t_2 - t_1}$$

Donde: $\ln \text{PS}_2$ y $\ln \text{PS}_1$ son el logaritmo natural del peso de biomasa seca de la planta en el tiempo t_2 y t_1 , respectivamente.

5.4.3. Tasa de crecimiento absoluto (TCA): Se refiere al incremento en peso de la biomasa seca de la planta por unidad de tiempo (g día^{-1}). La fórmula utilizada para su estimación fue la siguiente:

$$\text{TCR} = \frac{\text{PS}_2 - \text{PS}_1}{t_2 - t_1}$$

Donde: PS_2 y PS_1 el peso de biomasa seca de la planta en el tiempo t_2 y t_1 , respectivamente.

5.4.4. Materia seca (g planta^{-1}): La planta fue cosechada y separada por órganos (hoja, tallo, flor y bulbo) en las etapas fenológicas evaluadas; para la determinación de

la materia seca, las muestras se colocaron en una estufa de secado (circulación forzada) modelo EAAF a una temperatura de 70 °C hasta alcanzar peso constante.

5.4.5. Análisis químico de tejido vegetal: Una vez secas las muestras de hoja, flor y bulbo de cada uno de los muestreos, se introdujeron en un molino tipo Wiley de acero inoxidable provisto de un tamiz malla 40, para posteriormente analizar en laboratorio el estatus nutrimental de tulipán en los diferentes órganos. El contenido de nitrógeno total se determinó empleando el método Semimicro-Kjeldahl (Bremner, 1965) utilizando ácido sulfúrico-salicílico para su digestión. La determinación de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn, B y La se realizó mediante digestión húmeda del material seco con una mezcla de ácidos perclórico y nítrico (Alcántar y Sandoval, 1999). La lectura de los extractos obtenidos después de la digestión y filtrado se determinaron en el equipo de espectroscopia de emisión atómica de inducción por plasma ICP-AES VARIAN™ modelo Liberty II.

5.5. Análisis estadístico

Los análisis de varianza y las pruebas de comparación de medias se realizaron según la prueba estadística LSD (Least Significant Difference) al 5% de probabilidad de error. Los datos obtenidos se analizaron utilizando el programa estadístico SAS (2002).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Etapas fenológicas

Durante el crecimiento, el tulipán presenta un ciclo de recambio, es decir, después de la plantación se distinguen las siguientes etapas: 1) Emergencia, 2) Expansión de hojas, 3) Floración y 4) Senescencia como lo sugieren De Hertogh y Le Nard (1993); Ohyama (1991) y Schiappacasse (1999). En promedio estas etapas se presentaron cerca de los 15, 30, 45 y 60 días después de la plantación (ddp), respectivamente (Figura 1).

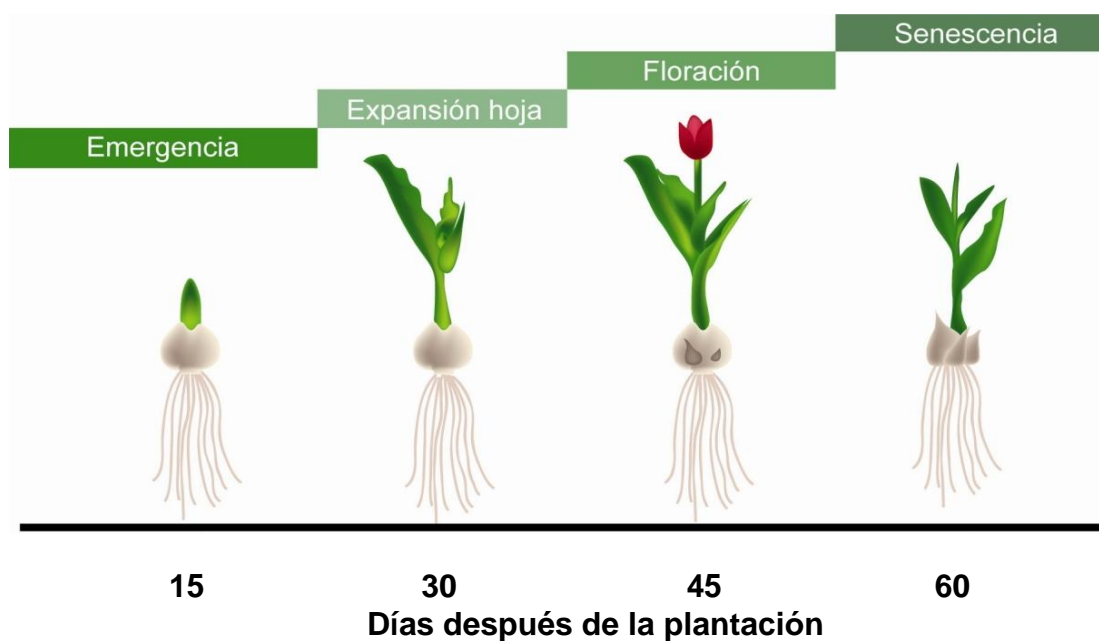


Figura 1. Etapas fenológicas en tulipán cv. Ile de France.

En algunos cultivos ornamentales el desarrollo fenológico es influenciado por diversos factores que incluyen al ambiente y manejo del cultivo como es el caso de la fertilización mineral. En el Cuadro 3 se pueden observar la variabilidad entre las etapas fenológicas en respuesta a la concentración y fuente de La, así como a su interacción.

El efecto principal del factor de estudio fuente de La^{3+} no tuvo influencia estadística significativa sobre las diferentes etapas fenológicas, con excepción de la etapa expansión de la hoja. Para el factor de estudio concentración de La, se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$), registrándose el menor tiempo a emergencia (17

ddp), expansión de hoja (26 ddp) y floración (42 ddp) al adicionar 20 μM de lantano; en este mismo tratamiento se tuvo el mayor tiempo a senescencia (70 ddp, 8 y 9 días más que el tratamiento testigo) y con 30 μM La^{3+} que presentaron la senescencia del cultivo más rápida (62 y 61 ddp, respectivamente) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Días a emergencia, expansión de hoja, floración y senescencia por efecto de la fuente (F), concentración (C) e interacción FxC en tulipán cv. Ile de France.

Fuente	Concentración (μM)	Emergencia (15 ddp)	Expansión de hoja (30 ddp)	Floración (45 ddp)	Senescencia (60 ddp)
LaCl_3		18.3a ^z	28.5b	45.5a	64.3a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$		17.8a	29.8a	45.8a	64.3a
DMS_{0.05}		0.65	0.78	0.7	0.68
	Testigo	18.6b	32.6 ^a	47.0a	62.0cd
	5	17.6bc	28.1bc	47.0a	67.6b
	10	17.5c	29.3b	46.6a	62.8c
	20	17.1c	25.8d	42.0c	69.5a
	30	20.1a	27.8c	46.8a	61.1d
	40	17.5c	31.3a	44.8b	63.0c
DMS_{0.05}		1.14	1.36	1.22	1.19
	Testigo	18.6bc	32.6a	47.0abc	62.0de
LaCl_3	5	15.6e	26.6d	45.3cd	67.6b
LaCl_3	10	18.3bc	29.0b	47.6ab	64.0c
LaCl_3	20	18.6bc	26.0d	42.3c	68.3b
LaCl_3	30	21.6a	27.0cd	46.0bcd	61.6e
LaCl_3	40	17.3cd	30.0b	45.0d	62.3cde
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	5	19.6b	29.6b	48.6a	67.6b
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	10	16.6de	29.6b	45.6cd	61.6e
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	20	15.6e	25.6d	41.6e	70.6a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	30	18.6bc	28.6bc	47.6ab	60.6e
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40	17.6cd	32.6a	44.6d	63.6cd
DMS_{0.05}		1.61	1.92	1.73	1.68

^zLetras distintas en la misma columna por factor de estudio, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%. ddp: días después de la plantación.

El análisis estadístico mostró interacción significativa entre las diferentes concentraciones. Al respecto, se observó que el menor tiempo de siembra a emergencia ocurrió con 5 μM de LaCl_3 y con 20 μM de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, siendo de 16 días para ambos tratamientos. La adición de 20 μM La^{3+} con las dos fuentes presentó el número de días más corto a expansión de hoja y floración con 26 y 42 ddp,

respectivamente. La senescencia se aceleró a adicionar 30 μM La^{3+} como nitrato. En contraste, los intervalos entre etapas fenológicas más prolongada ocurrió al suministrar 30 μM de LaCl_3 en emergencia, 40 μM de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en expansión de hoja, 5 μM de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en floración y 20 μM de ambas fuentes en senescencia (Cuadro 3).

6.2. Tasa de crecimiento relativo (TCR) y tasa de crecimiento absoluto (TCA)

La producción de materia seca puede ser analizada en términos de tasa de crecimiento relativo (TCR) y tasa de crecimiento absoluto (TCA). La TCR y TCA dependerán de la fotosíntesis y la respiración y representan la capacidad y eficiencia de la planta para producir nueva materia seca (Hunt, 2003). En el Cuadro 4 se muestran la TCR y TCA en función de la fuente de La^{3+} empleada. La TCR fue más baja de los 46 a los 60 ddp con La^{3+} como nitrato. Para la TCA se observó que sólo en el tercer corte (46 a 60 ddp) no existieron diferencias estadísticas significativas entre fuentes de lantano ($P \leq 0.05$). En el primero y en el segundo muestreo, las plantas con LaCl_3 presentaron el mayor valor de la TCA.

Los valores negativos de la TCA durante el periodo de los 15 a los 30 ddp con nitrato y cloruro de La^{3+} , posiblemente sea debido a la mayor cantidad de reservas que presenta el bulbo a los 15 ddp; posterior a esta fecha disminuye en mayor proporción la materia seca en el bulbo en comparación con el aumento biomasa seca en el vástago. Esto refleja una redistribución de carbohidratos desde el bulbo madre hacia las hojas en expansión. Resultados similar al inicio del cultivo encontró Vargas y Tejos (2008) en tulipán. Con ambas fuentes a través del tiempo los valores de la TCR y TCA disminuyen alcanzando valores negativos al final del ciclo (46 a 60 ddp). Lo anterior se asocia a que en esta etapa hay una fotosíntesis neta negativa, lo que origina una pérdida de materia seca. Esto sugiere que una fracción importante de carbohidratos se utiliza para la respiración y no para la formación de nueva materia (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tasas de crecimiento relativo (TCR) y tasa de crecimiento absoluta (TCA) en tulipán cv. Ile de France según la fuente de lantano aplicado durante el ciclo de cultivo.

Fuente	TCR (g g ⁻¹ día ⁻¹)			TCA (g día ⁻¹)		
	15 a 30	31 a 45	46 a 60	15 a 30	31 a 45	46 a 60
LaCl ₃	0.003b ^z	0.009a	-0.005a	-0.046a	0.107a	-0.0645a
La(NO ₃) ₃	0.029a	0.004b	-0.007b	-0.331b	0.040b	-0.0635a
DMS_{0.05}	0.001	0.001	0.0005	0.020	0.013	0.006

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%. ddp: días después de la plantación.

Con respecto a la concentración de La³⁺, la TCR y TAC mostraron diferencias estadísticas significativas (P≤0.05) (Figura 2 y 3). Así, al suministrar 5 μM de La³⁺ se encontraron los valores más altos en la TCR a los 15-30 y a los 31-45 ddp, siendo de 0.048 y 0.014 g g⁻¹ día⁻¹, respectivamente. Para el periodo de los 45 a los 60 ddp, la mayor TCR con 0.0066 g g⁻¹ día⁻¹ se encontró al adicionar 10 μM La³⁺ (Figura 2). Valores entre 0.0493 a 0.0163 g g⁻¹ día⁻¹ fueron reportados por Gilford y Rees (1973) en tulipán cv Apeldoorn.

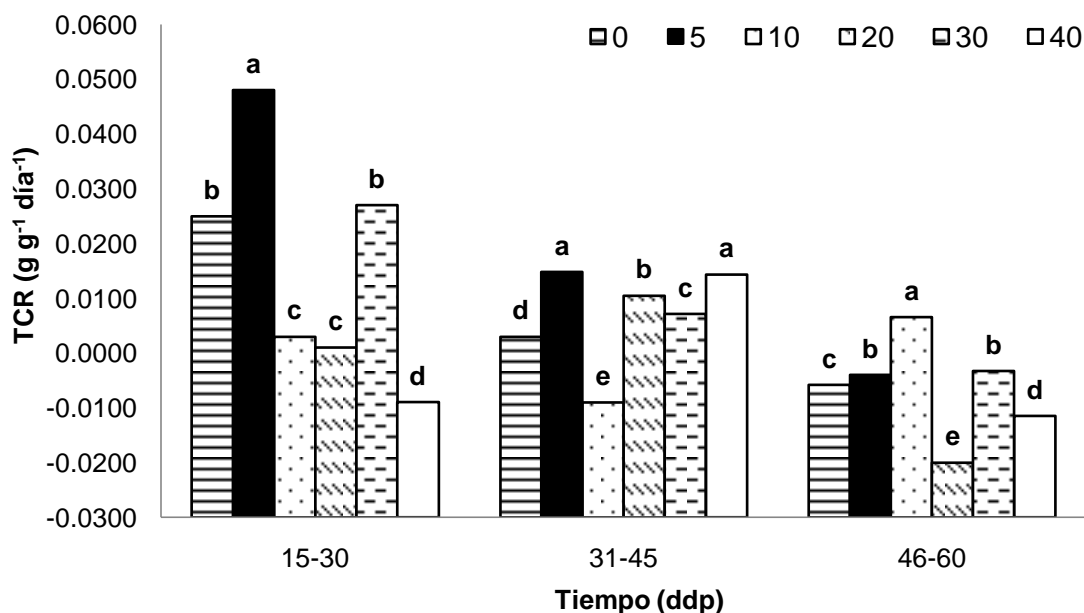


Figura 2. Tasa de crecimiento relativo (TCR) en plantas de tulipán (planta entera) en función de la concentración de La³⁺ (0, 5, 10, 20, 30 y 40 μM). Letras distintas sobre las barras en cada periodo de corte indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. ddp: días después de la plantación.

El comportamiento de la TAC fue diferente a la TCR ya que los resultados indican que, se relacionó de manera positiva con el suministro de La^{3+} . A los 15–30 y 31–45 ddp la más baja TAC se presentó con concentraciones bajas de La^{3+} o bien cuando este elemento no fue adicionado, mientras que los valores más altos se mostraron con 40 μM La^{3+} y fueron de 0.078 y 0.153 $g\ día^{-1}$ a los 15–30 y 31–45 ddp, respectivamente. En el último período (46–60 ddp) el valor más alto se encontró con 10 μM registrando 0.061 $g\ día^{-1}$. Así el valor más alto de la TCA superó al tratamiento testigo en 32, 58 y 26% en los periodos 15–30, 31–45 y 46–60 ddp, respectivamente (Figura 3). En general, la eficiencia en la tasa de crecimiento relativo y absoluto obtenida en tulipán, nos da argumentos para poder considerar que con dosis altas de La^{3+} se genera una mayor acumulación de materia seca por día (valor de la TAC), sin embargo con dosis bajas es más eficiente la planta en generar nueva biomasa (valor de la TCR).

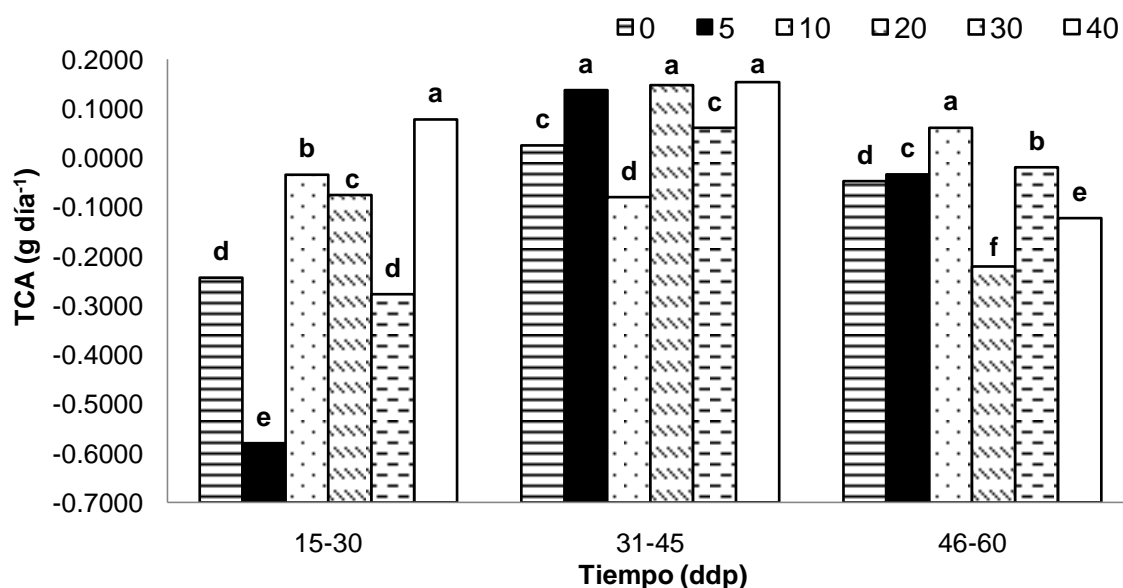


Figura 3. Tasa de crecimiento absoluto (TCA) en plantas de tulipán (planta entera) en función de la concentración de La^{3+} (0, 5, 10, 20, 30 y 40 μM). Letras distintas sobre las barras en cada período de corte indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. ddp: días después de la plantación.

6.3. Acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta y total

6.3.1. Efecto de la fuente de La^{3+}

A los 15, 30, 45 y 60 ddp se observaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en los diferentes órganos de la planta ocasionadas por la fuente de La^{3+} (Figura 4A-E).

En la hoja las diferencias fueron significativas por la fuente de lantano usada. La mayor acumulación de materia seca ocurrió a los 60 y 30 ddp con cloruro y nitrato respectivamente, que corresponde a la etapa donde se mostró la mayor tasa de expansión foliar. Resultados similares encontró Vargas y Tejos (2008). Así, con el suministro de La^{3+} en forma nitrato se presentó el mayor peso de biomasa seca solamente a los 30 ddp, con 1.06 g por planta. En contraste, a los 15, 45 y 60 ddp la mayor acumulación de materia seca en la hoja fue más alta con cloruro con valores de 0.70, 1.21 y 1.39 g por planta, respectivamente (Figura 4A). Después de que se mostró la materia seca más alta disminuyó debido a la senescencia y/o a la translocación de carbohidratos y nutrimentos hacia otros órganos (Vargas y Tejos, 2008; Ohyama, 1998b).

Durante el ciclo de cultivo la acumulación de materia seca en el tallo con el suministro de La^{3+} como cloruro fue mayor, que cuando se suministró como nitrato (Figura 4B). La acumulación de materia seca en tallo con cloruro se incrementa a través del tiempo mostrando sus valores más altos a los 60 ddp con 2.03 g por planta. Inamoto *et al.* (2000) encontraron una relación lineal entre el tiempo después de la siembra y el peso seco del tallo en tulipán cv Gander. En contraste con el suministro de La^{3+} en forma de nitrato se incrementó sólo hasta los 45 ddp (1.44 g por planta), después de esta fecha la materia seca disminuyó (1.25 g por planta), como lo observaron Ohyama (1988c); Vargas y Tejos, (2008). Por lo tanto, el La^{3+} en forma de cloruro puede ser utilizado para disminuir la senescencia en el tallo o incrementar su longevidad (Figura 4B).

En flor, la acumulación de materia seca con ambas fuentes comenzó después de los 30 ddp. A los 45 y 60 ddp la mayor biomasa seca se encontró con la adición de La^{3+} en forma de nitrato, siendo de 0.34 y 0.35 g por planta, respectivamente, superando en 12 y 8% al La^{3+} adicionado como cloruro (Figura 4C).

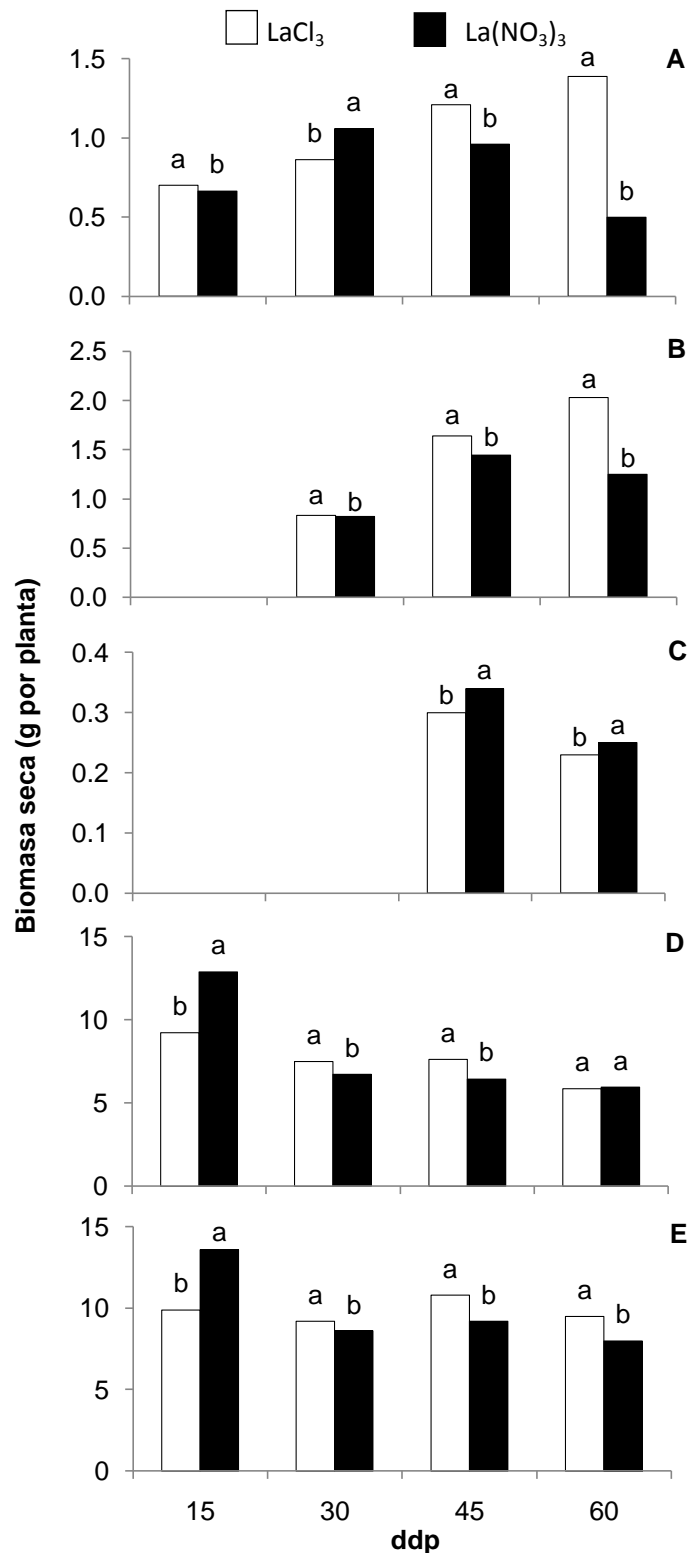


Figura 4. Acumulación de biomasa seca en diferentes órganos de tulipán en respuesta a dos fuentes de lantano. A: hoja, B: tallo, C: flor, D: bulbo, E: total. Letras distintas en cada columna por subfigura, indican diferencia estadística (LSD, $P \leq 0.05$). ddp: días después de la plantación.

En bulbo se presentó la materia seca más alta al inicio del cultivo (15 ddp) con 12.88 y 9.22 g por planta para La^{3+} en forma de nitrato y cloruro, respectivamente, disminuyendo significativamente durante el ciclo de cultivo, presentando los valores más bajos a la senescencia (60 ddp) con 5.85 y 5.95 g por planta, respectivamente. Así, la pérdida peso en el bulbo de los 15 ddp a los 60 ddp fue de 45% con nitrato y 36% con cloruro, similar a lo reportado por Ohyama *et al.* (1988a); Inamoto *et al.* (2000); Vargas y Tejos (2008). Por lo tanto, la reducción en biomasa seca de bulbo fue menor cuando las plantas fueron tratadas con LaCl_3 . El menor peso que presentó el bulbo a través del tiempo se debe a cambios o retraslocación gradual de carbohidratos y compuestos orgánicos nitrogenado que se observa en este órgano (Ohyama *et al.*, 1988a) (Figura 4D). La biomasa total mostró un comportamiento similar a la del bulbo; sin embargo, con cloruro la biomasa más alta se encontró a los 45 ddp (10.79 g por planta) mientras que con nitrato fue a los 15 ddp (13.75 g por planta) (Figura 4E). Una acumulación de biomasa total máxima entre 10.0 y 11.5 g por planta encontró Inamoto *et al.* (2000) en tulipán. La acumulación de materia seca total se relacionó con la TCR, ya que con cloruro la mayor TCR correspondió al periodo 31–45 ddp y con nitrato los valores más altos se presentaron al inicio del desarrollo del cultivo (Cuadro 4). Durante el ciclo de cultivo (con excepción a los 15 ddp) la materia seca total fue mayor cuando el La^{3+} se suministro en forma de cloruro (Figura 4E). La reducción en el peso de biomasa a través del ciclo fenológico ha sido reportada por Inamoto *et al.* (2000) y por Toit *et al.* (2004); quienes mencionan que la disminución en el contenido de biomasa seca en la planta entera se debe a la senescencia de hojas y transferencia de carbohidratos hacia los bulbos hijos.

6.3.2. Efecto de la concentración de La^{3+}

La producción de materia seca total y su asignación en las diferentes estructuras de la planta se incrementó significativamente por acción del La^{3+} , presentando diferencias estadísticas (Cuadro 5). Así, la mayor biomasa total se encontró a los 15 ddp, disminuyendo a los 30, 45 y 60 ddp. Resultados similares encontraron Inamoto *et al.* (2000), quienes reportan la mayor acumulación de materia seca en la planta entera al inicio del ciclo.

Cuadro 5. Acumulación materia seca en los diferentes órganos y total en plantas de tulipán cv. Ile de France durante el ciclo de cultivo con diferentes concentraciones de lantano.

Lantano (μM)	ddp	Materia seca (g planta^{-1})				Total
		Bulbo	Hoja	Tallo	Flor	
0	15	11.30bc ^z	0.45d	-----	-----	11.75bc
	30	6.52c	0.84cd	0.73d	-----	8.09d
	45	6.06d	0.88f	1.28e	0.26c	8.48e
	60	5.44d	0.55d	1.41d	0.14d	7.55f
5	15	15.70a	0.85a	-----	-----	16.55a
	30	6.18d	0.96bc	0.74cd	-----	7.87d
	45	6.86c	1.02d	1.68a	0.37b	9.93c
	60	5.66c	1.24a	2.05a	0.30a	9.25b
10	15	9.57d	0.67c	-----	-----	10.24d
	30	7.43b	1.10a	1.19a	-----	9.72b
	45	5.67e	1.06c	1.55c	0.23c	8.51e
	60	7.00a	1.01b	1.43d	0.30a	9.74a
20	15	10.83c	0.70bc	-----	-----	11.53c
	30	8.80a	0.82d	0.77c	-----	10.39a
	45	9.06a	1.51a	1.62b	0.42a	12.61a
	60	5.45d	0.95c	1.56c	0.22c	8.18e
30	15	11.47b	0.70bc	-----	-----	12.17b
	30	6.27d	1.09ab	0.65e	-----	8.00d
	45	6.21d	0.97e	1.49d	0.25c	8.92d
	60	5.70c	0.92c	1.67b	0.25b	8.54d
40	15	7.38e	0.73b	-----	-----	8.11e
	30	7.45b	0.96bc	0.89b	-----	9.29c
	45	8.44b	1.10b	1.64b	0.41a	11.59b
	60	6.6ab	1.01b	1.69b	0.26	9.12c

^zLetras distintas por días después de la plantación (ddp), indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. ddp: días después de la plantación.

Con respecto al efecto de la concentración, la acumulación de materia seca total más alta se presentó en diferente tratamiento conforme avanzó el desarrollo del cultivo. Así, a los 15, 30, 45 y 60 ddp fue con 5, 20, 20 y 10 $\mu\text{M La}^{3+}$, respectivamente, siendo de 16.55, 10.39, 12.61 y 9.74 g por planta, respectivamente. La menor biomasa total entre los 15 y 30 ddp se mostró con 40 $\mu\text{M La}^{3+}$, mientras que de los 45 a 60 ddp fue en el tratamiento testigo (Cuadro 5). Lo anterior sugiere que se presentó un “efecto de dilución”. De acuerdo con esta teoría, la concentración de un nutrimento en el tejido vegetal está en función tanto de su disponibilidad, como de la tasa de crecimiento vegetal. Cuando la tasa de crecimiento es baja, el nutrimento se encuentra en el tejido en una concentración que puede ser superior al nivel crítico y causar toxicidad,

disminuyendo la acumulación de materia seca, aún cuando el nutrimento se encuentre disponible en una baja concentración. Por el contrario, cuando la tasa de crecimiento es alta, el nutrimento se diluye dentro del tejido (López y Estañol, 2007).

En el Cuadro 5 se observa que en cualquier tratamiento, el bulbo presentó la mayor cantidad de biomasa con relación a la hoja, tallo y flor. La máxima acumulación de materia seca en el bulbo se observó a los 15 ddp con el suministro de 5 μM La^{3+} (16.55 g por planta) la cual fue superior 29.0, 38.1, 30.3, 26.5 y 51.0% a 0, 10, 20, 30 y 40 μM La^{3+} , que presentaron un peso seco de bulbo de 11.75, 10.24, 11.53, 12.17 y 8.11 g por planta. Después de los 15 ddp se presentó una traslocación de materia seca del bulbo al vástago, lo que ocasionó una disminución en el peso seco de este órgano. Resultados similares encontraron Inamoto *et al.* (2000).

La hoja presentó un comportamiento diferente al bulbo, incrementándose a través del tiempo, presentando sus valores más altos a los 45 ddp con 0.88, 1.02, 1.06, 1.51, 0.97 y 1.10 g por planta para 0, 5, 10, 20, 30 y 40 μM La^{3+} , respectivamente. Después de los 45 ddp la materia seca en la lámina foliar disminuyó (Cuadro 5), debido posiblemente a la traslocación de fotosintatos hacia otros órganos como el tallo.

En el tallo existió una relación lineal entre el tiempo y la acumulación de biomasa seca, es decir se incrementa conforme avanza el ciclo de cultivo, mostrando sus valores más altos a los 60 dds. La mayor y menor acumulación de materia se observó con 5 y 0 μM La^{3+} , respectivamente siendo de 2.05 y 1.41 g por planta (Cuadro 5).

La materia seca en flor con 0, 5, 20, 30 y 40 μM La^{3+} disminuye de los 30 a los 60 ddp; con 10 μM La^{3+} aumenta de 0.23 g por planta a 0.30 g por planta, indicando que esta dosis retrasa la senescencia en flor de tulipán (Cuadro 5). De esta manera es posible diferenciar que en emergencia (15 ddp) y senescencia (60 ddp) la planta es capaz de generar la materia seca más alta con bajas concentraciones de lantano (entre 5 y 10 μM La^{3+}). Durante la expansión de hoja (30 ddp) y floración (45 ddp) se observa la mejor respuesta con el suministro de concentraciones de 20 μM La^{3+} . Esto se explica considerando que durante estas etapas fenológicas la planta tiende a estar más activa y es capaz de metabolizar la cantidad de fotosintatos asimilados de manera eficiente, comparativamente con la etapa de senescencia, en donde algunos procesos metabólicos tienden a disminuir considerablemente.

Así, existe una estrecha relación entre la acumulación de biomasa y la concentración de lantano suministrada por cada etapa fenológica. Por ejemplo, He y Loh (2000) a los 35 después de la germinación encontraron que en *Arabidopsis* la mayor acumulación de materia seca total con dosis entre 0.5 a 2.5 μM La^{3+} ; dosis mayores (entre 10 y 50 μM La^{3+}) afectaron la producción de biomasa seca total. En arroz, Zeng *et al.* (2006), observaron que a los 30 días después del transplante (ddt) el crecimiento de la planta fue mejor con dosis bajas de LaCl_3 (0–30 mg kg^{-1} de suelo) y a los 80 ddt fue con dosis más altas (150–300 mg kg^{-1} de suelo). Sin embargo, a la madurez fisiológica el mayor peso seco total y rendimiento se mostraron con 0 y 30 mg kg^{-1} de suelo de LaCl_3 ; dosis superiores a 600 mg kg^{-1} de suelo de LaCl_3 inhiben significativamente el crecimiento.

Resultados similares observaron en la misma especie Xie *et al.* (2002). Diatloff *et al.* (2008) y von Toucher *et al.* (2001), reportaron una mayor acumulación de materia seca en plántulas de maíz, vigna y frijol con dosis bajas de La^{3+} (entre 0.02 a 1.0 μM La^{3+}). En otros cultivos como el tabaco también se observado que dosis bajas de LaCl_3 (20 μM) aumentan la acumulación de materia seca total y en los diferentes órganos (Chen *et al.*, 2001).

6.4. Distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta

6.4.1. Efecto de la fuente de La^{3+}

En la Figura 5 se observa la distribución de materia seca en bulbo, hoja, tallo y flor de tulipán a los 15, 30, 45 y 65 ddp en función de la fuente de La^{3+} . La distribución en promedio a los 45 ddp (floración) fue de 71, 11, 15 y 3% en bulbo, hoja, tallo y flor, respectivamente. En general la distribución de materia seca en bulbo y flor con ambas fuentes disminuye al avanzar el ciclo de cultivo, siendo más marcada en las plantas fertilizadas con La^{3+} en forma cloruro (Figura 5A). Con esta misma fuente en la hoja se encontró una distribución de 7, 9, 11 y 15% a los 15, 30, 45 y 60 ddp, respectivamente; en tallo de 9, 15 y 21% a los 30, 45 y 60 ddp, respectivamente. En contraste, con La^{3+} en forma nitrato (Figura 5B) la distribución de materia seca en hoja aumentó de los 15 a 30 ddp (5 y 12%, respectivamente) y disminuyó a los 45 y 60 ddp (10 y 6%, respectivamente). En el tallo el porcentaje de distribución materia seca con respecto al

total osciló entre 10 a 16%, siendo menor al encontrado con cloruro (Figura 5). Un comportamiento similar durante el ciclo de cultivo encontró Hirzel (2002).

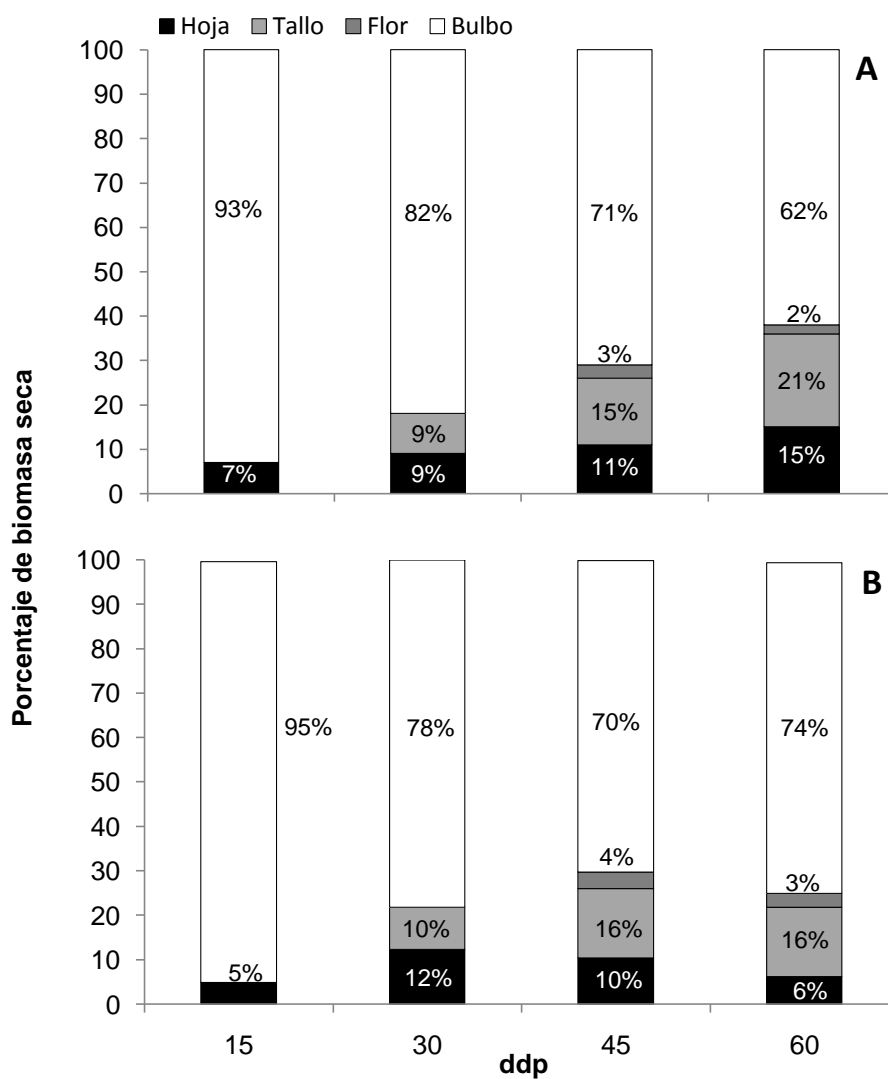


Figura 5. Distribución de biomasa seca en diferentes órganos de tulipán en función de la fuente de La³⁺ usada. A: LaCl₃, B: La(NO₃)₃. ddp: días después de la plantación.

6.4.2. Efecto de la concentración La³⁺

El bulbo y tallo presentaron en promedio la mayor distribución de materia seca con respecto a la total a los 15 y 60 ddp. En hoja, con excepción de los 15 ddp, presentó una acumulación de 11%. En la flor fue de 3% a los 45 y 60 ddp. Con respecto a la concentración de La³⁺ la proporción de materia seca en el bulbo a los 15 ddp fue de 96,

95, 93, 94, 94 y 91%; a los 60 ddp de 72, 61, 72, 67, 67 y 72% con 0, 5, 10, 20, 30 y 40 μM La^{3+} , respectivamente (Figuras 6A, 6B, 6C, 6D, 6E y 6F).

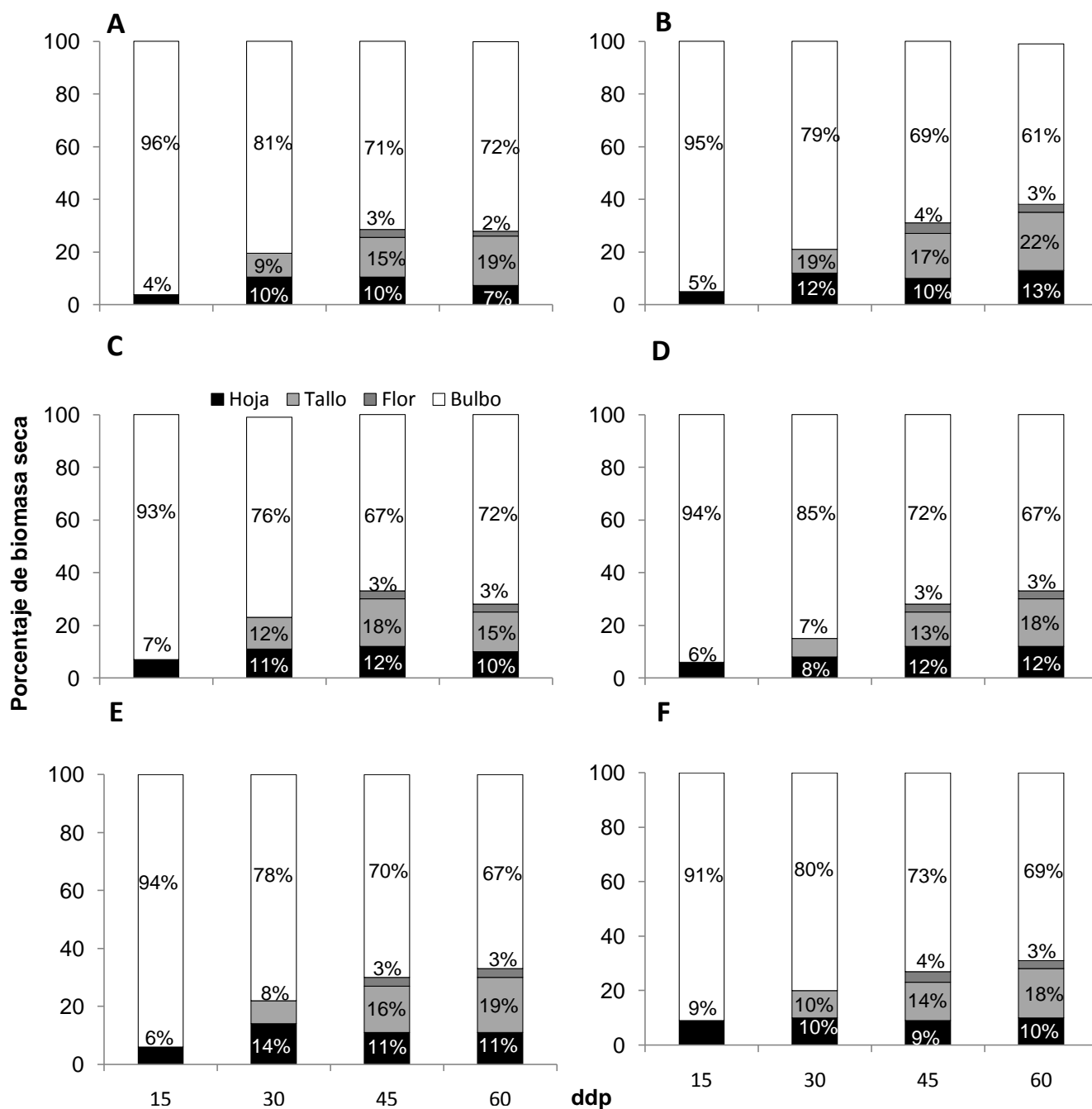


Figura 6. Distribución de biomasa seca en diferentes órganos de tulipán en función de la concentración de La^{3+} . A: 0 μM , B: 5 μM , C: 10 μM , D: 20 μM , E: 30 μM y F: 40 μM . ddp: días después de la plantación.

La distribución en hoja fue similar entre tratamientos, oscilando entre 4 y 13%, Sin embargo, el tiempo donde se mostró la proporción de materia seca más alta en este órgano fue diferente, siendo a los 30, 60, 45, 45, 30 y 60 ddp con 0, 5, 10, 20, 30 y 40 $\mu\text{M La}^{3+}$.

En el tallo la mayor distribución con el 22% se encontró con 5 $\mu\text{M La}^{3+}$ y una de las más bajas con 40 $\mu\text{M La}^{3+}$, que se relacionó con la distribución de materia seca en el bulbo a los 60 ddp, ya que estos mismos tratamientos presentaron el valor más bajo y alto, respectivamente (Figura 6B y 6F). Por lo tanto bulbos de tulipán con una mayor pérdida de materia seca a través del tiempo, redistribuyen mejor y en mayor proporción la materia seca en la hoja y tallo.

La flor fue el órgano con la menor proporción de biomasa seca. Así, el valor más alto en los tratamientos con 0, 10, 20 y 30 $\mu\text{M La}^{3+}$ fue de 3% y de 4% con 5 y 40 $\mu\text{M La}^{3+}$ (Figura 6B y 6F). Inamoto *et al.* (2000) encontraron en diferentes trabajos con tulipán una distribución de materia seca similar a la encontrada en este trabajo ya que fue más alta en el bulbo seguida del vástago (hoja + tallo). En flor y raíz se encontró la menor biomasa.

6.5. Concentración nutrimental en los diferentes órganos de la planta

6.5.1. Efecto de la fuente de La^{3+}

6.5.1.1. Concentración en hoja

En las Figuras 7 y 8, se presenta la concentración nutrimental de macronutrientes y micronutrientes obtenida en la hoja a los 15, 30, 45 y 60 ddp en función de la fuente de La^{3+} suministrada.

En la etapa inicial (15 ddp) con el La^{3+} adicionado como nitrato [$\text{La}(\text{NO}_3)_3$] se tuvieron las mayores concentraciones de todos los nutrientes analizados, aunque sólo se observaron diferencias significativas para P (6.88 g kg^{-1} MS) y K (16.54 g kg^{-1} MS) (Figura 7).

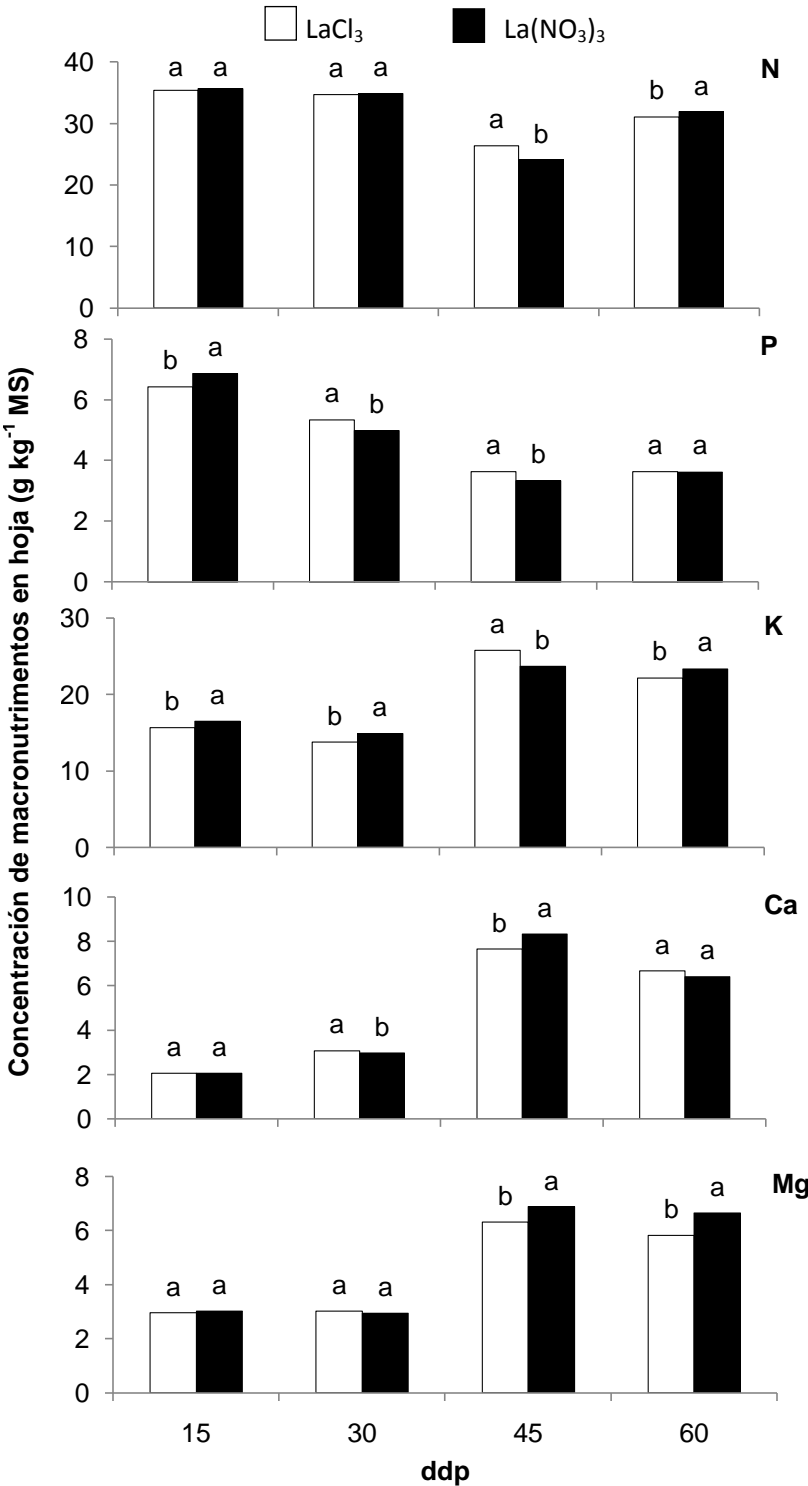


Figura 7. Concentración de macronutrientes en hoja de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, ddp: días después de la plantación, MS: materia seca.

En la fase de expansión de la hoja (30 ddp), el P (5.35 g kg⁻¹ MS), Ca (3.07 g kg⁻¹ MS), Mg (3.01 g kg⁻¹ MS), Mn (39.40 mg kg⁻¹ MS), Fe (142.30 g kg⁻¹ MS) y Zn (48.40 mg kg⁻¹ MS) mostraron la mayor concentración cuando el La³⁺ fue en forma de cloruro (LaCl₃), mientras que las concentraciones de N (34.9 g kg⁻¹ MS), K (14.9 g kg⁻¹ MS) y Cu (9.3 mg kg⁻¹ MS) fueron más altas con el suministro de La(NO₃)₃ (Figura 7 y 8). Vargas y Tejos (2008), encontraron una concentración de N en esta etapa fenológica de 45 g kg⁻¹ MS.

En la etapa de floración (45 ddp) el tratamiento con LaCl₃ fue mayor la concentración de N, P, K (26.4, 3.6 y 25.8 g kg⁻¹ MS, respectivamente), Fe, Cu y Zn (241.8, 4.5 y 76.5 mg kg⁻¹ MS, respectivamente), mientras que con La(NO₃)₃ fue Ca (8.3 g kg⁻¹ MS), Mg (6.9 g kg⁻¹ MS), Mn (44.2 mg kg⁻¹ MS) y La (5.3 mg kg⁻¹ MS) (Figura 7 y 8). Una concentración de N similar en hojas de tulipán al momento de la floración, siendo entre 19 y 33 g kg⁻¹ MS fue reportada por Ohyama (1991) y Vargas y Tejos (2008).

Finalmente en la etapa de senescencia (60 ddp) la concentración de P (3.6 g kg⁻¹ MS), Ca (6.7 g kg⁻¹ MS), Mn (39.1 mg kg⁻¹ MS) y Cu (2.6 mg kg⁻¹ MS) fue más alta al adicionar LaCl₃. Con el La(NO₃)₃ fueron mayores las concentraciones de N (31.9 g kg⁻¹ MS), K (23.4 g kg⁻¹ MS), Mg (6.6 g kg⁻¹ MS), Fe (268.1 mg kg⁻¹ MS) y Zn (56.1 mg kg⁻¹ MS) (Figura 7 y 8). Una concentración a los 59 ddp de N, P y Fe de 29.4 g kg⁻¹ MS, 3.6 g kg⁻¹ MS, y 119 mg kg⁻¹, respectivamente, encontraron Osorio *et al.* (2009) en tulipán cv Golden Apeldoorn. Ramírez (2006) en el cv Ile de France a los 60 ddp observó una concentración más baja de Ca, Mg y Fe a la encontrada en este experimento y fue similar para N, P, K, Zn y Mn.

Por lo tanto, a través del ciclo de cultivo se observó una respuesta diferente en la concentración nutrimental a las diferentes fuentes de La³⁺ suministrada. Así, en general fue mayor al adicionar La(NO₃)₃ principalmente a los 15 y 65 ddp y con el suministro de LaCl₃ se incrementaron las concentraciones nutrimentales a los 30 y 45 ddp (Figura 7 y 8).

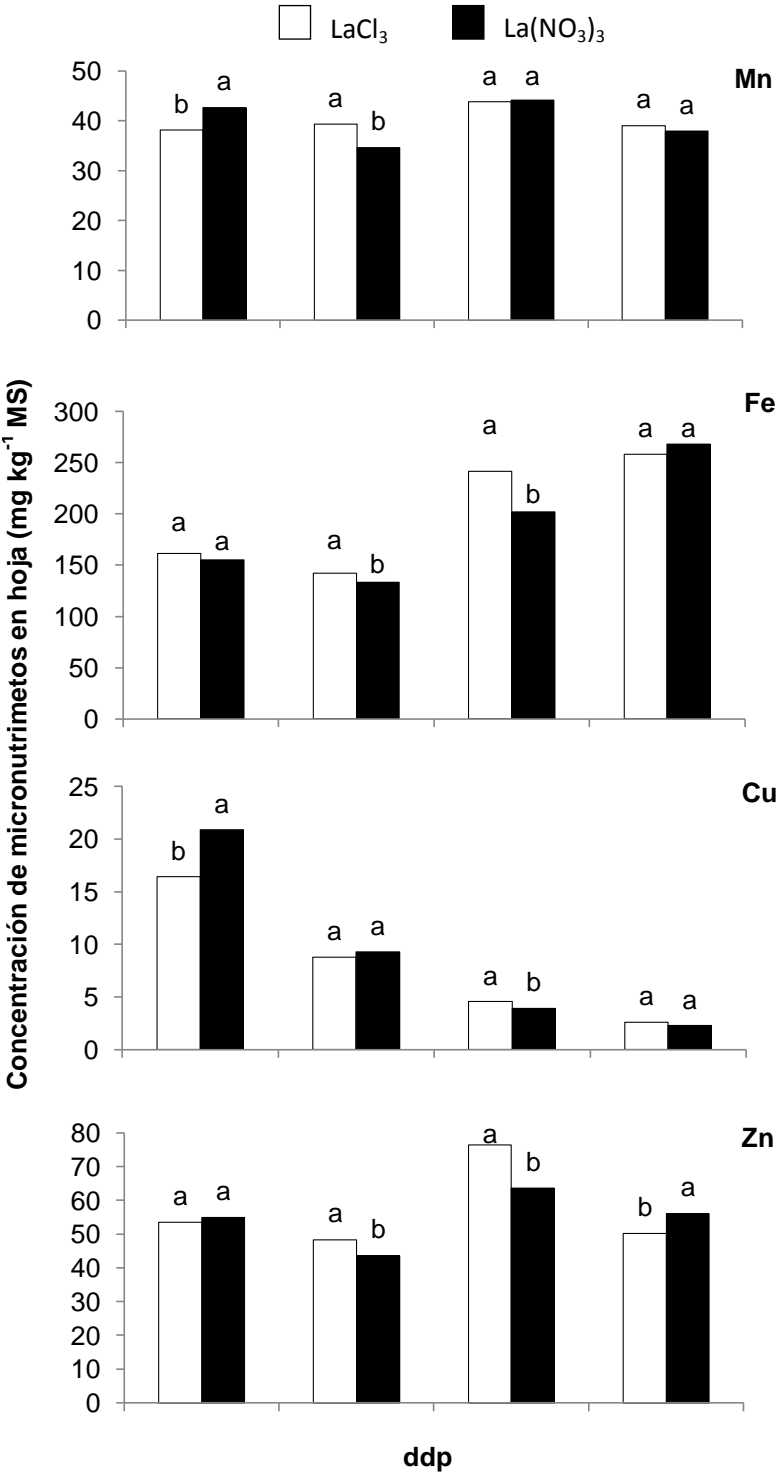


Figura 8. Concentración de micronutrimetos en hoja de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La³⁺. Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. Mn: manganeso, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc. ddp: días después de la plantación, MS: materia seca.

6.5.1.2. Concentración en flor

La concentración de nutrimentos en la flor en función de la fuente de La^{3+} utilizada se muestra en las Figura 9 y 10. A los 45 y 60 ddp se observaron diferencias significativas por efecto de la fuente en todos los nutrimentos analizados con excepción del P a los 60 dds. Así, los valores más altos se encontraron al suministrar LaCl_3 sólo en Ca a los 60 ddp fue mayor con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. En floración (45 ddp) los valores más altos para macronutrimentos fueron de 3.8, 10.1, 1.6 y 3.0 g kg^{-1} MS en P, K, Ca y Mg, respectivamente. Una concentración de Ca más baja reportan Klougart (1980) y Nelson *et al.* (2003), oscilando entre 0.50 a 0.92 g kg^{-1} MS, diferencias que pueden asociarse a las distintas variedades de tulipán que utilizaron en sus respectivos trabajos. Para los micronutrimentos la concentración de Mn, Fe, Cu y Zn fue de 65.5, 613.1, 465.5, 19.4 y 50.7 mg kg^{-1} MS, respectivamente. A la senescencia (60 ddp) el contenido de P, K, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn con el LaCl_3 superó en 1.2, 8.5, 3.2, 5.0, 21.6, 4.3, 33.7% al encontrado con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, que fue de 2.5, 9.4, 3.1, 52.0, 379.3, 34.5 y 33.5, respectivamente, en los tres primeros en g kg^{-1} MS y en los restantes en mg kg^{-1} MS (Figura 9 y 10).

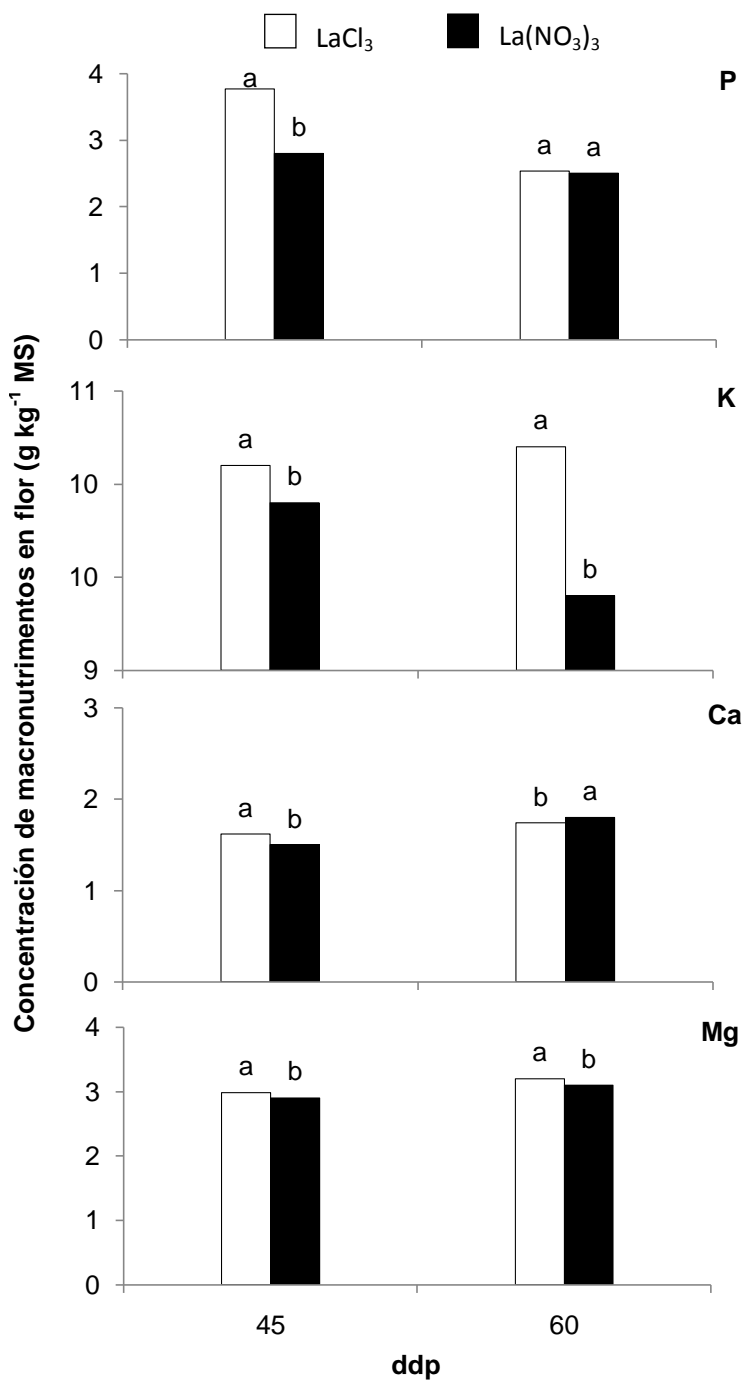


Figura 9. Concentración de macronutrientes en flor de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La³⁺. Letras distintas sobre las barras de cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, ddp: días después de la plantación, MS: materia seca.

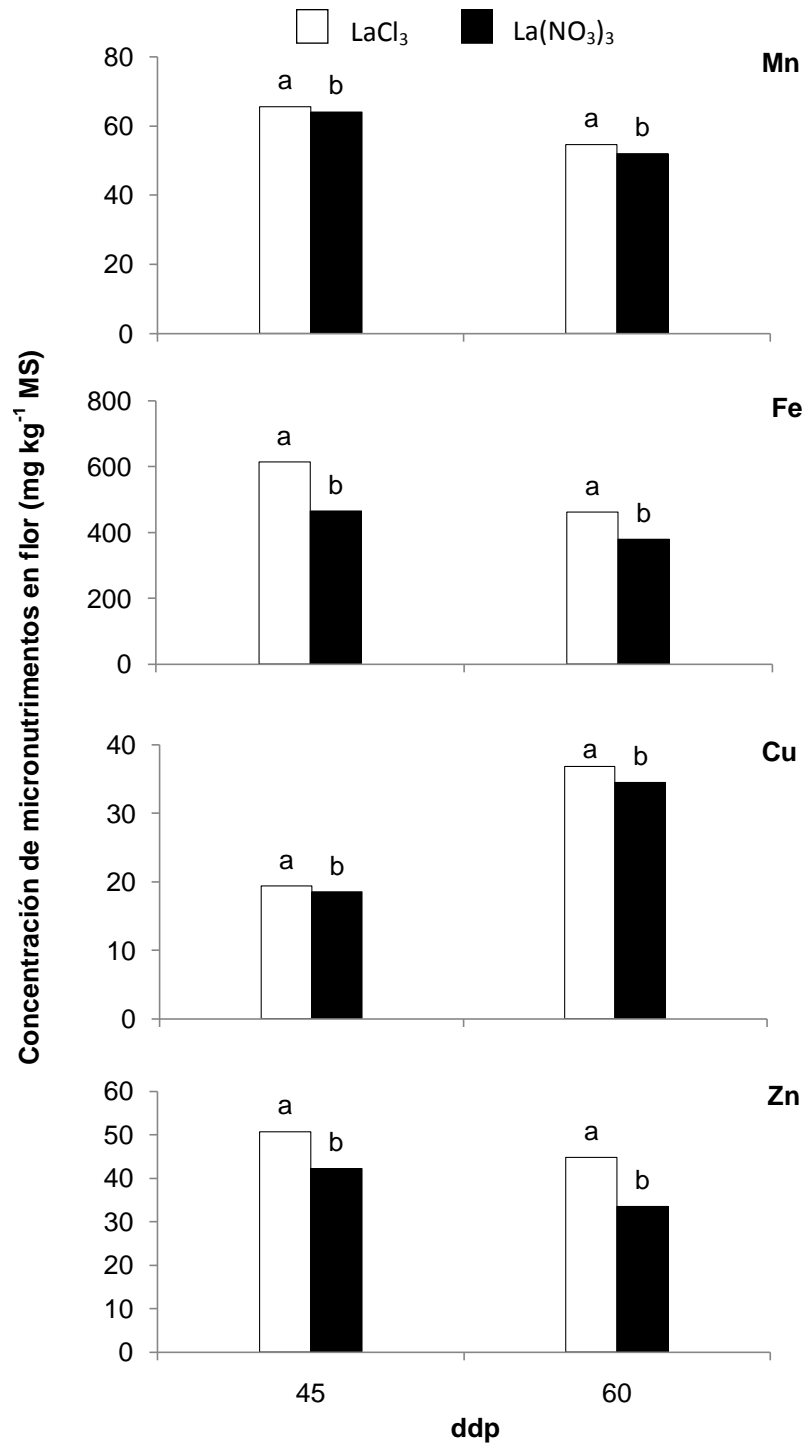


Figura 10. Concentración de micronutrientos en flor de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. Mn: manganeso, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc. ddp: días después de la plantación, MS: materia seca.

6.5.1.3. Concentración en bulbo

La concentración de P fue más alta durante el ciclo de cultivo con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Sin embargo, las diferencias fueron significativas sólo a los 60 ddp. Así, el contenido fue de 1.8, 2.4, 4.2, 4.3 g kg^{-1} MS, a los 15, 30, 45 y 60 ddp, respectivamente (Figura 11). Ramírez (2006), encontró a los 59 ddp con diferentes tratamientos en tulipán cv Ile de France una concentración promedio de P de 2.3 g kg^{-1} MS y un contenido máximo de 3.2 g kg^{-1} MS. Este último valor equivalente al encontrado en esta investigación. En contraste con la concentración de P, la de K mostró diferencias significativas a los 30, 45 y 60 ddp.

A los 30 ddp fue más alta con LaCl_3 (4.9 g kg^{-1} MS) en comparación con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (4.6 g kg^{-1} MS). Sin embargo, en la fechas restantes fue mayor en $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, siendo de 7.9 y 7.5 g kg^{-1} MS a los 45 y 60 ddp. En Ca, a partir de los 30 ddp la mayor concentración se encontró con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, no obstante sólo se observaron diferencias significativas a los 60 dds con un contenido de 1.7 y 1.8 g kg^{-1} MS para LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente.

En la floración (45 ddp) el Mg fue de 2.1 g kg^{-1} MS con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ superior en 13% a lo encontrado con LaCl_3 (Figura 11). Resultados similares en la concentración de Ca, K y Mg en bulbo de tulipán cv Ile de France reporta Ramírez (2006).

En el caso de los micronutrientes (Mn, Fe, Cu y Zn) se observaron diferencias significativas a través del desarrollo del cultivo, con excepción de los 15 ddp en Mn y Cu y a los 30 y 60 ddp para Zn. La mayor concentración de Mn, Fe, Cu y Zn se presentó a los 60 ddp, siendo más alta en Mn, Fe y Zn con el suministró de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, con valores de 28, 197 y 45 mg kg^{-1} MS, respectivamente, que superó en 13, 16 y 2% a la concentración encontrada con LaCl_3 . Sólo en Cu se mostró la mayor cantidad con LaCl_3 (32.5 mg kg^{-1} MS) (Figura 12). La concentración en promedio de Mn, Fe y Zn encontrada a los 60 ddp es superior a la reportada por Ramírez (2006), diferencias asociadas al distinto manejo de cultivo realizado entre experimentos.

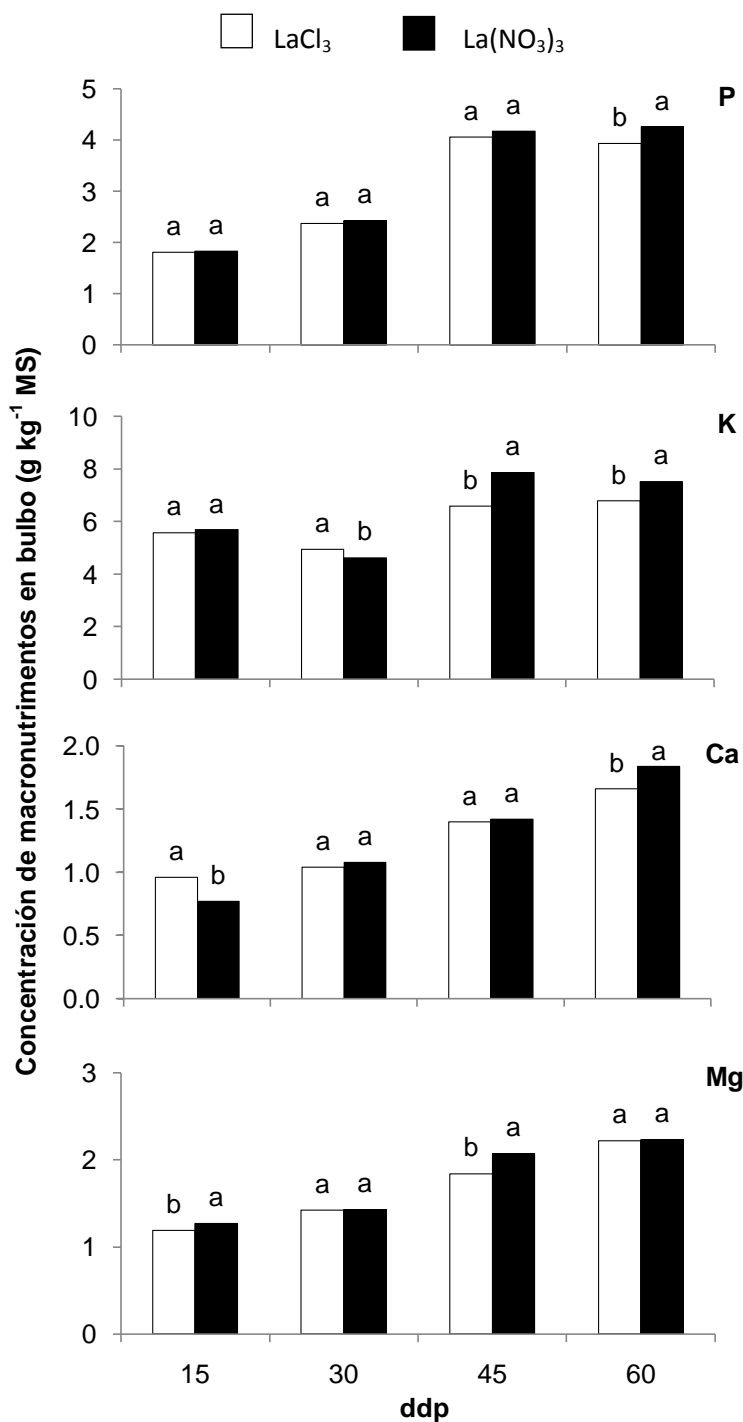


Figura 11. Concentración de macronutrientes en bulbo de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, ddp: días después de la plantación, MS: materia seca.

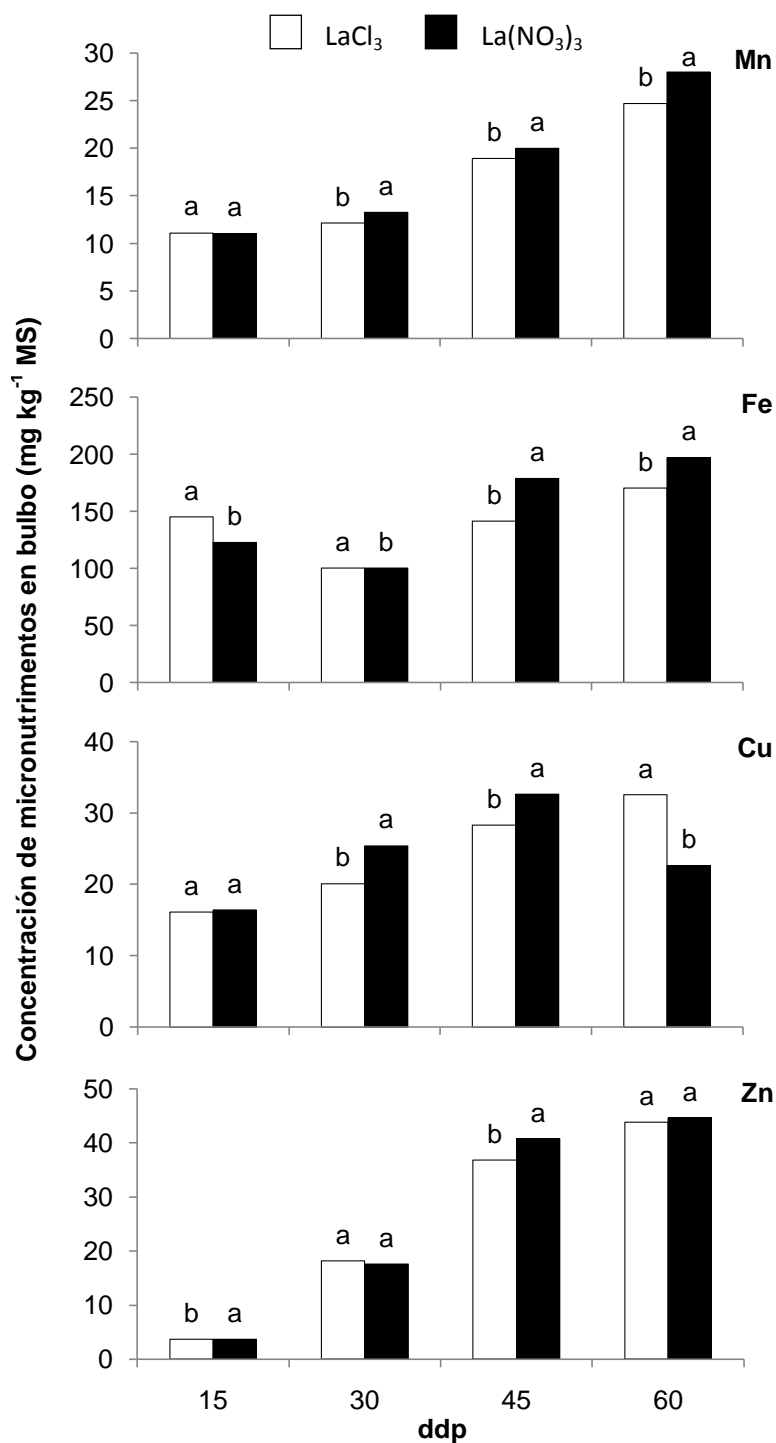


Figura 12. Concentración de micronutrientos en bulbo de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. Mn: manganeso, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc. ddp: días después de la plantación, MS: materia seca.

6.5.2. Efecto de la concentración de La³⁺

6.5.2.1. Concentración en hoja

En promedio los contenidos de Ca, Mg y Fe aumentaron a través del ciclo de cultivo; en contraste, el N, P y Cu disminuyeron, mientras que K, Mn y Zn presentaron un comportamiento que no se correlaciona con las concentraciones de lantano evaluadas (Cuadros 6 a 9).

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas a los 15, 30, 45 y 60 ddp en la concentración de macro y micronutrientes en respuesta a la dosis de La³⁺ suministrada. Generalmente, los valores más altos se encontraron entre 5 y 20 20 µM La³⁺ (Cuadros 6 a 9). Una mayor concentración de N, P, K y Ca en maíz, arroz y cebada se encontraron al suministrar La³⁺ (Ning y Xiao, 1989; Diatloff *et al.*, 1995; Zhu y Hu, 1998; von Toucher *et al.*, 2001 y Meehan *et al.*, 2001). Sin embargo, con dosis superiores a 20 µM La³⁺ disminuyó la concentración nutrimental, tal como lo sugirieron Hu *et al.* (2006) y Xie *et al.* (2002).

En la etapa de emergencia (15 ddp) la mayor concentración de N, P, K, Fe y Cu en hojas se encontró al suministrar 20 µM La³⁺; mientras que las mayores concentraciones de Ca, Mg y Zn fue con 10 µM La³⁺. El Mn tuvo su mayor concentración en hoja con el tratamiento de 5 µM La³⁺. Diatloff *et al.* (2008) en vigna a los 18 días después de la siembra (dds) encontraron que al suministrar lantano en diferente dosis de La³⁺ se registraba una mayor asimilación nutrimental; la adición de 0.2 µM La³⁺ incrementó en vigna la absorción de N, Ca y Mg; el suministro de 0.9 µM La³⁺ incrementó la absorción de P y Zn; y la dosis de 5 µM La³⁺ incrementó la absorción de Cu (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto del La³⁺ sobre la concentración nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France a los 15 ddp (emergencia).

Concentración de La ³⁺ (µM)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	g kg ⁻¹ MS					mg kg ⁻¹ MS			
0	35.1cd ^z	5.83d	17.2ab	1.83d	2.98b	41.4b	204.0a	19.0b	55.4b
5	35.7b	6.51c	17.1ab	2.12c	2.97b	43.1a	156.7b	19.1b	51.4c
10	35.6bc	7.10b	15.4c	2.41 ^a	3.29a	41.6ab	116.0c	17.2c	60.1a
20	37.4a	7.91a	17.4a	2.22b	3.27a	39.6c	222.7a	21.6a	56.8ab
30	34.8de	5.58d	12.6d	1.87d	2.49c	35.8d	121.8c	15.5d	50.5c
40	34.4e	7.02b	16.7b	1.82d	2.92b	41.1bc	129.1c	19.08b	51.0c
DMS	0.55	0.36	0.55	0.08	0.13	1.55	19.7	1.64	3.83

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05, MS: materia seca.

Por lo tanto, en esta etapa la concentración de nutrimentos en respuesta a los tratamientos, tiende comportarse de la siguiente manera: N>K>P>Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu. Sin embargo, los cambios generados durante los primeros 15 ddp, se relacionan en gran medida con la redistribución que presenta del bulbo hacia el vástago, Resultados similares son expuestos por Ress (1992), quien atribuye esta respuesta a que el bulbo es la estructura de reserva para iniciar el crecimiento del cultivo.

En el tratamiento testigo (0 $\mu\text{M La}^{3+}$) o con 40 $\mu\text{M La}^{3+}$, a los 30 ddp se encontró la menor concentración de todos los nutrimentos. El valor máximo de N, P, Mg y Zn se mostró con 20 $\mu\text{M La}^{3+}$; para K y Ca fue con 10 $\mu\text{M La}^{3+}$, mientras que en Mn, Fe y Cu se encontró al suministrar 5 $\mu\text{M La}^{3+}$ (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del La^{3+} sobre la concentración nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France a los 30 ddp (expansión de hoja).

Concentración de La^{3+} (μM)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	g kg^{-1} MS					mg kg^{-1} MS			
0	30.2f ²	3.63e	8.92e	2.69d	2.09d	30.7d	176.5a	4.19d	40.7b
5	36.2b	5.90c	16.4c	3.46b	3.42b	44.8a	182.4a	12.2a	52.0a
10	35.7c	3.88e	19.2a	3.65a	2.57c	41.6b	147.8b	10.6b	50.4a
20	37.7a	6.83a	17.3b	3.22c	3.84a	40.8b	139.6b	10.5b	55.0a
30	33.5e	4.51d	11.7d	2.59de	2.608c	33.0c	80.8d	8.35c	40.2b
40	35.3d	6.27b	12.4d	2.53e	3.34b	31.6cd	100.2c	8.11c	37.9b
DMS	0.33	0.35	0.86	0.15	0.23	2.20	13.1	1.32	5.19

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$, MS: materia seca.

Para la floración (45 ddp) en todos los nutrimentos (excepto en N), la adición de lantano incrementó su concentración. No obstante, el valor más alto presentó gran variación entre nutrimento y concentración. Por ejemplo, con 0, 5, 10, 5 y 10 $\mu\text{M La}^{3+}$ fue más alta la concentración de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente (Cuadro 8). Resultados similares observaron von Tucher *et al.* (2001) en maíz y Xie *et al.* (2002) en arroz a los 47 y 50 dds, respectivamente, quienes encontraron un contenido más alto de la mayoría de los nutrimentos estudiados al suministrar La^{3+} .

Cuadro 8. Efecto del La³⁺ sobre la concentración nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France a los 45 ddp (floración).

Concentración de La ³⁺ (µM)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ MS-----					-----mg kg ⁻¹ MS-----			
0	28.1a ^z	3.42b	28.1b	7.50c	7.28b	45.3b	165.4c	3.46c	67.6bc
5	23.0e	4.63a	27.5b	10.3a	5.29d	46.1b	248.8a	4.60b	58.6d
10	27.1b	3.59b	30.2a	6.94d	8.38a	37.4d	216.7b	6.18a	91.0a
20	24.8c	3.48b	22.6d	9.04b	5.86c	51.2a	236.9ab	3.51c	73.5b
30	24.2d	3.16c	16.3e	6.74d	7.30b	41.7c	235.7c	3.04d	63.2cd
40	24.5cd	2.64d	23.8c	7.47c	5.48cd	42.67bc	227.5ab	4.56b	66.7bc
DMS	0.49	0.21	1.15	0.41	0.51	3.60	30.5	0.26	7.22

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05, MS: materia seca.

En senescencia (60 ddp) 10 µM La³⁺ mostró la mayor cantidad de N, P, K, Mn y Zn, mientras que en Ca, Mg, Fe y Cu fue con 20 µM La³⁺ y superaron en 3, 45, 68, 29, 22, 58, 73, 126, 294% a el testigo (0 µM La³⁺), respectivamente (Cuadro 9). El orden de acumulación nutrimental observado en respuesta a las concentraciones de La³⁺ suministradas para cada etapa, fue el siguiente: macronutrientes N>K>P>Ca>Mg y micronutrientes Fe>Zn>Mn>Cu (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto del La³⁺ sobre la concentración nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France a los 60 ddp (senescencia).

Concentración de La ³⁺ (µM)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ MS-----					-----mg kg ⁻¹ MS-----			
0	33.2b ^z	2.93c	18.4e	5.70c	4.65c	35.4d	174.2d	0.89c	52.5c
5	29.6e	2.89c	20.2d	6.50b	5.39b	32.1e	197.1d	2.55b	42.9e
10	34.2a	4.25a	31.0a	6.33b	7.37a	45.7a	334.0b	3.93a	64.0a
20	31.5c	3.90ab	24.2b	9.03a	8.03a	41.2b	394.2a	3.51a	59.4b
30	30.3d	3.97ab	22.2c	5.18d	5.97b	38.7c	246.8c	1.37c	48.5d
40	30.3d	3.86b	20.8d	6.54b	6.00b	38.4c	233.2c	2.26b	51.9cd
DMS	0.50	0.38	1.38	0.48	0.66	2.68	25.2	0.61	3.52

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05, MS: materia seca.

6.5.2.2. Concentración en flor

La concentración de nutrientes en la flor de tulipán a los 45 (floración) y 65 ddp (senescencia) en función de la dosis de La³⁺ es mostrada en los Cuadros 10 y 11, observando diferencias altamente significativas en todos los nutrientes estudiados.

A los 45 ddp el transporte nutrimental generalmente fue más bajo con 0, 30 o 40 μM La^{3+} . En contraste, el más alto fue entre 10 y 20 μM La^{3+} . Así, con el suministro de 20 μM La^{3+} se registró la mayor concentración de P y K, mientras que con 10 μM La^{3+} fue la de Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn y superaron al tratamiento testigo en 33, 4, 14, 20, 7, 3, 21, 42% respectivamente (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto del La^{3+} sobre la concentración nutrimental en flor de tulipán cv. Ile de France a los 45 ddp (floración).

Concentración de La^{3+} (μM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ MS-----				-----mg kg ⁻¹ MS-----			
0	3.25c ^z	10.5b	1.53bc	2.73c	63.4c	539.8a	25.8b	48.1b
5	3.67b	9.15e	1.47c	2.88b	66.8ab	510.2b	13.1d	42.6c
10	2.44d	10.0c	1.74a	3.27a	67.6a	553.5a	31.3a	68.5a
20	4.31a	10.9a	1.57b	2.90b	65.8b	528.6ab	18.3c	49.3b
30	2.26e	9.52d	1.53bc	2.92b	64.1c	554.6a	14.1d	30.3d
40	3.70b	9.87c	1.56b	2.91b	60.8d	549.0a	11.1e	40.0c
DMS	0.12	0.34	0.07	0.07	1.07	28.8	1.78	4.29

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$, MS: materia seca.

En la fase de senescencia (65 dds), se registraron las mayores concentraciones de nutrimentos con las dosis de 10 μM La^{3+} (Mg, Mn y Cu) y 20 μM La^{3+} (P, K, Ca, Fe y Zn) (Cuadro 11). A los 45 y 65 ddp en promedio el orden nutrimental fue de la siguiente manera; para macronutrimentos $\text{K} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Ca}$; y de $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu} > \text{La}$ para micronutrimentos. En cempasúchil se ha encontrado que la adición de 10 μmol de La^{3+} kg^{-1} de suelo incrementa la absorción de Fe, Zn y otros elementos traza. El Mn generalmente disminuye (Suzuki *et al.*, 2001).

Cuadro 11. Efecto del La³⁺ sobre la concentración nutrimental en flor de tulipán cv. Ile de France a los 60 ddp (senescencia).

Concentración de La ³⁺ (µM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ MS-----				-----mg kg ⁻¹ MS-----			
0	1.74d ^z	8.51d	1.64d	3.16c	51.3c	438.1a	32.8d	35.7b
5	2.58c	9.69b	1.71c	3.00d	50.5c	327.7c	35.1c	54.0a
10	3.17b	10.8a	1.85b	3.32a	57.8a	447.3a	43.6a	33.1b
20	4.11a	10.8a	1.98a	2.91e	48.59d	455.5a	33.0d	55.9a
30	1.72d	9.70b	1.67cd	3.22bc	57.0a	399.9b	31.5d	26.1c
40	1.73d	9.30c	1.82b	3.26ab	54.7b	453.2a	37.9ab	30.1bc
DMS	0.08	0.36	0.04	0.07	0.98	31.3	1.53	6.32

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05, MS: materia seca.

6.5.2.3. Concentración en bulbo

El efecto del La³⁺ sobre la concentración nutrimental en bulbo en las diferentes etapas fenológicas mostró diferencias significativas (P≤0.05).

A los 15 ddp el suministro de La³⁺ incrementó la concentración de P, Ca, Mg, Mn y Cu por tanto los valores más bajos se mostraron en el tratamiento sin La³⁺. La mayor absorción fue al adicionar 20 µM La³⁺ para P y 10 µM La³⁺ para Ca, Mg, Mn y Cu, siendo de 2.2 g kg⁻¹ MS, 1.3 g kg⁻¹ MS, 1.2 g kg⁻¹ MS, 13.2 mg kg⁻¹ MS, 26.9 mg kg⁻¹ MS, respectivamente. Para K y Fe dosis superiores a 30 µM La³⁺ afectan significativamente su concentración, ya que se presentan valores inferiores al tratamiento testigo. Así, el máximo contenido se encontró con 10 y 20 µM La³⁺, en K y Fe, respectivamente. Para Zn la menor y mayor concentración se encontró al adicionar 5 y 20 µM La³⁺ con 11.9 y 21.0 mg kg⁻¹ MS, respectivamente (Cuadro 12). En raíces de plántulas de trigo se ha encontrado una mayor concentración de K, Ca y Mg al suministrar entre 2 a 25 mg La³⁺ L⁻¹ (Hu *et al.*, 2002). Resultados similares reportan Xin *et al.* (2006) y Diatloff *et al.* (2008) en los que la adición de La³⁺ incrementó la absorción de N, P, K, Ca, Mg, Mn, S, y Fe en las raíces de maíz a los 14 dds.

A los 30 ddp el tratamiento control (0 µM La³⁺) presentó los valores más bajos para P, K, Ca, Mg, Mn, Fe y Cu; el Zn fue con 5 µM La³⁺. Las concentraciones de nutrimentos más altas se encontraron entre 10 y 20 µM La³⁺. Así, al adicionar 10 µM de lantano se registraron mayores contenidos de P, K, Mg, Fe y Zn. Las concentraciones de Ca, Mn y Cu más altas se registraron con el suministro de 20 µM La³⁺ (Cuadro 13). Estos

resultados difieren de lo encontrado por von Tucher *et al.* (2001) a los 30 dds en maíz, pues sólo el P, K y Mg se incrementaron al suministrar La³⁺.

Cuadro 12. Efecto del La³⁺ sobre la concentración nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France a los 15 ddp (emergencia).

Concentración de La ³⁺ (µM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ MS-----				-----mg kg ⁻¹ MS-----			
0	1.39d ^z	6.00ab	0.69b	1.14c	9.19c	127.2b	9.19b	12.07cd
5	1.75c	5.74bc	0.81b	1.19bc	10.7b	152.9a	19.0a	11.92d
10	1.76c	6.55a	1.33a	1.22a	13.2a	124.6b	5.90b	12.89bcd
20	2.19a	5.38c	0.79b	1.38c	11.4b	153.9a	26.9a	21.00a
30	1.80bc	4.72d	0.81b	1.28b	10.9b	125.2b	19.6a	14.31b
40	2.04ab	5.42c	0.76b	1.16c	11.2b	119.2b	17.1a	13.54bc
DMS	0.23	0.52	0.15	0.10	0.93	18.0	5.91	1.60

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05, MS: materia seca.

Cuadro 13. Efecto del La³⁺ sobre la concentración nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France a los 30 ddp (expansión de hoja).

Concentración de La ³⁺ (µM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ MS-----				-----mg kg ⁻¹ MS-----			
0	1.61e ^z	4.05d	0.95b	1.26e	11.2c	55.8e	3.09e	17.2bc
5	2.36c	4.45cd	0.99b	1.38d	12.7b	74.9d	34.2ab	15.4c
10	3.17a	5.34a	1.19a	1.57a	13.0b	168.3a	20.3c	25.2a
20	2.67b	5.17ab	1.30a	1.49ab	14.30a	106.0b	35.8a	19.6b
30	2.13d	4.72bc	0.97b	1.47bc	12.6b	110.4b	29.8b	12.3d
40	2.49bc	5.00ab	0.95b	1.38cd	12.4b	97.0c	13.4d	17.2bc
DMS	0.22	0.49	0.13	0.09	0.98	6.38	5.68	2.71

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05, MS: materia seca.

En el Cuadro 14 se muestran los valores de la concentración nutrimental a los 45 ddp. La máxima absorción de macronutrientes se observó con 20 y 10 µM La³⁺, la primera dosis incrementó la concentración de P, K y Ca; mientras que la segunda la de Mg. En el caso de los micronutrientes, con 10 µM La³⁺ fue más alta la absorción de Mn (24.3 mg kg⁻¹ MS) y Cu (45.8 mg kg⁻¹ MS) y con 20 µM La³⁺ la de Fe (213.1 mg kg⁻¹ MS) y Zn (43.7 mg kg⁻¹ MS) superando en 40, 81, 119 y 25% a los valores más bajos que se presentaron con 0, 40, 0 y 30 µM La³⁺, respectivamente. Resultados similares observaron von Tucher *et al.* (2001) en raíz de maíz y Xie *et al.* (2002) en raíz de arroz

a los 47 y 50 dds, respectivamente, registrándose un contenido nutrimental más alto al suministrar La^{3+} . En maíz las concentraciones más altas registradas fueron para P, K y Mg, mientras que en arroz fueron para P, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn.

Cuadro 14. Efecto del La^{3+} sobre la concentración nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France a los 45 ddp (floración).

Concentración de La^{3+} (μM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ MS-----				-----mg kg ⁻¹ MS-----			
0	4.30b ^z	6.56c	1.38bc	1.81c	17.4c	188.4b	20.9d	39.0c
5	4.35ab	6.74c	1.35bc	1.87c	17.5c	148.4cd	22.4cd	41.0b
10	4.10b	6.95bc	1.41b	2.20a	24.3a	139.3d	45.8a	37.7cd
20	4.69a	8.55a	1.70a	1.97b	19.6b	213.1a	32.2bc	43.7a
30	3.64c	7.40b	1.32bc	1.96b	17.8c	152.8c	23.1cd	34.9e
40	3.64c	7.14c	1.30c	1.95b	20.0b	117.8c	38.4ab	35.9de
DMS	0.34	0.58	0.09	0.07	1.08	9.80	10.7	1.83

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$, MS: materia seca.

En contraste las anteriores etapas fenológicas, en la senescencia (60 ddp) la mayor concentración nutrimental se mostró con 10 μM La^{3+} a excepción del Cu que fue con 20 μM La^{3+} , siendo de 5.3, 9.0, 2.0 y 2.5 g kg⁻¹ MS para P, K, Ca y Mg y de 29.6, 193.4, 48.3 y 51.8 mg kg⁻¹ MS para Mn, Fe, Cu y Zn, respectivamente (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efecto del La^{3+} sobre la concentración nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France a los 60 ddp (senescencia).

Concentración de La^{3+} (μM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----g kg ⁻¹ MS-----				-----mg kg ⁻¹ MS-----			
0	3.66cd ^z	6.65c	1.39c	1.90d	25.7a	152.5b	19.0d	41.3d
5	4.82b	7.40b	1.72b	2.38b	26.8a	184.0a	28.1b	49.0b
10	5.29a	9.05a	2.00a	2.53a	29.6a	193.38a	25.0bc	51.8a
20	3.88c	6.27d	1.91a	2.26c	24.8a	193.30a	48.3a	45.0c
30	3.45d	6.67e	1.98a	2.28c	28.2a	198.7a	21.8cd	40.4d
40	3.50d	6.94c	1.50c	2.01d	23.0a	180.2a	22.9c	37.7e
DMS	0.34	0.36	0.13	0.12	7.92	23.8	3.14	2.66

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$, MS: materia seca.

En promedio el orden nutrimental a los 15 y 30 ddp fue $K > P > Mg > Ca$ y $Fe > Cu > Zn > Mn$ para macronutrientes y micronutrientes, respectivamente. A los 45 y 60 ddp el

orden en macronutrientes no cambió; sin embargo, para micronutrientes fue $Fe > Zn > Cu > Mn$.

En general la concentración de N, P y Cu en hoja disminuyó durante el desarrollo del cultivo. Para Mn parece haber un comportamiento similar, aunque se incrementa durante la floración (45 ddp). Lo anterior puede deberse a que durante los primeros 15 ddp la movilización de dichos nutrientes disminuye a medida que se incrementa el área foliar de la planta. En el K y Zn se observó que de la emergencia (15 ddp) a la expansión de hoja (30 ddp) la concentración disminuye. Sin embargo, presenta su máxima concentración en la floración (45 ddp) y debido a la senescencia disminuye nuevamente en esta etapa (60 ddp). En contraste, las concentraciones de Ca, Mg y Fe presentan un incremento a través del tiempo (Figuras 13 y 14).

En flor el contenido de P, K, Mn, Fe y Zn disminuyen de los 45 ddp a los 60 ddp, mientras que en Ca, Mg y Cu aumenta (Figuras 13 y 14). La menor concentración de los primeros elementos se debe a que el contenido de clorofila (degradación de clorofilas) disminuye al igual que ocurre con otros procesos fisiológicos como el contenido de azúcares y menor transporte de asimilados.

En lo que se refiere al bulbo, la absorción de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu y Zn aumentó conforme se incrementa el crecimiento de la planta. Sin embargo, su valor máximo se presenta en una diferente etapa fenológica: para P, K y Cu se encontró en la floración (45 ddp), mientras que en el Ca, Mg, Mn, Fe y Zn fue al momento de la senescencia (60 ddp) (Figuras 13 y 14). El incremento en estos nutrientes durante el ciclo es debido probablemente a la absorción de estos elementos por la raíz combinado con la limitada redistribución que presenta el bulbo hacia el resto de la planta. Además nos muestra la importancia que tiene este órgano como fuente de reserva para el próximo ciclo de cultivo.

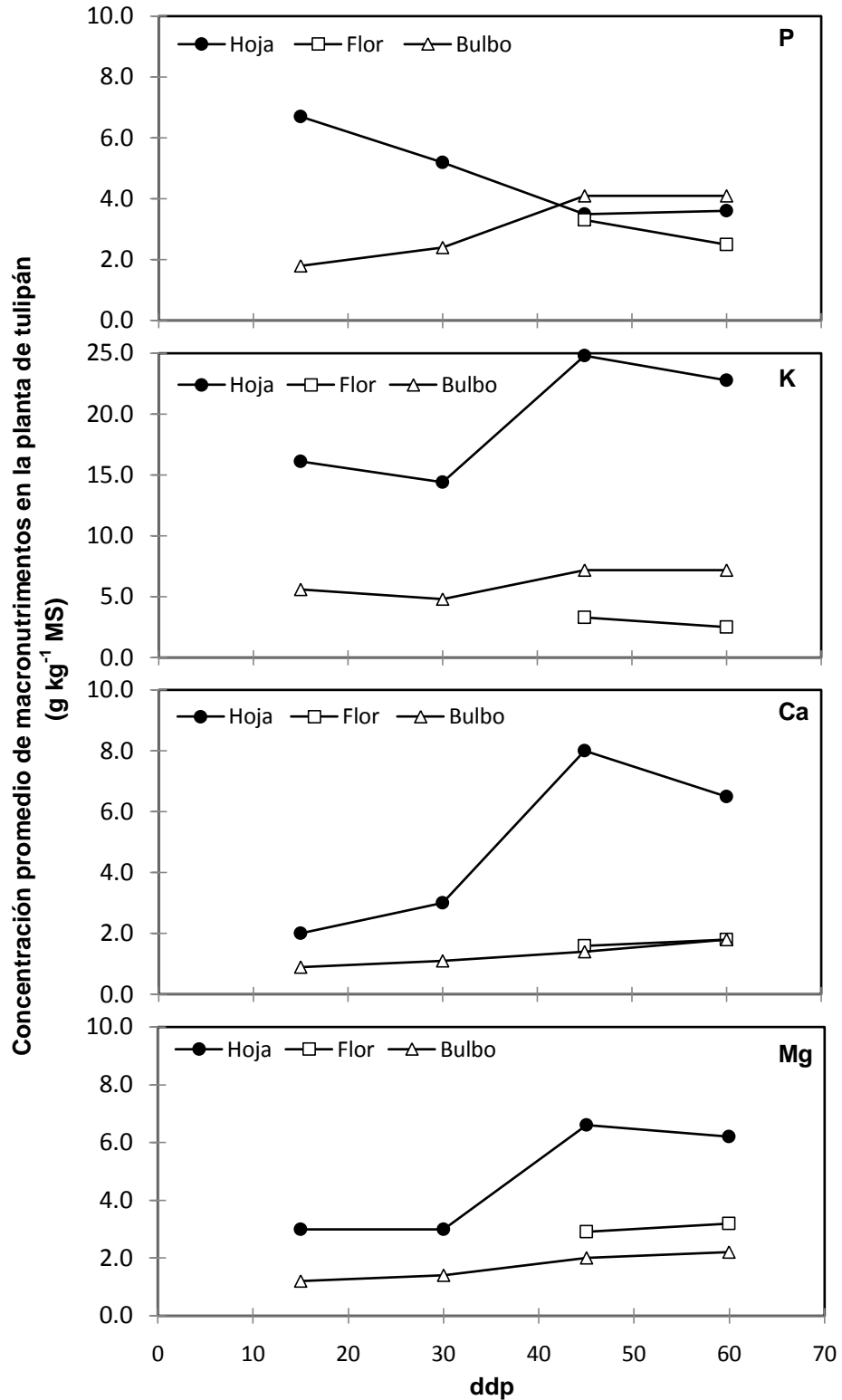


Figura 13. Concentración promedio (n=36) de macronutrientos en diferentes partes de la planta de tulipán cv. Ile de France. P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, ddp: días después de la plantación.

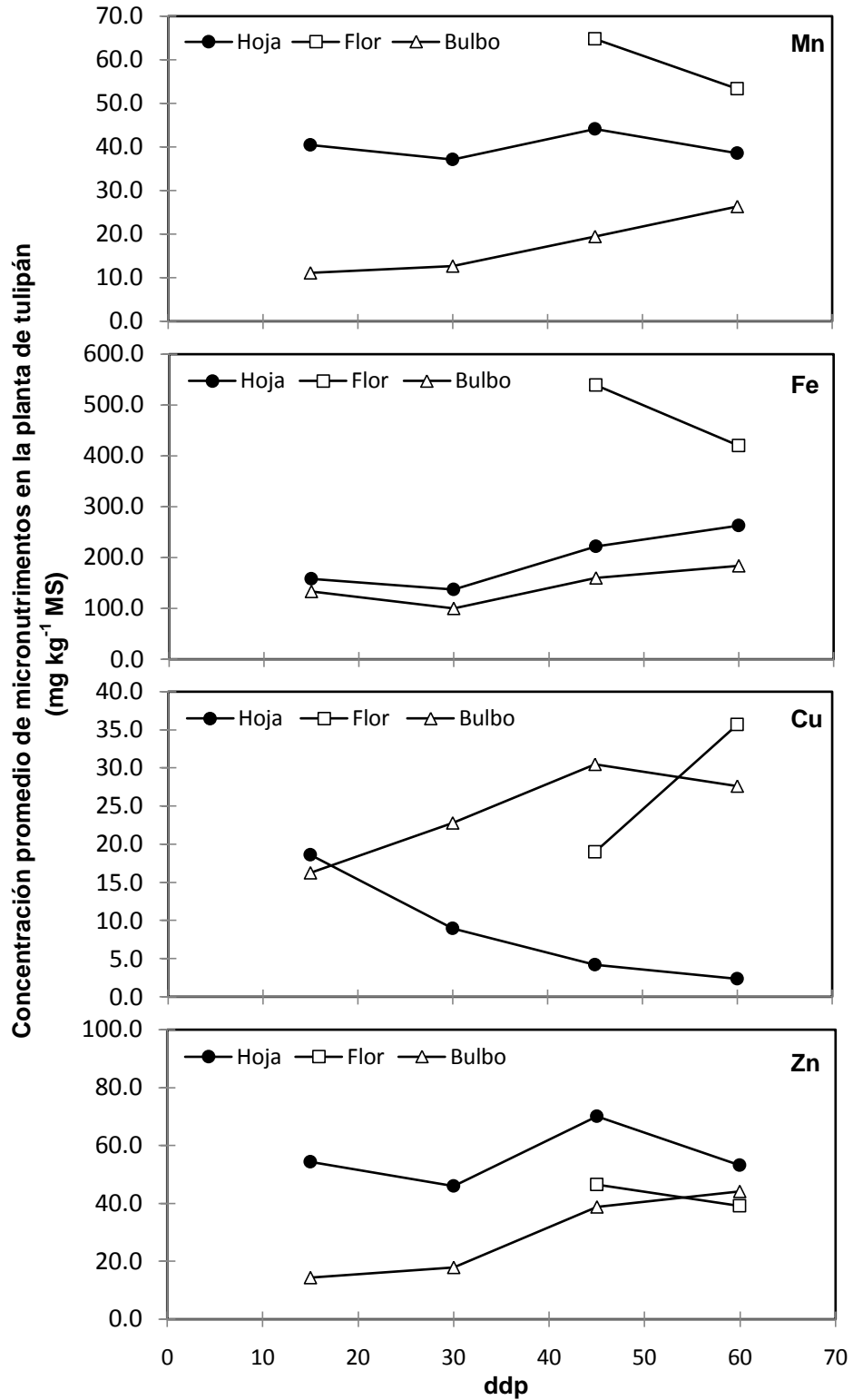


Figura 14. Concentración promedio (n=36) de micronutrientos en diferentes partes de la planta de tulipán cv. Ile de France. Mn: manganeso, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc, ddp: días después de la plantación.

El orden de la concentración nutrimental por órgano mostró variación a través del tiempo. Así, a los 15 y 30 ddp, el orden de concentración de todos los nutrimentos estudiados fue mayor en hojas que en bulbo, con excepción del Cu a los 30 ddp que fue más alto en bulbo que en la hoja. En la floración (45 ddp) se mostró una mayor variación en el orden de concentración de cada órgano. Por ejemplo, se presentó una mayor concentración en hoja (H) de K, Ca, Mg y Zn con relación a flor (F) y bulbo (B). En contraste en bulbo fue más alto el P y Cu (Cuadro 16).

Para la senescencia (60 ddp) se registró una mayor variabilidad en el orden nutrimental con relación al elemento. Para Mn y Fe fue de la siguiente manera F>H>B, para P B>H>F y para K y Zn H>B>F (Cuadro 16).

Cuadro 16. Orden nutrimental promedio en los diferentes órganos de tulipán cv Ile de France.

Nutrimento	15 ddp	30 ddp	45 ddp	60 ddp
P	H>B	H>B	B>H>F	B>H>F
K	H>B	H>B	H>B>F	H>B>F
Ca	H>B	H>B	H>F>B	H>B=F
Mg	H>B	H>B	H>F>B	H>F>B
Mn	H>B	H>B	F>H>B	F>H>B
Fe	H>B	H>B	F>H>B	F>H>B
Cu	H>B	B>H	B>F>H	F>B>H
Zn	H>B	H>B	H>F>B	H>B>F

H: hoja, F: flor, B: bulbo y ddp: días después de la plantación.

6.5.3. Concentración de lantano en los diferentes órganos de la planta

6.5.3.1. Efecto de la fuente de La³⁺

El contenido de La³⁺ presentó diferencias altamente significativas por efecto de la fuente suministrada durante todo el ciclo de cultivo en hoja, flor y bulbo a los 30, 45 y 60 ddp (Cuadro 17).

En hoja los valores más altos con La(NO₃)₃ y LaCl₃ se encontraron a los 45 ddp, siendo de 3.0 y 5.3 mg kg⁻¹ MS, respectivamente. Los valores menores se mostraron en diferente etapa con LaCl₃ fue a los 30 ddp (1.8 mg kg⁻¹ MS) y con La(NO₃)₃ a los 60 ddp (3.3 mg kg⁻¹ MS).

Cuadro 17. Concentración de La³⁺ (mg kg⁻¹ MS) por efecto de la fuente y concentración en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France.

Fuente o concentración de La ³⁺	ddp	Hoja	Flor	Bulbo
LaCl ₃	15	2.40b ^z	-----	0.69a
	30	1.76b	-----	3.47b
	45	3.03b	11.9b	9.00a
	60	2.21b	16.1b	9.00b
La(NO ₃) ₃	15	4.50a	-----	0.81a
	30	3.90a	-----	3.77a
	45	5.30a	14.7a	8.51b
	60	3.30a	30.8a	12.44a
0 µM	15	2.72d	-----	2.86c
	30	1.78d	-----	2.35d
	45	1.22d	10.4c	3.67c
	60	1.86d	12.7c	4.79e
5 µM	15	1.84f	-----	3.83ab
	30	2.65c	-----	3.56c
	45	4.93b	14.6a	9.49ab
	60	2.72c	15.7c	6.41d
10 µM	15	2.26e	-----	4.03ab
	30	2.91bc	-----	4.12b
	45	2.68c	11.7c	8.97b
	60	3.54ab	25.2b	7.51d
20 µM	15	4.84b	-----	3.36bc
	30	2.90b	-----	3.55c
	45	3.31c	13.2b	10.09ab
	60	1.66d	23.9b	10.9c
30 µM	15	3.35c	-----	3.48bc
	30	2.69bc	-----	3.48c
	45	5.29b	15.0a	9.64ab
	60	3.23b	22.5b	15.7b
40 µM	15	5.73a	-----	4.39a
	30	4.15a	-----	4.68a
	45	7.41a	15.0a	10.7a
	60	3.63a	40.6a	18.5a

^zLetras distintas por días después de la plantación, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

La flor fue el órgano con la mayor concentración de La³⁺; asimismo, la concentración de este elemento aumentó de la floración (45 ddp) a senescencia (60 ddp). La concentración con La(NO₃)₃ fue de 14.7 y 3.8 mg kg⁻¹ MS y superó en 24 y 91% al LaCl₃ (Cuadro 17).

En bulbo con ambas fuentes la concentración de La^{3+} se incrementó a través del tiempo, especialmente con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, presentando sus valores más altos a los 60 ddp, Siendo de 0.7, 3.5, 9.0 y 9.0 mg kg^{-1} MS a los 15, 30, 45 y 60 ddp, respectivamente, con LaCl_3 y de 0.8, 3.8, 8.5 y 12.4 mg kg^{-1} MS al suministrar $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente (Cuadro 17).

6.5.3.2. Efecto de la concentración de La^{3+}

En el Cuadro 17, se muestra el efecto de los diferentes niveles de La^{3+} sobre la concentración de este elemento durante el ciclo de cultivo. Las diferencias entre tratamientos fueron significativas a los 15, 30, 45 y 60 ddp. Así, la mayor concentración en hoja se encontró a los 45 ddp con 40 μM La^{3+} siendo de 7.1 mg kg^{-1} MS superando al tratamiento testigo en más del 500%, el cual presentó 1.2 mg kg^{-1} MS. Un aumento progresivo en la concentración de La^{3+} en vástago de maíz se encontró al suministrar 0, 1.0, 5.0, 10.0 y 20.0 μmol La^{3+} (von Tucher *et al.*, 2001). Xiong *et al.* (2006) encontraron resultados similares al adicionar 0.05, 0.25, 1.0 y 5.0 mg L^{-1} La^{3+} , mientras que Hu *et al.* (2002) muestran una relación lineal entre la concentración de La^{3+} en el vástago y el La^{3+} suministrado.

La concentración de La^{3+} en flor ocurrió a los 45 y 60 ddp, con un promedio de 13.3 y 23.4 mg kg^{-1} MS y presentó diferencias significativas entre tratamientos. La máxima concentración de La^{3+} fue de 15.0 y 40.6 mg kg^{-1} MS con 40 μM a los 45 y 60 ddp, respectivamente, superando en 4.6 y 27.9 mg kg^{-1} MS al tratamiento testigo (Cuadro 17).

El contenido de La^{3+} en bulbo en los diferentes tratamientos se muestra en el Cuadro 17. A los 15, 30, 45 y 60 ddp se observaron diferencias altamente significativas. En promedio la concentración de La^{3+} se incrementó a partir de los 30 ddp hasta alcanzar su valor máximo a los 60 ddp. Así, el contenido más alto fue de 4.8, 6.4, 7.5, 10.9, 15.7 y 18.5 mg kg^{-1} MS para 0, 5, 10, 20, 30 y 40 μM de La^{3+} , respectivamente. En raíces de trigo, mostaza, maíz y frijol se ha encontrado un mayor contenido de lantano a medida que se incrementa la concentración en el medio (von Tucher *et al.*, 2001; Xiong *et al.*, 2006; Hu *et al.*, 2002).

6.6. Acumulación nutrimental en los diferentes órganos de la planta

6.6.1. Efecto de la fuente de La^{3+}

6.6.1.1. Acumulación en hoja

La acumulación nutrimental foliar en tulipán cv. Ile de France mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a los 15, 45 y 65 ddp. A los 30 ddp estas diferencias sólo se observaron para K, Ca y Mg. En la etapa de emergencia (15 ddp) la mayor concentración en hoja de macronutrientes se mostró con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, siendo 25.1, 5.1, 11.6, 1.4 y 2.1 mg por hoja para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente, superando en 6, 24, 17, 17 y 11% al suministro de LaCl_3 (Figura 15). Concentraciones entre 15 y 20 mg por hoja fueron reportadas por Ohyama *et al.* (1988b) y Ohyama (1991) en diferentes trabajos realizados con tulipán. En cuanto a los micronutrientes, la tendencia fue igual a los macronutrientes, siendo más alta la acumulación al adicionar $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ con excepción del Fe que fue mayor con LaCl_3 . Así, los valores más altos para Mn, Fe, Cu y Zn fueron de 31.0, 108.0, 14.0 y 40.0 μg por hoja (Figura 16).

A los 30 ddp (expansión de hoja) el contenido más bajo de N, K, Ca y Mg se mostró al adicionar LaCl_3 con 29.9, 12.5, 2.6, y 2.5 mg por hoja, respectivamente, los cuales fueron superados en 7.0, 2.5, 0.3, 0.5 mg por hoja por el tratamiento con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. La acumulación de P fue de 4.6 mg por hoja con ambas fuentes (Figura 15). Para Mn, Fe, Cu y Zn no se observaron diferencias entre fuentes: el promedio de estos micronutrientes fue de 32.0, 127.0, 8.0, 41.0 μg por hoja, respectivamente (Figura 16).

Para la floración (45 ddp), la tendencia observada cambió completamente, ya que la mayor acumulación nutrimental se mostró con LaCl_3 . Para macronutrientes como el N, P, K, Ca y Mg fue de 32.1, 4.0, 29.6, 8.7 y 7.9 mg por hoja (Figura 15). La acumulación de N es similar a la reportada por Amano (1985) y Ohyama *et al.* (1988b) que reportan en floración valores que oscilaron entre 24 y 30 mg N por hoja; no obstante, la acumulación de Ca fue inferior a la mostrada por Nelson y Niedziela (1998) (16 mg Ca) debido probablemente a los tratamientos evaluados en cada estudio.

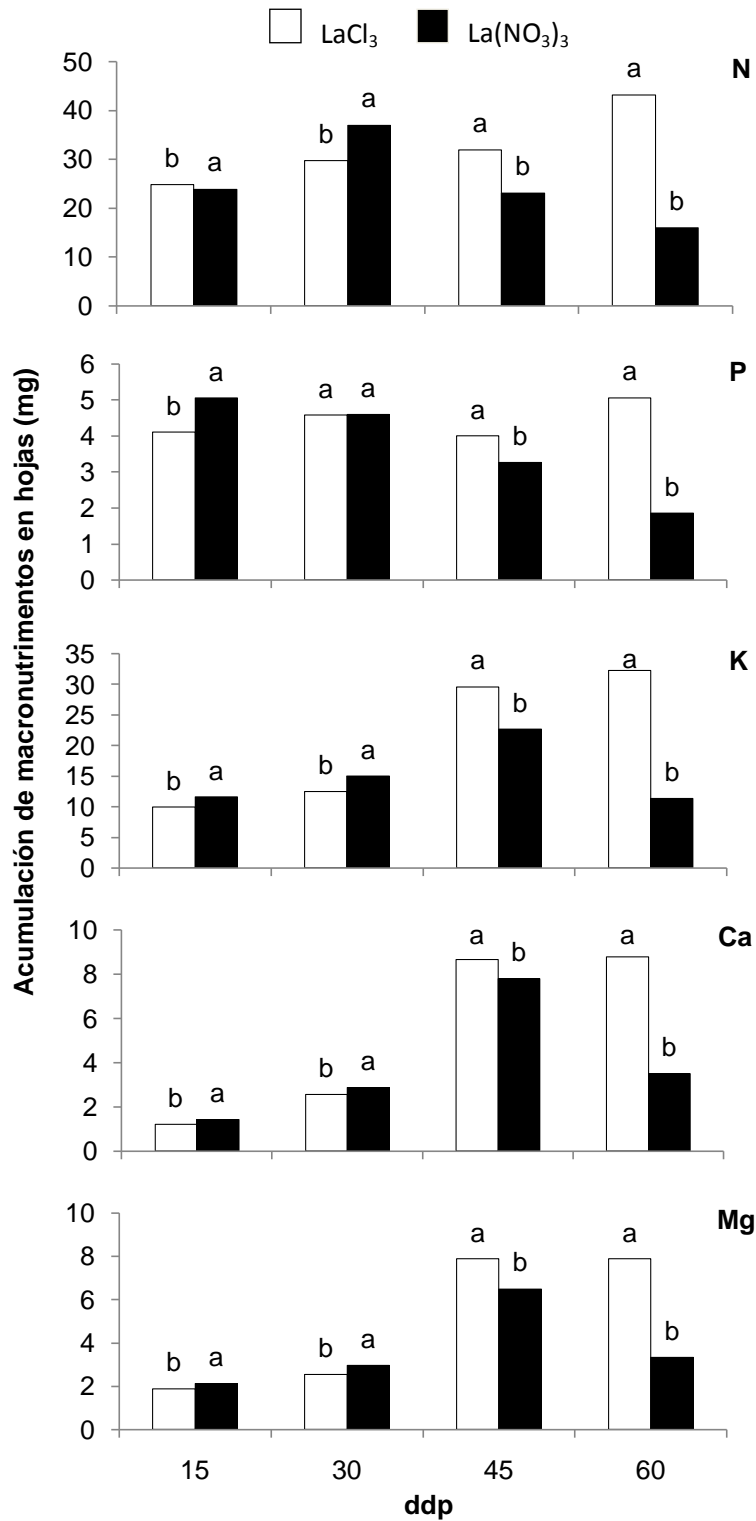


Figura 15. Acumulación de macronutrientos en hoja de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, ddp: días después de la plantación.

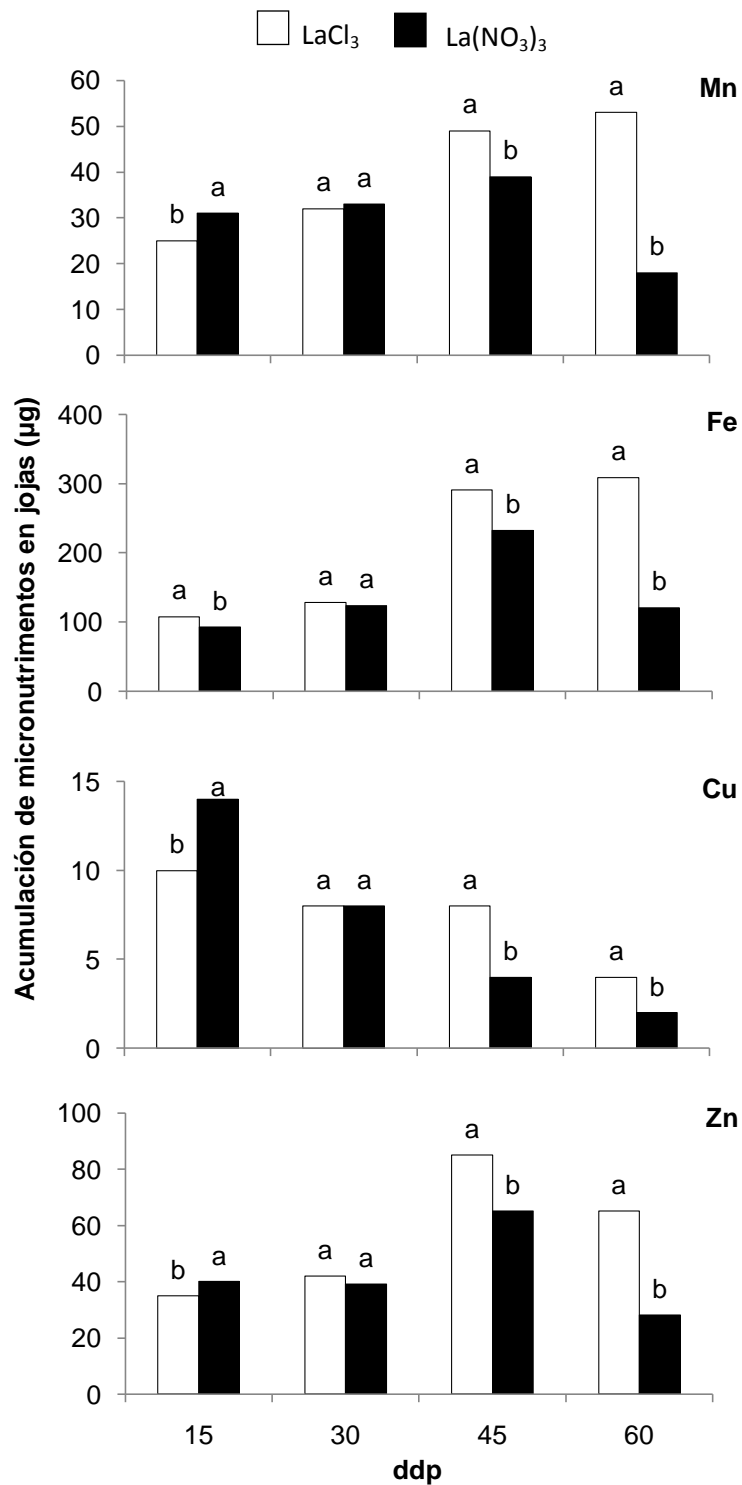


Figura 16. Acumulación de micronutrientes en hojas de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. Mn: manganeso, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc. ddp: días después de la plantación.

En micronutrientos, la acumulación fue de 49.0, 291.0, 8.0, 85.0 μg por hoja para Mn, Fe, Cu y Zn, respectivamente (Figura 16). Al igual que en floración a los 60 ddp, la acumulación más alta de N, P, K, Ca y Mg se observó al suministrar LaCl_3 con 42.9, 5.1, 32.3, 8.8 y 7.9 mg por hoja, respectivamente (Figura 15). Resultados similares encontró Ramírez (2006) a los 59 ddp en diferentes experimentos con sustratos en tulipán cv Ile de France siendo en promedio de 47.0, 6.3, 24.0 y 6.0 mg por hoja para N, P, K y Ca, respectivamente. Ramírez *et al.* (2010) a los 60 ddp reportan una concentración promedio para K y Ca de 3.0 y 7.5 mg por hoja, respectivamente.

El contenido más alto de Mn, Fe, Cu y Zn fue de 53.0, 309.0, 4.0 y 65.0 μg por hoja al adicionar LaCl_3 , superando al $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en 194, 155, 100, 132% (Figura 16). En hojas de tulipán Ile de France, Ramírez (2006) reporta a los 60 ddp un contenido de Mn, Fe, Cu y Zn que osciló entre 45–53, 208–210, 13–15 y 70–114, respectivamente. Así, los resultados obtenidos muestran que la fuente de La^{3+} suministrada a la solución nutritiva tiene la capacidad modificar la acumulación de macro y micronutrientos en hojas de tulipán durante el ciclo de cultivo.

6.6.1.2. Acumulación en flor

La acumulación nutrimental mostró una gran variación entre la fuente de La^{3+} suministrada en las diferentes etapas fenológicas (Figuras 17 y 18). Para P, K, Ca y Mg existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a los 45 ddp, mientras que a los 60 ddp sólo se observaron para P y Ca. En los micronutrientos fueron para Mn y Fe a los 45 ddp y para Fe y Cu a los 60 ddp.

Así, en floración (45 ddp) la mayor acumulación de los elementos primarios se observó con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ para K, Ca y Mg y con LaCl_3 para P, siendo de 1.2, 3.3, 0.56 y 0.96 mg por flor, respectivamente (Figura 17). La acumulación de Ca es más alta a la reportada por Nelson *et al.* (2003), quienes encontraron valores de 0.353 mg por flor (353 μg por flor) diferencias asociadas principalmente a la concentración de La^{3+} , peso seco de la flor y variedad utilizada. Para Mn y Fe la mayor acumulación se encontró con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (20 μg por flor) y LaCl_3 (185 μg por flor), respectivamente (Figura 18).

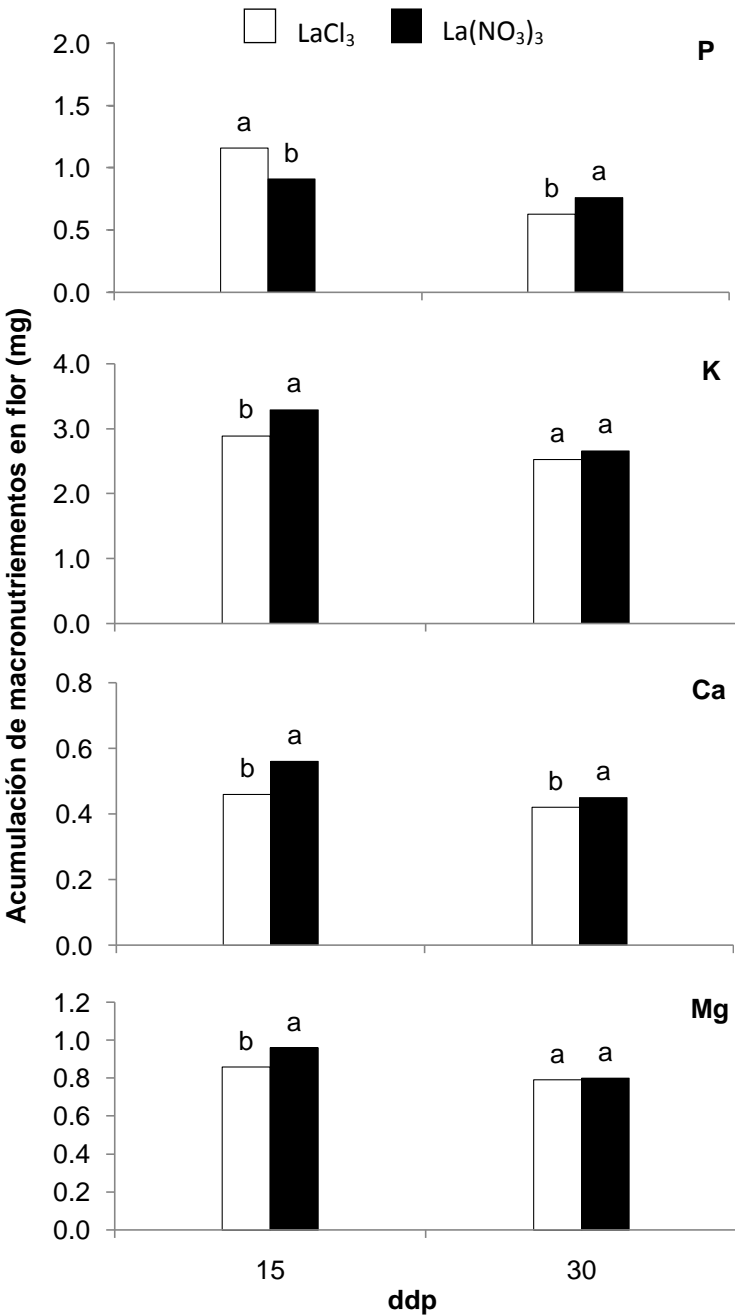


Figura 17. Acumulación de macronutrientos en flor de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, ddp: días después de la plantación.

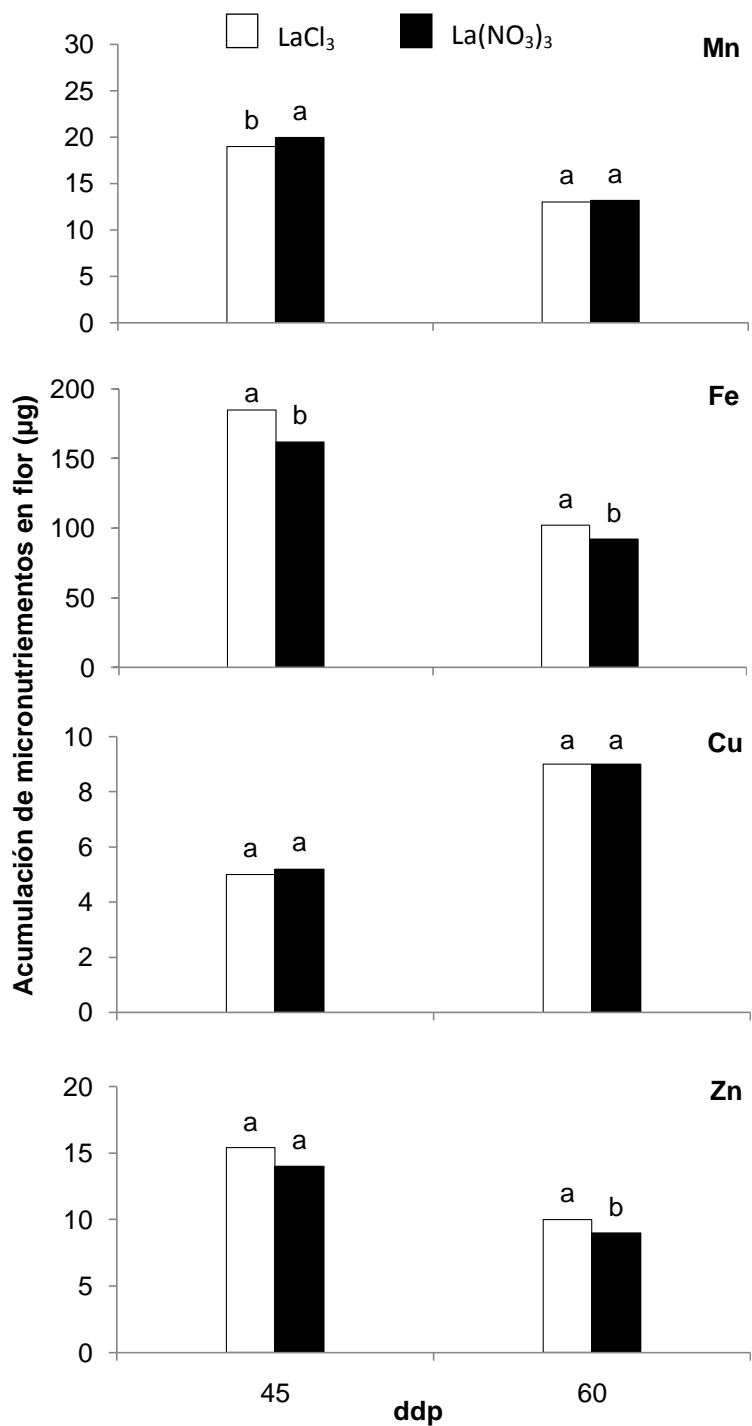


Figura 18. Acumulación de micronutrientes en flor de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La³⁺. Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P<0.05. Mn: manganeso, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc. ddp: días después de la plantación.

Mientras que a los 60 ddp la acumulación en flor de K, Mg, Mn y Zn mostró un comportamiento similar al suministrar LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Para P y Ca los valores más altos se encontraron con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, siendo de 0.76 y 0.45 mg por flor, respectivamente. Para el caso del Fe y Zn mostraron una mejor respuesta al adicionar LaCl_3 (102 y 10 μg por flor, respectivamente) (Figura 17 y 18).

6.6.1.3. Acumulación en bulbo

En bulbo a los 15 ddp se observaron diferencias significativas por efecto de la fuente de La^{3+} adicionada, para todos los nutrientes con excepción del Fe (Figuras 19 y 20). El contenido más alto de P, K, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn se mostró con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, siendo de 28.1 mg, 72.9 mg, 10.1 mg, 14.9 mg, 141.0 μg , 195.0 μg y 160.0 μg por bulbo, respectivamente, y superó en 58, 59, 25, 51, 47, 29 y 76% al suministro de LaCl_3 . Para Fe los valores fueron de 1560 y 1550 μg por bulbo con LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente.

A los 30 ddp no se encontraron diferencias en la acumulación de P, Ca y Mn. Así, el promedio de estos nutrientes fue de 16.4 mg, 7.0 mg y 91.0 μg por bulbo, respectivamente. La mayor acumulación de los nutrientes restantes mostró una gran variación entre fuentes para K, Mg y Fe fue con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ mientras que el LaCl_3 favoreció la acumulación de Cu y Zn.

En contraste, de los elementos que presentaron diferencias significativas al momento de la floración (45 ddp), la mayoría presentó una mejor respuesta con LaCl_3 , siendo de 8.7 y 12.6 mg por bulbo para Ca y Mg, respectivamente. En el caso de los micronutrientes como Mn, Cu y Zn fue de 125, 220 y 284 μg por bulbo. Sólo la acumulación de Fe (1150 μg por bulbo) fue más alta con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Así, de los 30 a los 45 dds, la mayor tasa de acumulación en P, K, Ca, Mg y Mn con un incremento de 41, 31, 27, 23 y 34%, respectivamente, se observó al adicionar LaCl_3 , a diferencia de Fe, Cu y Zn en donde el incremento fue más alto con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, siendo de 33.0, 10.0 y 24.3 %, respectivamente.

La acumulación de macronutrientes a los 60 ddp fue más alta con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, los valores fueron de 25.7, 45.3, 11.9 y 13.8 mg por bulbo para P, K, Ca y Mg, respectivamente y superaron en 1.6, 4.2, 1.6, 0.5 mg por bulbo a la acumulación

encontrada con LaCl_3 . No obstante, sólo existieron cambios significativos ($P \leq 0.05$) en K y Ca. Ramírez (2006) a los 59 ddp en bulbos de tulipán cv. Ile de France encontró una acumulación de 25.5, 85.6, 9.5 y 14.6 por bulbo para P, K, Ca y Mg, respectivamente, similar a la encontrada en este estudio.

Por otra parte, un promedio de 64.0 y 11.0 mg de K y Ca se han encontrado en bulbos tulipán al someter la planta a diferentes relaciones de K/Ca (Ramírez *et al.*, 2009 y Ramírez *et al.*, 2010). La acumulación de Mn, Fe, Cu y Zn osciló entre 145–157, 1025–1336, 143–191 y 254–256 μg por bulbo, respectivamente. Los valores más altos para Mn y Fe fue con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ mientras que los de Cu y Zn fueron al adicionar LaCl_3 (Figura 20). En bulbos de tulipán cv. Ile de France a los 60 ddp, Ramírez (2006) encontró una acumulación que osciló entre 136 a 305 μg Mn, 1403 a 1800 μg Fe, 65 a 81 μg Cu y 330 a 557 μg Zn.

Lo anterior es indicativo de que las cantidades acumuladas de cada nutrimento por la planta están definidas por la tasa de crecimiento que tiene el cultivo y la concentración mantenida en cada una de las etapas fenológicas. Esto, puede atribuirse principalmente a que la planta presenta mayor gasto de energía durante su desarrollo vegetativo siendo más marcado durante los 30 y 45 dds, dado que ocurre una distribución de nutrimentos mayor hacia la parte aérea, considerando también la función que cada uno de éstos cumple desde el punto de vista fisiológico y bioquímico en el interior de la planta.

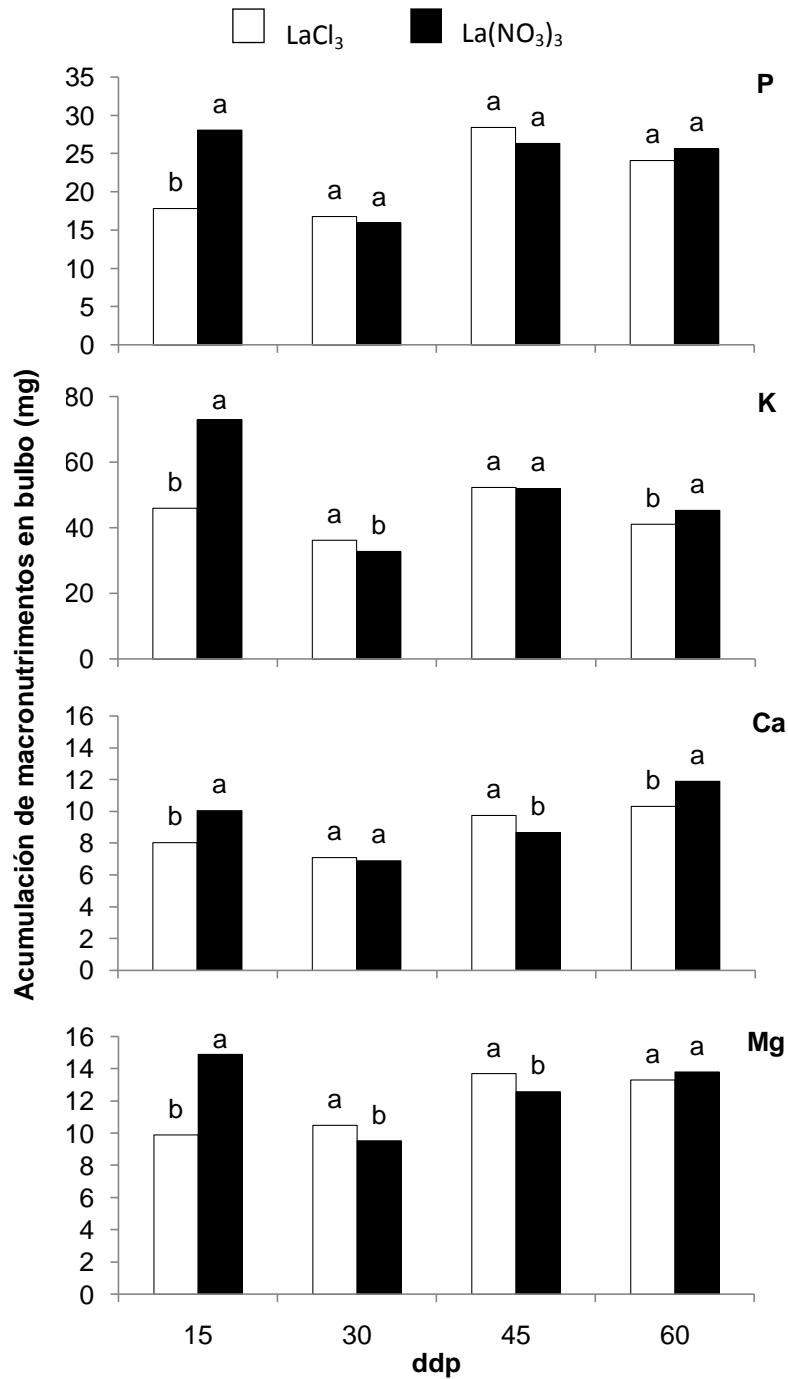


Figura 19. Acumulación de macronutrientes en bulbo de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, ddp: días después de la plantación.

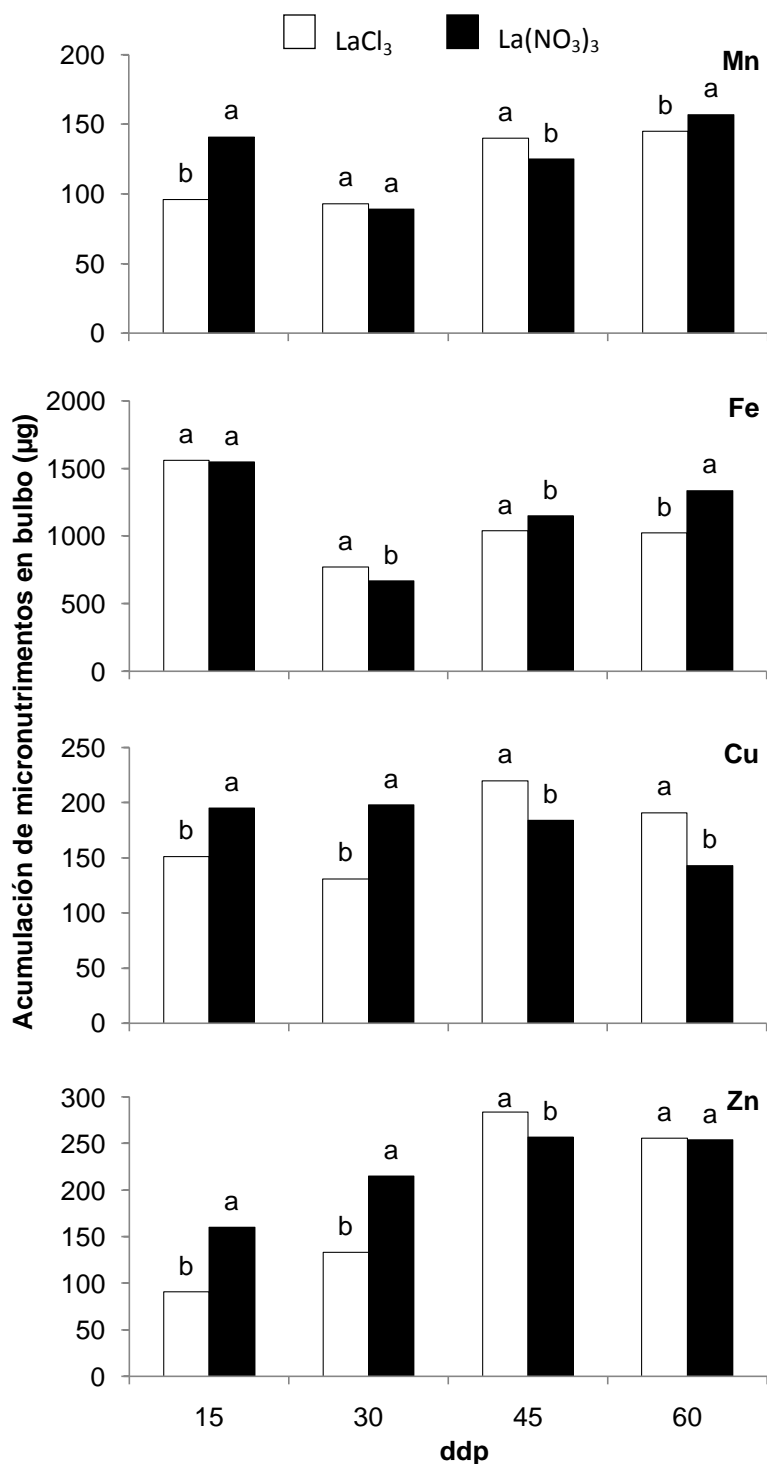


Figura 20. Acumulación de micronutrientos en bulbo de tulipán cv. Ile de France por efecto de la fuente de La^{3+} . Letras distintas sobre las barras en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. Mn: manganeso, Fe: hierro, Cu: cobre, Zn: zinc. ddp: días después de la plantación.

6.6.2. Efecto de la concentración de La³⁺

6.6.2.1. Acumulación en hoja

La adición de La³⁺ a la solución nutritiva afectó la acumulación mineral en hoja, mostrando cambios significativos a los 15, 30, 45 y 60 ddp (Cuadros 18 a 21). A los 15 dds el suministro de La³⁺ incrementó la acumulación de macronutrientes, ya que el testigo (0 μM La³⁺) mostró los valores más bajos con 15.9, 3.2, 7.9, 0.8 y 1.4 mg por hoja para N, P, K, Ca y Mg, respectivamente. Con 5 μM La³⁺ se presentó la mayor acumulación de N, K y Ca (30.5, 13.0 y 1.6 mg por hoja, respectivamente) y con 10 y 20 μM La³⁺ la de P (5.8 mg por hoja) y Mg (2.6 mg por hoja), respectivamente. Con respecto a los micronutrientes se presentó un comportamiento similar, debido a que el menor contenido de Mn, Fe, Cu y Zn por hoja se mostró con 0 μM La³⁺ y el mayor con 10, 5, 10 y 20 μM La³⁺, respectivamente (Cuadro 18).

Cuadro 18. Acumulación nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France 15 ddp (emergencia), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La ³⁺ (μM)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----mg por hoja-----					-----μg por hoja-----			
0	15.9e	3.23d	7.86e	0.79e	1.39d	18.0d	65.0c	8.0d	26.0d
5	30.4a	4.98b	13.0a	1.61a	2.44a	32.0b	121.0a	13.0b	38.0bc
10	23.8d	5.81a	12.8a	1.61a	2.13b	33.0a	101.0b	15.0a	34.0c
20	26.0b	4.82b	11.8b	1.15d	2.61a	26.0c	109.0ab	14.0b	46.0a
30	24.4cd	3.94c	8.75d	1.27c	1.71c	25.0c	101.0b	10.0c	41.0ab
40	25.0c	4.76b	10.3c	1.47b	1.71c	32.0b	106.0b	11.0c	50.0ab
DMS	0.91	0.27	0.69	0.06	0.21	0.8	14.0	1.5	10.0

⁴Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

En la etapa de expansión foliar (30 ddp), al incrementar la concentración de 5 a 10 μM La³⁺ fue más alta la acumulación de N, P, K, Ca y Mg, siendo de 39.7, 6.4, 18.4, 3.2 y 3.6 mg por hoja, respectivamente. El incremento con relación al testigo fue de 53, 104, 137, 53 y 98%, respectivamente. Para Mn, Fe, Cu y Zn el mejor comportamiento se encontró al agregar 5 μM La³⁺. Con 40 y 30 μM La³⁺ disminuyó la acumulación de Fe y Zn en 64 y 82%, respectivamente con relación al tratamiento testigo (Cuadro19).

Cuadro 19. Acumulación nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France 30 ddp (expansión de hoja), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La ³⁺ (µM)	mg por hoja					µg por hoja			
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
0	25.9d	3.15d	7.78e	2.10c	1.82c	27.0d	148.0b	3.6d	35.0b
5	36.2ab	6.42a	15.8b	3.22a	3.42a	38.0a	176.0a	12.0a	50.0a
10	39.7 ^a	3.78cd	18.4a	2.71b	3.61a	30.0cd	140.0ab	9.0b	34.0b
20	29.7cd	4.42c	14.5c	3.20a	2.68b	32.0bc	100.0c	7.7c	46.0a
30	36.6ab	4.17c	13.2d	2.56b	2.44b	33.0bc	98.0c	9.1b	29.0b
40	33.8ab	5.63b	12.6d	2.54b	2.52b	35.0ab	95.0c	7.1c	49.0a
DMS	4.82	0.66	1.12	0.21	0.40	4.0	13.0	1.0	5.0

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

A los 45 dds, cuando la concentración de La³⁺ fue de 5 µM se incrementó significativamente el contenido de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe y Zn. El N y Zn fueron absorbidos en mayor concentración con 20 µM La³⁺. Al suministrar 40 µM La³⁺ se afectó la acumulación de P, K, Mg, Mn y Zn, ya que sus valores fueron inferiores al tratamiento sin La³⁺ (Cuadro 20).

Cuadro 20. Acumulación nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France 45 dds (floración), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La ³⁺ (µM)	g kg ⁻¹ MS					mg kg ⁻¹ MS			
	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
0	20.1e	2.92c	25.9b	6.14e	6.31c	36.0de	193.0d	3.7d	61.0c
5	26.5c	6.49a	34.4a	12.9a	10.8a	58.0a	372.0a	6.6b	114.0a
10	26.6c	2.90c	24.7b	7.91c	7.45b	43.0c	260.0bc	5.8c	74.0b
20	36.5a	4.08b	25.5b	9.00d	6.36c	51.0b	280.0b	8.8a	81.0b
30	23.5d	2.56d	26.1b	7.19b	7.19b	40.0cd	229.0cd	3.7d	64.0c
40	29.8b	2.89c	20.2c	6.21e	4.92d	35.0e	238.0c	4.5d	56.0c
DMS	0.96	0.32	2.67	0.62	0.46	3.4	37.0	2.0	7.0

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

En contraste con la etapa de floración (45 ddp), a la senescencia (60 ddp) se observó una mayor variabilidad en la concentración de La³⁺ donde se encontró el mayor contenido nutrimental por hoja. Así, con 10 µM La³⁺ se registraron los valores más altos de P, K, Mn y Cu con 4.7 mg, 32.3 mg, 46.0 µg y 4. 2 µg por hoja, respectivamente. Con 20 µM La³⁺ se favoreció la acumulación de Ca, Mg, Fe y Zn con 8.4 mg, 7.9 mg, 378 µg y 63 µg por hoja (Cuadro 21).

Cuadro 21. Acumulación nutrimental en hojas de tulipán cv. Ile de France 60 ddp (senescencia), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La ³⁺ (µM)	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----mg por hoja-----					-----µg por hoja-----			
0	18.3d	1.62c	10.1e	3.13e	2.56e	19.0e	96.0e	0.5d	2.9e
5	36.0a	3.63b	22.5c	6.70b	5.76c	39.0bc	141.0de	3.3b	4.7c
10	30.7b	4.66a	32.3a	8.02a	7.35b	46.0a	270.0b	4.2a	5.6b
20	29.7c	4.34a	28.3b	8.38a	7.90a	43.0ab	378.0a	2.6c	6.3a
30	29.7c	3.12b	17.1d	4.79d	4.66d	29.0d	192.0cd	2.3c	3.7d
40	31.5b	3.37b	20.6c	5.91c	5.34c	38.0c	215.0c	3.33b	4.8c
DMS	0.91	0.51	2.67	0.63	0.49	5.0	5.3	0.5	0.4

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

6.6.2.2. Acumulación en flor

La adición de La³⁺ ocasionó cambios significativos (P≤0.05) en la acumulación de macro y micronutrientes a los 45 ddp (Cuadro 22 y 23). Cuando la concentración de La³⁺ fue de 10 µM hubo un incremento en la acumulación de Ca, Mg, Cu y Zn con relación al tratamiento testigo. Con 20 µM La³⁺ fueron más altos el P, K, Mn y Fe. Así, el contenido fue de 1.7, 4.5, 0.7, 1.2 mg por flor para Ca, Mg, Cu y Zn y 28.0, 244.0, 14.8 y 28.1 µg por hoja para P, K, Mn y Fe, respectivamente. A adicionar 40 µM La³⁺ se encontró una reducción del 15.0 y 1.6% con relación al testigo en la acumulación de Ca y Mg (Cuadro 22).

Cuadro 22. Acumulación nutrimental en flores de tulipán cv. Ile de France 45 ddp (floración), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La ³⁺ (µM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----mg por flor-----				-----µg por flor-----			
0	0.55d ²	2.00e	0.39e	0.63d	12.0f	82.0d	0.5e	6.1d
5	1.33c	3.36c	0.57c	1.05b	22.0c	190.0b	4.7c	16.4b
10	0.57d	2.13e	0.69a	1.22a	25.0b	141.0c	14.8a	28.1a
20	1.67a	4.53a	0.64b	1.20a	28.0a	244.0a	7.3b	19.0b
30	0.57d	2.47d	0.44d	0.77c	16.0d	141.0c	2.5d	8.6cd
40	1.53b	4.07b	0.33f	0.62d	14.0e	243.0a	2.6d	10.2c
DMS	0.104	0.19	0.04	0.071	1.0	18.7	1.0	4.0

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

En la senescencia (60 ddp) el suministro de diferentes concentraciones de La³⁺ generó diferencias significativas para todos los nutrientes estudiados (Cuadro 23). La mayor

acumulación nutrimental se mostró en diferente dosis que la registrada a los 45 ddp. Por ejemplo, una baja concentración de La^{3+} (de 5 a 20 μM) incrementó el contenido de P; sin embargo, dosis superiores (30 y 40 μM) afectan significativamente el contenido de este ión. En contraste, para K, Ca y Mg cualquier dosis de La^{3+} mejoró su acumulación, no obstante sus valores más altos se presentaron en 5 y 10 μM La^{3+} con 3.4, 0.6 y 0.98 mg por flor, respectivamente.

Cuadro 23. Acumulación nutrimental en flores de tulipán cv. Ile de France 60 dds (senescencia), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La^{3+} (μM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----mg por flor-----				----- μg por flor-----			
0	0.56c ^z	1.90d	0.23d	0.49e	8.0e	5.9d	4.9e	5.9d
5	0.98a	3.40a	0.51ab	0.98a	14.0c	101.0b	12.0a	17.2a
10	1.01a	3.29a	0.56a	0.94ab	16.0a	122.0a	11.0b	10.3b
20	0.74b	2.07cd	0.36c	0.66d	10.0d	126.0a	7.3d	11.6b
30	0.41d	2.57b	0.47b	0.84c	15.0bc	85.0c	9.8c	7.4c
40	0.47d	2.36cd	0.50b	0.89bc	15.3b	88.0c	9.7c	7.2d
DMS	0.08	0.33	0.05	0.067	0.9	10.0	1.0	1.4

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

Para micronutrientos la mayor acumulación se registró entre 5 y 20 μM La^{3+} y la menor se mostró en el tratamiento sin La^{3+} . La mayor acumulación fue de 16.0, 126.0, 12.0 y 17.2 μg por flor para Mn, Fe, Cu y Zn, respectivamente (Cuadro 23). Así de los 45 a los 60 ddp existió una disminución (en promedio) en la mayoría de los elementos con excepción del Cu que aumentó (76%).

6.6.2.3. Acumulación en bulbo

La acumulación nutrimental en bulbo presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos durante el ciclo de cultivo (15, 30, 45 y 65 ddp). Al respecto, a la emergencia (15 ddp) el suministro de 5 μM La^{3+} favoreció la acumulación de macronutrientos como K, Ca y Mg con 96.7, 12.4, 17.8 mg por bulbo, respectivamente. El P fue más alto con 20 μM La^{3+} (33.8 mg por bulbo). Dosis superiores a 30 μM La^{3+} afectan considerablemente la acumulación de estos elementos a la emergencia. Un comportamiento similar se observó en los micronutrientos, como

fue el caso de Mn, Fe y Zn que mostraron la menor acumulación al adicionar 40 μM La^{3+} . La acumulación más alta de Mn y Fe con 182 y 2010 μg bulbo⁻¹, respectivamente, se observó en 5 μM La^{3+} mientras que el Cu y Zn fue con 20 μM (329 y 228 μg por bulbo, respectivamente) (Cuadro 24).

Cuadro 24. Acumulación nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France 15 dds (emergencia), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La^{3+} (μM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----mg por bulbo-----				----- μg por bulbo-----			
0	18.5c ²	46.3c	7.31e	10.6d	104.0c	1170.0c	106.0c	22.0f
5	30.9a	96.7a	12.4a	17.8a	182.0a	2010.0a	169.0b	132.0c
10	23.4b	46.1c	10.6b	13.2b	123.0b	1520.0b	54.0c	112.0d
20	33.8a	77.5b	8.40d	12.1c	119.0b	1840.0a	329.0a	228.0a
30	16.7cd	48.8c	9.90c	9.91d	100.0c	187.0a	207.0b	161.0b
40	14.3d	40.8d	5.45f	10.6d	84.0d	920c	174.0b	98.0e
DMS	3.15	4.68	0.52	0.92	7.0	300.0	58.0	9.0

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

A los 30 y 45 ddp la máxima acumulación nutrimental se presentó con 10 o 20 μM La^{3+} . Así, la menor concentración favoreció la acumulación de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe y Cu a los 30 ddp con 24.7 mg, 44.9 mg, 8.9 mg, 12.3 mg, 121 μg , 939 μg y 285 μg por bulbo respectivamente. El tratamiento testigo mostró los valores más bajos (Cuadro 25). En contraste, a los 45 ddp la mayor acumulación de K, Ca, Mn, Fe y Cu fue con 10 μM La^{3+} mientras que con 20 μM La^{3+} fue más alta la acumulación de P, Mg y Zn. Con 30 y/o 40 μM La^{3+} se afectó la absorción de K, Fe y Cu, ya que la acumulación fue menor a la del testigo (Cuadro 26).

A la senescencia (Figura 27), la acumulación máxima de 34.6, 54.0, 12.6, 16.7 mg por bulbo para P, K, Ca y Mg, respectivamente, fue con 5 μM La^{3+} . El Mn y Zn fue mayor su acumulación con 5 μM La^{3+} (177 y 297 μg por bulbo, respectivamente) y el Fe y Cu con 10 μM La^{3+} (1567 y 267 μg por bulbo, respectivamente). Así, la acumulación nutrimental en bulbo tiene mayor demanda en la etapa de emergencia (15 ddp) y floración (45 ddp) principalmente en K y Fe (Cuadro 24 y 26).

Cuadro 25. Acumulación nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France 30 dds (expansión de hoja), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La ³⁺ (µM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----mg por bulbo-----				-----µg por bulbo-----			
0	10.1d ^z	23.1c	5.56d	7.62c	66.0e	332.0d	22.0d	125.0ab
5	12.2c	33.3b	8.29a	9.08b	78.0d	890.0a	214.0b	95.0b
10	23.1a	41.8a	6.98b	12.5a	95.0c	735.0bc	166.0bc	465.0a
20	24.7a	44.9a	8.86a	12.3a	121.0a	939.0a	285.0a	151.0ab
30	13.5bc	30.6b	6.25c	9.28bc	78.0d	678.0c	166.0bc	81.0b
40	14.5b	33.0b	6.07cd	9.34b	107.0b	751.0b	132.0c	127.0ab
DMS	1.95	4.15	0.60	0.58	6.0	50.0	68.0	340.0

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

Cuadro 26. Acumulación nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France 45 dds (floración), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La ³⁺ (µM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----mg por bulbo-----				-----µg por bulbo-----			
0	20.5c ^z	48.0b	6.04d	9.44d	104.0c	1070.0b	143.0c	191.0e
5	30.9b	50.5b	9.14b	13.03b	124.0b	1000.0bc	116.0c	280.0c
10	22.0c	64.7a	11.8a	16.70a	167.0a	1720.0a	326.0a	214.0e
20	38.1a	63.5a	11.5a	16.84a	178.0b	1070.0b	318.0a	381.0a
30	21.7c	45.7bc	8.55bc	11.96bc	109.0c	920.0c	196.0b	236.0d
40	30.7b	40.5c	8.13c	11.31c	114.0bc	800.0d	111.0c	323.0b
DMS	3.74	5.48	1.00	1.32	14.0	9.0	40.0	28.0

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

Por lo tanto, la acumulación de cada nutriente por la planta está definida por la tasa de crecimiento que presenta el cultivo en cada etapa fenológica y la concentración de macro y microelementos. Generalmente durante el desarrollo del cultivo la acumulación nutrimental tiene el orden siguiente: en hojas, N>K>Ca>Mg>P>Fe>Zn>Mn>Cu; en flor K>P>Mg>Ca>Fe>Mn>Zn>Cu; y en bulbo K>P>Mg>Ca>Fe>Zn>Mn>Cu. Como se puede observar los principales elementos acumulados y con mayor demanda son el N, P, K y Ca debido a la función que cada uno de éstos cumple desde el punto de vista fisiológico y bioquímico en la planta como lo señalan Ramírez (2006) y Vargas y Tejos (2008).

Cuadro 27. Acumulación nutrimental en bulbo de tulipán cv. Ile de France 60 dds (senescencia), en respuesta a la concentración de lantano.

Concentración de La ³⁺ (μM)	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	-----mg por bulbo-----				-----μg por bulbo-----			
0	19.7c ^z	35.3c	9.70c	11.07d	117.0c	820.0c	104.0d	226.0c
5	34.6a	54.0a	12.6a	16.72a	177.0a	1198.0b	219.0b	297.0a
10	29.9b	51.4a	11.7ab	14.17b	186.0a	1567.0a	267.0a	285.0b
20	20.8c	35.2c	10.8b	12.08cd	141.0b	1291.0b	126.0d	247.0bc
30	22.6c	37.5c	11.04b	14.38b	143.0b	1067.0bc	145.0c	236.0c
40	21.2c	45.6b	11.0b	13.21cd	140.0b	1132.0b	144.0c	239.0bc
DMS	3.04	2.89	0.97	1.24	17.0	240.0	30.0	46.0

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

En cuanto a los órganos. el bulbo fue el de mayor acumulación nutrimental seguido de hoja y flor. La mayor acumulación en bulbo a los 15, 30, 45 y 60 ddp, se debe a que es un órgano de reserva. Esta respuesta es evidente con respecto a la cantidad de nutrimentos traslocados principalmente hacia el bulbo 65 dds para ser almacenados y posteriormente disponibles para la planta en un ciclo posterior.

6.6.3. Acumulación de lantano en los diferentes órganos de la planta

6.6.3.1. Efecto de la fuente de La³⁺

En hoja a los 15 y 30 ddp la mayor acumulación de La³⁺ se encontró en La(NO₃)₃ con 5.95 y 6.22 μg por hoja, respectivamente, en contraste a los 45 y 65 ddp fue con LaCl₃. En flor la acumulación más alta de La³⁺ a los 45 y 60 ddp se mostró al suministrar LaCl₃ y La(NO₃)₃, respectivamente, siendo de 5.4 y 5.7 μg por flor. A través del ciclo de cultivo el bulbo fue el órgano que presentó una mayor variación en la acumulación de La³⁺ en función de la fuente suministrada. En emergencia (15 ddp) no existieron diferencias significativas entre fuentes, mientras que la etapa de expansión de hoja (30 ddp) y floración (45 ddp) se favoreció la acumulación con LaCl₃ y en la senescencia (60 ddp) con La(NO₃)₃ (Cuadro 28).

Cuadro 28. Acumulación de La^{3+} (μg) por efecto de la fuente y concentración en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France.

Fuente o concentración de La^{3+}	ddp	Hoja	Flor	Bulbo
LaCl_3	15	2.54b	-----	2.72a
	30	3.13b	-----	19.8a
	45	5.95a	5.40b	5.11a
	60	6.22a	2.87b	4.17b
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	15	3.94a	-----	2.92a
	30	4.25a	-----	16.2b
	45	4.55b	4.15a	4.48b
	60	2.36b	5.69a	6.94a
0 μM	15	1.50d	-----	2.80b
	30	1.40d	-----	16.8bc
	45	4.70bc	38.0e	19.0d
	60	2.40c	12.0e	24.1d
5 μM	15	3.50c	-----	2.30bc
	30	3.50c	-----	15.2c
	45	6.70b	48.0abc	41.0c
	60	4.90a	41.0c	37.5c
10 μM	15	2.60c	-----	1.50c
	30	3.60c	-----	15.6c
	45	3.90d	50.0ab	43.0c
	60	3.80b	55.0b	39.5c
20 μM	15	4.10b	-----	3.00b
	30	4.40b	-----	20.3ab
	45	5.30b	48.0abc	55.8b
	60	4.50a	42.0c	37.6c
30 μM	15	2.80c	-----	2.50b
	30	3.40c	-----	16.5bc
	45	4.50cd	42.0bc	55.7b
	60	4.90a	31.0d	89.9b
40 μM	15	4.70a	-----	4.70a
	30	5.60a	-----	23.6a
	45	6.10a	58.0a	71.0a
	60	5.00a	74.0a	104.0a

^zLetras distintas por días después de la plantación, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.6.3.2. Efecto de la concentración de La^{3+}

En el Cuadro 28, se muestra el efecto de los diferentes niveles de La^{3+} sobre la acumulación de este catión en los diferentes órganos de la planta durante el desarrollo del cultivo. Las diferencias entre tratamientos fueron significativas a los 15, 30, 45 y 60 ddp. La mayor concentración en hoja a los 15, 30, 45 y 60 ddp se encontró con 40 μM

La³⁺ siendo de 4.7, 5.6, 6.1 y 5.0 µg por hojas, respectivamente superando al tratamiento testigo en 213, 300, 30 y 108%. La acumulación de La³⁺ en flor ocurrió a los 45 y 60 ddp y presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos. La máxima acumulación de La³⁺ fue de 58.0 y 74.0 µg por flor con 40 µM a los 45 y 60 ddp, respectivamente, superando en 20.0 y 62.0 µg por flor al tratamiento sin La³⁺ (Cuadro 28). Las diferentes concentraciones de La³⁺ generaron diferencias significativas en el contenido de La³⁺ del bulbo a los 15, 30, 45 y 60 ddp. En todas las concentraciones de La³⁺ la acumulación de este catión se incrementó a partir de los 30 ddp hasta alcanzar su valor máximo a los 60 ddp. Así, la mayor acumulación con 40 µM de La³⁺ fue de 4.7, 23.6, 71.0 y 104.0 µg por bulbo a los 15, 30, 45 y 60 ddp. (Cuadro 28).

VII. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en este experimento se concluyó que:

- ✓ La adición de 20 μM de lantano redujo el tiempo en el que se alcanzó la expansión de la hoja y la floración. Esta misma concentración retardó el tiempo de senescencia en la planta. A mayor concentración de lantano (40 μM) la etapa de senescencia fue acelerada.
- ✓ Los indicadores de crecimiento (TAC y TCR) fueron superiores con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ durante la etapa de emergencia; por el contrario, al iniciar la expansión de la hoja, floración y senescencia las variables TAC y TCR tuvieron mayores valores con LaCl_3 .
- ✓ El suministro de altas concentraciones de lantano (40 μM) hacen más eficiente la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y por lo tanto hay mayor acumulación de MS por día.
- ✓ En contraste a la TCA, la eficiencia de la planta para producir biomasa fresca (TCR) se obtuvo al adicionar bajas concentraciones de lantano (5 y 10 μM) en la solución nutritiva.
- ✓ La mayor acumulación de MS en la planta se registró con el suministro de 5, 10 y 20 μM de lantano, mayores concentraciones (40 μM) tiende a provocar una disminución de está.
- ✓ El patrón de distribución de MS con ambas fuentes (LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$) fue superior en bulbo seguido de tallo, hoja y flor, en respuesta al suministro de intervalos de concentración entre 5 y 20 μM de lantano en la solución nutritiva.
- ✓ En los diferentes órganos y etapas de la planta analizados, las mayores concentraciones nutrimentales se presentan cuando se adiciona lantano, en especial en el intervalo de concentración que oscila entre 5 y 20 μM .
- ✓ La eficiencia en la aplicación de lantano, desde el punto de vista de absorción de nutrientes, es dependiente del ión acompañante; es decir, éste influye la movilidad dentro de la planta.
- ✓ En las cuatro etapas fenológicas evaluadas, los valores de extracción observados en hoja, flor y bulbo; aumentaron a medida que se incrementa la concentración de lantano a razón de 30 y 40 μM en la solución nutritiva.

- ✓ La mayor acumulación nutrimental se registró en hojas. Observándose que el P disminuye con a lo largo del ciclo del cultivo; mientras que elementos como K, Ca, Mg, Mn y Fe incrementan progresivamente hasta llegar a la senescencia y otros como Zn y La son variables en cada una de las etapas. En flor, únicamente la acumulación de Ca, Mg, Cu y La tiende a aumentar desde la floración hasta la senescencia, mientras que la acumulación de P, K, Mn, Fe y Zn incrementa únicamente en floración, disminuyendo en la senescencia. En bulbo, la mayoría de estos nutrimentos incrementan considerablemente su contenido en cada una de las etapas fenológicas. Lo anterior, permite precisar el momento en que un nutrimento es necesario indicando la época más adecuada para suministrarlo en función de las demandas del cultivo.

VIII. LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G. y Sandoval V., M. 1999.** Manual de análisis químico de tejido vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Chapingo, México, 10, 156 p.
- Amano, M. 1985.** Influence on mother bulbs nitrogen on subsequent nitrogen uptake in tulips. Flower Bulbs. Acta Hort. 177(2): 423-431.
- An, J. P. and Chen, K. S. 1994.** Effect of NdCl_3 on membrane damage induced by pervasion intimidation and content of ABA. J. Chinese Rare Earth Society, 12(4): 348-351.
- Austin, R. B. 1989.** Ecophysiology of crop plants. An overview. Curso superior de Mejora Genética Vegetal. IAMMZ, Zaragoza. pp:1988-1989.
- Barrientos, E. 1988.** Evaluación de necesidades de N, P, Mg en chile dulce *Capsicum annum* L., asociado con café, *Coffea arabica*, en siembra nueva. Tesis Ing. Agr. Centro Regional de Occidente, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. Escuela de Fitotecnia. 49 p.
- Bidwell, R. G. S. 1993.** Fisiología Vegetal. Primera Ed. AGT Editor S.A. pp: 593-598.
- Bremner, J. M. 1965.** Total nitrogen. In: C. A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part. 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, U. S. A.
- Brouwer, R. 1962.** Distribution of dry matter in the plant. Neth. J. Agric. Sci. 10:361-376.
- Chen, W. J.; Tao, Y.; Gu, Y. H. and Zhao, G. W. 2001.** Effects of lanthanide chloride on photosynthesis and dry matter accumulation in tobacco seedlings. Biol. Trace. Elements Res. 79: 169-176.
- De Hertogh, A. and Le Nard, M. 1993.** The Physiology of Flower Bulbs. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holanda. pp: 617-682.
- Diatloff, E.; Smith, F. W. and Asher, C. J. 2008.** Effect of lanthanum and cerium on the growth and mineral nutrition of corn and mungbean. Ann. Bot.-London 101: 971-982.
- Diatloff, E.; Smith, F. W. and Asher, C. J. 1995.** Rare earth elements and plant growth. III. Response of corn and mungbean to low concentrations of cerium in dilute, continuously flowing nutrient solutions. J. Plant Nutr. 18: 1991-2003.
- Dibb, D. W. and Thompson, W. R. 1985.** Interactions of Potassium with Other Nutrients. In Potassium in Agriculture; Munson, R.D., Eds.; ASA-CSSASSA: Madison, WI. pp: 515-533.
- Epstein, E. and Bloom, A. J. 2005.** Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Sunderland, MA. Snamer, Associates.
- Evans, C. H. 1983.** Interesting and useful biochemical properties of lanthanides. Trends in Biochemical Sci. 8(12): 445-449.
- Fageria, N. K. and Baligar, V. C. 1999.** Growth and nutrient concentrations of common bean, lowland rice, corn, soybean, and wheat at different soil pH on an inceptisol. J. Plant Nutr. 22: 1495-1507.
- Fageria, N.; Baligar, V. and Jones, C. 1997.** Growth and Mineral Nutrition of Field Crops. 2o. Mareel Dekker, Nueva York, Estados Unidos. 624 p.
- Fageria, V. D. 2001** Nutrient interactions in crop plants. Journal of Plant Nutrition 24(8): 1269-1290.
- Gilford, J. Mc. D. and Rees, A. R. 1973.** Growth of tulip shoots. Scientia Horticulturae. 1: 143-156.
- He, Y. W. and Loh, C. S. 2000.** Cerium and lanthanum promote floral initiation and reproductive growth of *Arabidopsis thaliana*. Plant Sci. 159: 117-124.
- Hiatt, A. J. and Leggett, J. E. 1974.** Ionic Interactions and Antagonisms in Plants. In The plant Root and Its Environment; Carson, E.W., Ed.; University Press of Virginia: Charlottesville, VA. 101-143 pp.
- Hirzel, C. J. 2002.** Fertilización del cultivo de tulipán. In: Técnicas de producción de tulipanes. Provincia de Arauco, Región del Bio-Bio. Ed. Praderos L. A. y Tima P. P. Boletín INIA. No. 95. 39-49 pp.
- Hu, X.; Ding, Z. H.; Chen, Y. J.; Wang, X. R. and Dai, L. M. 2002** Bioaccumulation of lanthanum and cerium and their effects on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. Chemosphere 48: 621-629.
- Hu, X.; Wang, X. R. and Wang, C. 2006.** Bioaccumulation of lanthanum and its effects on growth of maize seedling in a red loamy soil. Pedosphere 16(6): 799-805.
- Hu, Z. Y. and Zhu, W. M. 1994.** Kinetics of ion absorption by rice and ion interaction. Soils, 25(5):278-281.
- Hunt, R. 2003.** Plant growth analysis: individual plants. In: Thomas, B., D. J. Murphy, and D. Murray (eds). Encyclopaedia of Applied Plant Sciences Academic Press. London, UK. pp: 579-588.
- Inamoto, K.; Hase, T.; Doi, M. and Imanishi, H. 2000.** Effects of duration of bulb chilling on dry matter distribution in hydroponically forced tulips. Scientia Horticulturae 85: 295-306.

- Järvan, M. 2001.** Rare earth elements affecting the biological processes and yielding abilities of cultivated crops. Estonian Res. Institute of Agric. 17-22.
- Jie, H. G. and Xu, Z. H. 1985.** Effects of REEs on increasing yield and physiology of wheat. J Heilongjiang Agric Sci, 1:25 – 29.
- Karimi, M. M. and Siddique, K. H. M. 1991.** Crop growth and relative growth rates of old and modern wheat cultivars. Aust. J. Agric. Res. 42: 13-20.
- Klougart, A. 1980.** Calcium uptake of tulips during forcing. Institute of Horticulture. Acta Hort 109:89-95.
- Lai, Z. S.; Wen, Q. K. and Zhao, W. H. 1989.** Studies on the effects of rare earth elements on tomato yield and quality. Chinese Rare Earths, 10(3):59-62.
- Leonard, R.T.; Nagahashi, G. and Thomson, W. W. 1975.** Effect of lanthanum on ion absorption in corn roots. Plant Physiol. 55:542-546.
- López, L. M. A. y Estaño B. E. 2007.** Detección de deficiencias de hierro en *Pinus leiophylla* a partir de los efectos de dilución y concentración nutricional. TERRA LATINOAMERICANA. 25: 9-15.
- Loss, R. D. 2003.** Atomic weights of the elements. Department of Applied Physics, Curtin University of Technology Perth, Western Australia. Pure Appl. Chem. 75(8): 1107-1122.
- Meehan, B.; Peverill, K.; Maheswaran, J. and Bidwell, S. 2001.** The Application of Rare Earth Elements in Enhancement of Crop Production in Australia, Part 1, *In: Proceedings of the 4th International Conference on Rare Earth Development and Application* Beijing, China, June 16–18, 2001; Yu, Z.S., Yan, C.H., Xu, G.Y., Niu, J.K., Chen, Z.H., Eds.; Metallurgical Industry Press: Beijing, China. 244–250 p.
- Milthorpe, F. and Moorby, J. 1982.** Introducción a la fisiología de los cultivos. Hemisferio Sur. H. González. Buenos Aires, Argentina. 259 pp.
- Mortued, J. J.; Giordano, P. M. and Lindsay, W. L. 1972.** Micronutrients in agriculture. SSSA, Inc. Madison, Wis.
- Nelson, P. V. and Niedziela, Jr. C. E. 1998.** Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. Sci. Hort. 73:137-150.
- Nelson, P. V.; Kowalezyk, W.; Niedziela, C. E.; Mingis, N. C. and Swallow, W. H. 2003.** Effects of relative humidity, calcium supply and forcing season on tulip calcium status during hydroponic forcing. Sci. Hort. 98:409-422.
- Ning, J. B. and Xiao, S. L. 1989.** Effects of rare earth elements application on day lily. Chinese Rare Earth 10 (5) 52–54
- Ogurusu, T.; Wakabayashi, S. and Shigekawa, M. 1991.** Functional characterization of lanthanide binding sites in the sarcoplasmic reticulum Ca^{2+} -ATPase: do lanthanide ions to the calcium transport site. Biochemical. 30: 9966–9973.
- Ohyama, T. 1991.** Assimilation and transport of nitrogen in tulip (*Tulipa gesneriana*) as pursued by ^{15}N . JARQ. 25:108-116.
- Ohyama, T., T. Ikarashi, and A. Baba. 1988a.** Effect of cold storage treatment for forcing bulbs on the C and N metabolism of tulip plants. Soil Sci. Plant Nutr. 34 (4): 519-533.
- Ohyama, T., T. Ikarashi, A. Obata, and A. Baba. 1988b.** Role of nitrogen accumulated in tulip roots during winter season. Soil Sci. Plant Nutr. 34 (3): 341-350.
- Ohyama, T., T. Ikarashi, and T. Matzubara. 1988c.** Behavior of carbohydrates in mother and daughter bulbs of tulips. Soil Sci. Plant Nutr. 34 (3): 405-415.
- Osorio, B.; Trejo, L. I.; González, J. L. and Rodríguez, M. N. 2009.** Quality of Cut *Tulip* sp. With Different Nutrition Sources. Proc. IXth Int. 1 Symp. on Postharvest Quality of Ornamental Plants. Acta Hort. 847: 333-336.
- Pinochet, D. 1999.** Fertilización de plantas bulbosas. *In: Cultivo y Manejo de plantas Bulbosas Ornamentales.* Seeman, P y N. Ed. Andrade. Valdivia Chile, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. Instituto de Producción y Sanidad Vegetal. 123-127 pp.
- Ramírez M., M. 2006.** Evaluación de mezclas de sustratos y de relaciones K^+/Ca^{2+} en la solución nutritiva en la producción hidropónica de tulipán. Tesis Maestría. Edafología. Montecillo, Texcoco Estado de México.
- Ramírez-Martínez, M., Trejo-Téllez, L., Gómez-Merino, F., Sánchez-García, P., Rodríguez-Mendoza, M.N. and Sandoval-Villa, M. 2009.** Potassium/calcium ratios of the nutrient solution on tulip nutrient status. Acta Hort. 843:119-122.

- Ramírez M., M.; Trejo-Téllez, L. I.; Gómez-Merino, F. C. y Sánchez-García, P. 2010. La Relación K^+/Ca^{2+} de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. *Rev. Fitotecnia Mex.* 33(2):149-156.
- Rangel, Z. 1994. Distribution of cell Ca^{2+} homeostasis as a primary in aluminum rhizotoxicity. I. Inhibition of root growth is not caused by reduction of calcium uptake. *Plant Physiol.* 143: 47–51.
- Rees, A. R. 1992. Ornamental bulbs corms and tubers. CAB. International.
- Rylski, I. 1986. Pepper (*Capsicum annuum*) *In: Handbook of fruit set and development.* CRC. UK. 341-353 pp.
- Salisbury, F. and Ross, C. 1985. *Plant Physiology.* 3th Ed. Wadsworth. California, USA. 540 pp.
- SAS. 2002. SAS High-Performance Forecasting 2.2: User's Guide, Volumes 1 and 2. Cary, NC: SAS Institute Inc. Ver. 9. 652p.
- Schiappacasse, F. 1999. Cultivo del tulipán. *In: Seemann, P., y N. Andrade (eds). Cultivo y Manejo de Plantas Bulbosas Ornamentales.* Instituto de Producción y Sanidad Vegetal, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 3-12 pp.
- Shibles, R. 1987. *Crop physiology.* Iowa, USA, Iowa State Univesity. 214 pp.
- Steiner, A. and van Winden, H. 1970. Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 46: 862-863.
- Suzuki, H.; Kumagai, H.; Mori, F.; Sakamoto, K.; Inubushi, K. and Enomoto, S. 2001. Influence of lanthanum on the uptake of various elements by marigold. *Focused on New Trends in Bio-Trace Elements Research.* 35: 80-81.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 1991. *Plant physiology.* California. Benjamin Cummings. USA. 565 pp.
- Toit, E.; Robbertse, P. and Niederwieses, J. 2004. Plant carbohydrate partitioning of *Lachenalia* cv. Ronina during bulb production. *Sci. Hort.* 102: 433-440.
- Vargas, A. P. y Tejos, P. D. 2008. Producción de materia seca y absorción de nitrógeno del cultivo de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). *Agrociencia* 42(1): 37-45.
- von Tucher, S.; Goy, C. and Schmidhalter, U. 2001. Effect of lanthanum on growth and composition of mineral nutrients of *Phaseolus vulgaris* L. var. *nanus* and *Zea mays* L. conv. *saccharata*. *Plant Nutrition-Food security and sustainability of agro-ecosystems.* 524 – 525.
- Wu, Z. M.; Tang, X. K. and Jia, Z. W. 1984. Studies on the effect of rare earth elements on the increment of yield in agriculture. *J. Chin. Rare Earth Soc.* 2(2):76-80.
- Xie, Z. B.; Zhu, J. G.; Chu, H. Y.; Zhang, Y. L.; Zeng, Q.; Ma, H. L. and Cao, Z. H. 2002. Effect on lanthanum on rice production, nutrient uptake, and distribution. *J. Plant Nutr.* 25(10): 2315-2331.
- Xin, H.; Xiao, R. W. and Chao, W. 2006. Bioaccumulation of lanthanum and Its Effect on growth of Maize Seedlings in a Red Loamy Soil. *Pedosphere.* 16(6): 799-805.
- Xiong, L. S.; Xiong, T. Z.; Chen, C. Y. and Huang, H. 2006. Interactive effects of lanthanum and cadmium on plant growth and mineral element uptake in crisped-leaf mustard under hydroponic conditions. *J. Plant Nutr.* 29: 1889-1902.
- Zeng, Q.; Zhu, J. G.; Cheng, H. L.; Xie, Z. B. and Chu, H. Y. 2006. Phytotoxicity of lanthanum in rice in haplic acrisols and cambisols. *J. Ecotoxicol. Environ. Safety* 64: 226-233.
- Zhu, W. M. 1986. Effects of REEs on nutrient absorption of rice. *Rare Metals*, 5 (special issue):6 – 10.
- Zhu, W. M. and Hu, Z. Y. 1998. Interrelation among soil soluble RE and N, P, K in Plant. *In Proceedings of International Symposium on W-Ti-RE-Sb*, 15. - 18. May 1988, Baotou, China, pages 1291 – 1295.
- Zhu, Y. Y. 1992. Effects of REEs with enriched La on wheat Nd uptake. *Nuclear Agron Bull*, 13(4):176–178.

CAPÍTULO III. RESPUESTAS MORFOLÓGICA, FISIOLÓGICA Y DE CALIDAD EN TULIPÁN (*Tulipa gesneriana* L.) AL LANTANO

RESUMEN

El efecto del lantano (La^{3+}) sobre respuestas morfológicas y fisiológicas en postcosecha en dos cultivares de tulipán (Ile de France y Christmas Dream) fue evaluado bajo condiciones de invernadero. La plantación de bulbos (calibre 12+) se hizo en macetas de 7" con una mezcla de tezontle de 3 mm y Promix® (70/30 v/v). El riego se realizó con la solución nutritiva Universal de Steiner al 50%, a la cual se agregaron distintas concentraciones de La^{3+} (0, 5, 10, 20, 30 y 40 μM) en forma de LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Se empleó un experimento factorial completo 6×2 con 15 repeticiones en un arreglo completamente al azar. La mejor concentración de lantano fue diferente entre cultivares. Ile de France presentó los valores más altos de diámetro de capullo, longitud del tallo floral, diámetro de tallo (basal, apical y superior), consumo de agua, peso del tallo floral, clorofila total, azúcares, proteína y aminoácidos con dosis que oscilaron entre 5 y 10 μM La^{3+} ; mientras que en Christmas Dream fue entre 30 y 40 μM La^{3+} . El suministro de La incrementó la altura de tallos florales y la biomasa seca en ambos cultivares, en particular con la concentración de 40 μM La^{3+} . Asimismo, concentraciones de 10 y 30 μM La^{3+} incrementaron la duración de la vida de florero en los cv. Ile de France y Christmas Dream respectivamente. Las fuentes de La evaluadas ocasionaron respuestas diferenciales entre cultivares, pero la tendencia general en ambos fue que el LaCl_3 incrementó altura de la planta, longitud y diámetro de capullo, longitud de tallo floral y contenido de aminoácidos; por el contrario, el consumo de agua, vida en florero, azúcares y proteínas fue superior cuando se utilizó $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ como fuente de La^{3+} .

Palabras clave: *fuentes, concentración, altura de planta, longitud, diámetro, clorofilas, proteínas, azúcares, vida en florero.*

I. INTRODUCCIÓN

Los cultivos ornamentales son afectados en distintos niveles por cambios en temperatura, humedad relativa, fotoperiodo, disponibilidad de agua y nutrimentos. A nivel anatómico destaca: la apertura y densidad estomática, grado de obstrucción del xilema, embolismo (aire en vasos celulares del xilema); en la morfología: altura de planta, área foliar, longitud de capullo, diámetro de flor, diámetro y longitud de tallo, entre otros; a nivel fisiológico la fotosíntesis y respiración (Paulin, 1997).

Los cambios que ocurren en el estado fisiológico de las plantas ornamentales, por el manejo del cultivo tienen un papel esencial en calidad postcosecha, ya que durante el crecimiento del cultivo se llevan a cabo una serie de eventos morfológicos, bioquímicos y estructurales que ocasionan cambios importantes en los constituyentes celulares y por lo tanto los tallos florales alcanzan las características óptimas para el consumidor (Azcón-Bieto y Talón, 1993). Por ejemplo, en flores para corte la característica más importante es el número de días en florero, que depende en gran medida de la cantidad de reservas presentes en la flor al momento del corte (Serrano *et al.*, 1999).

De los compuestos de reserva, los carbohidratos son los más importantes y entre ellos se encuentra la sacarosa que es el hidrato de carbono soluble más abundante y en ocasiones el único en la savia del floema. Además, durante el transcurso de la senescencia floral ocurre una disminución en el nivel de sacarosa y almidón, así como una considerable reducción en la energía necesaria para la síntesis de nuevos carbohidratos. Por este motivo, el suministro de nutrimentos que incrementen su concentración, son necesarios para retardar el inicio de la senescencia ya que se mantendría la estructura y funcionalidad de las mitocondrias (Barceló *et al.*, 2001).

Con base a lo anterior es evidente la importancia que algunos factores precosecha tienen sobre la calidad en la flor de corte y su incidencia sobre la conservación durante la postcosecha y su vida en florero. Aunque se ha logrado tipificar y acotar muchos de estos factores, la diversidad y heterogeneidad de los mismos dificulta una solución general, por lo que será necesario continuar investigando cada uno de los problemas desde una perspectiva global.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia de factores nutrimentales en especies ornamentales

Una nutrición adecuada y equilibrada es esencial para el desarrollo de la planta y consecuentemente para la calidad en flor de corte. Tanto el contenido de nutrimentos como el equilibrio entre dos o más pueden afectar al crecimiento y estado fisiológico de la planta, pudiendo originar alteraciones tanto por deficiencia como por exceso. Aunque se ha estudiado la incidencia de numerosos macro y micronutrimentos sobre la calidad, los que han despertado un mayor interés han sido N, P, K y Ca, al participar de forma activa en numerosos procesos metabólicos y fisiológicos (Armstrong, 2002).

2.2. Suministro de lantano (La^{3+}) sobre el desarrollo y fisiología vegetal

2.2.1. Efecto del La^{3+} sobre el desarrollo vegetal

El La^{3+} como un elemento de las tierras raras se ha utilizado en los experimentos agronómicos recientemente. Pang *et al.* (2002) al evaluar la respuesta de trigo (*Triticum aestivum* L.) al suministro de 0.05 mg L^{-1} de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ incorporado a la solución nutritiva, observaron que el peso seco del vástago se incrementó a los 3 y 5 días después del trasplante en comparación con el tratamiento sin La^{3+} . El crecimiento radical también fue más alto al adicionar La^{3+} . Hu *et al.* (2002) encontró resultados similares en la longitud de la raíz primaria y el peso seco de vástago al suministrar $0.5 \text{ mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$. Bajo condiciones de laboratorio, el crecimiento radical más alto a los 6 y 9 días después de la emergencia (dde) se encontró con 0.01 mM de La^{3+} , dosis de 0.1, 1.0 y 10 mM disminuyen la longitud de la raíz primaria. La altura de la plántula a los 8 dde fue mayor con 0.01 mM de La^{3+} (d'Aquino *et al.*, 2009).

Liu *et al.* (2005) observaron que el crecimiento radical en maíz (*Zea mays* L.) cv. Pioneer 3085, utilizando LaCl_3 en concentraciones de 0, 1, 100, 10^2 , $10^3 \mu\text{M}$, fue menor con altas concentraciones de La^{3+} ($>100 \mu\text{M}$); mientras que, con bajas concentraciones ($\leq 1 \mu\text{M}$) fue más alto. En el cv. Hycorn 82, al evaluar 0, 0.2, 1.0 y $5.0 \mu\text{M La}^{3+}$, no se observaron diferencias significativas en la acumulación de materia seca en vástago y raíz a los 14 dde; sin embargo, al adicionar $1.0 \mu\text{M La}^{3+}$ fue más alta en ambos órganos, con respecto a $0 \mu\text{M La}^{3+}$. Con $5 \mu\text{M La}^{3+}$ disminuyó considerablemente la

materia seca en relación a los valores máximo encontrados. El comportamiento en el peso fresco de raíz fue similar al encontrarse el peso más alto y bajo con 1.0 y 5 μM La^{3+} , respectivamente (Diatloff *et al.*, 2008).

En un experimento con macetas y adicionando 0, 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 y 2.5 $\text{mg La}^{3+} \text{ kg}^{-1}$ de suelo como $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, Hu *et al.* (2006) registraron a los 14 dde, una mayor longitud radical con 0.10 $\text{mg La}^{3+} \text{ kg}^{-1}$ de suelo. El peso del vástago fue menor cuando se adicionaron dosis iguales o menores a 0.75 $\text{mg La}^{3+} \text{ kg}^{-1}$ de suelo, en comparación con el tratamiento testigo. La mayor acumulación de materia seca tanto en vástago como en raíz fue con 0.10 $\text{mg La}^{3+} \text{ kg}^{-1}$ de suelo. Por el contrario, von Tucher y Schmidhalter (2005), no encontraron diferencias en la materia seca de vástago y raíz al adicionar 0, 1.0, 5.0, 10.0 y 20.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ en diferentes trabajos con solución nutritiva.

Xie *et al.* (2002) en un experimento bajo condiciones de hidroponía al evaluar el suministro de 0, 0.05, 0.25, 0.75, 1.5, 3, 6, 9, 15 y 30 $\text{mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$, encontraron que concentraciones de La^{3+} entre 0.05 a 1.5 mg L^{-1} , incrementaron el crecimiento radical (peso seco, volumen y longitud) en arroz (*Oriza sativa* L.), así como el rendimiento. Concentraciones de 9.0 a 30 $\text{mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$ disminuyeron la formación del grano y de 1.5 a 30 $\text{mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$ la elongación de la raíz. El La^{3+} no influyó en la acumulación de peso seco en el vástago, con excepción de 0.05 $\text{mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$ que mostró el valor más alto.

Por otra parte Zeng *et al.* (2006), con dosis de La a un suelo cambisol de 0, 30, 150, 300, 600, 900 y 1200 mg kg^{-1} (cambisol), encontraron que un suministro de La^{3+} entre 30 y 300 mg kg^{-1} de suelo incrementó la altura de planta y el número de tallos a los 30 y 80 días después del trasplante. En la cosecha, la biomasa de vástago y rendimiento más alto se encontraron con 30 $\text{mg La}^{3+} \text{ kg}^{-1}$ de suelo, mientras que el mayor peso de raíz fue con 150 $\text{mg La}^{3+} \text{ kg}^{-1}$ de suelo. Con las mismas dosis, pero en otro tipo de suelo (acrisol háplico) no se observaron diferencias por la aplicación de La^{3+} entre 0 a 300 mg kg^{-1} de suelo. Sin embargo, en ambos tipos de suelos un suministro mayor o igual a 600 mg kg^{-1} de este elemento, disminuyó el crecimiento y rendimiento de arroz.

En canola (*Brassica juncea* L.) bajo condiciones de hidroponía, se encontró que concentraciones entre 0.05, 0.25, 1.0 y 5.0 $\text{mg La}^{3+} \text{ L}^{-1}$ incrementaron la longitud de la raíz. La acumulación de materia seca en el vástago mostró un comportamiento

diferente, ya que no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Xiong *et al.*, 2006). Lim y Loh (2000) al adicionar La^{3+} (0.1 μM) más Ce^{3+} (0.1 μM) encontraron a los 10, 17, 31 y 40 días después de la siembra (dds) una mayor longitud del hipocótilo y número de flores por planta en comparación con el tratamiento testigo. La altura de la planta sólo fue más alta a los 31 y 40 dds, mientras que el número de hojas por planta fue menor en todo el ciclo de cultivo.

Al evaluar en arábidopsis (*Arabidopsis thaliana*) el suministro de 0, 0.1, 0.5, 2.5, 10, y 50 μM de La^{3+} , He y Loh (2000) encontraron a los 35 días después de la germinación una mayor altura de la planta con 0.5, 2.5 y 10 μM de La^{3+} . El peso seco de la planta mostró un comportamiento similar. La longitud de raíz se incrementó en promedio 23% en los tratamientos con La^{3+} . El número de flores fue más alto hasta una concentración de 10 μM de lantano. Sin embargo, Lim y Loh (2000) en la misma especie y con iguales concentraciones de La^{3+} encontraron un menor número de hojas al adicionar lantano.

En tabaco (*Nicotiana tabacum*) al evaluar dosis de 0, 5, 10, 20, 50 y 100 $\text{mg La}^{3+} \text{L}^{-1}$ se encontró el peso seco más alto al adicionar 20 mg L^{-1} de La^{3+} . El incremento fue de 42, 41 y 56% en raíz, tallo y hoja, respectivamente en comparación con el testigo. Con la concentración más alta se inhibió el crecimiento de la plántula (Chen *et al.*, 2001).

Weiping *et al.* (2002) en un estudio *in vitro* con níspero (*Eriobotrya japonica*) encontraron que al adicionar 1 y 3 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ al medio de cultivo se incrementó la longitud radical, así como el número y peso fresco de raíces. Fashui *et al.* (2005) con el mismo medio de crecimiento, adicionaron concentraciones de La^{3+} de 0, 0.5, 2.5, 5, 10 y 50 $\mu\text{mol L}^{-1}$ como LaCl_3 ; observaron que la tasa de crecimiento radical, número de raíces y peso seco de la raíz fueron más altas hasta los 10 $\mu\text{mol La}^{3+} \text{L}^{-1}$. La concentración óptima fue de 0.5 $\mu\text{mol La}^{3+} \text{L}^{-1}$.

En nogal negro (*Juglans nigra*) con dosis de 0, 0.1, 1, 10 y 100 mg La^{3+} por planta se encontraron diferencias significativas en la acumulación de materia seca radical, siendo más alta con 1 mg La^{3+} . Sin embargo, el peso seco de tallos y hojas no mostraron cambios (Nicodemus *et al.*, 2009). Es importante mencionar que la mayoría de estudios realizados con La^{3+} en plantas superiores, muestran que su adición en bajas concentraciones promueve el crecimiento, tal como lo mencionan He y Loh (2000).

2.2.2. Efecto del La^{3+} sobre la fisiología vegetal

De acuerdo a la concentración suministrada, el La^{3+} incrementa o reduce el crecimiento y acumulación de materia seca en la planta. Estas variaciones ocurren debido a que se modifican diversos procesos fisiológicos como la fotosíntesis, contenido de cloroplastos, clorofilas, proteínas, aminoácidos, enzimas y absorción nutrimental. La fotosíntesis, contenido de clorofila y actividad enzimática son los fenómenos más estudiados en respuesta a La^{3+} . En contraste, la relación que existe entre el suministro de este catión y el contenido de azúcares, aminoácidos, proteínas y metabolitos secundarios han sido poco investigados.

Se ha observado que el incremento en el crecimiento vegetal con La^{3+} se asocia principalmente a cambios en la fotosíntesis y sus diferentes reacciones. Chen *et al.* (2001) investigaron los efectos fisiológicos causados por 0, 5, 10, 20, 50 y 100 mg La^{3+} L^{-1} sobre reacciones fotosintéticas de plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*), encontrando que el La^{3+} suministrado en bajas concentraciones promueve la actividad de la reacción Hill ($2\text{H}_2\text{O} + 2\text{A} + (\text{luz, cloroplastos}) \rightarrow 2\text{AH}_2 + \text{O}_2$, donde A es el aceptor de electrones) a los 7, 14 y 21 dde. Así, la mayor actividad en las tres fechas se mostró con 20 mg La^{3+} L^{-1} y la más baja con 50 y 100 mg La^{3+} L^{-1} . Por lo tanto, se demostró que el La^{3+} en bajas concentraciones acelera la oxidación del H_2O a O_2 . La actividad de la Mg^{2+} -ATPasa presentó un comportamiento similar a la reacción de Hill, se incrementó linealmente con el La^{3+} hasta alcanzar su valor más alto con 20 mg La^{3+} L^{-1} . Cuando la concentración de La^{3+} fue igual o superior a 50 mg La^{3+} L^{-1} , la actividad de la Mg^{2+} -ATPasa se redujo considerablemente a los 7, 14 y 21 dde. Bajas concentraciones de LaCl_3 (0–20 mg L^{-1}) incrementaron la tasa de fotofosforilación en cloroplasto (síntesis de ATP a partir de ADP + fosfato), sin embargo, disminuyó en concentraciones altas (50–100 mg L^{-1}). La mayor actividad fotofosforilativa se presentó con 20 mg La^{3+} L^{-1} y fue superior en 38% al tratamiento sin La^{3+} ; con 100 mg La^{3+} L^{-1} fue inferior en 23% (Chen *et al.*, 2000). En solución Hoagland se encontró que concentraciones de La^{3+} entre 20 y 80 mmol L^{-1} y en macetas aplicado al follaje entre 400 y 1600 mmol L^{-1} , el lantano incrementó la actividad de la ribulosa-1,5 bifosfato carboxilasa oxigenasa (RuBisCo) e incrementó la fijación de CO_2 . Una actividad menor

de la RuBisCo se registró con dosis mayores a 200 y a 1600 mmol La³⁺ L⁻¹ aplicado en hidroponía y por aspersión, respectivamente (Chen *et al.*, 2000).

En espinaca (*Spinacia oleracea*) la adición de 5 mg La³⁺ L⁻¹ en la solución Hoagland, ocasionó una mayor tasa fotosintética debido a un incremento en el transporte de electrones del fotosistema II, mayor transformación de energía lumínica en energía electrónica y fotólisis del agua (Fashui *et al.*, 2002). En otras especies como la remolacha azucarera se ha observado una mayor asimilación de CO₂ con la aplicación foliar de La³⁺ (Xiong, 2000; Cui y Zhao, 1994).

2.2.2.1. Contenido de clorofila

En arroz (*Oriza sativa* L.) al evaluar en maceta la adición de 0, 30, 150, 300, 600 y 900 mg La³⁺ kg⁻¹ de suelo, Zeng *et al.* (2006) encontraron que el La³⁺ incrementó la concentración de clorofila hasta mostrar sus valores máximos con 600 mg kg⁻¹ de suelo; dosis mayores disminuyeron la concentración de clorofila respecto al testigo.

Fashui *et al.* (2002) en espinaca (*Spinacia oleracea*) estudiaron diferentes tratamientos para conocer el efecto del Mg²⁺ y La³⁺ sobre la concentración de clorofila. El trabajo se llevó a cabo en hidroponía bajo los siguientes factores de estudio: i) solución completa de Hoagland (testigo), ii) solución Hoagland+La³⁺, iii) solución Hoagland sin Mg²⁺ y iv) solución Hoagland sin Mg²⁺+La³⁺. Los resultados indican que el contenido de clorofila se incrementó en 32% en la solución Hoagland+La³⁺ y disminuyó en 91% en la solución Hoagland sin Mg²⁺, en ambos casos en comparación con el testigo (1.8 mg g⁻¹ PF). El contenido de clorofila fue menor sólo 19.5% en la solución Hoagland sin Mg²⁺+La³⁺ en comparación con la solución completa de Hoagland. Lo anterior indica que el La³⁺ incrementó la formación de clorofila en ausencia de Mg²⁺ y por lo tanto el La³⁺ sustituyó al Mg²⁺ en el anillo de porfirina para formar La³⁺-clorofila.

Zeng *et al.* (2000) estudiaron en pepino (*Cucumis sativa* L.) el efecto de 0, 0.02, 0.2, 1 y 2 mM de LaCl₃ sobre la concentración de clorofila en los cloroplastos. Así, los tratamientos con La³⁺ superaron al testigo en 50, 16, 16 y 16%, respectivamente, el cual mostró una concentración de clorofila de 0.84 mg g⁻¹ PF.

En plántulas tabaco (*Nicotiana tabacum*) al evaluar la adición de 0, 5, 10, 20, 50 y 100 mg L⁻¹ de LaCl₃, se encontró que bajas concentraciones incrementan el contenido de

clorofila. La concentración mayor de clorofila se registró con la adición de 0, 5 y 10 mg $\text{La}^{3+} \text{L}^{-1}$; en comparación con el testigo, el incremento fue de 8, 14 y 24%, respectivamente, en la clorofila a y de 4, 9 y 15% en la clorofila b (Chen *et al.*, 2001).

2.2.2.2. Contenido de azúcares

La evaluación del contenido de azúcares en respuesta a La^{3+} o REE, se ha realizado en especies ricas en fructosa o en los frutos de los cultivos. Así, en remolacha azucarera (*Beta vulgaris*), Guo *et al.*, (1988); Jie y Zheng (1988); Xiong (2000) en diferentes trabajos encontraron un contenido más alto de azúcares con la adición de REE. Xiong (1995), reportó una mayor cantidad de azúcares con aplicación foliar de REE en caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) y remolacha (*B. vulgaris*). En frutos como manzana (*Malus domestica*), sandía (*Citrullus lanatus*), uva (*Vitis vinífera*), naranja (*Citrus sinensis*), plátano (*Musa x paradisiaca* L.) y jitomate (*Solanum lycopersicum*), también se ha encontrado una mayor concentración de azúcares al adicionar REE (Xiong, 1995, Wan *et al.*, 1998, Guo, 1993, Järvan, 2004).

Durante la senescencia vegetal se reduce el contenido de azúcares, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila y de otros componentes celulares, y se incrementa la actividad de proteasas (Breeze *et al.*, 2004). Estos cambios también ocurren debido al incremento natural en las especies reactivas de oxígeno (ERO's) tal como en los radicales anión superóxido O_2^- , peróxido de hidrógeno (H_2O_2) y radicales hidróxilo (OH^\cdot). Por lo tanto las ERO's funcionan como mediadores primarios del daño oxidativo en la senescencia de las plantas y deben ser eliminadas por mecanismos no enzimáticos y enzimáticos (Finkel y Holbrook, 2000).

2.2.2.3. Contenido de aminoácidos y proteínas

En diversas investigaciones y especies se ha encontrado que el suministro de REE incrementa la concentración de algunos aminoácidos. En hojas de azufaifo (*Ziziphus jujuba* Mill.), se encontró un mayor contenido de ácido aspártico, serina y arginina con la aplicación foliar de REE (Sun *et al.*, 1998). En trigo (*Triticum aestivum*) con REE fue más alto el contenido de lisina, histidina y aminoácidos totales (Guo *et al.*, 1988). Al inocular la semilla con REE en forma de nitratos, fue mayor la concentración de aminoácidos en maíz (*Zea mays* L.) (Cui y Zhao, 1994). Con dosis de $5 \mu\text{mol L}^{-1}$ se

incrementó el contenido de alanina, glutamina y aminoácidos totales en pepino (*Cucumis sativus* L.) (Dong *et al.*, 1992, von Kerstin, 2006).

Se ha demostrado que el metabolismo de los nutrientes en la planta es más alto con la adición de REE, acelerando por ejemplo, la transformación de N inorgánico en proteínas (Pang *et al.*, 2001). En soya (*Glycine max*) y alfalfa (*Medicago sativa*) se presentó una mayor colonización de *Rhizobium*, lo que incrementó la fijación atmosférica de N; en consecuencia la concentración de N y proteína en semilla y vástago, respectivamente fue mayor (Wu *et al.*, 1984, Brown *et al.*, 1990; Xiong, 1995). Al suministrar 0.01, 0.1, 1, 10 y 100 mg La³⁺ L⁻¹ en medio de cultivo para evaluar el desarrollo de callos de *Echinacea angustifolia*, se encontró una relación positiva entre el crecimiento y el contenido de proteína soluble, siendo ésta última afectada por el suministro de La³⁺ a los 25, 30 y 35 días después de iniciado el callo (ddc). Así, el contenido más alto de proteína a los 25, 30 y 35 ddc fue con 0.1 mg La³⁺ L⁻¹ (Ma *et al.*, 2010). Ippolito *et al.* (2007) también reportó una menor cantidad de proteína total en *Lemna minor* L. con 5 y 10 mM La³⁺.

En conclusión, generalmente los cambios en la morfología de la planta con suministro de La³⁺ se asocian a modificaciones en la fisiología. Sin embargo, se debe considerar la concentración y fuente de La³⁺, forma de aplicación, especie vegetal y medio de crecimiento. Por lo tanto, con base a lo anterior es necesario realizar investigaciones con lantano en otras especies de interés económico, como el tulipán, y así conocer y cuantificar la influencia de este elemento y prever el comportamiento del tulipán durante el periodo de producción tomando como base la respuesta fisiológica de la planta a las posibles variantes. A continuación se presentan los objetivos del experimento presentado en este capítulo.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del lantano en forma de LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ sobre el desarrollo y respuestas fisiológicas en los cultivares de tulipán Ile de France y Christmas Dream.

3.1.1. Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del lantano como LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ sobre características cualitativas y cuantitativas de la flor y en la vida en florero de cultivares de tulipán Ile de France y Christmas Dream
- Investigar el efecto del lantano en forma de LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ sobre el contenido de clorofilas a, b y total, azúcares, proteínas y aminoácidos solubles totales en cultivares de tulipán Ile de France y Christmas Dream.
- Determinar cuál fuente de lantano incrementa los valores de las variables evaluadas.

IV. HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis general

- El lantano, ya sea en forma de LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ influye en procesos fisiológicos en postcosecha de tulipán Ile de France y Christmas Dream.

4.1.1. Hipótesis específicas

- El lantano como LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ incrementa la calidad del tulipán, estimada mediante las características cualitativas y cuantitativas del tallo floral, así como la vida en florero de los cultivares de tulipán Ile de France y Christmas Dream.
- El suministro de lantano en forma de LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en ambos cultivares de tulipán Ile de France y Christmas Dream aumenta la concentración de azúcares totales, clorofilas, proteína y aminoácidos.
- Con el suministro tanto de LaCl_3 como de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ se obtienen resultados similares para las variables estudiadas.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del área de estudio

La investigación se realizó en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México (19° 29' N y 98° 53' O y 2250 m de altitud), bajo condiciones de invernadero y en laboratorio durante el ciclo otoño-invierno 2008.

5.2. Material vegetal

Se utilizaron bulbos de tulipán de los cultivares Ile de France y Christmas Dream, calibre 12+ y cuyo proveedor fue AKIKO. Dichos materiales presentan un ciclo de crecimiento precoz (entre 50 y 70 días) y una altura de planta promedio de 45 cm. Ambas variedades son muy populares por la tonalidad roja y rosa, respectivamente. Sus flores son las de mayor tamaño en esta especie y tienen vástagos robustos con hojas compactas (AKIKO, 2005).

5.3. Manejo de cultivo

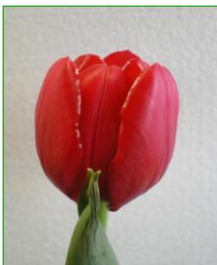

La plantación se realizó en macetas de 7 pulgadas con una mezcla de sustrato de tezontle partícula de 3 mm y Promix® (70/30 v/v) (Ramírez *et al.*, 2010). Antes de la siembra los bulbos se sumergieron en una solución al 0.2% de mancozeb (combinación de etilenbisditiocarbamato de manganeso con el ion zinc, fórmula empírica $(C_4H_6N_2S_4Mn)_a \cdot (C_4H_4N_2S_4Zn)_y$) durante 15 min, con la finalidad de prevenir ataques por *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis* y *Phyitium* sp.

En el riego se empleó la solución nutritiva universal de Steiner al 50%, preparada a partir de reactivos grado analítico, que contenía 0.531 g L⁻¹ de Ca(NO₃)₂ 4H₂O, 0.151 g L⁻¹ de KNO₃, 0.068 g L⁻¹ de KH₂PO₄, 0.246 g L⁻¹ de MgSO₄ 7H₂O y 0.130 g L⁻¹ de K₂SO₄. Los micronutrientes fueron los siguientes: 1.6 mg L⁻¹ de Mn, 0.11 mg L⁻¹ de Cu, 0.23 mg L⁻¹ de Zn. El hierro fue abastecido como Fe-EDTA a una concentración de 5 mg L⁻¹ a partir de una solución concentrada preparada según el método descrito por Steiner y van Winden (1970), se ajustó el pH de la solución a 5.5 con HCl 1N. Los riegos se aplicaron cada tres días con un volumen de 150 mL.

5.4. Diseño experimental

Se empleó un experimento factorial completo 6 × 2 (concentración de La³⁺ × fuente de La³⁺) con 15 repeticiones en un arreglo completamente al azar. Las unidades experimentales fueron las macetas con un bulbo. Los tratamientos evaluados (Cuadro 1) se agregaron junto con el riego de la solución nutritiva antes del corte de los tallos florales.

Cuadro 1. Tratamientos evaluados en tulipán con lantano en la solución nutritiva

	Tratamiento	Concentración de La ³⁺ μM	Fuente química	Variedad	Variedad
 Ile de France	1	0	Testigo	Ile de France	Christmas Dream
	2	5	LaCl ₃	Ile de France	Christmas Dream
	3	10	LaCl ₃	Ile de France	Christmas Dream
	4	20	LaCl ₃	Ile de France	Christmas Dream
	5	30	LaCl ₃	Ile de France	Christmas Dream
 Christmas Dream	6	40	LaCl ₃	Ile de France	Christmas Dream
	8	5	La(NO ₃) ₃	Ile de France	Christmas Dream
	9	10	La(NO ₃) ₃	Ile de France	Christmas Dream
	10	20	La(NO ₃) ₃	Ile de France	Christmas Dream
	11	30	La(NO ₃) ₃	Ile de France	Christmas Dream
	12	40	La(NO ₃) ₃	Ile de France	Christmas Dream

5.5. Variables de estudio

5.5.1. Parámetros cuantitativos de calidad (morfología de la planta). Se utilizaron siete repeticiones por tratamiento.

5.5.1.1. Altura de planta (cm). Se determinó midiendo desde nivel del sustrato y hasta la base del capullo. Se realizó a los 8, 14, 20, 30, 35 y 45 ddp en Ile de France y a los 8, 16, 24, 31, 39 y 45 ddp en Christmas Dream.

5.5.1.2 Longitud y diámetro de capullo (cm). Se realizó al momento del corte que fue a los 40 y 45 ddp para Ile de France y Christmas Dream, respectivamente.

5.5.1.3. Longitud de tallo (cm). Al momento del corte, los tallos florales se midieron a partir de la base del tallo

5.5.1.4. Diámetro de tallo (cm). Se midió en la parte basal, media y superior, empleando un vernier al momento del corte.

5.5.1.5. Acumulación y distribución de biomasa fresca (g). Se determinó al momento de la cosecha en el tallo, hojas y bulbo.

5.5.1.6. Acumulación y distribución de biomasa seca (g). Al momento de la cosecha cada estructura de la planta (tallos, hojas y bulbo) se sometieron a un secado en una estufa con circulación de aire forzado modelo EAAF a una temperatura de 70 °C hasta alcanzar peso constante.

5.5.2. Parámetros cualitativos de la calidad (fisiología de la planta). Se utilizaron ocho repeticiones por tratamiento.

5.5.2.1. Consumo de agua (mL). Para determinar el consumo de agua de los tallos florales cosechados, éstos fueron colocados en frascos de vidrio conteniendo 250 mL de agua, cada tres días se midió el gasto de agua por frasco registrándose al final, el consumo total por cada tallo floral.

5.5.2.2. Peso del tallo floral fresco (g). La lectura inicial de esta variable se tomó al momento del corte. Posteriormente cada tres días se midieron las diferencias en peso fresco del tallo, registrándose lecturas a los 3, 5, 7, 9, 11 y 13 días en florero utilizando una balanza digital.

5.5.2.3. Vida en florero (días). La vida de florero se registró considerando la duración de los tallos florales a partir de la cosecha, tomando como parámetro final de vida en florero, las flores que presentaban del 71–90% marchitez total del sépalo, turgencia casi nula, enrollamiento invertido de sépalos, cambio total a color rojo oscuro opaco (Hunter *et al.*, 2002). El agua de los floreros se cambió cada tercer día, cortando 0.5 cm de la base del tallo floral.

5.5.2.4. Contenido de clorofila (mg g^{-1} PF). Se determinó en hojas por el método de Harborne (1973) al momento del corte y al finalizar la vida en florero. La lectura de las muestras se realizó en un espectrofotómetro con una absorbancia (A) de 663 y 645 nm

(Spectronic 20, Bausch and Lomb). La concentración de clorofila se estimó mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Clorofila a} = (12.7 \cdot A_{663}) - (2.59 \cdot A_{645})$$

$$\text{Clorofila a} = (22.9 \cdot A_{645}) - (4.70 \cdot A_{663})$$

$$\text{Clorofila total} = (8.2 \cdot A_{663}) + (20.2 \cdot A_{645})$$

5.5.2.5. Azúcares solubles totales (mg g⁻¹ PF). Se determinaron en pétalos al momento del corte y al finalizar la vida en florero. Como referencia se utilizó el método descrito por Southgate (1976) con antrona, ácido sulfúrico y alcohol al 80%. La absorbancia se determinó a una longitud de onda de 620 nm (Spectronic 20, Bausch and Lomb). La glucosa fue usada como estándar en la elaboración de la curva de calibración con una concentración entre 0.1 a 1.0 mg mL⁻¹.

5.5.2.6. Proteínas solubles totales (µg g⁻¹ PF). La extracción de proteínas en hojas al momento del corte y al finalizar la vida en florero se determinó de acuerdo a lo descrito por Höfner *et al.* (1989). La cuantificación de éstas se hizo con solución de amido y como estándar albumina de suero bovino. La lectura de las muestras se realizó en un espectrofotómetro con una absorbancia de 640 nm (Spectronic, GenesysTM serie 10. EU).

5.5.2.7. Aminoácidos solubles totales (µM g⁻¹ PF). Se determinaron en hojas al momento del corte y al finalizar la vida en florero mediante extracción etanólica siguiendo la metodología de Geiger *et al.* (1998), empleando el método de la ninhidrina (Moore y Stein, 1954). Se utilizó leucina para la elaboración de la curva patrón entre una concentración de 0 a 250 µL mL⁻¹. Los extractos fueron leídos en un espectrofotómetro (Spectronic, GenesysTM serie 10. EU) a una longitud de onda de 570 nm.

5.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias Least Significant Difference (LSD) con un nivel de confianza de 95% con el software Statistical Analysis System (SAS, 2002).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Parámetros cuantitativos de calidad (morfología de la planta)

6.1.1. Altura de la planta

6.1.1.1. Altura de planta por efecto de fuente de La^{3+}

La altura de la planta se incrementó a través de ciclo de cultivo en los dos cultivares, en promedio su valor máximo se registró a los 35 y 45 ddp en el cv. Ile de France y Christmas Dream con 40.1 y 32.6 cm, respectivamente.

En el cv. Ile de France, la altura de planta no mostró diferencias significativas de los 8 a los 20 días después de la plantación (ddp) en respuesta a la fuente de La^{3+} utilizada. Los cambios significativos fueron hasta los 35 y 40 ddp, teniéndose la mayor altura cuando se adicionó LaCl_3 , siendo de 35.5 y 40.9 cm, respectivamente y superando a $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en 2 y 4% (Cuadro 2). Para el cv. Christmas Dream, al igual que en Ile de France, se registraron diferencias estadísticas significativas sólo al final del ciclo del cultivo (39 y 45 ddp). Así, la longitud de planta más alta fue a los 45 ddp con 32.3 y 33 cm al suministrar LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente (Cuadro 2). Se concluye que el suministro de LaCl_3 mostró un efecto superior en esta variable para Ile de France, mientras que Christmas Dream respondió mejor con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$.

Cuadro 2. Altura de planta (cm) en cultivares de tulipán durante el ciclo de cultivo en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Ile de France						Christmas Dream					
	ddp						ddp					
	8	14	20	30	35	40	8	16	24	31	39	45
LaCl_3	19.6a ^z	22.7a	25.3a	32.2a	35.5a	40.9a	13.4a	17.4a	22.3a	26.6a	29.1b	32.3b
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	19.4a	22.4a	24.9a	31.8a	34.8b	39.3b	13.6a	16.6a	22.2a	26.6a	30.4a	33.0a
Promedio	19.5	22.5	25.1	32.0	35.1	40.1	13.5	16.9	22.2	26.6	29.7	32.6
DMS_{0.05}	0.29	0.67	0.34	0.51	0.32	0.32	0.26	0.21	0.29	0.33	0.26	0.23

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$, ddp: días después de la plantación. $\text{DMS}_{0.05}$ =Diferencia mínima significativa al 5%.

6.1.1.2. Altura de planta por efecto de concentración de La^{3+}

La altura de planta del cv. Ile de France durante el desarrollo del experimento mostró diferencias estadísticas significativas. A los 8, 14 y 40 ddp, la mayor altura de planta se

registró al adicionar 40 μM La^{3+} (Figuras 1A, 1B y F1). A los 20 y 30 ddp las mayores alturas se registraron con 5 y 0 μM La^{3+} , respectivamente y a los 35 ddp con el suministro de 20 μM La^{3+} (Figuras 1C, 1D y 1E). La menor altura de la planta se encontró con la adición de 30 μM La^{3+} a los 8, 14, 20, 30 y 35 ddp, mientras que a los 40 ddp fue con la ausencia de La^{3+} (testigo).

En el cv. Christmas Dream se observaron tendencias similares, ya que los tratamientos evaluados provocaron cambios significativos a los 8, 16, 24, 31, 39 y 45 ddp. En todos los muestreos la menor altura de la planta se registró en el tratamiento sin La^{3+} (Figuras 1A a 1F) En otras especies como el arroz (*Oriza sativa* L.) y *Arabidopsis thaliana*, al estudiar diferentes concentraciones de La^{3+} la menor elongación del tallo se encontró en el testigo (Fashui *et al.*, 2000; He y Loh, 2002). Así, los 8, 16 y 45 ddp con la adición de 10 μM La^{3+} se mostró la mayor altura de planta a, con 14.7, 17.8 y 33.7 cm, respectivamente, mientras que 20 μM La^{3+} fue a los 31 (28.4 cm) y 39 ddp (31.7 cm) (Figuras 1A a 1E). Con la mayor concentración de La^{3+} se favoreció la altura sólo a los 24 ddp, siendo de 23.7 cm (Figura 1F).

En *Arabidopsis thaliana* y pasto ballico (*Lolium multiflorum*) también se ha mostrado que el La^{3+} incrementó la altura de la planta en un 26 y 60%, respectivamente. La interacción entre los elementos de tierras raras (REE) y la concentración hormonal, se ha propuesto como uno de los principales factores que influye en los diferentes procesos fisiológicos que afectan el crecimiento de la planta. En coleoptilos de maíz se ha encontrado que La incrementa el contenido de auxinas. Con 7.5 mg L^{-1} La^{3+} fue más alta la concentración de ácido indolacético (AIA) en plántulas de trigo (Sheng y Zhang, 1994). Se sabe que el AIA (principal auxina en las plantas) controla algunos procesos importantes como el alargamiento y la división celular. En tulipán se ha reportado que la elongación del tallo está controlada por la disponibilidad de auxinas provenientes de las hojas y el gineceo (Okubo *et al.*, 1986). Saniewski (1981), en tulipán (*Tulipa gesneriana* L. cv. Apeldoorn) encontraron una mayor altura de planta cuando fueron tratadas con 0.1% de AIA. En conclusión, la variedad Ile de France, tuvo mejor resultado en respuesta al suministro de 20 y 40 μM La^{3+} para altura de planta en comparación con Christmas Dream.

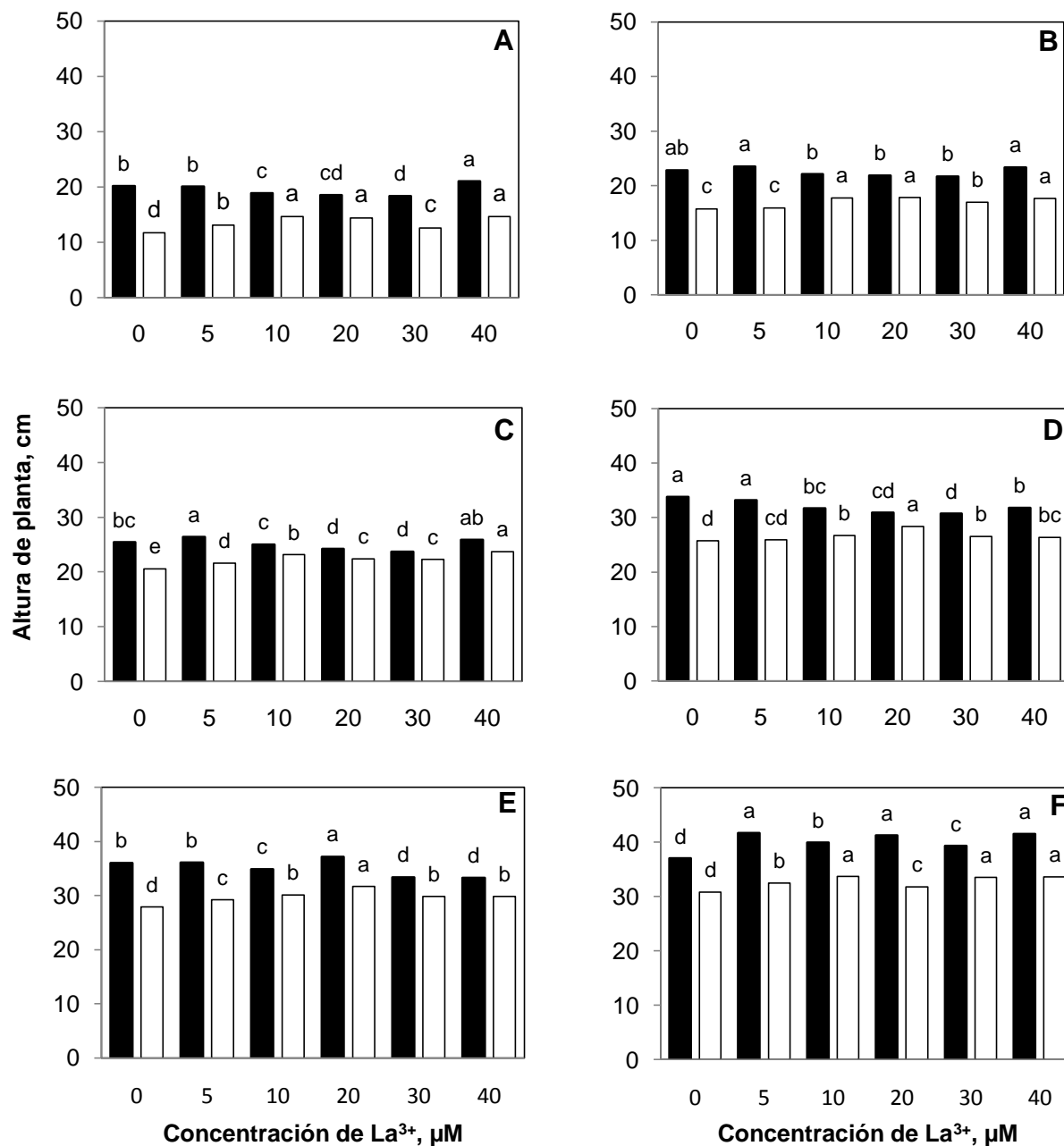


Figura 1. Altura de plantas de tulipán Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) con distintas concentraciones de La³⁺ en diferentes fechas de evaluación. Cada subfigura representa los días después de la plantación (ddp) en el cv. Ile de France-en el cv. Christmas Dream. A: 8-8, B: 14-16, C: 20-24, D: 30-31, E: 35-39, F: 40-45. Barras del mismo cultivar con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas de acuerdo a la prueba LSD (P ≤ 0.05).

6.1.1.3. Altura de planta por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

La altura de la planta mostró diferencias estadísticas significativas por efecto de la interacción fuente x concentración de La^{3+} en ambos cultivares (Cuadro 3).

Para Ile de France, la mayor altura a los 8, 14, 20 y 30 ddp fue al suministrar $5 \mu\text{M}$ $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, (21.1, 24.2, 26.8, 33.5 cm, respectivamente). En contraste, en fechas posteriores a los 30 ddp la mayor altura se encontró con $20 \mu\text{M}$ LaCl_3 (38.2 y 42.7 para los 35 y 40 ddp, respectivamente). Dosis altas de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (20 y $30 \mu\text{M}$) afectaron significativamente la longitud del tallo ya que su valor fue inferior al tratamiento testigo.

El comportamiento del cv. Christmas Dream fue diferente al de Ile de France, debido a que de los 16 a los 31 ddp se mostraron las plantas más altas con dosis entre 30 y $40 \mu\text{M}$ LaCl_3 . A los 39 y 45 ddp la elongación del tallo se favoreció con el suministro de 20 y $10 \mu\text{M}$ en forma $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Durante el ciclo de cultivo la menor altura se observó en el tratamiento testigo y disminuyó en 32, 20, 19, 11, 16 y 13% a los 8, 16, 24, 31, 39 y 45 ddp, respectivamente, en comparación con los valores de altura mayores que fueron registrados. Al respecto, en los resultados obtenidos se observa una respuesta variable por efecto de la fuente y concentración suministrada para cada una de las variedades evaluadas, destacando la adición de bajas concentraciones de La^{3+} .

Cuadro 3. Altura de planta (cm) en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Ile de France						Christmas Dream					
		ddp						ddp					
		8	14	20	30	35	40	8	16	24	31	39	45
	Testigo	20.1bc ^z	22.8ab	25.3bc	33.7a	35.9c	36.9h	11.7e	15.7d	20.5g	25.7e	27.8f	30.8e
$LaCl_3$	5	18.9def	22.8ab	25.9b	32.9ab	35.1de	42.4ab	13.0d	15.9d	20.8fg	26.1cde	29.1d	32.5d
	10	19.5cd	22.1bcd	25.8b	31.4cd	35.7cd	40.9de	15.4a	17.7b	22.1d	26.6bcd	28.4ef	32.3d
	20	19.0de	22.9ab	24.8cd	31.1cd	38.2a	42.7a	13.8c	18.9a	23.3b	28.5a	31.1b	30.8e
	30	18.2fg	22.4bc	23.8e	31.9bc	34.7ef	40.2ef	12.2e	17.3b	22.6cd	26.9bc	29.0de	33.9b
	40	21.6a	23.2ab	25.7bc	31.7bcd	33.2g	41.7bc	14.3bc	18.5a	24.4a	25.5e	29.2d	33.1c
$La(NO_3)_3$	5	21.1a	24.2a	26.8a	33.5a	36.9b	40.8de	13.2d	15.9d	22.3cd	25.5e	29.2d	32.3d
	10	18.3efg	22.0bcd	24.1de	31.8bcd	34.0fg	38.8g	13.9c	17.7b	24.1a	26.8bcd	31.8a	34.9a
	20	18.0g	20.7d	23.5e	30.6d	36.2bc	39.6f	14.9ab	16.7c	21.4ef	28.1a	32.2a	32.7cd
	30	18.4efg	21.0cd	23.6e	29.3e	32.0h	38.3g	12.9d	16.6c	21.9de	26.0de	30.6bc	33.1c
	40	20.3b	23.5ab	25.9b	31.8bcd	33.3g	41.3cd	14.8ab	16.7c	22.9bc	27.1b	30.4c	34.0b
DMS_{0.05}		0.70	1.65	0.83	1.25	0.77	0.77	0.63	0.50	0.71	0.81	0.62	0.56

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%. ddp: días después de la plantación.

6.1.2. Longitud y diámetro de capullo

6.1.2.1. Longitud y diámetro de capullo por efecto de fuente de La^{3+}

La longitud de capullo en Ile de France y Christmas Dream, no mostró diferencias estadísticas por efecto de la fuente de La^{3+} adicionada (Cuadro 4). Sin embargo fue más alta con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, siendo de 6.4 y 6.7 cm para Ile de France y Christmas Dream, respectivamente. Una longitud promedio del capullo entre 4.1 y 5.1 reportaron Osorio (2005) y Ramírez (2006) en el cultivar Ile de France, respectivamente. La longitud del capullo fue menor en el cv. Ile de France en 4.6 y 4.7% en las fuentes LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente en comparación con las longitudes registradas en el cv. Christmas Dream. En lo que respecta a diámetro de capullo (Cuadro 4) existieron diferencias significativas en los dos cultivares; registrándose los valores más altos con el suministro de LaCl_3 . Así, el mayor diámetro de capullo en el cv. Ile de France fue de 6 cm, superando a $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en un 3%. Para Christmas Dream el diámetro fue de 4.2 y 4 cm, para LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente. García (2004) reporta un menor diámetro de capullo en diferentes cultivares de tulipán en promedio de 1.9 cm diferencias asociadas con el número de días en la obtención de los datos. Mientras que Ramírez (2006) en diferentes tratamientos reporta en el cv. Ile de France un diámetro de capullo que osciló entre 5.5 y 6.6 cm.

Cuadro 4. Longitud y diámetro de capullo en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Ile de France		Christmas Dream	
	Longitud de capullo (cm)	Diámetro de capullo (cm)	Longitud de capullo (cm)	Diámetro de capullo (cm)
LaCl_3	6.3a ^z	6.0a	6.6a	4.2a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	6.4a	5.8b	6.7a	4.0b
DMS_{0.05}	0.12	0.07	0.15	0.08

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.1.2.2. Longitud y diámetro de capullo por efecto de concentración de La^{3+}

La longitud de capullo del cv. Ile de France presentó diferencias estadísticas por efecto de las concentraciones de La^{3+} . Se observa que esta variable fue más alta al adicionar 5, 10, 20 y 30 μM La^{3+} . Con 40 μM La^{3+} la longitud de capullo fue menor y entre este tratamiento y el testigo (sin La^{3+}) no existieron diferencias estadísticas significativas. En

el cv. Christmas Dream existió una correlación directa entre el suministro de La^{3+} y longitud de capullo, encontrándose el valor más alto con $40 \mu\text{M La}^{3+}$ (7.3 cm), superando al tratamiento testigo en 39% (Figura 2).

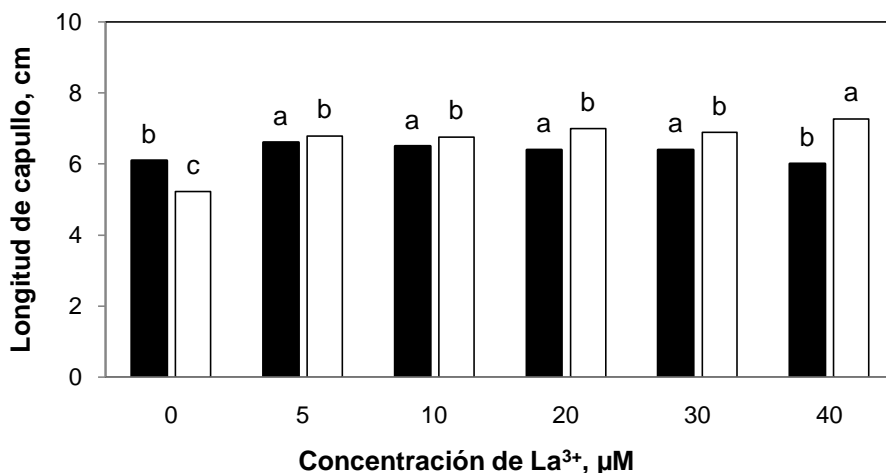


Figura 2. Longitud de capullo de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La^{3+} . Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

Entre cultivares el mayor diámetro de capullo se encontró en Ile de France con un promedio de 5.9 cm, mientras que en Christmas Dream fue de 4.1 cm. Con respecto a los tratamientos se mostraron cambios significativos en ambos cultivares. En Ile de France, el diámetro de capullo más alto se encontró con 5, 10 y 20 $\mu\text{M La}^{3+}$. En Christmas Dream se registró el mayor diámetro de capullo al suministrar 5 $\mu\text{M La}^{3+}$ con 4.5 cm superando en 14% al valor más bajo mostrado por el tratamiento testigo (Figura 3). En especies como lilis, narciso y arabidopsis se ha encontrado un mayor crecimiento de la flor cuando se adicionaron diferentes concentraciones de La^{3+} (Brown *et al.* 1990; He y Loh, 2000; 2002).

El La^{3+} al incrementar el diámetro de capullo, mejora las expectativas para la comercialización del tulipán; pues aumenta el valor agregado de los tallos florales, debido a que se tiene mayor aceptación en el mercado.

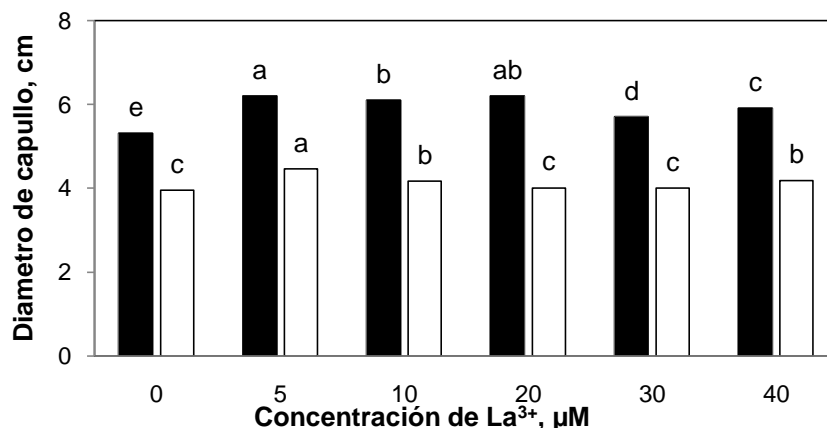


Figura 3. Diámetro de capullo de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La³⁺. Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

6.1.2.3. Longitud y diámetro de capullo por efecto de la interacción fuente La³⁺ x concentración de La³⁺

La longitud y diámetro de capullo mostraron diferencias altamente significativas por efecto de la interacción fuente x concentración de La en el cv. Ile de France y Christmas Dream (Cuadro 5).

Cuadro 5. Longitud y diámetro de capullo en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La³⁺ x concentración de La³⁺.

Fuente de La ³⁺	Concentración de La ³⁺ (µM)	Ile de France		Christmas Dream	
		Longitud de capullo (cm)	Diámetro de capullo (cm)	Longitud de capullo (cm)	Diámetro de capullo (cm)
	Testigo	6.1d ^z	5.3g	5.2f	3.9cd
LaCl ₃	5	6.4bcd	6.5a	6.9bcd	4.6a
	10	6.2d	5.8e	6.3e	4.3b
	20	6.5abc	6.3ab	7.2ab	4.1bc
	30	6.4cd	6.2bc	6.9bcd	4.1cd
	40	6.1d	5.6f	7.0bc	4.3b
La(NO ₃) ₃	5	6.7ab	5.9de	6.6de	4.3b
	10	6.8a	6.3ab	7.2ab	4.0cd
	20	6.3cd	6.0cd	6.7cd	3.9d
	30	6.5bc	5.3g	6.9cd	3.9d
	40	5.8e	6.1bcd	7.5a	4.0cd
Promedio		6.4	5.9	6.8	4.1
DMS_{0.05}		0.30	0.17	0.37	0.21

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

La longitud de capullo en el cultivar Ile de France presentó los valores más altos al aplicar 10 y 5 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Los menores valores en estas variables se registraron en el testigo y con el suministro con ambas fuentes de La en concentración de 40 μM . El diámetro de capullo fue mayor con 5 μM LaCl_3 , 20 μM LaCl_3 y 10 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. El menor diámetro de capullo se mostró sin La^{3+} (5.34 cm) y al aplicar 30 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (5.25 cm).

En Christmas Dream, la respuesta fue variable ya que la mayor longitud se encontró con 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, mientras que la del diámetro del capullo fue con 5 μM LaCl_3 . La adición de 30 y 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ afectaron significativamente el diámetro del capullo, debido a que se presentaron valores más bajos en comparación con el tratamiento testigo (Cuadro 5).

6.1.3. Longitud de tallo floral

6.1.3.1. Longitud de tallo floral por efecto de fuente de La^{3+}

La longitud de tallo en ambos cultivares mostró diferencias estadísticas significativas por efecto de la fuente de La^{3+} (Cuadro 6). En el cultivar Ile de France se registró la media más alta con el suministro de LaCl_3 (55.4 cm), superando en 1.8% a la altura obtenida con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Una longitud de tallo máxima en tulipán cv Ile de France de 54.1 reportaron Francescangeli y Frangi (2006); mientras que Ramírez *et al.* (2010), la reporta de 50 cm. En Christmas Dream, la respuesta fue similar, ya que la mayor longitud de tallo se mostró con LaCl_3 (46.8 cm), comparativamente con la longitud obtenida al suministrar $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (45.9 cm).

Cuadro 6. Longitud de tallo (cm) en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Longitud de tallo, cm	
	Ile de France	Christmas Dream
LaCl_3	55.4a ^z	46.89a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	54.8b	45.93b
DMS_{0.05}	0.53	0.92

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

En cuanto a los cultivares, Ile de France presentó la longitud de tallo mayor con respecto a Christmas Dream, superándolo en 15.3 y 16.1% para LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$,

respectivamente (Cuadro 6). Esta diferencia entre longitudes se debe principalmente a las características genéticas de cada cultivar como lo señala Kim *et al.* (2005) quien encontró diferencias entre los cultivares Peer Gynt, Maureen y Kingsblood. García (2004), también reportan diferencias significativas en la longitud de tallo en cultivares de tulipán diferentes.

6.1.3.2. Longitud de tallo floral por efecto de concentración de La^{3+}

En la longitud de tallo por efecto de concentración de La^{3+} se registraron diferencias estadísticas significativas para el cv. Ile de France y Christmas Dream. En ambos cultivares el suministro de La^{3+} incrementó la longitud del tallo ya que los valores más bajos para este carácter se registraron en ausencia de La^{3+} en la solución nutritiva (Figura 4).

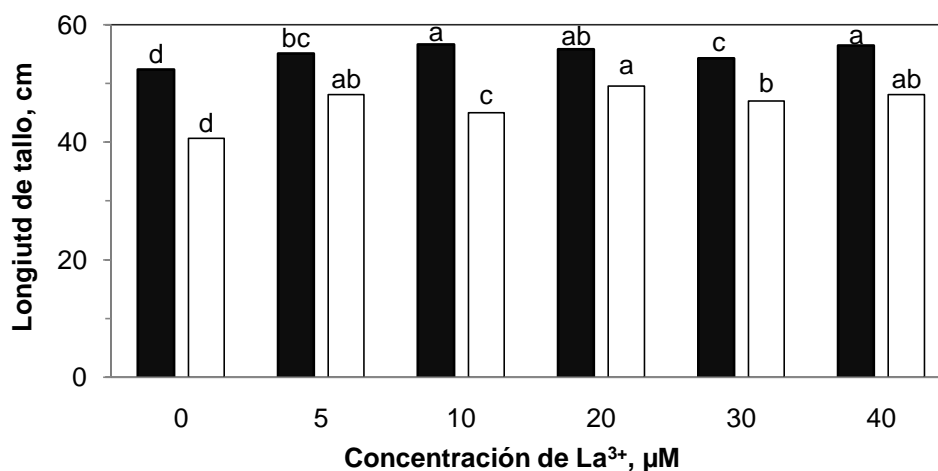


Figura 4. Longitud de tallo de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), al momento del corte con distintas concentraciones de La^{3+} . Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

Los resultados aquí obtenidos, contrastan con Kim *et al.* (2005) quienes encontraron una reducción en la elongación del tallo al adicionar 25 mM La^{3+} , estas diferencias pueden asociarse a las concentraciones utilizadas en cada experimento. Hu y Ye (1996), mencionan que uno de los principales factores para que el La^{3+} ocasione efectos fisiológicos positivos o negativos es la dosis suministrada. Kim *et al.* (2005) concluyen, que una elevada concentración de La^{3+} genera toxicidad en plantas de tulipán, disminuyendo el desarrollo del tallo floral. Por el contrario, con bajas concentraciones de La^{3+} se encontró un mayor crecimiento y división celular en el tallo

floral de jacinto (*Hyacinthus* spp.) incrementando su longitud (Brown *et al.*, 1990), debido posiblemente a un incremento en la concentración de fitohormonas como auxinas y citocininas (He y Loh, 2000; 2002). Por lo tanto, con la adición de 10 μM se obtuvo la mayor longitud de tallo en el cv. Ile de France, mientras que en el cv. Christmas Dream fue con 20 μM La^{3+} (Figura 4).

6.1.3.3. Longitud del tallo floral por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

En el Cuadro 7 se muestran diferencias significativas por el efecto de la interacción fuente x concentración de La en la longitud de tallo. Se puede apreciar que en el cv. Ile de France, la mayor longitud de tallo se obtuvo con 10 μM LaCl_3 y 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Para el cv. Christmas Dream fue con 20 μM LaCl_3 . En ambos cultivares la menor longitud de tallo se mostró en el tratamiento sin La^{3+} (testigo).

Cuadro 7. Longitud del tallo floral (cm) en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Ile de France	Christmas Dream
LaCl_3	Testigo	52.4f	40.7f
	5	57.2ab	47.8bc
	10	58.0a	44.4e
	20	57.6 ^a	52.1a
	30	52.3f	47.8bc
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40	54.8d	48.5b
	5	53.0ef	48.4bc
	10	55.2cd	45.5de
	20	54.0de	47.0bcd
	30	56.2bc	46.2cde
	40	58.3 ^a	47.8bc
Promedio		55.4	46.9
DMS_{0.05}		1.29	2.25

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.1.4. Diámetro de tallo floral

6.1.4.1. Diámetro de tallo floral por efecto de la fuente de La^{3+}

Los resultados obtenidos en diámetro de tallo por efecto de la fuente de La^{3+} son presentados en el Cuadro 8, donde se observa que los valores del cv. Ile de France

son superiores a los obtenidos en Christmas Dream independientemente de la fuente empleada. En los dos cultivares los valores más altos se encontraron en el diámetro basal y los más bajos en diámetro superior. Resultados que coinciden con los obtenidos por Osorio (2005) y Ramírez (2006) en diferentes cultivares de tulipán. En el cultivar Ile de France, el diámetro de tallo medio y superior más alto ocurrió con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, superior en 2.4 y 1.7%, respectivamente, a los diámetros obtenidos con LaCl_3 . En el cv. Christmas Dream, sólo el diámetro de tallo superior registró cambios significativos por efecto de la fuente de La^{3+} (Cuadro 8). Prácticas que permitan incrementar el diámetro de tallo en tulipán (principalmente el superior) son importantes para mejorar la firmeza del tallo y por lo tanto disminuir la curvatura del mismo (Ramírez, 2006).

Cuadro 8. Diámetro de tallo basal, medio y superior en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Ile de France			Christmas Dream		
	Diámetro basal	Diámetro medio	Diámetro superior	Diámetro basal	Diámetro medio	Diámetro superior
	-----mm-----					
LaCl_3	9.3a ^z	8.3b	5.8b	8.0a	6.9a	5.0a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	9.2a	8.5a	6.1a	8.0a	6.9a	4.7b
DMS_{0.05}	0.14	0.08	0.08	0.13	0.14	0.15

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.1.4.2. Diámetro de tallo floral por efecto de concentración de La^{3+}

En respuesta a la concentración de La^{3+} suministrada en la solución nutritiva, los diámetros de tallo basal, medio y superior en Ile de France y Christmas Dream en ambos cultivares tuvieron diferencias estadísticas significativas. Así, en Ile de France con el suministro de 5 μM La^{3+} se mostraron los tallos más gruesos, con 9.4, 8.7 y 6.3 mm para los diámetros basal, medio y superior, respectivamente (Figuras 5A, 5B y 5C). El testigo presentó los diámetros de tallo más bajos y fue superado por los valores más altos en 4, 4 y 17% en diámetro basal, medio y superior, respectivamente. A diferencia de lo observado en el cultivar Ile de France, en Christmas Dream el incremento en diámetro de tallo se correlacionó positivamente con la concentración de La^{3+} en la solución nutritiva, es decir, a mayor concentración mayor diámetro de tallo basal, medio

y superior (Figuras 5A, 5B y 5C). El mayor diámetro en los tratamientos con La^{3+} genera una apariencia más vigorosa y mejoran la calidad del tallo floral.

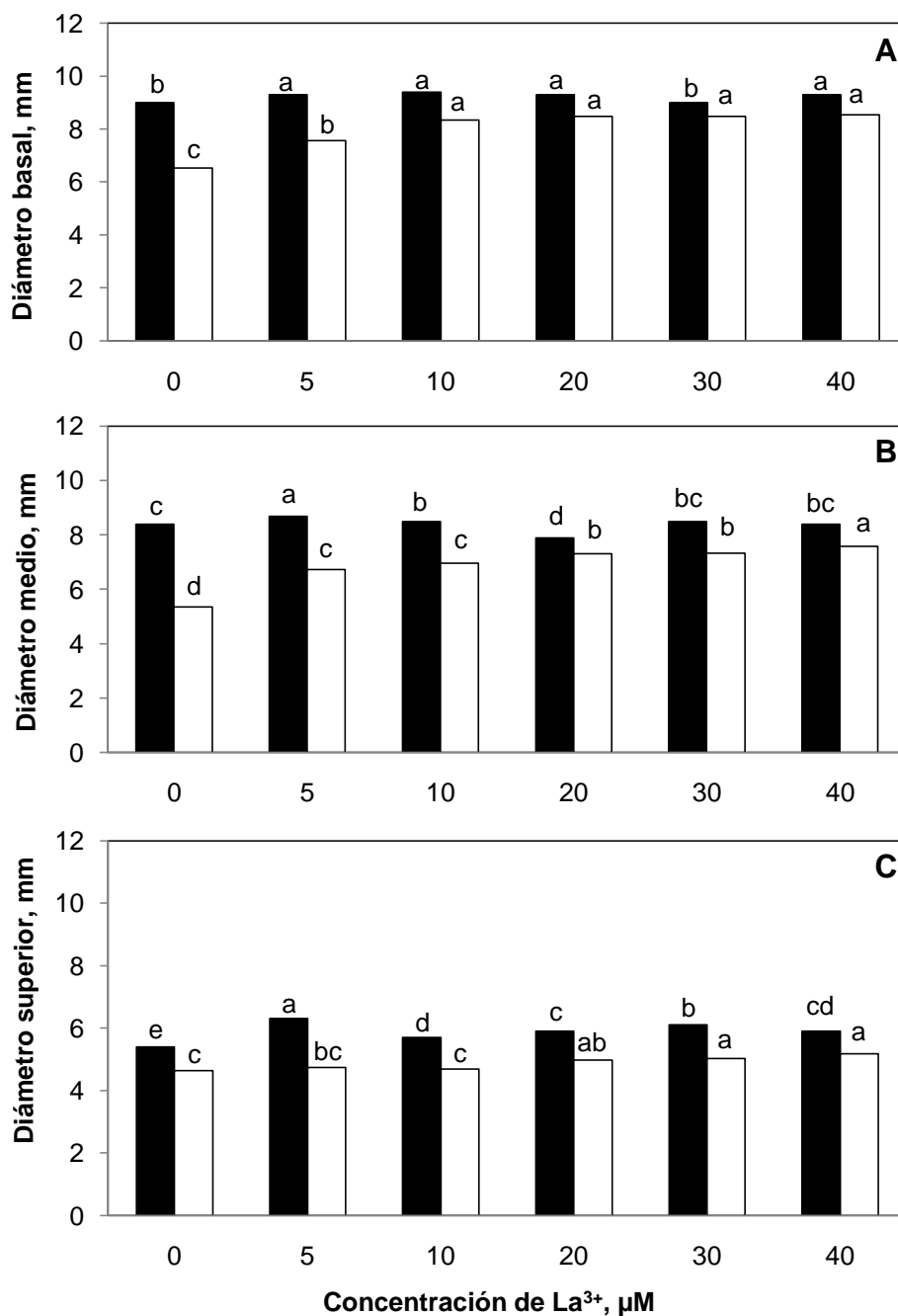


Figura 5. Diámetro de tallo en tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) al momento de corte con distintas concentraciones de La^{3+} . A: Basal, B: Medio y C: Superior. Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.1.4.3. Diámetro de tallo floral por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

Los diámetros de tallo basal, medio y superior presentaron cambios significativos por efecto de la interacción fuente x concentración en los cultivares Ile de France y Christmas Dream (Cuadro 9). Se puede observar en Ile de France que el menor diámetro de tallo basal y apical se encontró en el tratamiento testigo, mientras que con 20 μM LaCl_3 y 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ se mostraron los valores más bajos para el diámetro de tallo medio. El mayor diámetro de tallo basal se obtuvo con 10 μM La^{3+} suministrado como $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. El diámetro medio y apical se favoreció con la adición de 5 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (Cuadro 9). Los diámetros más altos en el tallo del cv. Christmas Dream se mostraron con dosis altas de La^{3+} adicionado como LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Así, el mayor diámetro de tallo basal, medio y apical se presentó con 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, 40 μM LaCl_3 y 40 μM LaCl_3 , respectivamente. Los valores más bajos para todos los diámetros se encontró en el tratamiento sin suministro de La^{3+} en la solución nutritiva (Cuadro 9).

Cuadro 9. Diámetro de tallo basal, medio y superior en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Ile de France			Christmas Dream		
		-----diámetro de tallo (mm)-----			-----diámetro de tallo (mm)-----		
		basal	medio	apical	basal	medio	apical
LaCl_3	Testigo	9.0d ^z	8.4de	5.4g	6.5d	5.4e	4.6de
	5	9.4abc	8.5cd	6.2ab	7.5c	6.6d	4.8cde
	10	9.2bcd	8.2ef	5.6f	8.4ab	7.2b	4.6de
	20	9.5ab	7.5g	5.7ef	8.5ab	7.2bc	5.2ab
	30	9.0d	8.6cd	6.1bc	8.4ab	7.2bc	5.0bc
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40	9.5abc	8.7bc	5.8de	8.5ab	7.8a	5.5a
	5	9.2bcd	8.9a	6.4a	7.6c	6.8cd	4.6e
	10	9.7 ^a	8.8ab	5.9d	8.3b	6.7d	4.7cde
	20	9.1bcd	8.3e	6.1bc	8.4ab	7.4ab	4.6de
	30	9.0d	8.4de	6.0cd	8.6a	7.5ab	4.9bcd
	40	9.1cd	8.1f	5.9d	8.6a	7.4b	4.7cde
Promedio		9.3	8.4	5.9	8.1	7.0	4.9
DMS_{0.05}		0.34	0.20	0.20	0.32	0.34	0.36

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.1.5. Acumulación y distribución de biomasa fresca

6.1.5.1. Acumulación y distribución de biomasa fresca por efecto de fuente de La^{3+}

Entre fuentes de La^{3+} suministradas, el cv. Ile de France no mostró diferencias significativas en la acumulación de biomasa fresca total, en hoja y en tallo floral, sólo se presentaron en el bulbo (Cuadro 10). Así, la mayor acumulación en este órgano se encontró con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y superó a LaCl_3 en 11%. Las fuentes de La^{3+} adicionadas a la solución nutritiva generaron cambios significativos para el cv. Christmas Dream en la acumulación de biomasa en tallo, bulbo y total. Los valores más altos de biomasa para ambos órganos y total fueron con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y superaron en 0.7, 1.6 y 2.7 g, respectivamente, a la acumulación mostrada en los tratamientos con LaCl_3 (Cuadro 10).

Cuadro 10. Acumulación de biomasa fresca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Biomasa fresca, g							
	Hoja	Ile de France			Christmas Dream			
		Tallo	Bulbo	Total	Hoja	Tallo	Bulbo	Total
LaCl_3	18.8a ^z	19.9a	30.2b	68.9a	13.2a	15.6a	32.5a	61.3a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	18.6a	19.7a	33.6a	71.9a	12.8a	14.9b	30.9b	58.6b
DMS_{0.05}	0.84	0.33	3.4	3.6	0.50	0.44	1.4	1.8

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

La distribución de biomasa fresca en hoja, tallo y bulbo en función de la fuente de La^{3+} suministrada de los cultivares de tulipán evaluados se observa en la Figura 6. En el cultivar Ile de France se registraron diferencias mínimas en la distribución de materia fresca en el tallo y hoja entre las fuentes de La^{3+} y en bulbo con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ se encontró la mayor distribución de materia seca (Figura 6). En el cv. Christmas Dream las tendencias en la distribución de biomasa fresca fueron muy similares entre las fuentes de La^{3+} . Sin embargo, en hoja fue más alta con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, mientras que en bulbo correspondió a LaCl_3 (Figura 6). Finalmente, al analizar la acumulación de biomasa fresca en los diferentes órganos se observó que la mayor parte de biomasa fresca con

respecto a la total se encuentra en bulbo en ambos cultivares. Así, el orden de acumulación de biomasa fresca fue el siguiente: bulbo>tallo>hoja.

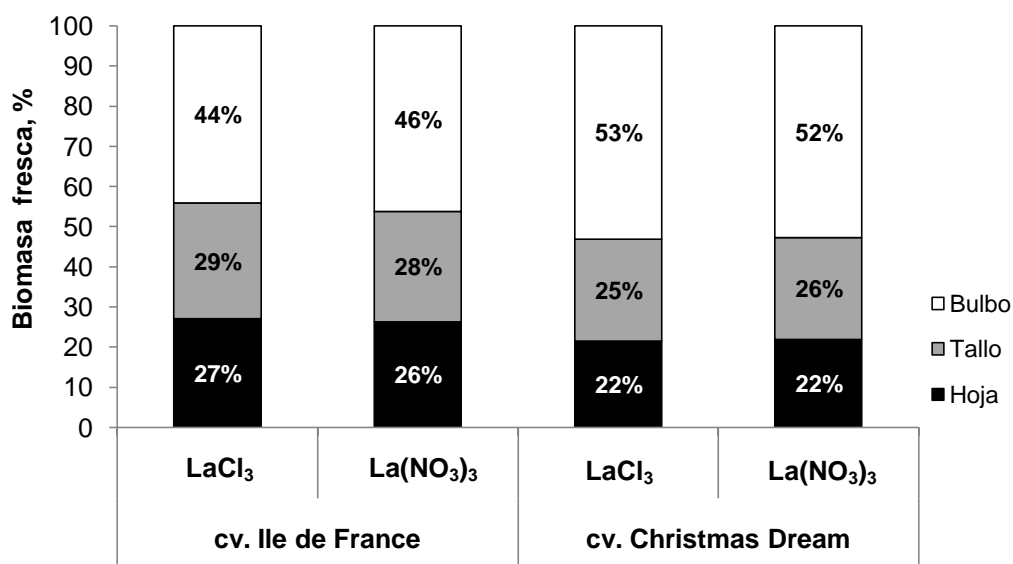


Figura 6. Distribución de biomasa fresca en los diferentes órganos de cultivares de tulipán en función de la fuente de La³⁺ suministrada en solución nutritiva.

6.1.5.2. Acumulación y distribución de biomasa fresca por efecto de la concentración de La³⁺

En promedio la acumulación de biomasa fresca fue más alta en el cv. Ile de France superando en un 17% a la mostrada en Christmas Dream. La mayor biomasa en Ile de France se debió a un incremento de la biomasa en hoja y tallo. En bulbo, la materia fresca fue similar entre cultivares (Cuadro 11). Con respecto a la concentración de La³⁺ adicionada a la solución nutritiva, la biomasa fresca en los diferentes órganos del cv. Ile de France, mostró diferencias estadísticas significativas. En hoja, tallo, bulbo y total los valores más altos de biomasa fresca se obtuvieron con la concentración de 40 μM La³⁺. La menor acumulación de biomasa fresca en tallo, bulbo y total se registró en el tratamiento testigo (0 μM La³⁺) (Cuadro 11).

La biomasa fresca total y la de todos los órganos en el cv. Christmas Dream presentó cambios significativos generados por la adición de La³⁺. Sin embargo, en contraste con el cv, Ile de France la mayor acumulación de materia fresca se mostró con diferentes concentraciones de La³⁺. Así, el mayor peso fresco en hoja y tallo fue con el suministro de 10 μM La³⁺ y supero en 31 y 24% a los valores más bajos encontrados con 5 y 0 μM

La³⁺, respectivamente. En bulbo generalmente el peso de biomasa fresca fue más alta a medida que se incrementó la concentración de lantano de 10 a 40 µM, por lo tanto con 40 µM se lograron obtener hasta 35.2 g de biomasa fresca cuya diferencia con el valor mínimo (testigo) fue de 7.73 g. La biomasa fresca total más alta y baja se registró con 10 y 0 µM La³⁺, respectivamente (Cuadro 11).

El mayor peso fresco encontrado en los tratamientos con La³⁺ se debe posiblemente a un incremento en la concentración de clorofila o bien a una mayor tasa fotosintética como lo sugieren Fashui *et al.* (2002). Sin embargo la adición de La³⁺ muestra resultados diferentes en función de la concentración, especie, variedad u órgano. Por ejemplo en frijol, al adicionar 0.5, 1.0, 2.0 y 10.0 mg La³⁺ kg⁻¹ de suelo no se encontraron diferencias en la acumulación de biomasa fresca de vástago. El peso fresco de vaina fue más bajo con 10 mg La³⁺ kg⁻¹, mientras que la raíz fue el único órgano que incrementó su biomasa fresca con la adición de 0.5 mg La³⁺ kg⁻¹. Diatloff *et al.* (2008), también encontró una disminución en el peso fresco de raíces de frijol y maíz con altas dosis de La³⁺. No obstante, en espinaca fue más alta la biomasa fresca total al agregar 5 mg La³⁺ L⁻¹ a la solución nutritiva.

Cuadro 11. Acumulación de biomasa fresca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán en función de la concentración de La³⁺ suministrada en solución nutritiva.

Concentración de La ³⁺	Biomasa fresca, g							
	Ile de France				Christmas Dream			
	Hoja	Tallo	Bulbo	Total	Hoja	Tallo	Bulbo	Total
0	19.0abc ^z	18.7d	27.5b	65.2c	12.9b	13.5c	27.5d	53.9c
5	19.5ab	19.6c	31.4ab	70.4bc	11.9c	14.2bc	30.8c	56.9bc
10	18.5bcd	20.8b	32.3ab	71.7ab	15.5a	16.7a	32.5bc	64.7a
20	17.8cd	19.6c	34.3a	71.6ab	12.9b	16.1a	33.8ab	62.9a
30	17.3d	17.9e	30.0ab	65.3c	12.4bc	14.7b	30.4c	57.4b
40	20.3a	22.2a	34.2a	76.7a	12.3bc	16.1a	35.2a	63.6a
Promedio	18.7	19.8	31.6	70.1	12.9	15.2	31.7	59.9
DMS_{0.05}	1.43	0.56	5.79	6.1	0.88	0.76	2.44	3.2

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

Respecto a la distribución de materia fresca en cada órgano, en ambos cultivares, fue más alta en el bulbo seguido del tallo y la hoja (Figura 7). En el cv. Ile de France la mayor proporción de materia fresca en el bulbo con 48% se encontró al adicionar 20 μM La^{3+} . La menor proporción se encontró en el tratamiento testigo. En contraste la distribución de materia fresca en la hoja fue más baja con 20 μM La^{3+} y se incrementó cuando no se adicionó La^{3+} . En tallo, los valores oscilaron entre 27 y 28% (Figura 7A). El cv. Christmas Dream mostró un comportamiento similar, así la mayor proporción de materia fresca en bulbo y hoja fue con 40 y 0 μM La^{3+} , respectivamente. El suministro de La^{3+} no ocasionó cambios en la proporción de materia en el tallo. (Figura 7B).

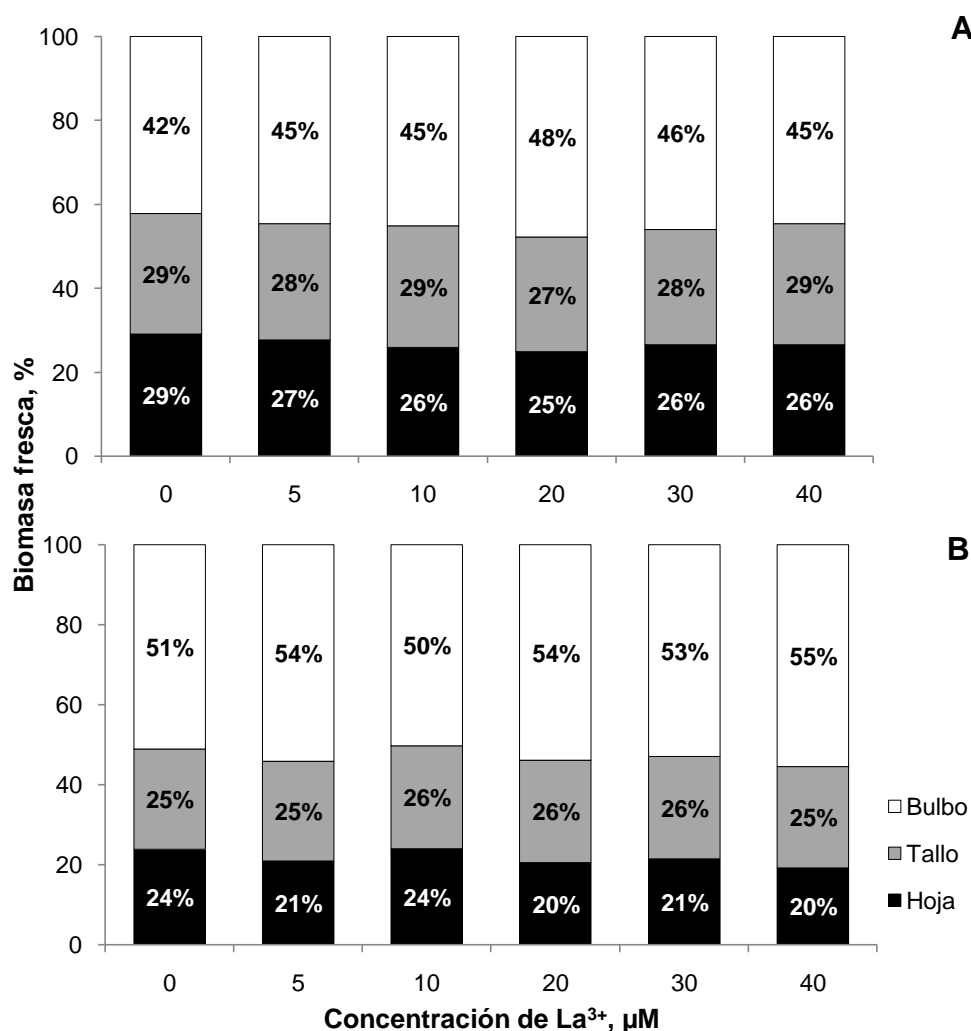


Figura 7. Distribución de biomasa fresca en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France (A) y cv. Christmas Dream (B) en función de la concentración de La^{3+} suministrada en la solución nutritiva.

6.1.5.3. Acumulación y distribución de biomasa fresca por efecto de la interacción fuente La³⁺ x concentración de La³⁺

La interacción fuente x concentración provocó diferencias significativas en la acumulación de biomasa fresca total, en hoja, tallo y bulbo de los cultivares Ile de France y Christmas Dream. En la hoja y tallo del cv. Ile de France la biomasa fresca más alta se encontró con 40 µM La(NO₃)₃ y en bulbo fue con 20 µM La(NO₃)₃. El menor peso fresco se mostró al adicionar 30 µM La(NO₃)₃, 20 µM La(NO₃)₃ y 0 µM La³⁺ en hoja, tallo y bulbo, respectivamente. En el cv. Christmas Dream la mayor acumulación materia fresca en hoja fue con 10 µM La³⁺ en forma de cloruro y nitrato. La biomasa del tallo y bulbo respondió favorablemente cuando se suministró una dosis de 20 µM LaCl₃. Los valores más bajos de biomasa fresca en hoja y bulbo se obtuvieron en el testigo; mientras que en tallo, 20 µM La(NO₃)₃ presentó el menor peso fresco. El suministro de 40 µM La(NO₃)₃ y 20 µM LaCl₃ provocó la mayor acumulación de biomasa fresca total en el cv. Ile de France y Christmas Dream, respectivamente (Cuadro 12).

Cuadro 12. Acumulación de biomasa fresca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La³⁺ x concentración de La³⁺.

		Biomasa fresca, g							
Fuente de La ³⁺	Concentración de La ³⁺ (µM)	Ile de France				Christmas Dream			
		Hoja	Tallo	Bulbo	Total	Hoja	Tallo	Bulbo	Total
LaCl ₃	Testigo	18.9bcd ²	18.7e	27.5b	65.2cd	12.9b	13.4cd	27.5e	53.8e
	5	20.8ab	20.7c	31.0ab	72.6abcd	11.3cd	15.7b	32.4bc	59.4d
	10	17.4de	19.6d	32.7ab	69.7bcd	15.5a	16.7b	32.2bcd	64.4bc
	20	17.9cde	20.7c	31.2ab	69.8bcd	14.8a	18.0a	38.9a	71.7a
	30	18.5cd	19.1de	28.2b	65.7bcd	12.2bcd	13.4cd	32.1bcd	57.7de
La(NO ₃) ₃	40	19.1bcd	21.8b	33.2ab	74.0ab	12.4bc	16.2b	32.1bcd	60.7cd
	5	18.1cde	18.4e	31.8ab	68.3bcd	12.6b	12.8d	29.1cde	54.4e
	10	19.6abc	22.0ab	31.9ab	73.6abc	15.6a	16.6b	32.8b	65.0bc
	20	17.7cde	18.5e	37.3a	73.5abc	11.0d	14.2c	28.8de	54.0e
	30	16.1e	16.8f	31.9ab	64.8d	12.5bc	16.0b	28.6e	57.1de
	40	21.6a	22.6a	35.1ab	79.3a	12.2bcd	15.9b	38.4a	66.5b
Promedio		18.7	19.9	32.0	70.6	13.0	15.4	32.10	60.4
DMS_{0.05}		2.03	0.80	8.19	8.6	1.24	1.07	3.46	4.5

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

En relación a la distribución de materia fresca la adición de La^{3+} generó cambios en los diferentes órganos de tulipán. Con 20 y 30 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en el cv. Ile de France se encontró la mayor proporción de materia seca en el bulbo con respecto a la total con valores que oscilaron entre 49 y 51%, mientras que en el tratamiento sin La^{3+} fue de 42%. En el tallo la distribución más alta se encontró con 20 μM LaCl_3 y 10 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. En contraste, el suministro de La^{3+} produjo menor proporción de materia seca en la hoja, registrándose en promedio en los tratamientos con La^{3+} 26% y en el testigo 29% (Figura 8A).

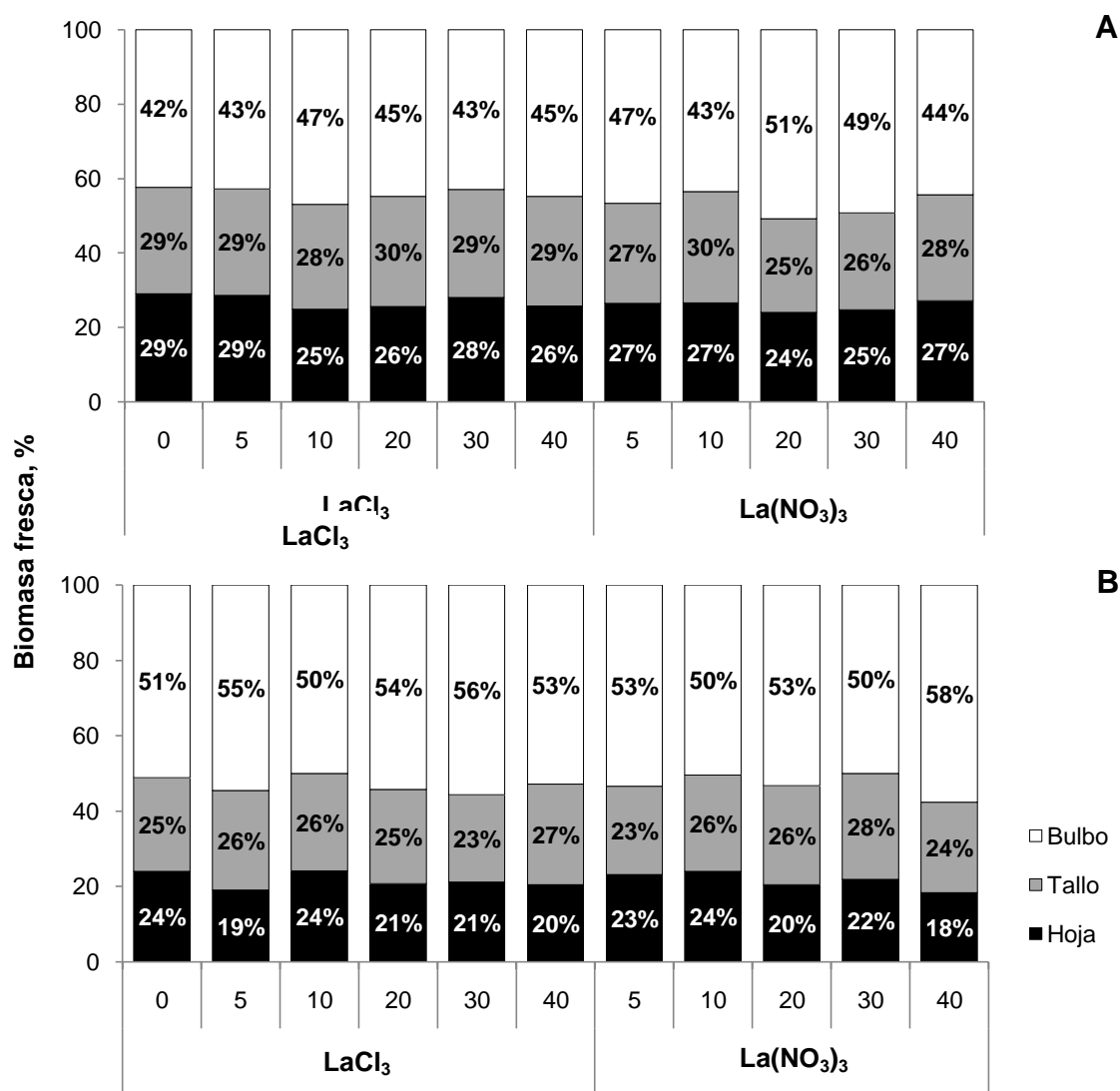


Figura 8. Distribución de biomasa fresca en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France (A) y Christmas Dream (B) por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

En comparación con Ile de France, los valores en bulbo fueron más altos y en hoja más bajos; estas diferencias asociadas a la diversidad genética que presentan los cultivares. Inamoto *et al.* (2000), menciona al tamaño del bulbo como uno de los factores que afecta el ciclo de crecimiento o periodo de floración en tulipán. Así, la mayor proporción de materia fresca en bulbo, tallo y hoja se encontró con 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, 20 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y en el testigo, respectivamente. Por lo tanto, el suministro de La^{3+} particularmente concentraciones superiores a 20 μM y en forma nitrato contribuyen a una mayor acumulación de materia fresca hacia el bulbo, la cual puede incrementar la vida del tallo floral cuando es cultivado y preservado en maceta o bien incrementar el número de bulbos hijos cuando se cultiva a cielo abierto (Figura 8B).

6.1.6. Acumulación y distribución de biomasa seca

6.1.6.1. Acumulación y distribución de biomasa seca por efecto de fuente de La^{3+}

En el Cuadro 13 se muestra el efecto de la fuente de La^{3+} sobre la acumulación de materia seca total y en los diferentes órganos de los cultivares de tulipán evaluados. En ambos, la mayor acumulación de materia seca se presentó en el bulbo seguida del tallo; la hoja tuvo el menor peso de materia seca. Resultados similares encontró Ramírez (2006), quien concluyó que la materia seca de vástago (hoja + tallo) es menor a la materia seca del bulbo. Así, en el cv. Ile de France la adición de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ generó el mayor peso seco en hoja, tallo, bulbo y total, superando en 18, 21, 18 y 18% al LaCl_3 . En contraste, en el cv. Christmas Dream los valores más altos se tuvieron al adicionar LaCl_3 , 2.44 g en vástago (hoja + tallo) y 7.94 g en bulbo (Cuadro 13). Una acumulación promedio de materia seca en vástago entre 2.21 a 2.53 g encontraron Nelson y Niedziela (1998) en diferentes cultivares de tulipán.

Cuadro 13. Acumulación de biomasa seca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Biomasa seca, g							
	Ile de France				Christmas Dream			
	Hoja	Tallo	Bulbo	Total	Hoja	Tallo	Bulbo	Total
LaCl_3	0.93b	1.53b	7.90b	10.36b	0.82a	1.62a	7.94a	10.38a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1.10a	1.85a	9.33a	12.27a	0.79b	1.49b	7.89a	10.16b
Promedio	1.02	1.69	8.62	11.32	0.80	1.55	7.91	10.27
DMS_{0.05}	0.03	0.07	0.14	0.17	0.02	0.02	0.12	0.12

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

La distribución de materia seca en hoja, tallo y bulbo en ambos cultivares evaluados, fueron similares con las fuentes de La^{3+} adicionadas a la solución nutritiva (Figura 9). La proporción de materia seca de bulbos con respecto a la total osciló entre 75 y 77%. En el tallo fue constante en los dos cultivares y fuentes de La^{3+} con 15%, finalmente en hoja la distribución osciló entre 8 y 10%. Estos resultados coinciden con Rees y Charles (1975), Ohyama *et al.* (1988), Inamoto *et al.* (2001a; 2001b), quienes encontraron una distribución de materia seca en el orden siguiente: bulbo>tallo>hoja.

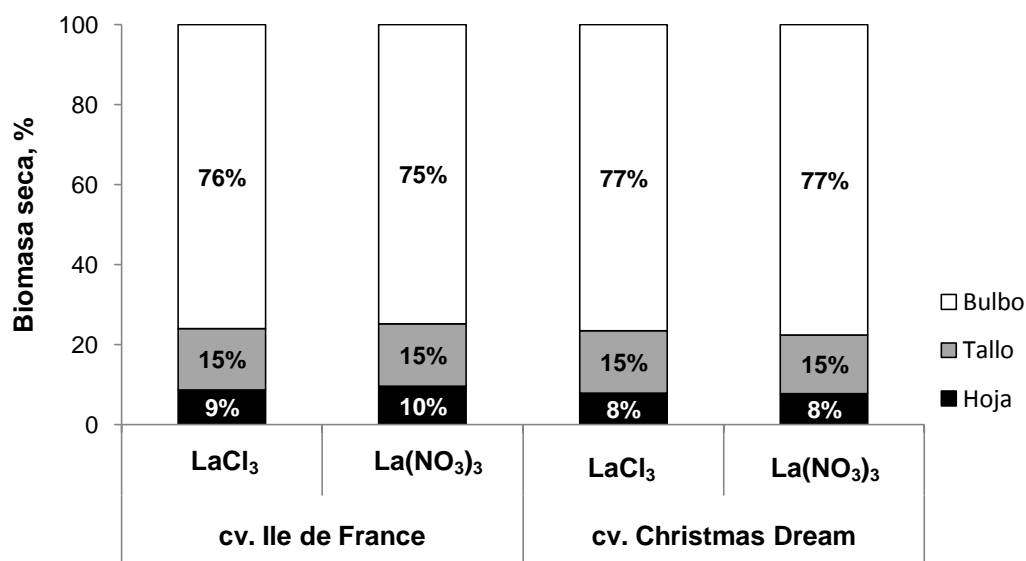


Figura 9. Distribución de biomasa seca en los diferentes órganos de cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

6.1.6.2. Acumulación y distribución de biomasa seca en tulipán por efecto de concentración de La^{3+}

En el cv. Ile de France se tuvieron diferencias estadísticas significativas por efecto de concentración de La^{3+} en la acumulación de biomasa seca total y en los diferentes órganos (Cuadro 14). La mayor acumulación de materia seca en hoja, tallo, bulbo y total se encontró al suministrar $40 \mu\text{M}$ La^{3+} , superando al testigo en 28, 41, 30 y 31%, respectivamente. La acumulación de biomasa seca en tallo y bulbo del cv. Christmas Dream, fue superior en las plantas tratadas con 30 y $40 \mu\text{M}$ La^{3+} , respectivamente. Con respecto al bulbo, la diferencia en el peso seco entre el tratamiento con $40 \mu\text{M}$ La^{3+} y el testigo fue del 45%.

El incremento de materia seca en bulbo inducida por el La^{3+} puede deberse a una mayor concentración de almidón, azúcares y nutrimentos como lo sugiere Vargas y Tejos (2008). Estas reservas pueden utilizarse para prolongar la vida del tallo floral o incrementar la producción de bulbos hijos. En hoja la acumulación de materia seca más alta se registró al suministrar a la solución nutritiva $10 \mu\text{M La}^{3+}$, superando en 26% al peso encontrado en plantas regadas con solución nutritiva sin La^{3+} (Cuadro 14).

En especies como maíz, arroz y canola también se ha observado un incremento en la acumulación de materia seca en diferentes órganos con el suministro de La^{3+} , debido a que se aceleran diferentes procesos fisiológicos como la fotosíntesis, síntesis de proteínas y aminoácidos y disminuye la concentración de especies reactivas de oxígeno que incrementan la senescencia (Diatloff *et al.*, 2008, Xie *et al.*, 2002; Zeng *et al.*, 2006; Xiong *et al.*, 2006).

Cuadro 14. Acumulación de biomasa seca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán en función de la concentración de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Concentración de La^{3+}	Biomasa seca, g							
	Ile de France				Christmas Dream			
	Hoja	Tallo	Bulbo	Total	Hoja	Tallo	Bulbo	Total
0	0.85e ^z	1.29d	7.64e	9.80d	0.76c	1.55bc	6.31e	8.63e
5	0.98cd	1.75ab	8.33c	11.08b	0.75c	1.42d	7.63d	9.81d
10	1.03bc	1.78ab	8.48bc	11.30b	0.96a	1.56b	7.91c	10.45c
20	0.97d	1.68bc	8.62b	11.27b	0.70d	1.51c	8.58b	10.79b
30	1.05ab	1.62c	7.96d	10.64c	0.76c	1.64a	7.89c	10.3c
40	1.09a	1.82a	9.91a	12.83a	0.87b	1.61a	9.14a	11.63a
Promedio	1.01	1.69	8.4	11.3	0.8	1.55	8.05	10.4
DMS_{0.05}	0.05	0.12	1.45	0.30	0.03	0.04	0.20	0.21

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. $\text{DMS}_{0.05}$ =Diferencia mínima significativa al 5%.

La distribución de materia seca por efecto de concentración de lantano en los diferentes órganos en el cv. Ile de France fue muy similar (Figura 10A). En contraste, en el cv. Christmas Dream se presentó una mayor variación encontrándose la partición de materia seca más alta en el bulbo particularmente con el suministro de La^{3+} (Figura 10B). Por lo tanto, el La^{3+} en el cv Christmas Dream generó una mayor distribución de materia seca en el bulbo y en el Ile de France en el tallo.

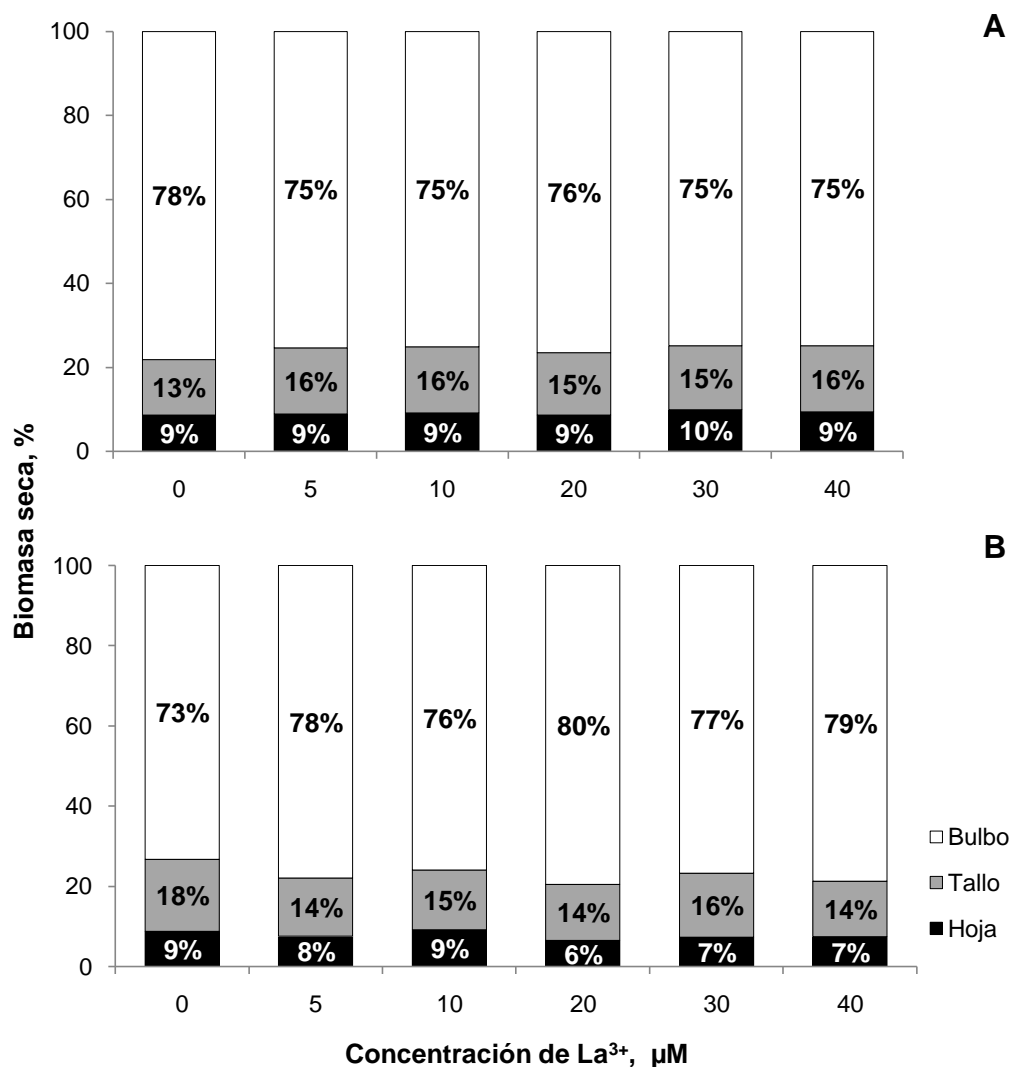


Figura 10. Distribución de biomasa seca en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France (A) y Christmas Dream (B) en función de la concentración de La³⁺ suministrada en la solución nutritiva.

6.1.6.3. Acumulación y distribución de biomasa seca por efecto de la interacción fuente La³⁺ x concentración de La³⁺

En ambos cultivares la acumulación de materia seca en hoja, tallo, bulbo y total presentó diferencias altamente significativas debido a la interacción fuente x concentración de La³⁺ (Cuadro 15). En el cv. Ile de France el peso seco más alto en órganos y total se encontró al adicionar dosis superiores o iguales a 10 μM La(NO₃)₃. Así, la mayor acumulación de materia seca en hoja, tallo, bulbo y total fue con 40, 10, 20 y 20 μM La(NO₃)₃, respectivamente. Estos valores superaron en 51, 53, 43, 132% a

la acumulación más baja que se encontró en el testigo en hoja y tallo y con 30 μM LaCl_3 en bulbo y total. En el cv. Christmas Dream el suministro de 10 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y 20 μM LaCl_3 incrementó la acumulación de biomasa seca en hoja y tallo, respectivamente. La biomasa del bulbo y total fue mayor cuando se adicionó una dosis de 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. El tratamiento testigo mostró la materia seca más baja en bulbo y total. En hoja y tallo fue con 10 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y 20 μM LaCl_3 , respectivamente.

Cuadro 15. Acumulación de biomasa seca total y en los diferentes órganos en cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Biomasa seca, g							
		Ile de France				Christmas Dream			
		Hoja	Tallo	Bulbo	Total	Hoja	Tallo	Bulbo	Total
LaCl_3	Testigo	0.85ef ^z	1.29e	7.64ab	9.79c	0.76d	1.55d	6.31h	8.62h
	5	1.06bc	1.63cd	8.06ab	10.7abc	0.74d	1.49e	8.25cd	10.4d
	10	0.97d	1.59cd	8.62ab	11.1abc	0.93b	1.59cd	8.22cd	10.7cd
	20	0.81f	1.50d	7.60ab	9.92bc	0.83c	1.75a	9.44b	12.0b
	30	1.05c	1.62cd	6.75b	5.43c	0.77d	1.63bc	7.31f	9.71f
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40	0.90de	1.75bc	8.94a	11.6ab	0.86c	1.68b	8.08d	10.6cd
	5	0.91de	1.88ab	8.61ab	11.4 abc	0.75d	1.36f	7.00g	9.12g
	10	1.10bc	1.97a	8.34ab	11.4abc	1.00a	1.54de	7.60e	10.1e
	20	1.13b	1.86ab	9.63a	12.6a	0.56e	1.26g	7.71e	9.54f
	30	1.05c	1.62cd	9.17a	11.8ab	0.75d	1.64bc	8.47c	10.8c
	40	1.28a	1.89ab	8.37ab	11.5ab	0.88bc	1.54de	10.2a	12.6a
Promedio		1.01	1.69	8.40	10.9	0.80	1.55	8.05	10.3
DMS_{0.05}		0.07	0.18	2.06	2.12	0.05	0.05	0.28	0.29

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

La mayor distribución de materia seca en el tallo y bulbo del cv. Ile de France se encontró con 30 μM LaCl_3 y 30 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente. En hoja se presentaron cambios poco significativos con valores que oscilaron entre 8 y 11% (Figura 11A). Para el cv. Christmas Dream la mayor proporción de materia seca en hoja, tallo y bulbo con respecto a la total se encontró con 10 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, 0 μM La^{3+} y 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente (Figura 11B).

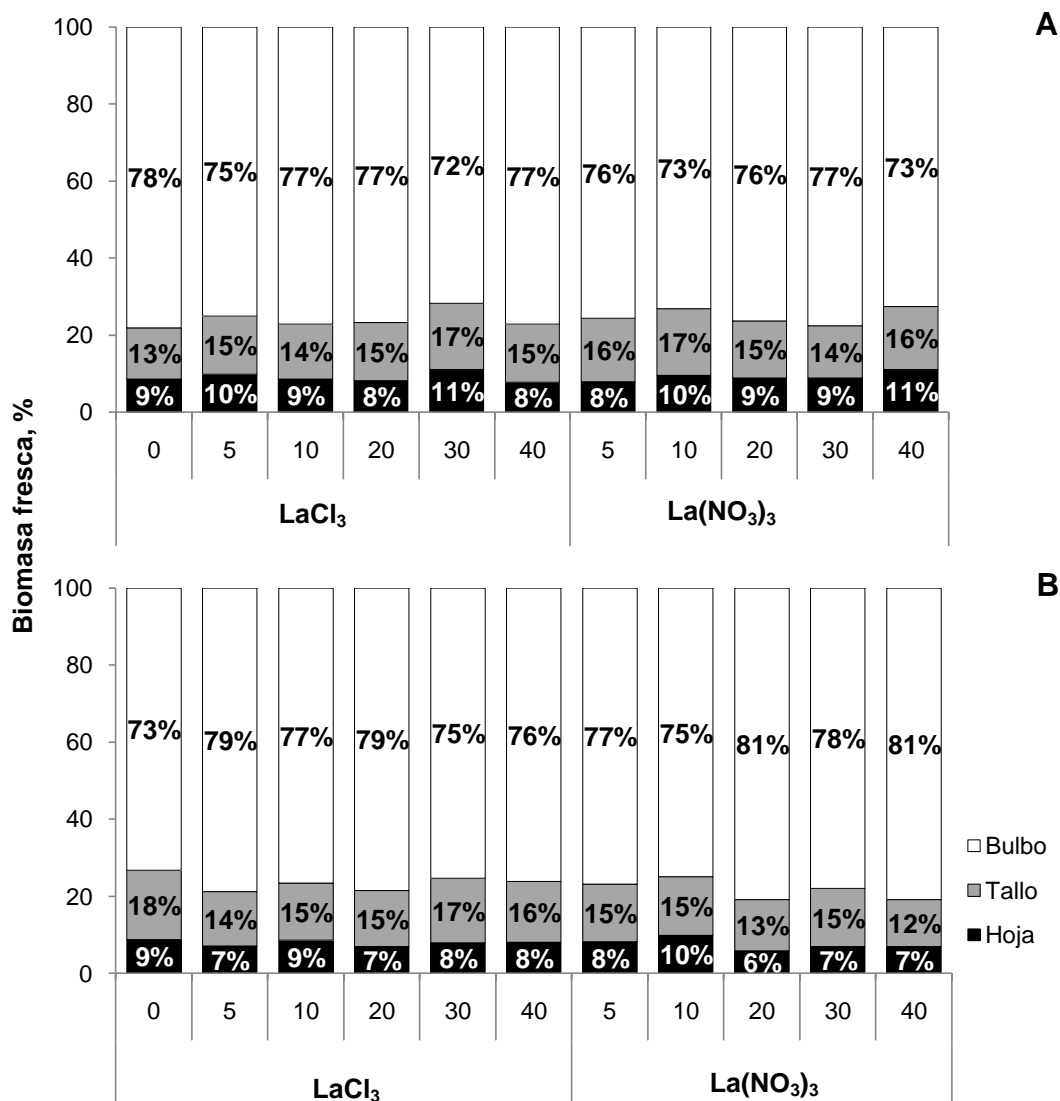


Figura 11. Distribución de biomasa seca en diferentes órganos de tulipán cv. Ile de France (A) y. Christmas Dream (B) por efecto de la interacción fuente de La³⁺ x concentración de La³⁺.

6.2. Parámetros cualitativos de calidad (fisiología de la planta)

6.2.1. Consumo de agua en tallos florales

6.2.1.1. Consumo de agua en tallos florales por efecto de fuente de La³⁺

Los cultivares Ile de France y Christmas Dream mostraron diferencias estadísticas significativas por efecto de la fuente de La³⁺ en el consumo de agua de tallos florales después del corte, al menos en una fecha de muestreo (Cuadro 16).

Cuadro 16. Consumo de agua (mL) durante la vida de florero en tallos de cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva

Fuente de La^{3+}	Ile de France						Christmas Dream					
	-----ddc-----						-----ddc-----					
	3	5	7	9	11	13	3	5	7	9	11	13
LaCl_3	36.8a ^z	45.5b	53.9a	63.0a	45.6a	35.2b	40.6a	49.1a	47.5b	43.5b	33.3b	25.3a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	37.4a	47.4a	53.0a	63.6a	45.6a	38.1a	36.4b	48.1a	54.4a	45.6a	36.8a	21.9b
Promedio	37.1	46.4	53.4	63.3	45.6	36.6	38.5	48.5	50.8	44.5	35.0	23.5
DMS_{0.05}	1.23	1.44	2.02	2.44	2.02	1.60	0.60	1.73	1.07	1.57	1.73	1.26

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%. ddc: días después del corte.

El consumo agua en los tallos del cv. Ile de France generalmente fue más alto con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$; sin embargo, sólo se presentaron diferencias significativas a los 5 y 13 días después del corte (ddc). El cv. Christmas Dream tuvo un comportamiento distinto, ya que en la mayoría de las fechas se mostraron cambios significativos. Sin embargo, no existe una tendencia clara por fuentes a lo largo de la vida de florero. Por ejemplo, a los 3 ddc se obtuvo el mayor consumo hídrico con el suministro de LaCl_3 y para los 7 ddc con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (Cuadro 16).

En promedio el consumo de agua se incrementó a través del tiempo, presentando su valor más alto a los 9 y 7 días de vida de florero en el cv. Ile de France y Christmas Dream, respectivamente. Después de esta fecha el consumo de agua disminuyó. La diferencia en el número de días entre cultivares se asocia posiblemente con la apertura del botón floral, ya que generalmente cuando se presenta la mayor apertura, la respiración es más alta. La respiración e hidrólisis de los componentes celulares son procesos que demandan una gran cantidad de agua (Cuadro 16).

6.2.1.2. Consumo de agua en tallos florales por efecto de la concentración de La^{3+}

El consumo de agua por parte de los tallos florales a lo largo de la vida de florero mostró variaciones interesantes en función de la concentración de La^{3+} . El cv. Ile de France de manera general hasta el día 7, presentó la mayor absorción de agua con la concentración de $40 \mu\text{M La}^{3+}$; posteriormente, el consumo más alto se mostró con la menor concentración de La^{3+} evaluada ($5 \mu\text{M}$). Si bien, el cv. Christmas Dream tuvo también hasta el día 7 tuvo la mayor absorción con $40 \mu\text{M La}^{3+}$, a partir del muestreo

del día 9 la mayor absorción se registró de manera general con la concentración de 20 μM La^{3+} (Figura 12).

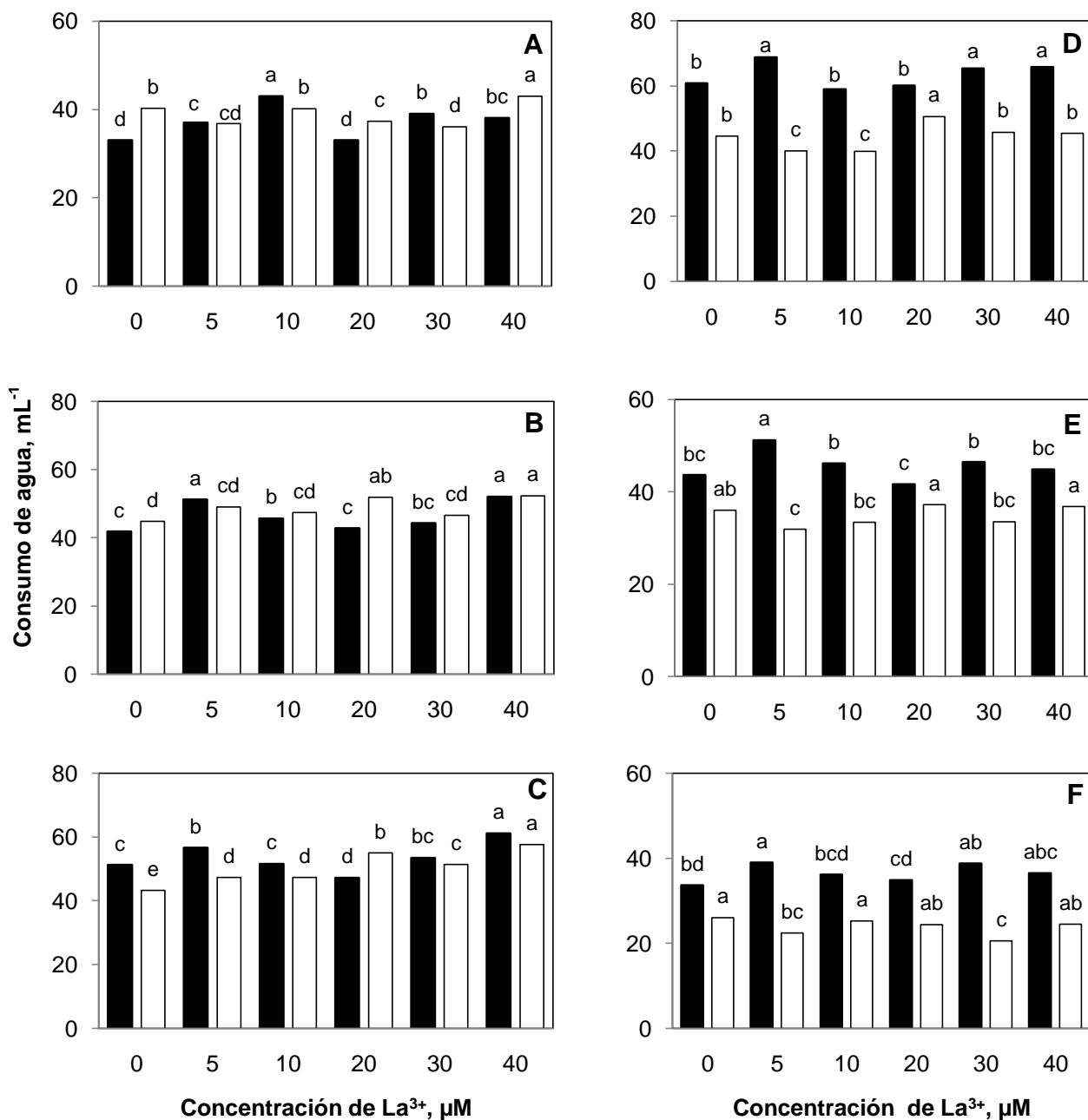


Figura 12. Consumo de agua durante la vida en florero de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) con distintas concentraciones de La^{3+} . Días en florero: A. Tres; B. Cinco; C. Siete; D. Nueve; E. Once; F. Trece. Barras del mismo cultivar con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

Los resultados indican que La^{3+} pudo haber actuado como elemento benéfico al incrementar la absorción de agua en los tallos florales, así como una mayor concentración de azúcares presentes en estos órganos. Al respecto, la concentración de azúcares es un factor determinante en las relaciones hídricas de flores cortadas. Nobel (1983) menciona que cuando se incrementa la concentración de nutrientes o azúcares en el tejido de la planta, el potencial de la planta disminuyó, y la habilidad de la planta para absorber agua aumentó.

6.2.1.3. Consumo de agua en tallos florales por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

Los cultivares Ile de France y Christmas Dream mostraron diferencias significativas por la interacción de los factores estudiados (Cuadro 17).

En el cv. Ile de France el consumo de agua más alto a los 5 y 7 ddc se encontró con 40 μM $LaCl_3$, mientras que a los 9, 11 y 13 ddc fue con 5 μM $La(NO_3)_3$, superando en 31, 37, 26, 23 y 29% al testigo. En el cv. Christmas Dream el mayor consumo de agua se mostró con 40 μM $La(NO_3)_3$ a los 5 y 7 ddc y a los 9 y 11 ddc con 20 μM $La(NO_3)_3$.

Cuadro 17. Consumo de agua (mL) durante la vida de florero en tallos de cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Ile de France						Christmas Dream					
		ddc						ddc					
		3	5	7	9	11	13	3	5	7	9	11	13
$LaCl_3$	Testigo	33fg ²	42ef	51def	61cde	44d	34cde	40cd	45fg	43f	45bc	36bc	26ab
	5	38cd	52ab	57bc	62cd	48bcd	34bcde	40cd	52abc	43f	34e	28d	24abc
	10	45a	47cd	56bcd	62cd	52ab	36bc	39de	46ef	41f	38d	32c	27a
	20	32g	40f	46g	61cde	37f	32de	38ef	54ab	56b	50a	34c	26ab
	30	36de	42ef	54cd	66bc	46cd	35bcd	42b	52abc	54bcd	48ab	33c	21d
$La(NO_3)_3$	40	41bc	55a	63a	69b	50abc	43a	45a	50bcd	53cd	46bc	35bc	27a
	5	36def	50bc	56bc	76a	54a	44a	34g	46def	52d	46b	36bc	20d
	10	41bc	45de	48fg	56e	41ef	36bc	41bc	49cdef	54bcd	42c	35bc	23bcd
	20	34efg	46d	49efg	59de	46cd	38b	37f	50cde	54bc	51a	40a	23cd
	30	42ab	47cd	53cde	65bcd	47cd	42a	30h	41g	49e	44bc	34c	21d
	40	35efg	50bc	60ab	63cd	40ef	30e	41bc	54a	63a	45bc	39ab	22cd
DMS_{0.05}		3.01	3.54	4.96	5.98	4.96	3.94	0.60	1.73	1.07	1.57	1.73	1.26

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. $DMS_{0.05}$ =Diferencia mínima significativa al 5%. ddc: días después del corte.

6.2.2. Peso del tallo floral fresco

6.2.2.1. Peso del tallo floral fresco por efecto de fuente de La^{3+}

En promedio el mayor peso fresco del tallo floral se registró a los 11 y 9 ddc en el cv. Ile de France y Christmas Dream, respectivamente. Estos días coinciden con el máximo consumo de agua; así, el mayor peso de tallo fresco se relacionó con el consumo de agua. Le (2002) y Ramírez (2006) en distintos cultivares de tulipán encontraron una correlación entre el consumo de agua y el peso fresco. Con respecto a las fuentes de lantano, el suministro de LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ generó cambios significativos en ambos cultivares. Así, en el cv. Ile de France el peso fresco del tallo floral fue más alto al adicionar $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, superando entre el 4 y 7% al peso encontrado con LaCl_3 . Por el contrario, el cv. Christmas Dream tuvo el mayor peso de tallos florales cuando se suministró LaCl_3 (Cuadro 18).

Cuadro 18. Peso fresco de tallos florales (g) durante la vida de florero de cultivares de tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Ile de France						Christmas Dream					
	-----ddc-----						-----ddc-----					
	3	5	7	9	11	13	3	5	7	9	11	13
LaCl_3	42.5b ^z	45.0b	46.9b	48.3b	46.4b	41.2b	32.7a	35.8a	36.9a	34.8a	32.2a	29.5a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	44.3a	47.5a	49.0a	51.0a	49.5a	45.8a	31.0b	33.0b	33.7b	32.1b	30.7b	24.8b
Promedio	43.3	46.2	47.9	49.6	47.9	43.5	31.8	34.4	35.3	33.4	31.4	27.1
DMS_{0.05}	0.69	0.45	0.40	0.45	0.42	0.47	0.44	0.41	0.85	0.54	0.63	0.65

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%. ddc: días después del corte.

Así, el efecto de La^{3+} sobre el peso fresco de tallo, tal vez tenga relación con el efecto inhibitor que éste ejerce en las entradas de K^+ intracelular. Estos resultados indican que el La^{3+} es capaz de regular el estado hídrico de la planta y en consecuencia mantener la turgencia celular en los tallos (Shaowu y Pin, 2004). Se ha observado también que el La^{3+} aumenta la actividad fotosintética en la planta y como consecuencia el contenido de biomasa fresca es mayor. Según Takahashi (1984), la biomasa fresca es un criterio que se debe tomar en cuenta para evaluar la vida de florero, ya que las flores cortadas que conservan o aumentan su biomasa fresca tendrán una mayor duración en florero.

6.2.2.2. Peso del tallo floral fresco por efecto de la concentración de La^{3+}

La concentración de La^{3+} influyó significativamente el peso de tallos frescos. En Ile de France se tuvieron los mayores pesos de tallos florales frescos en todas las fechas cuando se adicionó 5 μM La^{3+} en la solución nutritiva. En contraste, en Christmas Dream se registraron los mayores pesos de tallos florales con 30 μM La^{3+} (Figura 13).

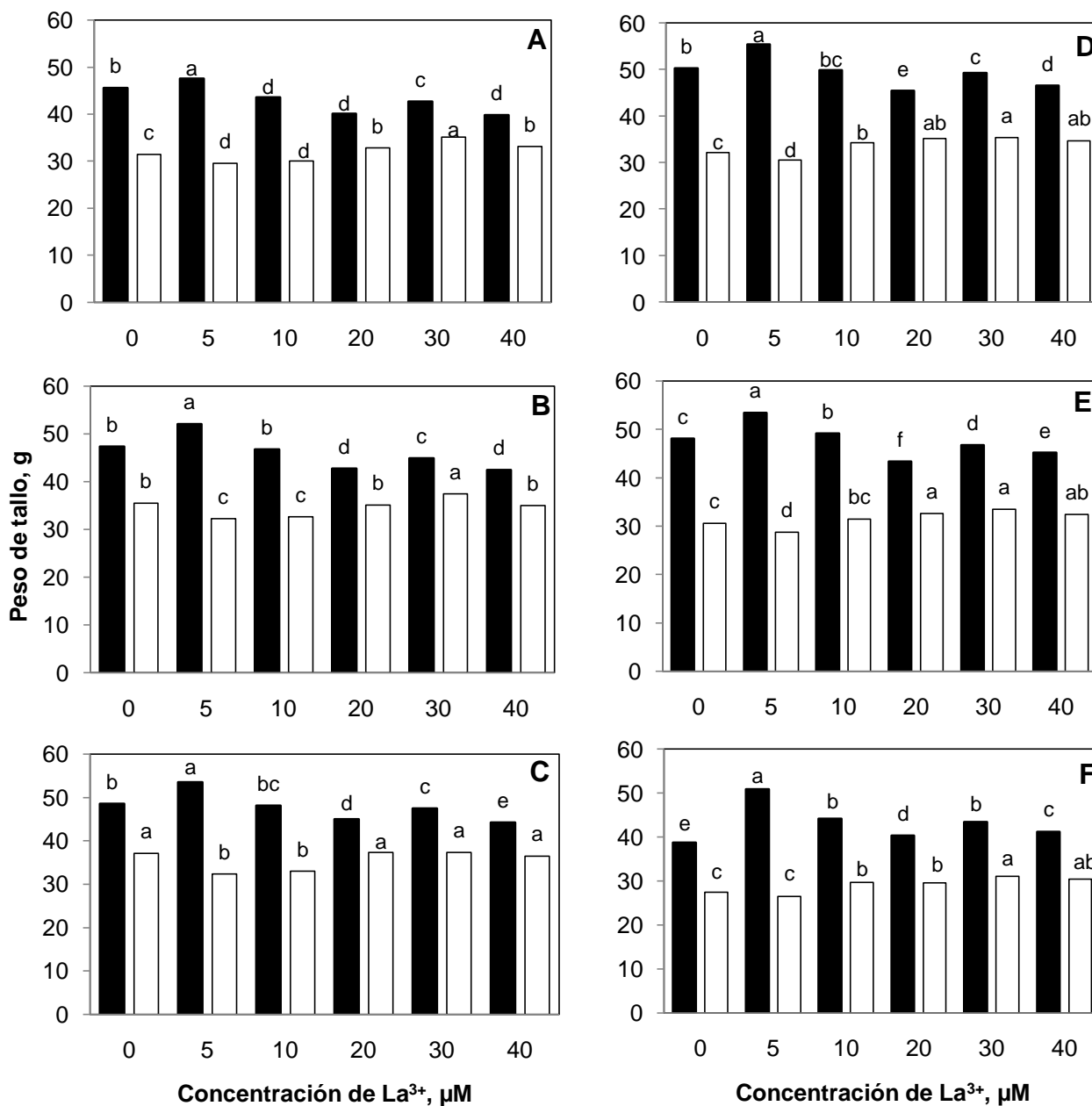


Figura 13. Peso fresco del tallo floral durante la vida en florero de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) con distintas concentraciones de La^{3+} . Días en florero: A. Tres; B. Cinco; C. Siete; D. Nueve; E. Once; F. Trece. Barras del mismo cultivar con letras distintas en cada subfigura indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).

Ramírez (2006) reporta mayor vida en florero en tallos que mantuvieron o incrementaron su peso fresco. El menor peso de tallo fresco en el cv. Ile de France de los 3 a los 11 ddc se tuvo con 20 o 40 μM La^{3+} . En Christmas Dream de los 3 a los 13 ddc fue con 5 μM La^{3+} . Este comportamiento posiblemente se deba a la obstrucción en los tallos florales del sistema de conducción de agua como lo señala van Doorn (1997). En todos los tratamientos a medida que transcurrió el tiempo, se redujo el peso de tallo fresco, probablemente por la deficiente circulación de agua en éstos o debido a la proliferación de microorganismos, entre los que se encuentran bacterias, levaduras y mohos (Nowak y Rudnicki, 1990). Halevy y Mayak (1981) afirman que típicamente las flores de corte incrementan su peso en los primeros días para posteriormente reducirlo; las flores que mantienen o aumentan su peso, tienen mayor vida de florero.

6.2.2.3. Peso del tallo floral fresco por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

La interacción fuente y concentración de La^{3+} tuvo efecto en el peso de tallo en fresco. En Ile de France se presentó el mayor peso del tallo floral al adicionar 5 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$; con excepción del día 13 después del corte que fue con 5 μM LaCl_3 . El mayor peso para Christmas Dream se encontró entre 20 y 30 μM LaCl_3 , a los 3 y 5 ddc se mostró con 30 μM LaCl_3 , mientras que en las fechas restantes con 20 μM LaCl_3 (Cuadro 19).

Cuadro 19. Peso fresco de tallos florales (g) durante la vida de florero de cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Ile de France						Christmas Dream					
		-----ddc-----						-----ddc-----					
		3	5	7	9	11	13	3	5	7	9	11	13
LaCl ₃	Testigo	46bc ^z	47c	49c	50b	48c	39g	32de	36b	37bc	32e	31efg	27d
	5	45c	51b	53b	55a	53a	52a	30f	34c	35d	32e	29hg	27d
	10	40de	43ef	44e	45e	44e	39fg	30f	33d	34de	37bc	32cd	30bc
	20	39ef	41g	44e	42f	40g	37h	35b	38a	41a	39a	36a	32a
	30	41d	42efg	46d	47d	43f	40f	37a	39a	38b	35d	34b	32a
La(NO ₃) ₃	40	42d	43e	45d	48cd	46cd	42e	34bc	36b	386b	37b	33bc	31ab
	5	50a	53a	54a	56a	54a	50b	29g	30e	30f	29f	28h	26d
	10	47b	51b	52b	55a	54a	49b	30f	33d	32e	32e	31ef	29c
	20	42d	43d	46d	49c	47d	44d	31ef	32d	34de	31e	30fgh	27d
	30	45c	48c	50c	51b	50b	47c	34c	36b	37bc	36cd	33bc	30bc
	40	38f	42fg	43e	45e	43f	40f	32d	34c	35cd	33e	32de	30bc
DMS_{0.05}		1.69	1.09	0.97	1.10	1.03	1.02	1.08	1.00	2.07	1.33	1.53	1.26

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%. ddc: días después del corte.

6.2.3. Vida en florero

6.2.3.1. Vida en florero por efecto de fuente de La³⁺

En el Cuadro 20 se muestra la duración de vida de florero por efecto de la fuente de La³⁺ suministrada. Ambos cultivares tuvieron mayor vida de florero con la adición de La(NO₃)₃. La diferencia entre fuentes fue mayor en el cv. Christmas Dream.

Cuadro 20. Vida en florero de tallos florales de cultivares de tulipán en función de la fuente de La³⁺ suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La ³⁺	Días en florero	
	Ile de France	Christmas Dream
LaCl ₃	12.1b ^z	10.6b
La(NO ₃) ₃	12.7a	12.4a
DMS_{0.05}	0.40	0.92

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%. ddc: días después del corte.

6.2.3.2. Vida en florero por efecto de la concentración de La³⁺

La vida en florero registró diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones de La³⁺ suministradas. El cv. Ile de France tuvo la mayor vida de florero con el suministro de 10 μM La³⁺; por el contrario en el cv. Christmas Dream la mejor respuesta se mostró con 30 μM La³⁺. En ambos cultivares la menor vida de florero de los tallos se registró en plantas tratadas con solución nutritiva sin La³⁺ (Cuadro 21).

Cuadro 21. Vida en florero de tallos florales de cultivares de tulipán en función de la concentración de La³⁺ suministrada en solución nutritiva.

Concentración de La ³⁺ (μM)	Días en florero	
	Ile de France	Christmas Dream
0	8.0e ^z	8.6d
5	12.1cd	10.1c
10	15.1a	10.5c
20	14.1b	12.3b
30	12.8c	13.8a
40	12.0d	13.0ab
DMS_{0.05}	0.68	1.44

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%. ddc: días después del corte.

Los resultados obtenidos tienen relación con el efecto que ejerce el La^{3+} al incrementar el contenido de azúcares y clorofila en la planta durante postcosecha. Esta respuesta también tiene relación con la variedad y especie. Resultados similares han sido reportados en otras especies de importancia agrícola (Hu *et al.*, 2002).

6.2.3.3. Vida de florero por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

La interacción de niveles de los factores de estudio tuvo efecto estadístico significativo sobre la vida de florero (Cuadro 22). La mayor vida de florero en el cv. Ile de France se presentó con 10 μM LaCl_3 , mientras que en el cv. Christmas Dream con 20 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. En ambos cultivares la menor vida de florero se registró sin el suministro de La^{3+} .

Cuadro 22. Vida en florero de tallos florales de cultivares de tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Días en florero	
		Ile de France	Christmas Dream
LaCl_3	Testigo	8.0g ^z	8.6f
	5	10.3f	9.3ef
	10	15.3b	10.0def
	20	17.3a	11.0cde
	30	13.6c	13.0abc
	40	12.3d	14.0ab
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	5	14.0c	11.0cde
	10	15.0b	11.0cde
	20	11.0ef	13.6ab
	30	12.0d	14.6a
	40	11.6de	12.0bcd
DMS_{0.05}		0.97	2.04

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.2.4. Contenido de clorofilas iniciales en hoja

6.2.4.1. Contenido de clorofilas iniciales por efecto de la fuente de La^{3+}

La concentración de clorofilas iniciales (determinadas al momento del corte de tallos florales) es mostrada en el Cuadro 23 al considerar el efecto del factor fuente de La^{3+}

empleada en la solución nutritiva, se pueden observar diferencias estadísticas significativas entre fuentes.

Entre cultivares se observaron respuestas diferenciales a la fuente de La^{3+} . En promedio el cv. Ile de France mostró mayor contenido de clorofilas a, b y totales, siendo de 3.49, 5.79 y 9.34 mg g^{-1} PF, respectivamente; superando al cv. Christmas Dream en 18, 24 y 21%, respectivamente. La concentración de clorofilas es similar a la reportada por Ramírez (2006) quien encontró en el cv. Ile de France valores promedio de 3.5, 5.7 y 9.2 mg g^{-1} PF para la clorofila a, b y total, respectivamente. En cuanto a la fuente de La^{3+} utilizada, la adición de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en el cv Ile de France incrementó la concentración de clorofila b y total. Por el contrario, el cv. Christmas Dream tuvo las medias más altas en estas variables cuando las plantas fueron tratadas con LaCl_3 (Cuadro 23).

Cuadro 23. Contenido de clorofila a, b y total en hojas de cultivares tulipán al momento de corte (iniciales) en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Clorofila inicial, mg g^{-1} PF					
	Ile de France			Christmas Dream		
	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
LaCl_3	3.45a ²	5.32b	8.84b	3.19a	4.97a	8.22a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	3.46a	6.29a	9.81a	2.86b	4.49b	7.40b
Promedio	3.49	5.79	9.34	2.97	4.66	7.70
DMS_{0.05}	0.11	0.23	0.21	0.10	0.23	0.27

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.2.4.2. Contenido de clorofilas iniciales por efecto de la concentración de La^{3+}

Las clorofila iniciales a, b y total tuvieron diferencias estadísticas significativas por efecto de concentración de La^{3+} . En la Figura 14 se observa que el contenido de clorofilas a, b y total en el cv. Ile de France fue mayor con el suministro de de 30, 10 y 30 $\mu\text{M La}^{3+}$, respectivamente, superando en 25, 26 y 24% al tratamiento sin aplicación de La^{3+} (0 $\mu\text{M La}^{3+}$). En contraste, en el cv. Christmas Dream la clorofila a, b y total tuvieron las medias más altas en el tratamiento testigo (Figura 14). Así, el suministro de La^{3+} incrementa la concentración de clorofila en función de la dosis suministrada y la especie, variedad o cultivar como lo señalan, Zeng *et al.* (2000), Zeng *et al.* (2006) y Nicodemus *et al.* (2009).

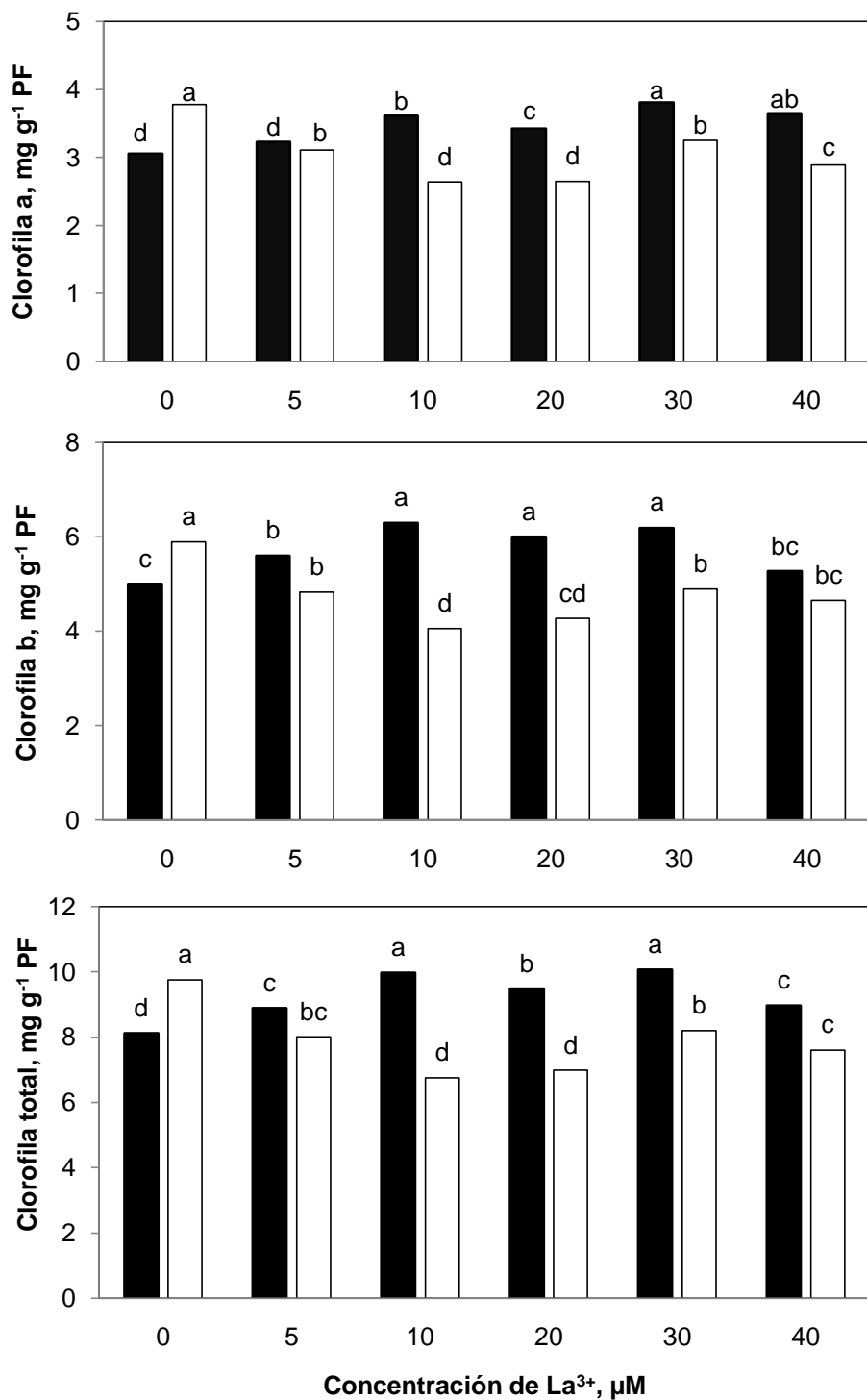


Figura 14. Contenido de clorofila a, b y total en hojas de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) al momento del corte (inicial), con distintas concentraciones de La³⁺. Barras del mismo cultivar en cada subfigura con letras distintas, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

Liao *et al.* (1994) mencionan que la adición de elementos tierras raras como el La^{3+} , incrementó la concentración de clorofila en maíz debido a que este elemento estimuló la absorción de N y P generando una mayor síntesis de compuestos precursores de la clorofila. Además, el La^{3+} cataliza la formación de clorofila ya que reemplaza al Mg^{2+} en la molécula de clorofila formando La^{3+} -clorofila. En otras especies como espinaca se observó que el suministro de La^{3+} mejoró la absorción de Mg^{2+} e incrementó la formación de Mg^{2+} -clorofila (Fashui *et al.*, 2002).

6.2.4.3. Contenido de clorofilas iniciales por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

El efecto de la interacción de los factores de estudio sobre el contenido de clorofilas iniciales a, b y total se presenta en el Cuadro 24. El cv. Ile de France mostró el mayor promedio de clorofila a con el suministro de 30 μM LaCl_3 , por el contrario la clorofila b y total presentaron la concentración más altas con el suministro de 10 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. En el cv. Christmas Dream los valores más altos de clorofila a, b y total se registraron con el suministro de 30 μM de LaCl_3 (Cuadro 24).

Cuadro 24. Contenido de clorofila a, b y total en hojas de cultivares tulipán al momento de corte (iniciales), por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Clorofila inicial, mg g^{-1} PF					
		Ile de France			Christmas Dream		
		Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
LaCl_3	Testigo	3.05h ^z	5.00d	8.11d	3.67a	5.87a	9.68a
	5	3.25fgh	5.00d	8.32d	3.23b	5.23b	8.52b
	10	3.33efg	5.78bc	9.17c	2.56de	4.02de	6.62ef
	20	3.62cd	5.67c	9.36bc	2.51e	3.45f	6.00f
	30	4.13a	6.14bc	10.35a	3.75a	5.91a	9.74a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40	3.74bc	4.68d	8.48d	2.72de	4.40cde	7.16de
	5	3.20gh	6.19bc	9.45bc	3.00bc	4.44cd	7.49cd
	10	3.89ab	6.81a	10.77a	2.71de	4.11de	6.87de
	20	3.22fgh	6.33ab	9.614bc	2.80cd	5.10b	7.95bc
	30	3.47def	6.24b	9.77b	2.74de	3.88ef	6.67e
	40	3.52cde	5.85bc	9.44bc	3.06b	4.93bc	8.04bc
DMS_{0.05}		0.26	0.55	0.51	0.253	0.55	0.64

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.2.5. Contenido de clorofilas finales en hoja

6.2.5.1. Contenido de clorofilas finales por efecto de la fuente de La^{3+}

La concentración de clorofilas finales (evaluadas al final de la vida de florero) por efecto de la fuente de La^{3+} es presentada en el Cuadro 25. En promedio el cv. Ile de France mostró una mayor cantidad de clorofilas finales y una menor degradación de las mismas (diferencia entre clorofilas iniciales y clorofilas finales), en comparación con el cv. Christmas Dream. Un contenido similar de clorofilas finales encontró Ramírez (2006) en el cv Ile de France a los 10 días después de permanecer en florero. La fuente de La^{3+} en ambos cultivares ocasionó diferencias estadísticas, presentando tendencias similares, ya que el contenido de clorofila a, b y totales fue superior cuando se adicionó $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (Cuadro 25).

Cuadro 25. Contenido de clorofila a, b y total en hojas de cultivares tulipán al final de vida en florero (finales) en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Clorofilas finales, mg g^{-1} PF					
	Clorofila a	Ile de France Clorofila b	Clorofila total	Christmas Dream Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
LaCl_3	2.45b ^z	5.27b	7.72b	1.93a	3.01a	4.97a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	3.04a	5.59a	8.63a	2.39b	3.57b	6.00b
Promedio	2.79	5.79	8.32	2.97	3.31	5.53
DMS_{0.05}	0.17	0.23	0.27	0.10	0.19	0.17

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.2.5.2. Contenido de clorofilas finales por efecto de la concentración de La^{3+}

El contenido de clorofilas finales (a, b y total) por efecto de concentración mostró diferencias estadísticas significativas en los cv. Ile de France y Christmas Dream. La clorofila a tuvo su mayor concentración en el cv. Ile de France con un suministro de $30 \mu\text{M La}^{3+}$ (3.55 mg g^{-1} PF), superando al tratamiento testigo en más del doble (1.55 mg g^{-1} PF). La clorofila b y total tuvieron sus medias más altas con una concentración $5 \mu\text{M La}^{3+}$, superiores al testigo en 57 y 68%, respectivamente. En el cv. Christmas Dream, la concentración más alta de clorofila a se registró con $40 \mu\text{M La}^{3+}$; por el contrario, el contenido de clorofila b y total se registraron con 10 y $20 \mu\text{M}$, respectivamente (Figura 15).

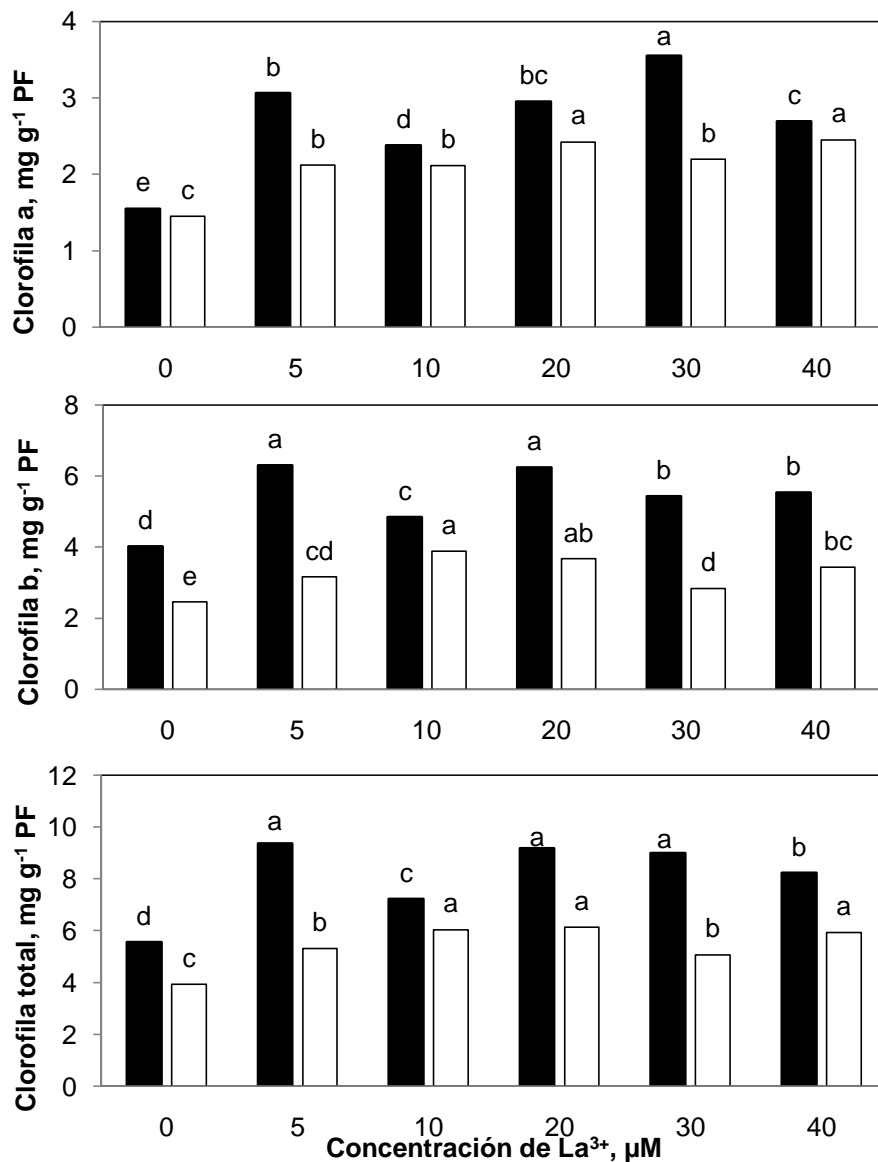


Figura 15. Contenido de clorofila a, b y total en hojas de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas) al final de vida en florero (final), con distintas concentraciones de La³⁺. Barras del mismo cultivar en cada subfigura con letras distintas, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

Generalmente en tulipán existe una tendencia hacia la disminución en el contenido de clorofila a, b y total a partir del momento del corte hasta la senescencia; como consecuencia, los tallos florales cambian de coloración, disminuye el grosor de la hoja y su calidad baja. En promedio, en este estudio la disminución en el contenido de clorofila a, b y total en el cultivar Ile de France fue de 22, 6 y 12%; mientras que para Christmas Dream de 30, 32 y 31%, respectivamente. No obstante, entre tratamientos la

diferencia entre la clorofila inicial a y la clorofila final a en ambos cultivares fue mayor en el testigo, en comparación con los tratamientos con La^{3+} , indicando que posiblemente el La^{3+} previene la degradación de clorofila a o bien hay un incremento en la formación de Mg^{2+} -clorofila a o La^{3+} -clorofila a como se ha encontrado en espinaca y helecho (Fashui *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003). La clorofila b y total presentaron un comportamiento similar; la excepción fue la clorofila b en el cv. Ile de France, donde algunos tratamientos con La^{3+} incrementaron el contenido de clorofila final con respecto al inicial.

6.2.5.3. Clorofilas finales por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

Como resultado de la interacción de fuentes y concentraciones de La^{3+} , el cv. Ile de France tuvo en general mayores contenidos de clorofila a con 5 y 30 μM $LaCl_3$. La clorofila a y total más alta se tuvo con la adición de 5 μM $LaCl_3$. El cv. Christmas Dream mostró una tendencia diferente; las concentraciones de clorofila a y total fueron mayores cuando se suministró $La(NO_3)_3$ en una concentración de 20 μM ; mientras que el contenido de clorofila b fue mayor con 10 μM de $La(NO_3)_3$. En ambos cultivares los menores valores de clorofila a, b y total se registraron en el testigo (Cuadro 26).

Cuadro 26. Contenido de clorofila a, b y total en hojas de cultivares tulipán al final de vida en florero (finales), por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Clorofilas finales, $mg\ g^{-1}$ PF					
		Ile de France			Christmas Dream		
		Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
	Testigo	1.55d ^z	4.02f	5.57f	1.45e	2.45h	3.93f
$LaCl_3$	5	3.40a	8.23a	11.64a	1.84d	2.89fgh	4.77e
	10	2.24c	5.01d	7.25e	1.90d	3.46cd	5.39c
	20	2.51bc	6.52bc	9.03c	2.24bc	3.26def	5.54bc
	30	3.39a	4.88d	8.27d	2.19c	2.69gh	4.92de
	40	2.50bc	4.18ef	6.69e	2.42abc	3.85bc	6.31a
$La(NO_3)_3$	5	2.72b	4.40def	7.12e	2.3abc	3.42cde	5.85b
	10	2.52bc	4.69de	7.21e	2.32bc	4.32a	6.69a
	20	3.38a	5.98c	9.36bc	2.59a	4.08ab	6.72a
	30	3.70a	6.00c	9.71b	2.20c	2.98efg	5.22cd
	40	2.87b	6.90b	9.77b	2.47ab	3.03defg	5.54bc
DMS_{0.05}		0.40	0.62	0.64	0.24	0.47	0.42

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.2.6. Contenido de azúcares totales

6.2.6.1. Contenido de azúcares iniciales y finales por efecto de la fuente de La^{3+}

El Cuadro 27 muestra los resultados obtenidos de contenido de azúcares totales iniciales y finales en pétalos, por efecto de fuente de La^{3+} . Para el cv. Ile de France el mayor contenido de azúcares iniciales se obtuvo cuando se adicionó LaCl_3 ; mientras que la concentración de azúcares finales no mostró diferencias estadísticas entre fuentes. En Christmas Dream se observaron respuestas distintas; es decir, el contenido inicial de azúcares fue significativamente mayor cuando se adicionó $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, esta tendencia fue consistente en el contenido final de azúcares. En promedio, el contenido de azúcares totales iniciales y finales fue más alto en el cv Christmas Dream, superando en 166 y 122%, respectivamente, al cv Ile de France. Además, en ambos cultivares se incrementó el contenido de azúcares finales con respecto a los iniciales.

Cuadro 27. Contenido de azúcares iniciales (al momento del corte) y finales (final de vida en florero) en pétalos de cultivares tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Azúcares, mg g^{-1} PF			
	Ile de France		Christmas Dream	
	Iniciales	Finales	Iniciales	Finales
LaCl_3	0.20a ^z	0.23a	0.47b	0.46b
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	0.16b	0.23a	0.49a	0.56a
Promedio	0.18	0.23	0.48	0.51
DMS_{0.05}	0.01	0.01	0.010	0.014

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

Estos resultados son diferentes a los reportados por Ramírez *et al.* (2010), quienes en diferentes tratamientos con tulipán encontraron una disminución en los azúcares al avanzar la vida en florero. Por lo tanto, el La^{3+} absorbido antes del corte del tallo floral posiblemente induce una mayor síntesis y translocación de azúcares de las hojas hacia los pétalos, o bien el La^{3+} inhibió la degradación de azúcares en células de pétalos marchitos.

Thimann *et al.* (1977) sugiere que una baja disponibilidad de azúcares es la causa directa de la senescencia; sin embargo, un comportamiento contrario también puede ocurrir; es decir, un aumento en lugar de una disminución de azúcares induce la

senescencia. Por ejemplo, en hojas senescentes de tabaco (*Nicotiana tabacum*) y *Arabidopsis thaliana* se observó una alta concentración de azúcares, descartando que la disminución en estas moléculas sea el factor que acelera la senescencia (Masclaux *et al.*, 2000; Yoshida, 2003).

6.2.6.2. Contenido de azúcares iniciales y finales por efecto de la concentración de La³⁺

La Figura 16 muestra el efecto de la concentración de La³⁺ sobre la concentración de azúcares totales iniciales y finales en pétalos de tulipán cv. Ile de France y Christmas Dream, encontrándose diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

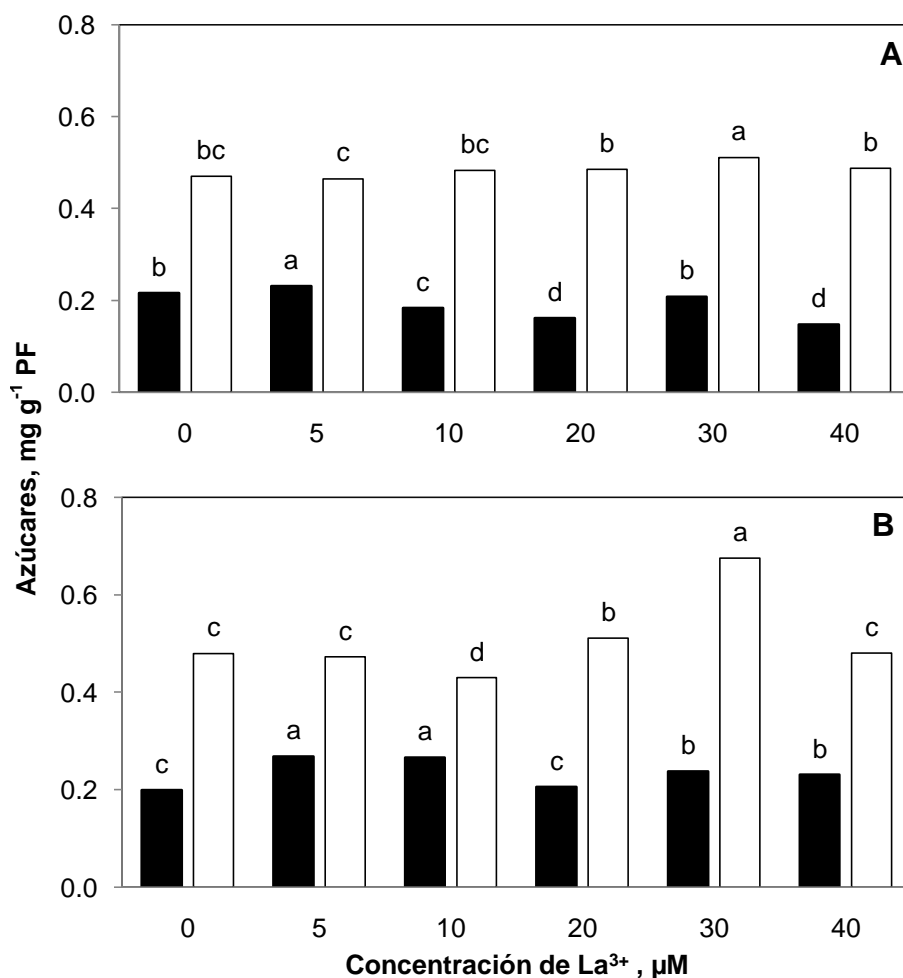


Figura 16. Contenido de azúcares en pétalos de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La³⁺. A: al momento del corte (iniciales) y B: final de vida en florero (finales). Barras del mismo cultivar en cada subfigura con letras distintas, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

Con el suministro de 5 μM La^{3+} se registró la mayor concentración de azúcares iniciales y finales en el cv. Ile de France (Figura 16A). El contenido más bajo de azúcares iniciales se encontró con 0 y 30 μM La^{3+} , mientras que los finales fueron en 0 y 20 μM La^{3+} . En el cv. Christmas Dream, las concentraciones más altas de azúcares iniciales y finales se observaron la adición de 30 μM La^{3+} (Figura 16B). Los resultados obtenidos, hacen suponer que las diferencias entre las concentraciones de azúcares ocasionadas por las dosis de La^{3+} evaluadas, se deben tal vez a la interacción que establece la presencia de este elemento con nutrimentos como potasio y calcio o bien a que el La^{3+} incrementa la tasa fotosintética y por tanto la síntesis de azúcares. Chen *et al.* (2000; 2001) y Fashui *et al.* (2002), mencionan diversos mecanismos en donde el La^{3+} mejoró la fotosíntesis en distintas especies vegetales.

Es importante mencionar que la presencia de azúcar en flor retarda la senescencia, mejora el balance hídrico y el potencial osmótico, además provee de un sustrato disponible para la respiración, es decir, aporta energía a los tejidos de los pétalos. Lo anterior mantiene un alto peso fresco en el tallo, induciendo el cierre de estomas en hojas, y con esto se reduce la pérdida de agua. Adicionalmente, los azúcares ayudan a mantener la integridad, estructura y función de las membranas (Halevy y Mayak, 1981). Al respecto, Huber (1994) indica que existe un movimiento del azúcar en la planta provocado por la transpiración, lo cual lleva a una acumulación de azúcar en los tallos y hojas, para luego ser trasladado a los pétalos vía floema.

6.2.6.3. Contenido de azúcares iniciales y finales por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

La interacción de los niveles de cada uno de los factores de estudio tuvo diferencias estadísticas significativas sobre los contenidos de azúcares totales iniciales y finales en pétalos de ambos cultivares estudiados como se muestra en el Cuadro 28.

En Ile de France, la aplicación de 5 μM LaCl_3 y 5 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ ocasionó la mayor concentración de azúcares totales iniciales y finales, respectivamente. Por el contrario, el cv. Christmas Dream mostró el mayor contenido de azúcares iniciales y finales con el suministro de 30 μM adicionado como LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente. Por lo tanto, el La^{3+} suministrado en concentraciones adecuadas, tiende a incrementar la actividad

metabólica en tallos florales como la producción de citocininas (He y Loh, 2000; 2002), las citocininas pueden reducir la degradación de azúcares o incrementarla. Skutnik *et al.* (2004) encontraron una mayor concentración de azúcares a los 12 días después del corte en alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) con el suministro de citocininas; en trigo se observó un comportamiento similar (González *et al.*, 2009). Huang y Chen (2002) señalan que la aplicación de citocinina exógena retrasó la senescencia ayudando promoviendo el transporte de azúcares de las partes más viejas de la planta hacia los tejidos en formación.

Cuadro 28. Contenido de azúcares iniciales (al momento del corte) y finales (final de vida en florero) en pétalos de cultivares tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Azúcares, mg g^{-1} PF			
		Ile de France		Christmas Dream	
		Iniciales	Finales	Iniciales	Finales
LaCl_3	Testigo	0.21b ^z	0.20d	0.47cd	0.48d
	5	0.24a	0.26a	0.50b	0.52bc
	10	0.21b	0.26ab	0.47cd	0.36f
	20	0.18c	0.21cd	0.44ef	0.49cd
	30	0.25a	0.25ab	0.53a	0.51bcd
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40	0.14e	0.23bc	0.46de	0.43e
	5	0.21b	0.27a	0.42f	0.42e
	10	0.15de	0.27a	0.49bc	0.50bcd
	20	0.13e	0.20d	0.53a	0.53b
	30	0.17cd	0.22cd	0.49bc	0.84a
	40	0.15de	0.23bcd	0.51ab	0.53b
DMS_{0.05}		0.02	0.03	0.03	0.04

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.2.7. Contenido de proteínas en hoja

6.2.7.1. Contenido de proteína en hoja por efecto de fuente de La^{3+}

El mayor contenido de proteína inicial en hojas fue obtenido con el suministro de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en los cultivares Ile de France y Christmas Dream. Para el cv. Ile de France, la proteína inicial, superó al contenido obtenido con LaCl_3 en 42%. En el cultivar Christmas Dream la diferencia entre fuentes fue de sólo 7% (48.21 y 51.53 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF

para LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, respectivamente) (Cuadro 29). El cv. Ile de France tuvo el mayor contenido de proteínas final con adición de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$.

Cuadro 29. Contenido de proteínas iniciales (al momento del corte) y finales (final de vida en florero) en hojas de cultivares tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Proteína, $\mu\text{g g}^{-1}$ PF			
	Ile de France		Christmas Dream	
	Inicial	Final	Inicial	Final
LaCl_3	58.89b ^z	85.81b	48.21b	97.39a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	83.62a	95.46a	51.53a	93.53a
Promedio	71.20	90.60	49.80	95.40
DMS_{0.05}	3.55	1.20	2.57	5.21

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

Entre los cultivares, en general en el cv. Ile de France fue mayor la concentración de proteínas iniciales, mientras que en el cv. Christmas Dream destacó por su contenido de proteínas finales; no obstante en ambos, el contenido de proteínas finales fue más alto en relación a las iniciales (Cuadro 29). Resultados que difieren de lo encontrado por Carfatan (1975), al observar un menor concentración de proteínas al avanzar los estadios de floración en tulipán variedad Guillaume Tell. Por lo tanto, el La^{3+} estimula la formación de proteínas, incluso en la senescencia. Sin embargo, Shuanghy (2008) menciona que el contenido de proteínas en petunia 72 h después del corte, se incrementó como una respuesta a las condiciones de estrés, funcionado como un mecanismo de defensa o bien por el metabolismo de carbohidratos y/o otros procesos catabólicos como la proteólisis y degradación de lípidos y por lo tanto, en algunas especies vegetales el contenido de proteína no se puede relacionar con la fenología.

6.2.7.2. Contenido de proteína en hoja por efecto de la concentración de La^{3+}

Los contenidos de proteína inicial en hojas presentaron diferencias estadísticas entre concentraciones de La^{3+} en ambos cultivares. La concentración de proteínas finales sólo mostró diferencias estadísticas en el cv. Ile de France (Figura 17).

El cv. Ile de France tuvo el mayor contenido de proteína inicial con el suministro de altas concentraciones de La^{3+} siendo de 84.85 y 82.56 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF con 30 y 40 μM , respectivamente. La concentración de proteínas finales presentó un comportamiento

similar ya que las mismas concentraciones de La^{3+} mostraron los valores más altos. En Christmas Dream se registró el mayor contenido de proteína inicial con $40 \mu\text{M}$ La^{3+} , superando al testigo en 59% (Figuras 17A y 17B).

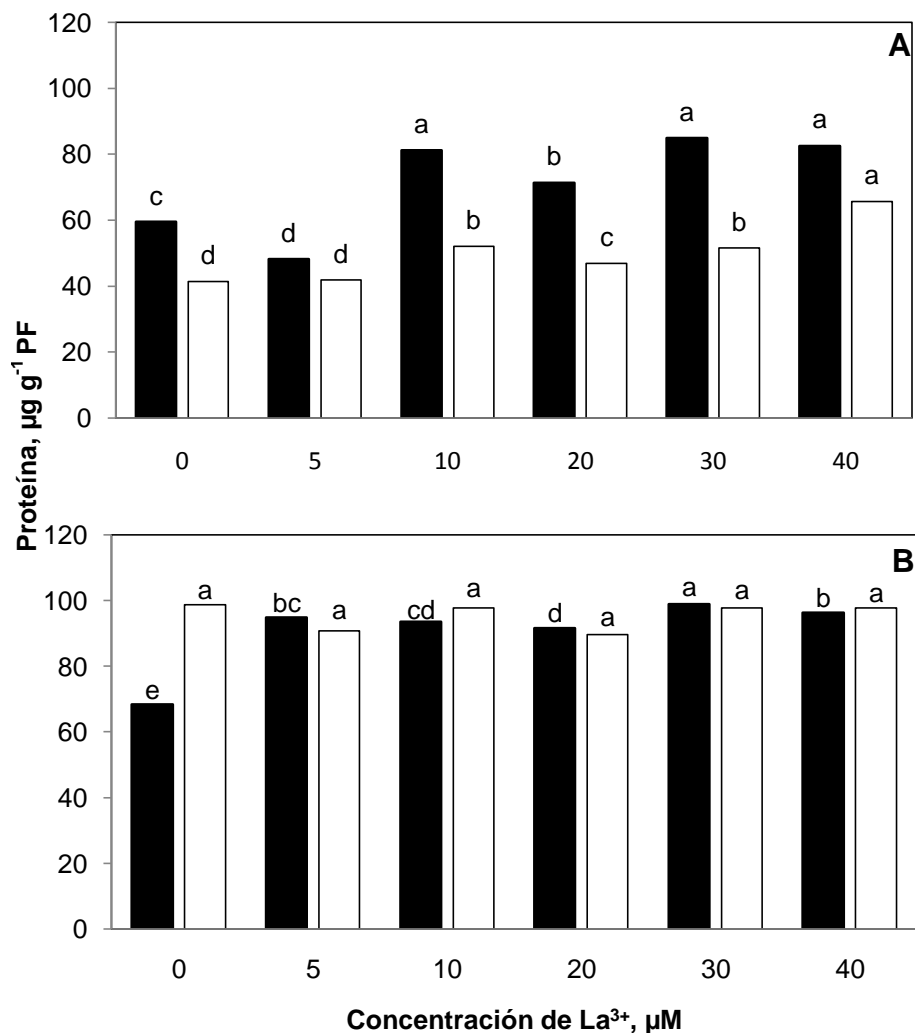


Figura 17. Contenido de proteínas en hojas de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La^{3+} . A: al momento del corte (iniciales) y B: final de vida en florero (finales). Barras del mismo cultivar con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

Considerando los resultado obtenidos por concentración, se concluye que al igual que el contenido de clorofilas y de azúcares, en ambos cultivares el suministró de La^{3+} a la solución nutritiva incrementó la concentración de proteínas en hojas de tulipán. Una mayor cantidad de proteínas inducidas por el La^{3+} se ha encontrado en *Lemna minor* L. y *Echinacea angustifolia* (Ippolito *et al.*, 2007; Ma *et al.*, 2010). Pang *et al.* (2001),

mencionan que el La^{3+} acelera la transformación de N inorgánico a formas orgánicas, incrementando la concentración de proteína en tejido vegetal. Por otra parte la senescencia en tallos florales se debe entre otros factores, a la disminución de proteínas provocada por el incremento en la generación de especies reactivas de oxígeno (ERO's), en diversos trabajos se ha observado que la adición de La^{3+} incrementa la actividad antioxidante celular ocasionada por una disminución en la formación de ERO's (Fashui *et al.*, 2000; 2005; Zhang *et al.*, 2003).

6.2.7.3. Contenido de proteínas por efecto de la interacción fuente La^{3+} x concentración de La^{3+}

El contenido de proteína en la etapa inicial y final en hojas de tulipán cv. Ile de France y Christmas Dream mostró diferencias estadísticas significativas por efecto de interacción fuente x concentración de La^{3+} (Cuadro 30).

Cuadro 30. Contenido de proteína en hojas cultivares tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Proteína, $\mu\text{g g}^{-1}$ PF			
		Ile de France		Christmas Dream	
		Inicial	Final	Inicial	Final
LaCl_3	Testigo	59.48de ^z	68.42g	41.32d	98.74a
	5	52.15ef	98.26c	22.31f	104.22a
	10	58.52de	83.84f	77.44a	101.9a
	20	49.18f	81.51f	57.29c	85.22bc
	30	70.24c	95.80c	29.41e	99.98a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40	63.79cd	87.01e	61.50c	94.31ab
	5	44.18f	91.60d	61.34c	77.45c
	10	103.77a	103.20ab	26.53ef	93.65ab
	20	93.48b	101.91b	36.45d	94.30ab
	30	99.46ab	102.00b	73.62ab	95.76ab
	40	101.34ab	105.62a	69.92b	101.30a
DMS_{0.05}		8.71	2.93	6.29	12.77

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

La mayor concentración de proteínas iniciales y finales en el cv. Ile de France se observó con dosis iguales o mayores a 10 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Así, con 10 y 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ se encontró la cantidad más alta de proteínas iniciales y finales, respectivamente. Por

el contrario, en el cv. Christmas Dream se registró efecto positivo del LaCl_3 a una concentración de $10 \mu\text{M}$ sobre el contenido inicial de proteína y a una concentración de $5 \mu\text{M}$ sobre la concentración final (Cuadro 30).

6.2.8. Contenido de aminoácidos en hoja

6.2.8.1. Contenido de aminoácidos en hoja por efecto de fuente de La^{3+}

En el cv. Ile de France el mayor contenido de aminoácidos en hoja se registró al momento del corte y final de vida en florero con la adición de LaCl_3 , superando al contenido obtenido con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en 23 y 19%, respectivamente. En el cultivar Christmas Dream la mayor concentración de aminoácidos iniciales y finales se encontró con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y LaCl_3 , respectivamente (Cuadro 31).

Cuadro 31. Contenido de aminoácidos iniciales (al momento del corte) y finales (final de vida en florero) en hoja de cultivares tulipán en función de la fuente de La^{3+} suministrada en solución nutritiva.

Fuente de La^{3+}	Aminoácidos, $\mu\text{M g}^{-1}$ PF			
	Ile de France		Christmas Dream	
	Inicial	Final	Inicial	Final
LaCl_3	0.112a ^z	0.117a	0.073b	0.079a
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	0.086b	0.098b	0.082a	0.075b
Promedio	0.099	0.108	0.078	0.077
DMS_{0.05}	0.0010	0.0040	0.0010	0.0006

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.2.8.2. Contenido de aminoácidos en hoja por efecto de la concentración de La^{3+}

Los contenidos de aminoácidos totales iniciales y finales en hojas presentaron diferencias estadísticas entre concentraciones de La^{3+} en ambos cultivares (Figura 18). La mayor concentración de aminoácidos iniciales en el cv. Ile de France se con $10 \mu\text{M}$ La^{3+} ; en Christmas Dream con $40 \mu\text{M}$ La^{3+} . La concentración de aminoácidos finales presentó un comportamiento similar ya que las mismas concentraciones de La^{3+} mostraron los valores más altos en ambos cultivares. (Figura 18).

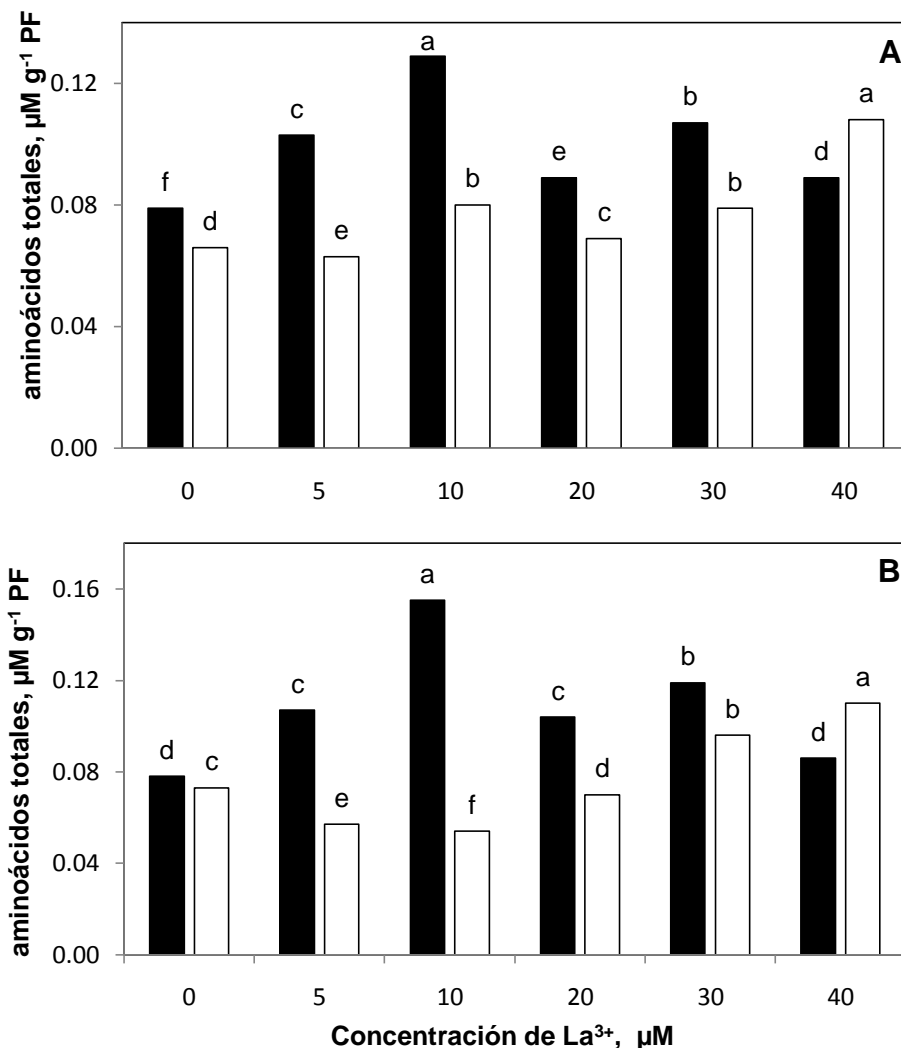


Figura 18. Contenido de aminoácidos en hojas de tulipán cv. Ile de France (barras negras) y Christmas Dream (barras blancas), con distintas concentraciones de La³⁺. A: al momento del corte (iniciales) y B: final de vida en florero (finales). Barras del mismo cultivar en cada subfigura con letras distintas, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

6.2.8.3. Contenido de aminoácidos por efecto de la interacción fuente La³⁺ x concentración de La³⁺

El contenido de aminoácidos en la etapa inicial y final en hojas de tulipán cv. Ile de France y Christmas Dream mostró diferencias estadísticas significativas por efecto de la interacción de los factores estudiados (Cuadro 32).

Cuadro 32. Contenido de aminoácidos en hojas cultivares tulipán por efecto de la interacción fuente de La^{3+} x concentración de La^{3+} .

Fuente de La^{3+}	Concentración de La^{3+} (μM)	Aminoácidos totales, $\mu\text{M g}^{-1}$ PF			
		Ile de France		Christmas Dream	
		Inicial	Final	Inicial	Final
LaCl_3	Testigo	0.079h	0.078d	0.066g	0.073f
	5	0.118d	0.127c	0.053i	0.059i
	10	0.126c	0.153b	0.065g	0.067g
	20	0.073i	0.089d	0.061h	0.062h
	30	0.174a	0.179a	0.088c	0.101c
	40	0.105e	0.078d	0.108a	0.109b
$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	5	0.089g	0.086d	0.073e	0.055j
	10	0.133b	0.156b	0.096b	0.041k
	20	0.099f	0.118c	0.077d	0.079e
	30	0.041j	0.059e	0.070f	0.090d
	40	0.073i	0.088d	0.109a	0.111a
DMS_{0.05}		0.003	0.011	0.002	0.001

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. $\text{DMS}_{0.05}$ =Diferencia mínima significativa al 5%.

La mayor concentración de aminoácidos iniciales y finales en el cv. Ile de France se observó con 30 μM LaCl_3 . Para Christmas Dream la mejor concentración fue 40 μM $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ para el contenido de aminoácidos totales iniciales y finales (Cuadro 32).

VII. CONCLUSIONES

- ✓ Bajo condiciones de hidroponía en invernadero, el suministro de La^{3+} afectó positivamente la altura de la planta de tulipán cv. Ile de France y Christmas Dream antes del corte de tallos florales. En postcosecha fue mayor la longitud y diámetro del tallo floral, biomasa fresca y seca total, consumo de agua, peso del tallo floral, contenido de clorofilas, azúcares, proteínas y aminoácidos.
- ✓ La mejor concentración de lantano fue diferente entre cultivares. Ile de France presentó los valores más altos para diámetro de capullo, longitud del tallo floral, diámetro de tallo (basal, apical y superior), consumo de agua, peso del tallo floral, clorofila total, azúcares, proteína y aminoácidos con dosis que oscilaron entre 5 y 10 $\mu\text{M La}^{3+}$; mientras que en Christmas Dream fue entre 30 y 40 $\mu\text{M La}^{3+}$.
- ✓ La altura de la planta, biomasa fresca y biomasa seca en ambos cultivares fue mayor al adicionar 40 $\mu\text{M La}^{3+}$.
- ✓ El La^{3+} incrementó la vida de florero. Las concentraciones que produjeron mayor vida de florero en los cv. Ile de France y Christmas Dream fueron 10 y 30 $\mu\text{M La}^{3+}$, respectivamente.
- ✓ Las fuentes estudiadas presentaron un comportamiento variable entre las variedades, sin embargo la tendencia en ambos cultivares fue que el LaCl_3 incrementaron altura de la planta, longitud y diámetro de capullo, longitud de tallo floral y contenido de aminoácidos; por el contrario, el consumo de agua, vida en florero, azúcares y proteínas fue superior cuando se utilizó $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ como fuente de La.

VIII. LITERATURA CITADA

- AKIKO. 2005.** Especificaciones técnicas para Tulipán. Boletín informativo. México D. F.
- Armstrong, H. 2002** Hydroponic tulips at second attempt. Flower TECH. 5 (1): 8-9.
- Azcón-Bieto J. y Talón M. 1993.** Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana-McGraw Hill. España, Madrid.
- Barceló, J.; Nicolás, G.; Saboter, B. y Sánchez, R. 2001.** Fisiología vegetal. 7ª. Edición. Ediciones. Pirámide. 566 p.
- Breeze E.; Wagstaff C.; Harrison E.; Bramke I.; Rogers H.; Stead A.; Thomas B. and Buchanan W. V. 2004.** Gene expression attens to define stages of post-harvest senescence in *Alstroemeria* petals. Plant Biotechnology J. 2 (2): 155–168.
- Brown, P. H.; Rathjen A. H.; Graham R. D. and Tribe D. E. 1990.** Rare earth elements in biological systems. In: Gschneidner, J. and Eyring L. (eds.). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths. Elsevier Science Publishers, Amsterdam. pp. 423–453
- Carfantan, N. 1975.** Preliminary study of tulip proteins during senescence. Acta Hort. 41: 31-40.
- Chen, W. J.; Gu, Y. H.; Zhao, G. W.; Tao, Y.; Luo, J. P and Hu, T. D. 2000.** Effects of rare earth ions on activity of RuBPCase in tobacco. Plant Sci. 152: 145-151.
- Chen, W. J.; Tao, Y.; Gu, Y. H. and Zhao, G. W. 2001.** Effect of lanthanide chloride on photosynthesis and dry matter accumulation in tobacco seedlings. Biol. Trace Elem. Res. 79(2): 169-76.
- Cui, W. H. and Zhao, Y. R. 1994.** Effect of seed dressing using different rate of REEs on physiological index and yield of corn. Chinese Rare Earths 15(1):34-37.
- d’Aquino, L.; Concetta de Pinto, M.; Nardi, L.; Morgana, M. and Tommasi, F. 2009.** Effect of some light rare earth elements on seed germination, seedling growth and antioxidant metabolism in *Triticum durum*. Chemosphere 75: 900-905.
- Diatloff, E.; Smith, F. W. and Asher, C. J. 2008.** Effect of lanthanum and cerium on the growth and mineral nutrition of corn and mungbean. Ann. Bot. 101: 971-982.
- Dong, B.; Wu, Z. M.; Xu, L. and Gao, X. X. 1992.** Effects of La on constitute and content of amino acid in out-solution of injured-cucumber. (In Chinese). Bot. Bull. 9 (3): 44-46.
- Fashui, H.; Zhenggui, W. and Guiwen, Z. 2002.** Mechanism of lanthanum effect on chlorophyll of spinach. Sci. China 45(2):166-176.
- Fashui, H., Zhenggui, W. and Zhao, G. 2000.** Effect of Lanthanum on Aged Seed Germination of Rice. Department of Chemistry, University of Science and Technology of China. 75: 205-213.
- Fashui, H.; Weiping, S.; Zhigang, W.; Mingliang, Y.; Jia, Y.; Jiajia, L.; Ye, S. and Qunhua, X. 2005.** Effect of La (III) on the growth and aging of root of loquat plantlet *in vitro*. Biol. Trace Elem. Res. 104(2): 185-191.
- Finkel, T. and Holbrook, N. J. 2000.** Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. Nature 408 (6809): 239-247.
- Francescangeli, N. y Zagabria, A. 2007.** Almacenamiento en frío de los bulbos y uso de paclobutrazol para producir tulipán en maceta. Agriscientia 24(1): 37-44.
- Francescangeli, P. y Frangi, R. F. 2006.** Adaptación del tulipán a zonas de inviernos templados de Argentina. ITEA. 102 (3): 278-287.
- García, V. L. G. 2004.** Evaluación de siete variedades de tulipán holandes (*Tulipa sp*) cultivadas en maceta, en Tepotzotlán, Estado de México. Tesis Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 pp.
- Geiger, M.; Walch-liu, P.; Engels, C.; Harnecker, J.; Schulze, E. D.; Ludewing, F.; Sonnewald, U.; Scheible, W. R. and Stitt, M. 1998.** Enhanced carbon dioxide leads to a modified diurnal rhythm of nitrate reductase activity and higher levels of amino acids in young tobacco plants. Plant Cell Environ. 21: 253-268.
- González-Santos, R.; Delgado-Alvarado, A.; Zavaleta-Mancera, H. A. y Herrera-Cabrera, E.B. 2009.** La citocinina BAP promueve la acumulación de hexosas e incrementa la actividad de fosfoenolpiruvato carboxilasa y fosfoenolpiruvato carboxinasa durante el retraso de la senescencia foliar de trigo. Agrociencia 43: 379-391.
- Guo, B. S. 1993.** The application of rare earth elements on agriculture and breeding. Chinese Rare Earths 15(6): 37-43.
- Guo, B. S.; Zhu, W. M.; Xiong, P. K.; Ji, Y. J.; Liu, Z. and Wu, Z. M. 1988.** Rare Earths in Agriculture. Ed. Agricultural Scientific Technological, Beijing, China. pp. 23–208.

- Halevy, A. H. and Mayak, S. 1981.** Senescence and postharvest physiology of cut flowers, Part 2. *Hortic. Rev.* 3: 59-143.
- Harborne, J. B. 1973.** Chlorophyll extraction. *In: Harbone, J. B. (ed.). Phytochemical Methods. Recommended technique.* Chapman and Hall, London. pp. 205-207.
- He Y. W. and Loh C. S. 2000.** Cerium and lanthanum promote floral initiation and reproductive growth of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Sci.* 159: 117-124.
- He, Y. W. and Loh, C. S. 2002.** Induction of early bolting in *Arabidopsis thaliana* by triacontanol, cerium and lanthanum is correlated with increased endogenous concentration of isopentenyl adenosine (iPA_{dos}). *J. Exp. Bot.* 53(368): 505-512.
- Höfner, R.; Vázquez-Moreno, L.; Abou-Mandour, A. A.; Bohnert, H. J. and Schmitt, J. M. 1989.** Two isoforms of phosphoenolpyruvate carboxylase in the facultative CAM plant *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Physiol. Biochem.* 27: 803-810.
- Hu, Q. H. and Ye, Z. J. 1996.** Physiological effects of rare earth elements on plants. *Chin. Plant Physiol.* 32(4): 296-300.
- Hu, X.; Ding, Z. H.; Chen, Y. J.; Wang, X. R. and Dai, L. M. 2002.** Bioaccumulation of lanthanum and cerium and their effects on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Chemosphere* 48: 621-629.
- Hu, X.; Wang, X. R. and Wang, C. 2006.** Biaccumulation of lanthanum and its effect on growth of maize seedlings in a red loamy soil. *Pedosphere.* 16(6): 799-805.
- Huang, K. and Chen, W. 2002.** Bensil Adenina and sucrose increase vase life of cut *Eustoma* flowers. *Hort. Sci.* 37(3): 547-549.
- Huber, C. 1994.** Estudio de tratamientos de conservación de postcosecha de flores de gladiolo (*Gladiolus hybridus*). Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 121 p.
- Hunter, D. A.; Granello, D.; Christopher, M. and Reid, M. S. 2002.** Effects of ABA on floral senescence. *In: Proceedings of XXVIth International Horticultural Congress.* Toronto, Canadá. p. 41.
- Inamoto, K.; Hase, T.; Doi, M. and H. Imanishi. 2000.** Effects of duration of bulb chilling on dry matter distribution in hydroponically forced tulips. *Sci. Hortic.* 85: 295-306.
- Inamoto, K.; Sakoda, S.; Hase, T.; Doi, M. and Imanishi, H. 2001a.** A dynamic simulation model for predicting the growth and flowering of tulips forced hydroponically. *J. Japan. Soc. Hortic. Sci.* 70(2): 207-214.
- Inamoto, K.; Sakoda, S.; Hase, T.; Katsukawa, K.; Aoki, M.; Doi, M. and Imanishi, H. 2001b.** Application of a dynamic growth simulation model to hydroponic production system for cut tulip. *J. Japan. Soc. Hortic. Sci.* 70(3): 310-314.
- Ippolito, M. P.; Paciolla, C.; d'Aquino, L.; Morgana, M. and Tommasi, F. 2007.** Effect of rare earth elements on growth and antioxidant metabolism in *Lemna minor* L. *Caryologia* 60(1-2): 125-128.
- Järvan, M. 2004.** Rare earth elements affecting the biological processes and yielding abilities of cultivated crops. *Agraartheadus* 17(1): 17-22.
- Jie, H. J. and Zheng, T. J. 1988.** Effects of application of REEs on sugar beet. *J. Chin. Rare Earth Soc.* 6(2): 87-91.
- Kim, H. J.; Holcomb, E. J. and Brown, K. M. 2005.** Lanthanum effects on gravitropics responses of cut tulip flowers. *Acta Hort.* 669: 417-423.
- Le N. M. 2002.** Research needs for flower bulbs (geophytes). *Acta Hort.* 570: 121-127.
- Liao, G. L.; Tang, X. K. and Wu, Z. M. 1994.** Effects of lanthanum chloride on membrane permeability of corn root. *J. Chin. Rare Earth Soc.* 10: 256-258.
- Lim, C. F. and Loh, C. S. 2000.** Effects of cerium and lanthanum on *Arabidopsis thaliana*. Department of Biological Science. Singapore, Kent Ridge Crescent. 4 p.
- Liu, M. and Hasenstein, K. H. 2005.** La³⁺ uptake and its effect on the cytoskeleton in root protoplasts of *Zea mays* L. *Planta*, 220(2): 658-666.
- Ma, L.; Zhao, J.; Wu, H.; Yuan, X. and Hou, D. 2010.** Effects of rare earth elements on callus growth, soluble protein content, peroxidase activity and shoot differentiation of *Echinacea angustifolia* cultures *in vitro*. *J. Afr. Biotechnol.* 9(16): 2333-2341.
- Masclaux, C., Valadier, M. N., Brugiere, N., Morot-Gaudry, J. F. and Hirel, B. 2000.** Characterization of the sink/source transition in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) shoots in relation to nitrogen management and leaf senescence. *Planta* 211: 510-518.

- Moore, S. and Stein, W. H. 1954.** Techniques of Laboratories. J. Biol. Chem. 38: 211-907.
- Nelson, P. V. and Niedziela, J. C. E. 1998.** Effects of calcium source and temperature regime on calcium deficiency during hydroponic forcing of tulip. Sci. Hortic. 73: 137-150.
- Nicodemus, M. A.; Salifu, K. F. and Jacobs, D. F. 2009.** Influence of lanthanum level and interactions with nitrogen source on early development of *Juglans nigra*. J. Rare Earths 27(2): 270-279.
- Nobel, P. S. 1983.** Biophysical plant physiology and ecology. W. H. New York.
- Nowak, J. and Rudnicki, R. 1990.** Postharvest Handling and Storage of Cut Flowers, Florist Greens and Potted Plants. Timber Press, Inc., Oregon, USA. 210 pp.
- Ohyama, T.; Ikarashi, T.; Obata, A. and Baba, A. 1988.** Role of nitrogen accumulated in tulip roots during winter season. Soil Sci. Plant Nutr. 34(3): 341-350.
- Okubo, H.; Shiraishi, S. and Uemoto, S. 1986.** Factors controlling elongation of the last internode in tulip flower stalk. J. Japan. Soc. Hort. 55(3): 320-325.
- Osorio, R. B. 2005.** Eficiencia nutrimental del tulipán (*Tulipa sp.*) y su relación con vida en florero. Tesis de Maestría. Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 155 p.
- Pang, X.; Wang, D. H.; Xing, X. Y., Peng, A., Zhang, F. S. and Li, C. J. 2002.** Effect of La^{3+} on the activities of antioxidant enzymes in wheat seedlings under lead stress in solution culture. Chemosphere. Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing. 47(10): 1033-1039.
- Pang, X.; Li, D. and Peng, A. 2001.** Application of rare earth elements in the agriculture of China and its Environmental behavior in soil. J. Soils and Sediments. 1(2): 124-129.
- Paulin, A. 1997.** La postcosecha de las flores cortadas. Bases fisiológicas. 2a. Edición. Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas. Francia. 135 p.
- Ramírez, M. M. 2006.** Evaluación de mezclas de sustratos y de relaciones $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$ en la solución nutritiva en la producción hidropónica de tulipán. Tesis Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco, México. 182 p.
- Ramírez, M. M.; Trejo-Téllez, L. I.; Gómez-Merino, F. C. y Sánchez-García, P. 2010.** La Relación $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$ de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. Rev. Fitotec. Mex. 33(2): 149-156.
- Rees, A. R. and Charles, D. A. 1975.** An analysis of the growth of forced tulips. 1. Changes in plant fresh and dry weights during growth at two temperatures. Sci. Hortic. 3: 309-316.
- Saniewski, M. 1981.** Hormonal control of shoot elongation in tulips. Sci.Hortic. 15: 363-372.
- SAS. 2002.** SAS High-Performance Forecasting 2.2: User's Guide, Volumes 1 and 2. Cary, NC: SAS Institute Inc. Ver. 9. 652p.
- Serrano, M.; Fernández, P. y Remojaro, F. 1999.** Tratamientos conservantes postcosecha. Plantflor. Cultivo y Comercio. 12: 2.
- Shaowu, X. and Pin, Y. 2004.** Effect of La^{3+} on inward K^+ channels at plasma membrane in guard cells. Sci. China. Ser B. Chem. 48: 143-147.
- Sheng, B. L. and Zhang, L. J. 1994.** Effects of La on content of endogenesis hormone in wheat seedling plants. Plant Physiol. 30(5):361-352.
- Shuangyi, B. M. 2008.** Identification and characterization of senescence-associated proteins in petunia corollas. Horticulture and Crop Science. University State Ohio. 214 p.
- Skutnik, E.; Rabiza-S. J.; Wachowicz, M. and Lukaszewska, J. A. 2004.** Senescence of cut leaves of *Zantedeschia aethiopica* and *Zantedeschia elliottiana*. Part I. Chlorophyll degradation. Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus 3(2): 57-65.
- Southgate, D. A. 1976.** Determination of food carbohydrates. Applied Science Publishers. LTD. London. 105 p.
- Steiner, A. y van Winden, H. 1970.** Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. Plant Physiol. 46: 862-863.
- Sun, T, Yu, J. and Mao, J. 1998.** Effect of rare earth elements on physiological properties of Jun Date (*Z. Jujuba* Mill). In: 2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain. Wuhan, China. p. 38.
- Takahashi, F. A. 1984.** Efecto de la 8-hidroxiqinoleina citrato y sacarosa, en la conservación refrigerada de la flor cortada de crisantemo (*Chisantemum morifolium* R.) cv. Indianápolis. Depto. de Industrias Agrícolas. Chapingo, Méx. 76 p.
- Thimann, K. V.; Tetley, R. M. and Krivak, B. M. 1977.** Metabolism of oat leaves during senescence: V. Senescence in light. Plant Physiol. 59: 448-454.

- Van Doorn, W.G. 1997.** Water relations of cut flowers. *Hortic. Rev.* 18: 1-85.
- Vargas, A. P. y Tejos, P. D. 2008.** Producción de materia seca y absorción de nitrógeno del cultivo de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). *Agrociencia* 42(1): 37-45.
- Von Kerstin, R. 2006.** Rare earth elements in agriculture. Institut für Physiologie, Physiologische Chemie und Tierernährung der Ludwig-Maximilians Universität München. 325 p.
- Von Tucher, S. and Schmidhalter, U. 2005.** Lanthanum uptake from soil and nutrient solution and its effects on plant growth. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 574-580.
- Wan, Q.; Tian, J.; Peng, H.; Zhang, X.; Lee, D.; Woo, C.; Ryu, J. and Park, C. 1998.** The effects of rare earth on increasing yield, improving quality and reducing agricultural chemical remained in crop production. *In: Proceedings 2nd International Symposium on Trace Elements and Food Chain.* Wuhan, China. p. 25.
- Wang, X. P.; Shan, X. Q. and Zhang, S. Z. 2003.** Distribution of rare earth elements among chloroplast components of hyperaccumulator *Dicranopteris dichotoma*. *Anal. Bioanal. Chem.* 376: 913-917.
- Weiping, S.; Fashui, H. and Zhigang, W. 2002.** Effects of lanthanum element on the rooting of loquat plantlet *in vitro*. *Biol. Trace Elem. Res.* 89(3):277-84.
- Wu, Z. M.; Tang, X. K. and Jia, Z. W. 1984.** Studies on the effect of rare earth elements on the increment of yield in agriculture. *J. Chin. Rare Earth Soc.* 2(2): 76-80.
- Xie, Z. B., Zhu, J. G., Chu, H. Y., Zhang, Y. L., Zeng, Q., Ma, H. L. and Cao, Z. H. 2002.** Effect of lanthanum on rice production, nutrient uptake, and distribution. *J. Plant Nutr.* 25: 2315-2331.
- Xiong, L. S.; Xiong, T. Z.; Chen, C.Y. and Huang, H. 2006.** Interactive effects of lanthanum and cadmium on plant growth and mineral element uptake in crisped-leaf mustard under hydroponic conditions. *J. Plant Nutr.* 29: 1889-1902.
- Xiong, B. K. 1995.** *Agricultural and Forestry Research and Application of Rare Earths.* Metallurgical Industrial Press, Beijing.
- Xiong, B. K., 2000.** Application of rare earth in Chinese agriculture and their perspective of development. *In: Proceedings of the Rare Earths in Agriculture Seminar, September.* Australian Academy of Technological Sciences and Engineering, Victoria, Australia. pp. 5-9.
- Yoshida, S. 2003.** Molecular regulation of leaf senescence. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 79-84.
- Zeng, F. L., Shi, P., Zhang, M. F. y Deng, R. W. 2000.** Effect of lanthanum on ion absorption in cucumber seedling leaves. *Biol. Trace Element. Research.* 78 (1-3): 265-270.
- Zeng, Q.; Zhu, J. G.; Cheng, H. L.; Xie, Z. B. and Chu, H. Y. 2006.** Phytotoxicity of lanthanum in rice in haplic acrisols and cambisols. *J. Ecotox. Environ. Safety* 64: 226-233.
- Zhang, L.; Zeng, F. and Xiao, R. 2003.** Effect of lanthanum ions (La³⁺) on the reactive oxygen species scavenging enzymes in wheat leaves. *Biol. Trace Elem. Res.* 91: 243-252.

CAPÍTULO IV. CRECIMIENTO DE VARIEDADES DE TULIPÁN (*Tulipa gesneriana* L.) Y EFECTO DE LANTANO EN POSTCOSECHA

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivos caracterizar fenología y morfología de cultivares de tulipán bajo condiciones de invernadero; así como evaluar en postcosecha el efecto del ácido ascórbico, LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ como soluciones preservadoras (0.2, 0.01 y 0.02 g L⁻¹, respetivamente). Se plantaron bulbos calibre 12+ de las variedades Pink Impression, Jan van Nes, World's Favorite, Acrópolis, Snow Lady, Lefebers Memory, Red Shine, Synaeda Show, Lalibela, Golden Parade, Red Impression, Barcelona, Violet Beauty y Laura Fygi en macetas de 7" de diámetro, con como tezontle de 3 mm mezclado con Promix® (70/30 v/v). Antes del corte de los tallos florales se determinó la fenología y la altura de la planta (AP); al momento del corte, el diámetro de tallo, número de hojas, longitud y ancho de hoja y firmeza de tallo. En postcosecha se midió el diámetro, longitud y forma de capullo, longitud del tallo floral, longitud de entrenudos, peso fresco, consumo de agua, curvatura del tallo y vida en florero, además del contenido de clorofilas, azúcares, proteínas y aminoácidos. A las variables medidas en invernadero se les aplicó un análisis de varianza bajo el modelo de bloques al azar con 15 repeticiones y en postcosecha el modelo fue completamente al azar con tres repeticiones en arreglo factorial 4 × 15 (cuatro soluciones preservadoras × quince variedades). Las variedades evaluadas registraron floración promedio a los 65 ddp. Las variedades más precoces fueron Lefeber's Memory, Red Impression y Red Shine. Synaeda Show, Violet Beauty, Snow Lady, Rosario y Barcelona se comportaron como los más tardíos. La variedad de mayor AP fue la Red Impression, mientras que las de menor AP fueron Rosario y Laura Fygi. En Barcelona y Laura Fygi se encontró el mayor diámetro de tallo, número de hojas y ancho de hoja. Acrópolis y Synaeda Show destacaron por la longitud de hoja y firmeza del tallo, respectivamente. En postcosecha el diámetro y longitud de capullo y longitud del tallo más altos se encontraron en la variedad Acrópolis. En World's Favorite se encontró la mayor longitud de entrenudos y contenido de clorofilas, mientras que la mayor concentración de azúcares y aminoácidos en Snow Lady. La mayor vida en florero se registró en Laura Fygi debido a un incremento en número de hojas, consumo de agua y contenido de proteínas. En cuanto a las soluciones preservadoras, todas las variables en postcosecha fueron más altas con LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y además disminuyó la curvatura del tallo floral.

Palabras clave: *variedad, solución preservadora, fenología, altura de planta, longitud, curvatura, clorofilas, proteínas, azúcares, vida en florero.*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el cultivo de flores en México es una actividad agrícola con potencial de crecimiento tanto en el mercado interno como en el exterior. En particular, el cultivo de tulipán ha adquirido popularidad en el mercado local, estatal y nacional, para su comercialización, un factor fundamental es la calidad, la cual está determinada por un manejo óptimo durante el desarrollo del cultivo y después del corte.

Estas exigencias, hacen que los floricultores opten por mejorar sus técnicas antes, durante y después de la cosecha. En algunas flores cortadas la calidad puede reducirse como resultado del marchitamiento o caída de hojas o pétalos, amarillamiento de las hojas y la curvatura geotrópica o fototrópica de los tallos o escapos (Nell y Reid, 2002).

En este contexto, la conservación de tulipán como flor de corte a partir de la cosecha, el transporte y distribución al consumidor final, involucra la utilización de preservadores en postcosecha. Ejemplo de esto, es el uso de algunas soluciones hidratantes comerciales, que contienen ácido cítrico y sacarosa, las cuales parecen prolongar la vida en el florero por su acción germicida y nutritiva (Paulin, 1997). Algunos otros como sales de plata, sulfato de aluminio y sulfato de 8-hidroxiquinoleína (HQS) también son utilizados para prolongar la vida en florero (Luang-Liang *et al.*, 2002).

En tulipán, la aplicación de compuestos que puedan actuar como solución preservadora durante la vida en florero como el ácido ascórbico y el lantano (La^{3+}) ha sido poco investigada, por lo que la información al respecto es limitada.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Senescencia en flores de corte

La senescencia es un proceso de dismantelamiento celular, que finaliza con la muerte de células, tejidos u órganos. El patrón de senescencia está bien establecido, así, en hojas se pierde primero la integridad de los cloroplastos, mientras que la del núcleo se mantiene hasta el final (Azcón-Bieto y Talón, 2000). A su vez, y para asegurar el transporte de nutrimentos reciclados, los tejidos vasculares en torno al órgano senescente son los últimos en envejecer. La síntesis de carbohidratos cesa y tiene lugar la degradación de las proteínas, clorofilas, lípidos y ácidos nucleicos, que requiere la síntesis de enzimas hidrolíticas (proteasas, nucleasas, lipasas y clorofilasas). Lo anterior, implica la activación específica de ciertos genes (Verlinden, 2006). Estos cambios ocurren debido al incremento en la generación de especies reactivas de oxígeno (ERO's) tales como: oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$), radicales hidróxilo (OH^\cdot), superóxido (O_2^-) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), que en exceso promueven condiciones de estrés oxidativo y aceleran la muerte celular (Finkel y Holbrook, 2000; Scandalios, 2005).

La senescencia en flores de corte está asociada con un incremento en la respiración, síntesis de etileno, cambios de color y pérdida de turgencia (Wills *et al.*, 1998). Uno de los síntomas más evidentes en el estado final de la senescencia es la pérdida de peso en fresco debido a la deshidratación, principalmente de los pétalos, observada como marchitamiento. La senescencia también está asociada a un incremento en la producción de H_2O_2 (Navabpour *et al.*, 2003); sin embargo, la enzima antioxidante ascorbato peroxidasa (APX), presente en el peroxisoma y cloroplasto disminuye la concentración de H_2O_2 y por tanto la senescencia (Nakano y Asada, 1981). Lo anterior evidencia la importancia de la APX, al actuar como protectora en los cloroplastos presentes en escapos y tallos florales, evitando así, la producción de radicales libres de oxígeno.

2.2. Las macromoléculas en postcosecha de ornamentales

2.2.1. Azúcares

El envejecimiento de los pétalos va acompañado generalmente de una pérdida de peso seco que se debe en parte a la hidrólisis de macromoléculas tales como azúcares,

proteínas y ácidos nucleicos. Así, la longevidad de los pétalos se relaciona directamente con su contenido de carbohidratos. La concentración de estas moléculas es típica cuando la flor permanece unida a la planta y presenta variación cuando ha sido cortada, ya que en este último caso la nutrición de los pétalos se interrumpe, y éstos deben sobrevivir en base a sus propias reservas (Chahín *et al.*, 2002). Una flor cortada envejece dado que deja de recibir nutrimentos y azúcares.

Las flores alimentadas con soluciones de sacarosa o glucosa, tendrán mayor vida en florero y una floración más prolongada ya que los azúcares actúan como fuente de energía y mantienen la actividad de algunas enzimas antioxidantes evitando la oxidación celular y senescencia. Aparentemente una mayor supervivencia puede asociarse con un peso fresco constante o un incremento en el peso. En claveles cortados y tratados con agua azucarada fue mayor la concentración en pétalos de proteínas solubles y la actividad de la sintetasa, sacarosa 6-P-sintetasa y glucosa-6-P-isomerasa fue más alta. Además, el aporte de azúcar permite que las flores se desarrollen completamente, lo cual no siempre sucede si sólo se suministra agua (Paulin, 1997).

2.2.2. Proteínas

Está bien establecido que después del corte de tallos florales o después de la plena floración y hasta la senescencia existe una pérdida progresiva de proteínas en vacuolas, mitocondrias, núcleo y plastidios. La degradación se produce principalmente en las vacuolas (van Doorn y Woltering, 2008). En hojas, la senescencia refleja, particularmente, un desequilibrio entre la velocidad de síntesis de proteínas y la degradación de las mismas (Brady, 1988). Por ejemplo en crisantemo y clavel, se ha observado que el contenido total de proteína soluble disminuye progresivamente después de la cosecha, debido a que existe una menor síntesis de éstas, así como una degradación más alta a medida que se acerca la senescencia floral (Barochov *et al.* 1986; Elanchezhian y Srivastava, 2001).

En hojas senescentes de diferentes plantas se han identificado distintos genes que codifican la actividad de peptidasas (enzimas que rompen los enlaces peptídicos de las proteínas). Buchanan (1997), encontró una mayor actividad de la peptidasa cisteína en hojas senescentes de arroz y maíz, y por lo tanto fue menor concentración de proteína

soluble. En rosa y crisantemo después del corte se encontró un mayor contenido de aminoácidos libres totales, los cuales son indicadores de proteólisis. Por lo tanto la disminución en la concentración de proteínas puede deberse a la inhibición de la síntesis de proteínas y/o a la degradación de las mismas, inducida por una mayor actividad de proteasas. Lo anterior conduce a la pérdida de la capacidad funcional de la membrana que resulta en un incremento en la salida de iones y finalmente en la senescencia y muerte del tejido vegetal (Elanchezhian y Srivastava, 2001).

En azucena, narciso y clavel se ha observado una menor vida en florero por un incremento en el proteosoma. El proteosoma es un complejo proteico que se encarga de realizar la degradación de proteínas específicas (proteólisis) (van Doorn y Woltering, 2008). Secor *et al.* (1982) mencionan que el contenido de proteína soluble en hojas está relacionado con la fotosíntesis, por lo que el contenido podría ser utilizado para estimar diferencias en la capacidad fotosintética entre especies.

2.3. Soluciones preservadoras en postcosecha

Las flores de corte tienden a mantener activas algunas de sus funciones fisiológicas aún después de la cosecha, así, el inicio y el desarrollo de la senescencia dependen de la capacidad de los tallos para absorber agua debido a su obstrucción, pérdida excesiva de agua de la flor cortada, enfermedades y concentración de etileno (Nowak y Rudnicki, 1990). Otro aspecto importante en el deterioro de tallos florales en postcosecha involucra la disminución de sustratos respiratorios, y la rapidez con que esto ocurre depende de la cantidad de reservas presentes en la flor al momento del corte (Chaín *et al.*, 2002).

La conservación de la flor de corte a partir de la cosecha, el transporte y distribución al consumidor final, involucra la utilización de preservadores de la longevidad, los cuales tienen como funciones principales proporcionar azúcares, disminuir la proliferación de hongos y bacterias, evitar el bloqueo de células conductoras de agua en el tallo floral y acidificar la solución. El manejo de soluciones preservadoras en flores de corte consiste en mantener los tallos en solución por cortos períodos de tiempo (Ketsa y Narkbua, 2001).

En la actualidad la mayoría de las soluciones preservadoras o soluciones pulso contiene uno o más de los siguientes compuestos: sacarosa, 8-citrato de hidroxiquinoleína (8-HQC), sales de plata, sulfato de aluminio y otras sustancias

específicas para cada especie o cultivar capaces de incrementar la absorción de agua y peso fresco y disminuye la pérdida de agua (Ichimura, 1998; Liao *et al.*, 2000; Liao *et al.*, 2001; Luang-Liang *et al.*, 2002; Han, 2003). Las soluciones pulso basadas en sacarosa son fuentes de carbohidratos y mantienen la turgencia de tallos, promueven la apertura floral y mejoran el color de los pétalos en diferentes especies.

En general, cualquier solución preservadora permite controlar la síntesis de etileno, desarrollo de patógenos, mantener el equilibrio hídrico y respiratorio (Sun *et al.*, 2001; Celikel y van Doorn, 1995) y en los pétalos contribuye a la conservación del color e inducir la apertura del botón floral (Halevy y Mayak, 1981; Arboleda 1993; Sun *et al.*, 2001). Otro compuesto que puede incorporarse a la solución en el manejo postcosecha de flor de corte y que ha sido poco estudiado es el lantano.

2.4. Mecanismos de desarrollo y fisiología en ornamentales

Las respuestas trópicas en las plantas se definen como movimientos de curvatura de los órganos inducidos por estímulos ambientales direccionales y la gravedad; ésta última de suma importancia en el manejo postcosecha de algunas especies de ornamentales para flor de corte, conocido como gravitropismo (Edelmann *et al.*, 2005). Así, el crecimiento de las plantas durante sus etapas de desarrollo puede ser afectado por estímulos externos. Éstos pueden influir en forma inmediata sobre la dirección del crecimiento, además de modificar anatómica y morfológicamente las estructuras de crecimiento en la planta. Los cambios en el crecimiento pueden ser irreversibles o plásticos (cambios resultantes del crecimiento) y reversibles o elásticos (causados por cambios en la turgencia de las células) (Salisbury y Ross, 2000).

2.4.1. Gravitropismo

El gravitropismo es respuesta trópica del crecimiento influenciado por la fuerza de gravedad, y es de dos tipos: gravitropismo negativo, el cual establece el crecimiento ascendente del vástago y gravitropismo positivo, el cual dirige el crecimiento de la raíz hacia el suelo (Salisbury y Ross, 2000). Los mecanismos fundamentales del gravitropismo negativo involucran la percepción del estímulo, la transducción del mismo dentro del proceso fisiológico y finalmente ocurre una respuesta diferencial en el crecimiento (Friedman *et al.*, 1998). Chen *et al.* (1999) mencionan que este fenómeno

produce una señal fisiológica que es transmitida hacia la zona de elongación, capaz de promover la elongación celular diferencial, responsable de la curvatura en la planta.

En ornamentales, la respuesta gravitrópica es negativa, y puede ocurrir en plantas enteras, en maceta y en tallos florales después del corte. Los efectos negativos del movimiento gravitrópico en el crecimiento del vástago o tallo floral, tiene cierto impacto durante el manejo y comercialización después de disponerlos horizontalmente en el embalaje para su comercialización (Philosoph-Hadas *et al.*, 2001). Francescangeli y Frangi (2006), menciona que la vida en florero en flores de corte, está determinada por la curvatura del tallo floral, deshidratación y pérdida de peso fresco.

2.5. Efecto de lantano y ácido ascórbico en postcosecha de ornamentales

El suministro de La^{3+} o de otro elemento del grupo de las tierras raras ha sido menos estudiado en plantas ornamentales o flores de corte en comparación con cultivos básicos o industriales. No obstante, se ha reportado su aplicación en perrito (*Antirrhinum majus*), cempasúchil (*Tagetes erecta*) y tulipán (*Tulipa spp.*) (Friedman *et al.*, 1998; Suzuki *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2005).

En tallos de perrito, se observó que el LaCl_3 inhibió la curvatura de espigas en posición horizontal y vertical, dado que el La^{3+} disminuyó la elongación de tallo e inhibió diversos procesos dependientes del gravitropismo. El ángulo de tallos en posición horizontal (180°) después de 24 h cambió a 85° en el tratamiento testigo; mientras que en los tallos tratados con 20 mM de LaCl_3 fue de 150° . Dosis altas de LaCl_3 (20 y 30 mM) disminuyeron la tasa de elongación de tallo, concluyendo que el suministro de LaCl_3 inhibe la curvatura del tallo floral, ya que este compuesto funciona como antagonista del calcio (Friedman *et al.*, 1998).

En tulipán cv. Peer Gynt, Maureen y Kingsblood, Kim *et al.* (2005) encontraron una respuesta en la curvatura y elongación de tallo similar a la reportada en tallos de perrito, al adicionar 25 mM de LaCl_3 . No obstante, estos resultados explican que la respuesta de los tallos a la graviestimulación es diferencial entre cultivares, probablemente ocasionada por una variación genética en la elongación del tallo, que se correlaciona positivamente con la curvatura de tallo en respuesta a LaCl_3 . En cempasúchil con $10 \mu\text{mol La kg}^{-1}$ de suelo se encontró una mayor concentración de Fe y Zn (Suzuki *et al.*, 2001).

Por otro lado, el ácido ascórbico (ASC) tienen una importancia relevante ya que es considerado como un antioxidante no enzimático, que atrasa la senescencia o muerte de los tejidos (Trujillo *et al.*, 2006). El ASC reacciona muy rápidamente con los radicales oxidativos superóxido ($O_2^{\cdot-}$) e hidróxilo (OH^{\cdot}), cediendo un átomo de hidrógeno a los radicales $O_2^{\cdot-}$ y OH^{\cdot} . El producto resultante es monodehidroascorbato (MDHA) que puede ser reducido de nuevo a ASC por la monodeshidroascorbato (MDHA) reductasa (Dalton, 1995).

Actualmente el ASC se considera como solución pulso y no tiene restricciones en cuanto a su uso en diferentes concentraciones (Jin *et al.*, 2006 y leamtin *et al.*, 2008). En diferentes ornamentales, se ha utilizado en tratamientos postcosecha para incrementar la vida en florero, ya que, el ácido ascórbico mantienen un pH entre 3 y 4, reduciendo el crecimiento de microorganismo e incrementando el flujo de agua a tallos florales por una menor obstrucción de haces vasculares dentro del tallo, así como una disminución de aire en los vasos celulares del xilema (embolismo) (Paull y Chantrachit, 2001).

Anjum *et al.* (2001) estudiaron el efecto de diferentes soluciones preservadoras ($AgNO_3$, ácido ascórbico, Tri-Miltox Forte y $CaCl_2 \cdot 2H_2O$) en diferentes concentraciones sobre la calidad y vida en florero de tuberosa (*Polianthes tuberosa* L.) en condiciones de laboratorio a temperatura ambiente. Estos autores observaron que la máxima apertura floral a las 24 h se observó al suministrar 50, 100, 150 y 200 $mg L^{-1}$ de ASC superando en 64, 65, 59 y 59%, al testigo (agua). El consumo de agua fue menor al testigo en 10, 53, 51 y 68%, respectivamente. Sin embargo, la vida en florero fue menor entre 2 y 3 días en los tratamientos con ASC con respecto al testigo y demás tratamientos. Lo que indica que el ASC tuvo la menor duración en la vida en florero para esta especie con 50 $mg L^{-1}$. Por lo tanto, los autores concluyen que la menor vida en florero de tuberosa con ASC se debe posiblemente a que este compuesto provocó una obstrucción en xilema, dificultando la absorción de agua del tallo floral y además se incrementó la producción de etileno acelerando la senescencia de la flor.

Los resultados anteriores son diferentes a los obtenidos en gerbera (*Gerbera jamesoni*) para flor de corte en donde el ASC incrementó la vida en florero. Así, el suministro de ASC al 1, 2 y 3% mostró el mayor número de días a apertura de la flor con respecto al testigo (agua). La pérdida de color en los pétalos se presentó a los 12,

12 y 14 días en florero, mientras que la caída de los pétalos fue a los 14, 14 y 16 días, respectivamente. En el testigo la pérdida de color y caída de los pétalos ocurrió a los 8 y 10 días, respectivamente. La absorción de agua por tallo floral fue más alto en los tratamientos con ASC y además fue mayor a medida que se incrementó la concentración de ASC (Nair *et al.*, 2003).

En girasol (*Helianthus annuus* L.) el ASC suministrado en solución preservadora (150 mg L⁻¹) ocasionó la mayor vida en florero con 9.1 días, superando en 34% al testigo. El ASC redujo la senescencia debido a que fue menor la producción de etileno (Sodi y Ferrante, 2005).

Con gladiola se encontró una menor absorción de agua a los 2, 6, 9 y 14 días después del corte (ddc) al suministrar en la solución de florero 3 g L⁻¹ de ASC en comparación en el tratamiento sin ASC (testigo). El porcentaje de flores muertas a los 14 ddc fue de 80 y 70% en el testigo y en el tratamiento con ASC, respectivamente (Pereyra y Ávila, 2005).

La aplicación de ASC también ha sido estudiada en algunas especies ornamentales de clima tropical, como el ginger rojo (*Alpinia purpurata*). Ieamtim *et al.* (2008), evaluaron el efecto de tres concentraciones de ASC (0.01, 0.05 y 0.1%) como solución pulso en tallos florales bajo condiciones de laboratorio a temperatura ambiente. Los resultados obtenidos para vida en florero fueron de 8, 11, 9 y 12 días para 0, 0.01, 0.05 y 0.1% de ASC, respectivamente. La mayor duración en el florero se relacionó con una disminución en la tasa de respiración, así como en la producción de etileno ocasionada por el ACS, ya que el peso fresco de tallos florales y absorción de agua no mostró cambios entre tratamientos. Resultados similares encontraron Nair *et al.* (2003) y Anjum *et al.* (2001) en la misma especie.

En conclusión, el suministro de compuestos orgánicos y/o inorgánicos en la solución preservadora es necesario para incrementar la vida en florero, sin embargo se debe considerar la especie y variedad. En tulipán, la información de compuestos como ASC y La³⁺ que permitan incrementar la duración de los tallos florales está poco documentada. Por lo tanto, en base a lo anterior es necesario generar estrategias en pre y postcosecha que incrementen la calidad y vida en florero en tulipán, y cuáles son los factores que se relacionan con estos. Así, los objetivos del presente experimento de presentan a continuación:

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivos generales

- Estudiar antes de la cosecha del tallo floral la fenología y el crecimiento de quince cultivares comerciales de tulipán.
- Evaluar el efecto del LaCl_3 , $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y ácido ascórbico como soluciones preservadoras, sobre la calidad y vida en florero de quince cultivares comerciales de tulipán.

3.1.1. Objetivos específicos

- Determinar las diferentes características del tallo floral como: altura de planta número de hojas y firmeza del tallo, en quince cultivares de tulipán y en base a estos caracteres poder identificar cultivares para flor de corte o flor en maceta.
- Clasificar las variedades como precoces o tardías en base al número de días entre la brotación y la floración.
- En quince variedades de tulipán evaluar en postcosecha diferentes caracteres en el tallo floral y la influencia sobre de éstos del LaCl_3 , $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y ácido ascórbico.

IV. HIPÓTESIS

4.1. Hipótesis generales

- Todas las variedades comerciales de tulipán evaluadas muestran el mismo ciclo de crecimiento y número de días a la aparición de las diferentes etapas fenológicas.
- El uso de LaCl_3 , $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y ácido ascórbico como soluciones preservadoras, no influye en la calidad y vida en florero de quince variedades de tulipán.

4.1.1. Hipótesis específicas:

- Todas las variedades de tulipán evaluadas pueden ser utilizadas tanto para flor de corte o como flor en maceta.
- En postcosecha todas las variedades de tulipán muestran las mismas características en el tallo floral y en la flor.
- El LaCl_3 , $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y ácido ascórbico como solución preservadora no afecta el crecimiento en postcosecha de las quince variedades de tulipán evaluadas.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en dos etapas, la primera se llevó a cabo bajo en invernadero para estudiar la fenología y el crecimiento de cultivares de tulipán. La segunda, se realizó en laboratorio después del corte de tallos florales y se evaluaron diferentes soluciones preservadoras en las mismas variedades de la primera fase.

5.1. Ubicación del experimento de la primera fase

La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, localizado a 19° 29' N y 98° 53' O y 2250 m de altitud, en el Municipio de Texcoco, Estado de México, bajo condiciones de invernadero durante el ciclo otoño-invierno del 2009. La temperatura diurna durante el desarrollo del cultivo fue de 21.0, 13.5 y 17.2 °C máxima, mínima y promedio y la nocturna de 9.0, 3.5 y 6.2 °C. La humedad relativa durante el día fue de 40% y por la noche del 70%. Las intensidades luminosas diurna y nocturna fueron de 192 y 4 lumens m⁻², respectivamente.






5.2. Establecimiento y manejo de cultivo

Antes de la plantación se limpiaron y desinfectaron los bulbos, por un periodo de 15 min con Ridomil Bravo (i. a. metalaxil+clorotalonil) y Captán (i. a. tioftalamidas) en dosis de 2 g L⁻¹ y 1 g L⁻¹, respectivamente. La plantación se realizó en macetas de 7" de diámetro, utilizando como sustrato tezontle de 3 mm mezclado con Promix® (70/30 v/v) (Ramírez *et al.*, 2010). A partir de los 15 días después de la plantación se suministraron manualmente cada tercer día 150 mL de solución nutritiva Universal de Steiner al 50% formulada con reactivos grado analítico, que contenía 0.531 g L⁻¹ de Ca(NO₃)₂ 4H₂O, 0.151 g L⁻¹ de KNO₃, 0.068 g L⁻¹ de KH₂PO₄, 0.246 g L⁻¹ de MgSO₄ 7H₂O y 0.130 g L⁻¹ de K₂SO₄. La solución nutritiva se complementó con micronutrientes en las concentraciones siguientes: 1.6 mg L⁻¹ de Mn, 0.11 mg L⁻¹ de Cu, 0.23 mg L⁻¹ de Zn. El hierro fue abastecido como Fe-EDTA a una concentración de 5 mg L⁻¹ a partir de una solución concentrada preparada según el método descrito por Steiner y van Winden (1970), el pH de la solución se ajustó a 5.5 con HCl 1N.


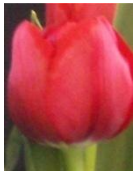



5.3. Material vegetal

En el experimento se utilizaron 180 bulbos calibre 12+ de quince variedades de tulipán, que de acuerdo con VWS FLOWERS (2010), presentan diferencias en altura de la planta, color de flor y resistencia del tallo (Cuadro 1).






Cuadro 1. Características agronómicas de 15 variedades de tulipán evaluadas en otoño-invierno 2009 (VWS Flowers, 2010).

	Variedad	Tipo	Color	Altura	Posición de hoja	Resistencia de tallo
	Pink Impression	Darwin híbrido	rosado	40-50 cm	erguida	normal
	Jan van Nes	Triunfo	amarillo	40-50 cm	erguida	normal
	World's Favorite	Darwin híbrido	rojo/borde amarillo	40-50 cm	erguida	fuerte
	Acrópolis	Darwin híbrido	rosa/rojo	60-70 cm	erguida	normal
	Snow Lady	Triunfo	blanco	40-50 cm	erguida	fuerte

Cuadro 1. (Continuación).

	Variedad	Tipo	Color	Altura	Posición de hoja	Resistencia de tallo
	Lefeber's Memory	Darwin híbrido	rojo oscuro	40-50 cm	erguida	normal
	Red Shine	Darwin híbrido	rojo cardenal	40-45 cm	erguida	normal
	Synaeda Show	Triunfo	blanco	40-60 cm	erguida	normal
	Lalibela	Darwin híbrido	naranja/rojo	50-60 cm	erguida	fuerte
	Golden Parade	Darwin híbrido	amarillo ranúnculo	50-60 cm	erguida	normal

Cuadro 1. (Continuación).

	Variedad	Tipo	Color	Altura	Posición de hoja	Resistencia de tallo
	Red Impression	Darwin híbrido	rojo claro	50-55 cm	erguida	normal
	Barcelona	Triunfo	rosa/morado	30-40 cm	erguida	fuerte
	Violet Beauty	Greigii	violeta	45-50 cm	erguida	fuerte
	Laura Fygi	Triunfo	rojo/ borde amarillo	30-40 cm	erguida	fuerte
	Rosario	Triunfo	rosado carmín/base blanco	40-50 cm	erguida	normal

5.4. Variables evaluadas

5.4.1. Variables fenológicas

5.4.1.1. Días a emergencia (DE): Número de días transcurridos desde la plantación hasta la aparición del brote.

5.4.1.2. Diferenciación de primer entrenudo (DPE): Días después de la plantación en que aparece el primer entrenudo en el tallo floral.

5.4.1.3. Días a inicio de floración (DIF): Se tomó como los días después de plantación hasta el momento en que el botón floral presenta cambios en su coloración (verde con el contorno de pétalos al color de la variedad) en al menos el 50% de las plantas establecidas por variedad.

5.4.1.4. Días a floración (DF): Número de días transcurridos desde la plantación hasta que el botón floral estuvo coloreado totalmente antes de la apertura de la flor en al menos el 50% de plantas cultivadas.

5.4.2. Variables de crecimiento

5.4.2.1. Altura de planta (cm). Una vez que las plantas emergieron, semanalmente, se procedió a tomar la altura con un flexómetro para cada una de las variedades hasta el momento del corte, que fue en diferente día para cada variedad.

5.4.2.2. Diámetro de tallo (cm). Al momento del corte se midió en tres posiciones del tallo (parte basal, media y superior), empleando un vernier digital.

5.4.2.3. Número de hojas. Al momento del corte se contabilizaron el número de hojas presentes por tallo floral.

5.4.2.4. Longitud de hoja (cm). Se midió la longitud de hoja desde la base hasta la parte apical, utilizando una regla de 30 cm al momento del corte.

5.4.2.5. Ancho de hoja (cm). Al corte se procedió el ancho de la hoja, en la parte central con una regla de 30 cm.

5.4.2.6. Firmeza de tallo. Se midió al momento del corte con un texturometro universal puntal tipo cincel de 3 cm (Model FDV-30). Las lecturas se realizaron en tres partes del tallo floral (basal, medio y apical). Las categorías de medición propuestas se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de firmeza de tallo en tulipán al momento del corte.

Nivel	Categoría	Lectura (kg cm ⁻²)
I	Blando	1.0-2.0
II	Duro	2.1-3.5
III	Muy duro	3.6-5.5

5.5. Diseño experimental y análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza para un diseño experimental de bloques al azar con 15 repeticiones, aquellos significativos una prueba de comparación de medias Least Significant Difference (LSD) con un nivel de confianza del 95% con el software Satical Analysis System (SAS, 2002).

5.6. Manejo del experimento en la segunda fase

Los tallos florales de cada variedad se cortaron al inicio de la floración y en laboratorio se colocaron en floreros que contenían 250 mL de agua común, a los cuales se les adicionaron los tratamientos evaluar.

5.7. Tratamientos

Los tratamientos para cada una de las variedades fueron la aplicación de ácido ascórbico, cloruro de lantano y nitrato de lantano en la solución de florero. El tratamiento testigo consistió en sólo agua (Cuadro 3).

Cuadro 3. Tratamientos probados para la conservación de tallos florales de tulipán.

Clave	Tratamiento	Concentración
Testigo	Agua	---
AA	Ácido ascórbico	0.2 g L ⁻¹
LaCl ₃	Cloruro de lantano	0.01 g L ⁻¹
La(NO ₃) ₃	Nitrato de lantano	0.02 g L ⁻¹

5.8. Variables de estudio en postcosecha

5.8.1. Variables de crecimiento, consumo de agua y vida en florero

5.8.1.1. Diámetro de capullo (cm). Se realizó a partir de los 3, 5, 7, 9, 11 días después del corte utilizando un vernier digital.

5.8.1.2. Longitud de capullo (cm). Al igual que en la variable diámetro de capullo, se determinó a los 3, 5, 7, 9, 11 días después del corte.

5.8.1.3. Forma de capullo. Para cada una de las variedades se determinó a los 5, 10 y último día de vida en florero. Se diferenciaron tres formas de capullo en función de su grado de apertura: copa, semicopa y capullo completamente abierto (Figura 1).

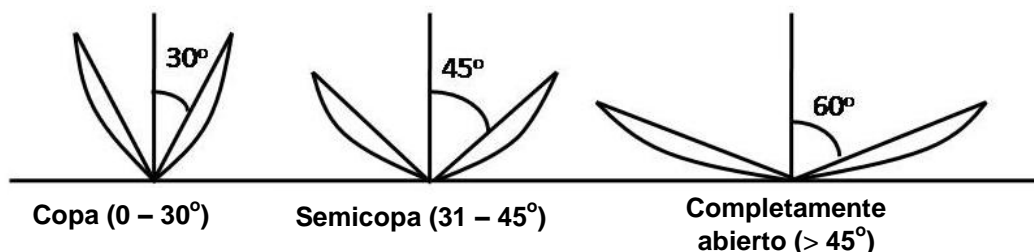


Figura 1. Diagrama esquemático que muestra la forma de capullo en función del grado de apertura de tulipán en postcosecha (Benschop y DeHertogh, 1971).

5.8.1.4. Longitud de tallo floral (cm). Se midieron utilizando un flexómetro a partir de la base del tallo cada tercer día hasta la senescencia.

5.8.1.5. Longitud de entrenudo apical inicial y final (cm). Se consideró la longitud del entrenudo apical (parte superior del tallo) al momento del corte y al finalizar la vida en florero utilizando una regla de 30 cm.

5.8.1.6. Longitud de entrenudo basal inicial y final (cm). La lectura se tomó en el entrenudo basal (parte inferior del tallo) al momento del corte y al finalizar su vida en florero utilizando una regla de 30 cm.

5.8.1.7. Peso fresco de tallo (g). Se realizó a los 3, 5, 7, 9, 11 días en florero utilizando una balanza digital.

5.8.1.8. Incremento relativo de peso fresco de tallo (%). El porcentaje de ganancia y pérdida de peso se calculó tomando en cuenta el peso al momento del corte con respecto al peso obtenido a los 3, 5, 7, 9, 11 días de vida en florero.

5.8.1.9. Consumo de agua (mL). Para determinar el consumo de agua, los tallos florales fueron colocados en frascos de vidrio que contenían 250 mL de solución preservadora. Las lecturas se realizaron a los 3, 5, 7, 9, 11 días en florero, usando una probeta de 100 mL.

5.8.1.10. Consumo relativo de agua (%). La estimación del incremento y disminución en el consumo de agua, se hizo para cada uno de los tratamientos, considerando las diferencias de consumo de agua cada tres días, tomando como referencia el consumo registrado el primer día de vida en florero.

5.8.1.11. Curvatura del tallo. Una de las características de la calidad en tallos florales es la curvatura del tallo, en el presente trabajo se realizó tomando como referencia, al momento del corte, un ángulo de 0° , es decir cuando el tallo floral está en posición horizontal (Figura 2). Se midió con un transportador a los 5 ddc, 10 ddc y al último día de vida en florero, clasificando los tallos en las siguientes categorías: tallo recto (ángulo de curvatura entre 0 y 30°), tallo ligeramente curvo (ángulo de curvatura entre 31 y 50°) y tallo con curvatura pronunciada, susceptible a gravitropismo (ángulo de curvatura entre 51 y 70°).

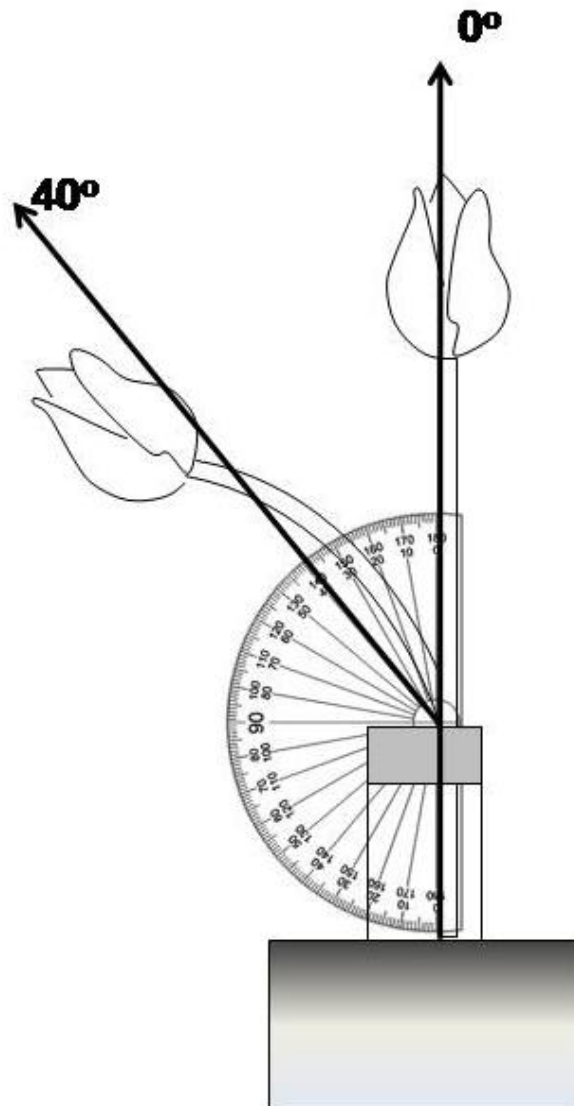


Figura 2. Representación esquemática de la curvatura de tallos florales en tulipán (Modificado de Kim *et al.*, 2005).

5.8.1.12. Vida en florero (días). La vida de florero se registró considerando la duración de los tallos florales a partir de la cosecha, el final de la vida en florero (senescencia) se consideró cuando los pétalos presentan del 91 al 100% de marchitez total en el capullo, reducción del tamaño de capullo, enrollamiento total de pétalos, pérdida de peso total y consistencia de tépalos delgada (Figura 3).

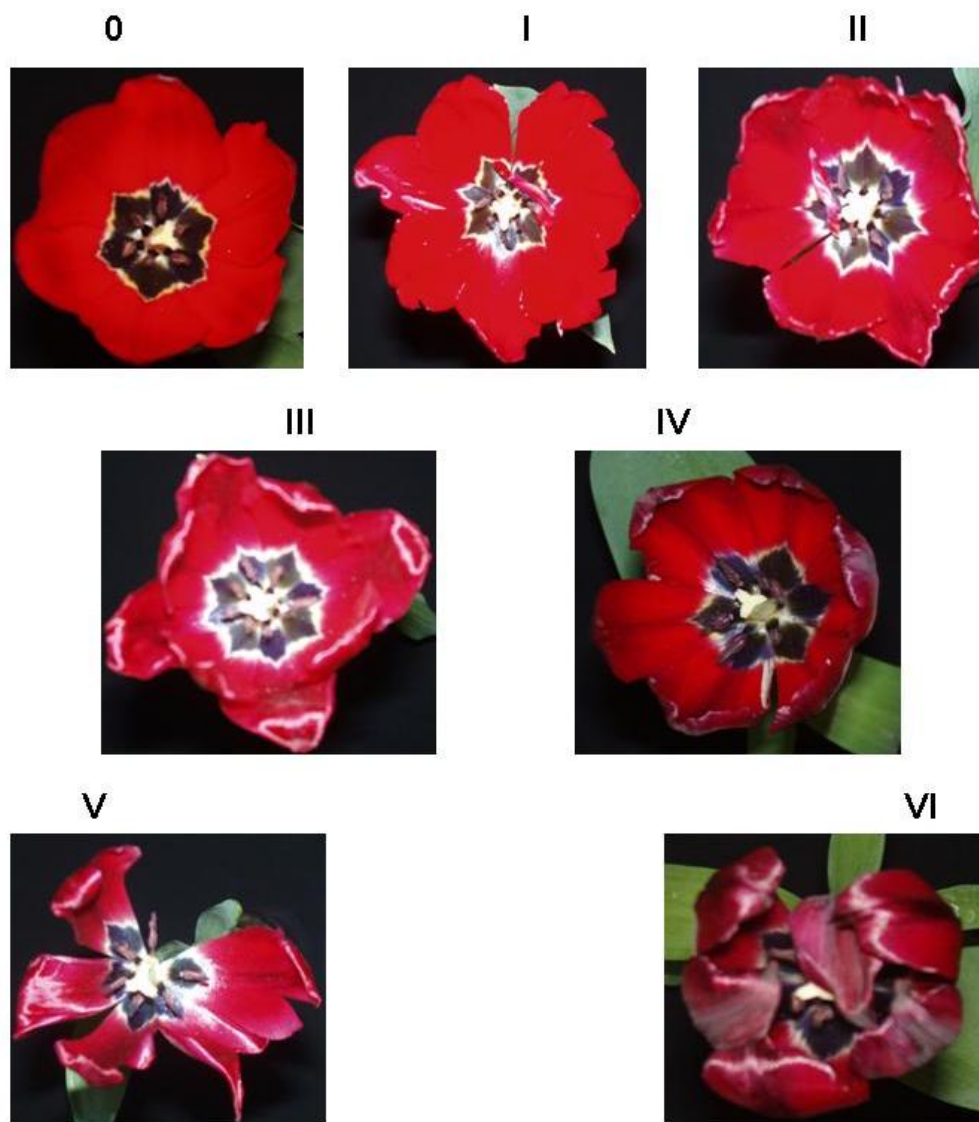


Figura 3. Etapas de senescencia floral en tulipán. 0: seis pétalos con coloración característica de la variedad, I: inicio de la marchitez, principalmente en las puntas (senescencia entre 5 y 15%), II: ligera marchitez en punta y con una ligera pérdida de turgencia (senescencia entre 16 y 25%), III: pérdida de turgencia moderada e inicia enrollamiento de pétalos (senescencia entre 26 y 50%), IV: enrollamiento medio de pétalos, ligero cambio de coloración (senescencia entre 51 y 70%), V: turgencia nula, enrollamiento de pétalos, cambio total de color (senescencia entre 71 y 90%) y VI: reducción de tamaño de capullo, pérdida total de peso (senescencia entre 91 y 100%) (Ramírez, 2006).

5.8.2. Variables fisiológicas

Se determinó el contenido de clorofilas (mg g^{-1} PF), azúcares soubles totales (mg g^{-1} PF), proteínas solubles totales ($\mu\text{g g}^{-1}$ PF) y aminoácidos libres totales ($\mu\text{M g}^{-1}$ PF), siguiendo las metodologías descritas en el Capítulo III.

5.9. Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con tres repeticiones en arreglo factorial 4×15 (cuatro soluciones preservadoras \times quince variedades). La unidad experimental consistió en un tallo floral para cada variedad. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias Least Significant Difference (LSD) con un nivel de confianza del 95% con el software Statistical Analysis System (SAS, 2002).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Variables fenológicas

6.1.1 Días a emergencia (DE)

El promedio de días a emergencia fue de 11. Una emergencia promedio de 10 días encontraron Ahmed y Khurshid (2004) y Zagrabia *et al.* (2005) en diferentes variedades de tulipán. La aparición de los primeros brotes ocurrió a los 5, 6 y 7 días después de la plantación (ddp) en las variedades Lefeber's Memory, Red Shine y Pink Impression. Por el contrario, el mayor tiempo a emergencia se registró en Barcelona, World's Favorite, Violet Beauty y Rosario con un número de días mayor a 15 (Figura 4). Las variaciones en la emergencia de las diferentes variedades se deben a la composición genética de cada variedad y su interacción con el ambiente.

6.1.2. Diferenciación de primer entrenudo (DPE)

La aparición temprana del primer entrenudo se observó en las variedades Red Impression, Acrópolis, Lefeber's Memory y Red Shine (18, 20, 25 y 28 ddp). En contraste, variedades como Snow Lady y Rosario la diferenciación ocurrió hasta los 49 y 55 ddp, respectivamente. En el resto de variedades, se registró entre los 32 y 45 ddp (Figura 4).

6.1.3. Días a inicio de floración (DIF)

El inicio de floración (IF) en las variedades Snow Lady, Synaeda Show, Rosario y Barcelona ocurrió a los 72, 72, 75 y 83 ddp, respectivamente, siendo el mayor número de DIF en los cultivares estudiados. El menor tiempo a IF ocurrió en Lefeber's Memory, Red Impression y Red Shine con 41, 44 y 49 ddp. En las variedades restantes el IF osciló entre los 51 y 69 ddp. Zagrabia *et al.* (2005) encontró en híbridos de tulipán Leen van der Mark, Inzel y Rosario un IF entre 31 y 40 ddp.

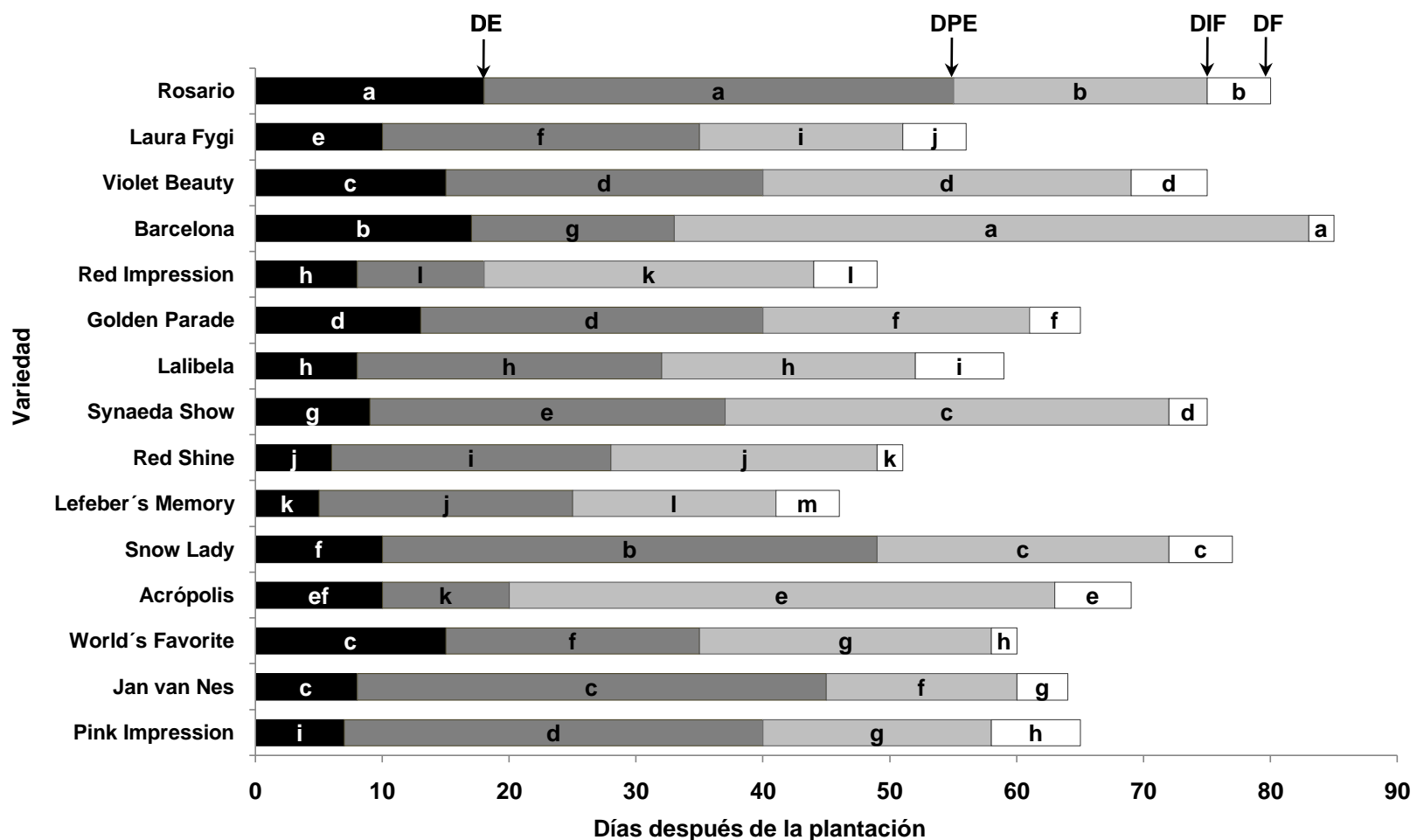


Figura 4. Fenología de diferentes variedades de tulipán cultivadas bajo condiciones de invernadero. DE: días a emergencia, DPE: diferenciación de primer entrenudo, DIF: días a inicio de floración y DF: días a floración. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas entre variedades de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.1.4. Días a floración (DF)

Las variedades evaluadas registraron a floración promedio de 65 ddp. Las variedades más precoces fueron Lefeber's Memory, Red Impression y Red Shine con 49 ddp. Synaeda Show, Violet Beauty, Snow Lady, Rosario y Barcelona se comportaron como los más tardíos con un número de días a floración entre 75 y 85 (Figura 4). Estos resultados no coinciden con los reportados por Zagabria *et al.* (2005) quienes encontraron cultivares que se comportaron como precoces con un número de días después de la plantación entre 30 y 33 y los tardíos fueron entre los 50 y 51 ddp. Mientras que Francescangeli y Frangi (2006) reportan cultivares precoces y tardíos entre 30–33 ddp y 43–49 ddp, respectivamente. Las diferencias entre estos trabajos y los resultados de este estudio se deben posiblemente a la temperatura que se presentó durante el desarrollo del cultivo. Francescangeli y Zagabria (2007) encontraron una elevada correlación entre la temperatura y la duración de cada una de las etapas fenológicas, especialmente con el inicio de floración ($R^2=0.84$), es decir a medida que se incrementa la temperatura media el IF es más tardío.

6.2. Variables de crecimiento

6.2.1 Altura de planta

Las variedades evaluadas mostraron diferencias estadísticas en altura de planta en todas las fechas de evaluación (Figura 5 y 6), incrementándose a través el tiempo mostrando sus valores más altos a los 48 ddp (Figura 6I). Resultados similares encontraron Zagabria *et al.* (2005) y Francescangeli y Zagabria (2007) quienes encontraron la mayor altura de planta a los 49 y 55 ddp, respectivamente.

La altura promedio de planta de las variedades evaluadas al final del ciclo fue de 41 cm. Francescangeli y Frangi (2006) reportan una longitud final del tallo en diferentes tratamientos y variedades de tulipán de 44 cm. La variedad más alta fue la Red Impression, registrando 51.0 cm a los 48 días después de la plantación; fue seguida de las variedades Synaeda Show, Acrópolis y Lalibela con alturas de 50.3 cm. Las variedades con menor porte fueron Rosario y Laura Fygi. Ahmed y Khurshid (2004), encontraron en diferentes cultivares de tulipán variación en la altura, concluyendo que la longitud del tallo está controlada genéticamente; esto es, bulbos que al momento de

la siembra muestren un mayor contenido de carbohidratos presentarán una mayor altura de planta. Saniewski (1981), encontró diferencias en la altura de plantas de cultivares Apeldoorn y Oxford, estas diferencia se asociaron a la capacidad que tienen las hojas y la flor de cada variedad en producir auxinas y giberelinas. Hanks y Rees (1977), sugiere dos mecanismos que controlan la elongación del tallo de tulipán: a) un sistema de auxinas, producidos en las hojas y principalmente en el gineceo, que regula la elongación de los entrenudos superiores y b) un sistema de giberelinas, que regula en particular la elongación de los entrenudos inferiores.

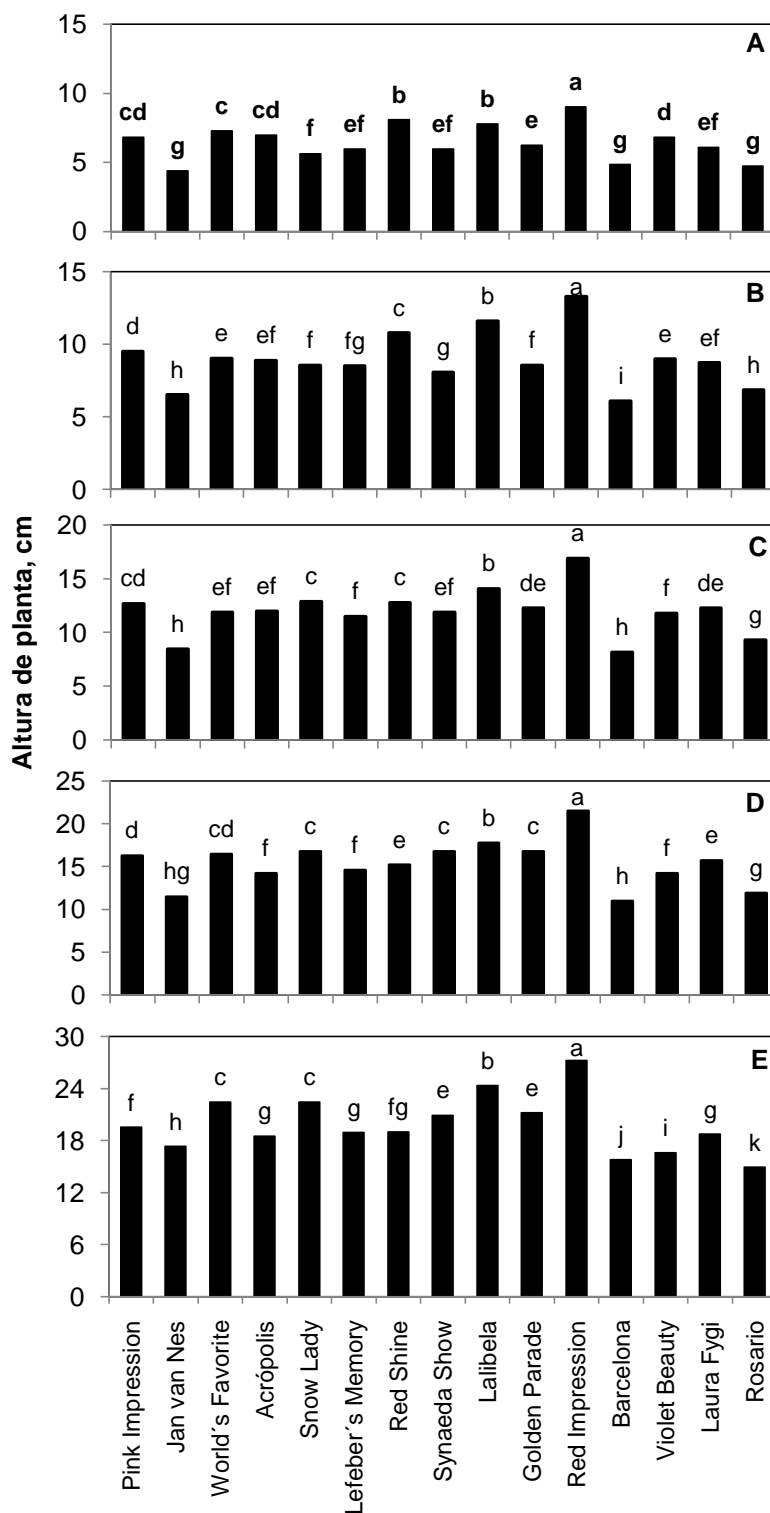


Figura 5. Altura de planta en diferentes variedades de tulipán en distintas fechas de evaluación cultivadas. A: 8, B: 13, C: 18 D: 23 y E: 28 días después de la plantación. Barras en cada subfigura con letras distintas, indican diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).

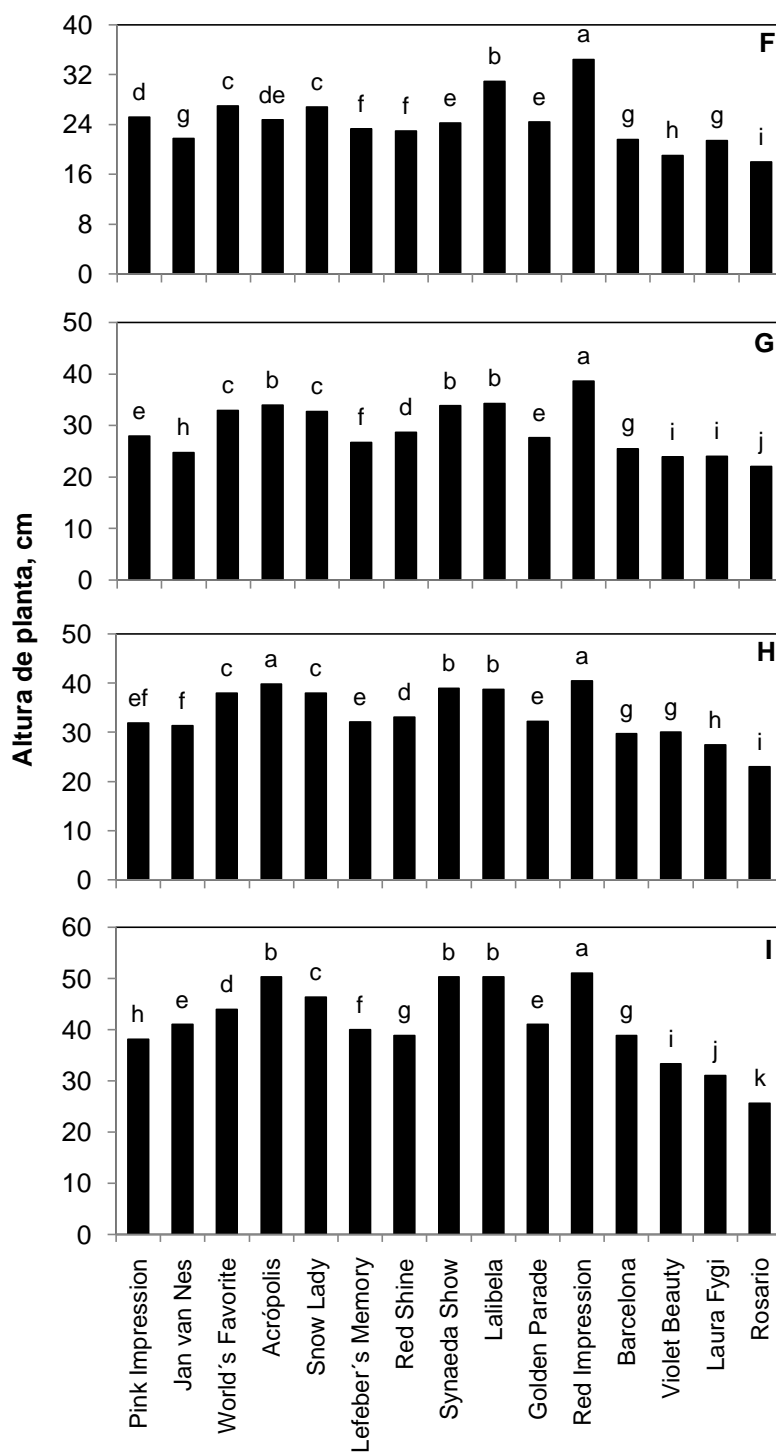


Figura 6. Altura de planta en diferentes variedades de tulipán en distintas fechas de evaluación cultivadas. F: 33, G: 38, H: 43 y I: 48 días después de la plantación. Barras en cada subfigura con letras distintas indican diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).

6.2.2. Diámetro de tallo

Los diámetros de tallo basal, medio y apical fueron diferentes estadísticamente entre las variedades evaluadas (Figura 7).

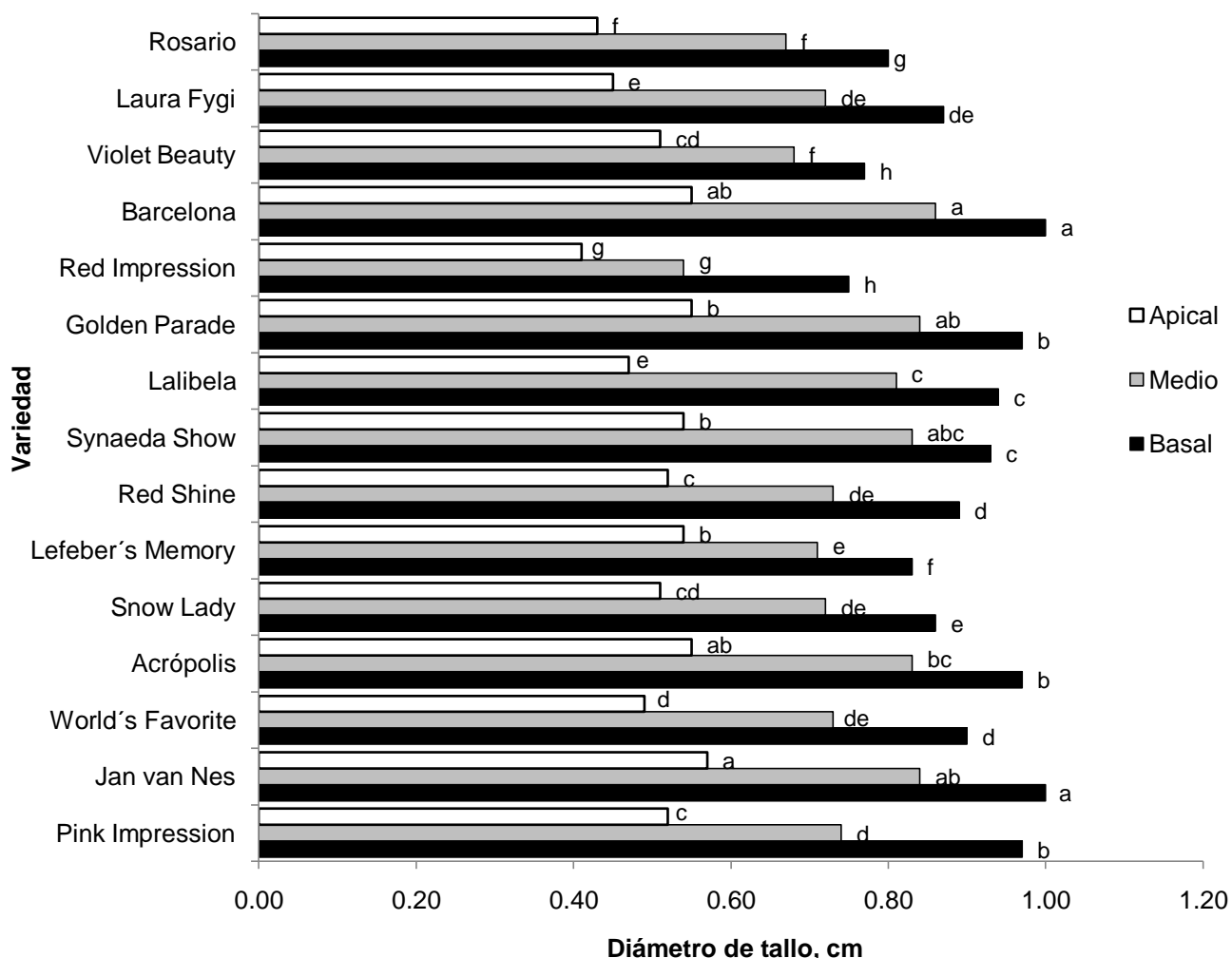


Figura 7. Diámetro de tallo apical, medio y basal en diferentes variedades de tulipán cultivadas bajo condiciones de invernadero. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

El diámetro basal más alto se encontró en Barcelona y Jan van Nes, con valores de 1 cm; mientras que el menor diámetro fue en Red Impression y Violet Beauty (0.75 y 0.77 cm, respectivamente). El mayor diámetro de tallo medio se mostró en las variedades Barcelona, Golden Parade, Lalibela, Synaeda Show, Acrópolis y Jan van Nes, oscilando entre 0.81 y 0.86 cm. El menor diámetro de tallo medio se registró en la variedad Red Impression (0.54 cm). Para el diámetro apical, destacó Jan van Nes (0.57 cm), seguida de Acrópolis, Lefeber's Memory, Red Shine, Synaeda Show, Golden

Parade y Barcelona con diámetros entre 0.52 a 0.55 cm. El diámetro apical más bajo se registró en la variedad Red Impression con 0.41 cm. Por lo tanto, en la variedad Jan van Nes el mayor engrosamiento del tallo pudo proporcionar una mayor estabilidad en la zona de unión entre el pedúnculo floral y la flor y disminuir la curvatura del tallo (Estrada *et al.*, 2003; Ramírez, 2006).

En general el diámetro de tallo basal, medio y apical promedio fue de 0.9, 0.75 y 0.51 cm, respectivamente. Diámetros similares en diferentes tratamientos con tulipán cv. Ile de France encontraron Osorio (2005) y Ramírez *et al.* (2010). Esta variable es de gran importancia en el manejo postcosecha, ya que generalmente se relaciona con la firmeza de tallo (Schiappacasse *et al.*, 2007).

6.2.3 Número de hojas

Al momento del corte el número de hojas por planta mostró diferencias significativas ocasionas por las variedades evaluadas. El número de hojas más alto se encontró en las variedades Laura Fygi y Barcelona con 3.8 y 3.7, respectivamente (Figura 8A). Un número máximo de hojas de 4.0 encontraron Fernández *et al.* (2003), en diferentes cultivares de tulipán. El mayor número de hoja en Barcelona y Laura Fygi se debió a la interacción positiva que presentaron estas variedades con el ambiente como lo sugiere Ahmed y Khurshid (2004). Acrópolis mostro el número de hojas más bajo. En las variedades restantes osciló entre 2.7 y 3.3 hojas por planta. (Figura 8A).

6.2.4. Longitud de hoja

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas en la longitud de hoja entre variedades y como resultado de la prueba de comparación de medias, se observa que la variedad Synaeda Show fue superior a las restantes con 34.0 cm, seguida de Snow Lady, Acrópolis y Golden Parade (Figura 8B). Las variedades Laura Fygi, Barcelona y Rosario tuvieron la menor longitud de hoja. En promedio la longitud de la hoja fue de 26.1 cm. Las diferencias entre las variedades se atribuyen a las características genéticas de cada cultivar. En geofitas el conocimiento de la diversidad genética puede contribuir a la producción de plantas que expresen un mejor crecimiento. La evaluación de la diversidad genética es necesario para la selección de genotipos que presenten nuevas características adaptativas y poder producir flores que cumplan con requisitos específicos del mercado (De Hertogh y Kamp, 1986).

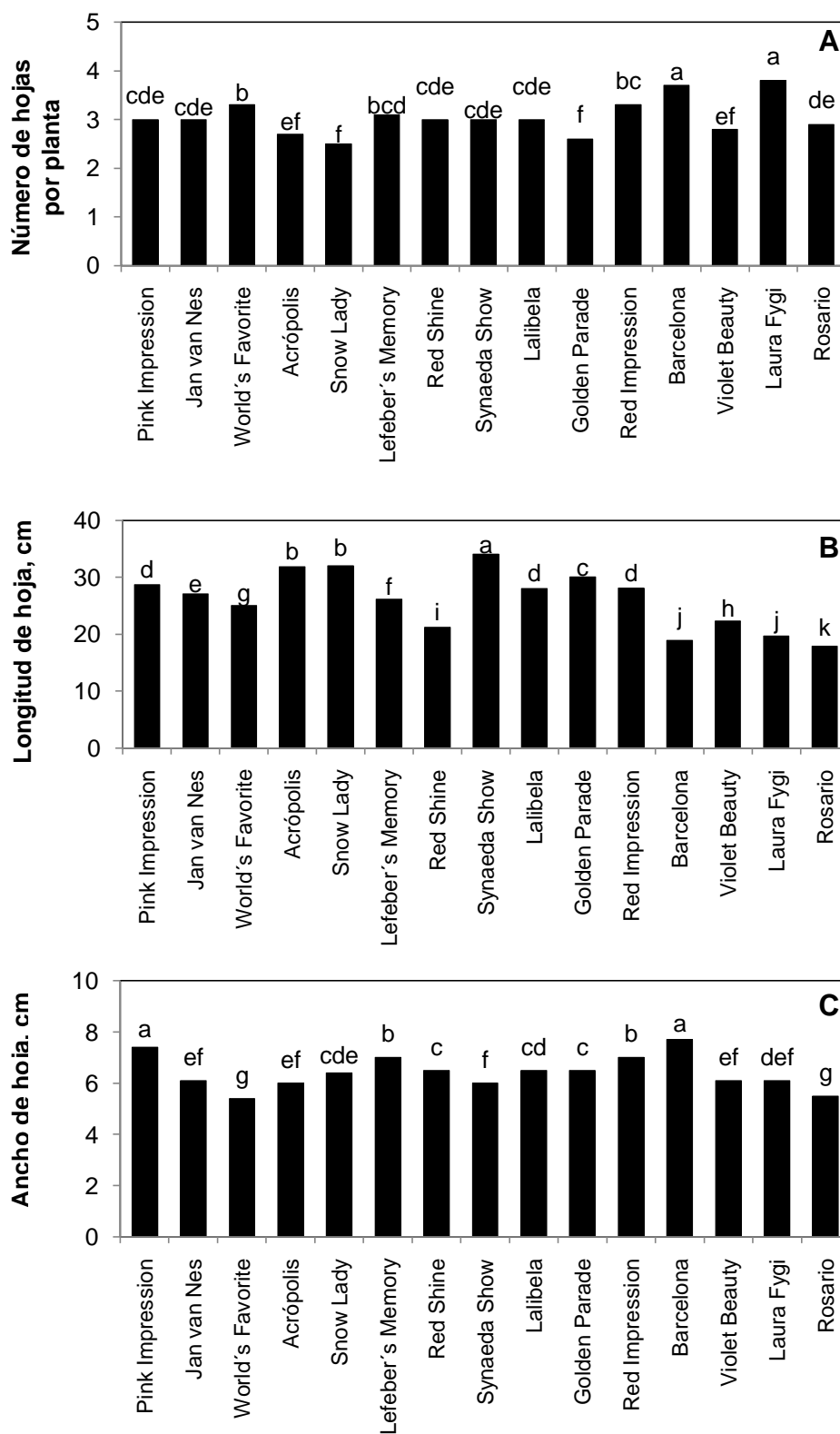


Figura 8. Número de hojas por planta (A), longitud de hoja (B) y ancho de hoja (C) en variedades de tulipán cultivadas bajo condiciones de invernadero. Barras con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.2.5. Ancho de hoja

El ancho de la hoja de las diferentes variedades presentó diferencias significativas, observando que los cultivares Barcelona, Pink Impression, Lefeber's Memory y Red Impression tuvieron los valores más altos de ancho de hoja con 7.7, 7.4, 7.0 y 7.0 cm, respectivamente. En contraste en World's Favorite y Rosario se encontraron los valores más bajos. En el resto de las variedades el ancho de hoja fue entre 6.0 y 6.5 cm (Figura 8C).

6.2.6. Firmeza de tallo

En general, encontramos una amplia variabilidad en la firmeza de tallo de cada una de las variedades, mostrándose diferencias significativas en diámetro basal, medio y apical (Figura 9).

Con respecto a la firmeza de tallo basal los valores más altos se encontraron en las variedades Lefeber's Memory, Red Impression, Violet Beauty y Pink Impression con 5.1, 5.0, 4.8 y 4.4 kg cm⁻², superando en más del 130% a las variedades World's Favorite y Rosario que mostraron la firmeza más baja. La firmeza del tallo medio fue mayor en Violet Beauty y Acrópolis con 4.2 y 4.9 kg cm⁻², respectivamente, considerándose como tallos muy duros. Golden Parade presentó la menor firmeza media, considerándose como tallo blando (1.6 kg cm⁻²). Para firmeza de tallo apical la variedad Synaeda Show presentó el valor más alto, seguida de Lefeber's Memory y Red Impression, siendo tallos muy duros en Synaeda Show y duros en Lefeber's Memory y Red Impression (4.2, 3.1 y 3.1 kg cm⁻², respectivamente). Las variedades restantes registraron valores que oscilaron entre 1.3 y 2.9 kg cm⁻².

La mayor firmeza de tallo puede asociarse a una mayor concentración de carbohidratos. Hartmann y Kester (1997) mencionan que aquellos que tienen una concentración baja de carbohidratos son suaves y flexibles, mientras que los más ricos son firmes y rígidos. Además, las variedades con una firmeza más alta, pudieron incrementar la absorción de K y Ca. El K incrementa el grosor de las paredes celulares y el Ca estabiliza la membrana celular y mejora la formación de pectatos de Ca, que incrementan la rigidez de la lámina media y la pared (Ramírez *et al.*, 2010). En promedio la firmeza de tallo apical, medio y basal fue de 3.42, 2.77 y 2.36 kg cm⁻², respectivamente. La firmeza es un parametro que nos permite identificar las variedades

que presentaron una mayor resistencia al corte, característica importante durante el transporte o vida en florero.

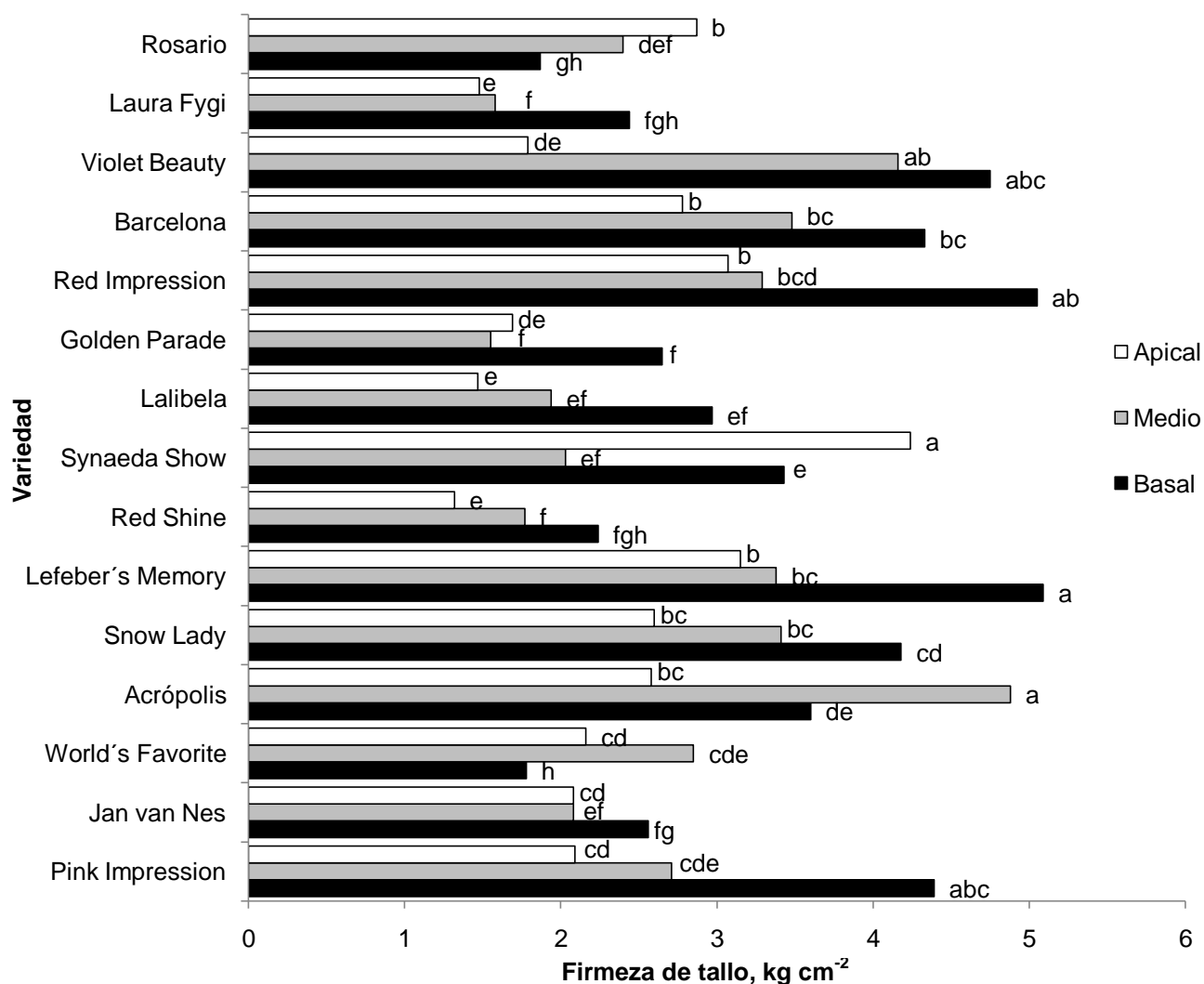


Figura 9. Firmeza de tallo apical, medio y basal en diferentes variedades de tulipán cultivadas bajo condiciones de invernadero. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.3. Variables de crecimiento, consumo de agua y vida en florero

6.3.1. Diámetro de capullo

6.3.1.1. Diámetro de capullo por efecto de la variedad

En el Cuadro 4 se muestran diferencias significativas entre variedades para el diámetro de capullo durante la vida de florero. El diámetro de capullo en todas las variedades se

incrementó a través del tiempo, presentando sus valores más altos a los 11 días después del corte (ddc). Las flores mantienen sus funciones fisiológicas aún después del corte, por tanto, el incremento de la apertura o diámetro de la flor se debe a una mayor tasa de expansión celular durante la vida en florero, disminuyendo a medida que se acerca la senescencia. Los valores más altos del diámetro de capullo a los 11 ddc, correspondieron a la variedad Acrópolis, seguida de Jan van Nes y Golden Parade. En contraste, el menor diámetro se tuvo en las variedades Red Impression y Snow Lady. El resto de los cultivares mostraron un diámetro de capullo que osciló entre 5.8 a 6.4 cm. Van Doorn y van Mesteren (2003), mencionan que la apertura floral depende de factores internos y externos incluyendo al genotipo. En promedio el diámetro de capullo a los 3, 5, 7, 9 y 11 ddc fue de 1.9, 3.6, 4.8, 5.8 y 6.3 cm, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Diámetro de capullo en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Diámetro de capullo, cm				
	-----ddc-----				
	3	5	7	9	11
Pink Impression	2.4a ^z	3.5e	4.4g	5.5g	6.0g
Jan van Nes	2.0d	4.3a	5.2bc	6.9b	7.9b
World's Favorite	2.3a	3.9b	5.3b	5.5g	5.8j
Acrópolis	2.1c	3.7cde	6.3a	7.5a	8.6a
Snow Lady	1.6h	3.0f	4.1h	5.2i	5.6k
Lefeber's Memory	1.6h	3.8bcd	4.6f	5.7f	6.3e
Red Shine	1.5i	2.3g	3.4i	5.0j	5.8j
Synaeda Show	1.8g	3.9bc	4.9d	6.1d	6.4d
Lalibela	1.8f	3.8bcd	4.8e	5.5g	5.9ij
Golden Parade	2.0cd	4.5a	5.4b	6.8c	7.1c
Red Impression	1.8ef	3.0f	4.2h	4.6k	5.4l
Barcelona	2.1cd	3.9b	5.1c	5.9e	6.2f
Violet Beauty	2.2b	3.8bcd	4.7ef	5.3h	5.9hi
Laura Fygi	1.7h	3.6de	4.7ef	5.5g	5.9ij
Rosario	1.9e	3.7bcde	4.6f	5.5g	6.0gh
Promedio	1.9	3.6	4.8	5.8	6.3
DMS_{0.05}	0.06	0.23	0.14	0.06	0.09

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.1.2. Diámetro de capullo por efecto de la solución preservadora

En la Figura 10, se observan las diferencias estadísticas significativas en el diámetro de capullo por efecto del factor solución preservadora. Los tallos tratados con LaCl₃ y

La(NO₃)₃ fueron los que registraron el mayor diámetro de capullo a los 9 y 11 ddc, (6.07 y 6.68 cm, respectivamente). A partir de los 7 ddc el tratamiento testigo mostró el menor diámetro de capullo. Así, a los 11 ddc el LaCl₃ superó al ácido ascórbico y al testigo en 7.4 y 13.2%. Estos resultados no coinciden con los reportados por Kim *et al.* (2005), quienes encontraron un menor diámetro de flor al adicionar 25 mM La³⁺ en diferentes variedades de tulipán. Las diferencias entre los estudios se asocian posiblemente a las dosis de La³⁺ utilizadas.

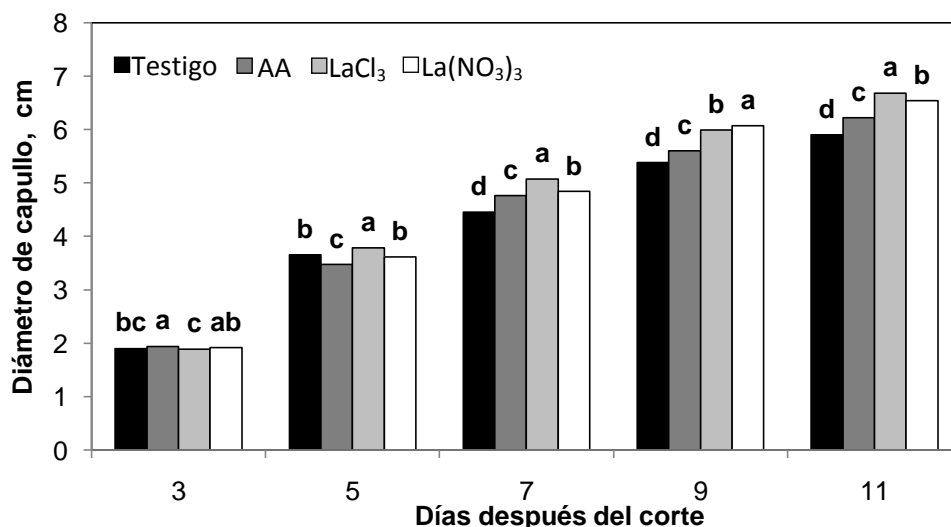


Figura 10. Diámetro de capullo de tulipán en postcosecha con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

6.3.1.3. Diámetro de capullo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

La interacción variedad x solución preservadora mostró diferencias significativas a los 3, 5, 7, 9 y 11 ddc. A los 3 y 5 ddc el mayor diámetro de capullo se encontró en World's Favorite con La(NO₃)₃ y Golden Parade con LaCl₃, respectivamente. Después de esta fecha y hasta los 11 ddc los mejores resultados se encontraron en la variedad Acrópolis con la solución preservadora de ácido ascórbico, LaCl₃ o La(NO₃)₃ (Cuadro 5).

Cuadro 5. Diámetro de capullo en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Diámetro de capullo, cm				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Pink Impression	Testigo	2.31ab ^z	3.28nopq	4.67jkl	5.10z	5.45yz
	AA	2.37ab	3.20nopq	4.12stuv	5.56qrs	5.76tuv
	LaCl ₃	2.43a	3.62klmn	4.27pqrs	5.59qrs	6.31lmno
	La(NO ₃) ₃	2.45a	3.82ghij	4.47mno	5.75nop	6.61ijk
Jan van Nes	Testigo	1.96jkl	4.47bcd	5.03ghi	7.32e	7.89e
	AA	2.03ghi	3.92ghij	4.80jkl	6.60fgh	7.96e
	LaCl ₃	1.93jkl	4.43bcd	5.31cde	6.72d	8.35d
	La(NO ₃) ₃	2.08def	4.37bcd	5.76b	6.89e	7.43f
World's Favorite	Testigo	2.34ab	3.93ghij	4.62mno	5.21xyz	5.56wxy
	AA	2.33ab	3.36nopq	5.63bc	5.66qrs	5.96pqrs
	LaCl ₃	2.34ab	4.34defg	5.53cde	5.73qrs	5.97pqrs
	La(NO ₃) ₃	2.38a	3.92ghij	5.38cde	5.37tuv	5.89pqrs
Acrópolis	Testigo	2.07def	3.64klmn	5.31efg	5.86nop	6.69ijk
	AA	2.13def	3.63klmn	6.50a	7.89b	8.73c
	LaCl ₃	2.00ghi	3.67klmn	6.81a	7.48c	9.70a
	La(NO ₃) ₃	2.07def	3.67klmn	6.43a	8.93a	9.47b
Snow Lady	Testigo	1.62uvw	3.89ghij	4.06stuv	4.16z	4.25z
	AA	1.66rst	3.63klmn	3.80stuv	4.80xyz	5.20yx
	LaCl ₃	1.67rst	2.47qrs	4.82jkl	5.89lmn	6.07pqrs
	La(NO ₃) ₃	1.60uvw	1.87qrs	3.92stuv	5.96lmn	6.94g
Lefebber's Memory	Testigo	1.50wxy	3.54klmn	4.21pqrs	5.65qrs	6.51ijk
	AA	1.83lmno	3.93ghij	4.74jkl	5.43tuv	6.31lmno
	LaCl ₃	1.47yz	3.96ghij	4.61mno	5.74qrs	6.14pqrs
	La(NO ₃) ₃	1.58wxy	3.94ghij	4.71jkl	6.10jkl	6.36lmno
Red Shine	Testigo	1.46yz	2.94nopq	3.47stuv	4.67xyz	5.48yz
	AA	1.50wxy	1.60s	3.27v	4.94xyz	5.96pqrs
	LaCl ₃	1.50wxy	2.10qrs	3.64stuv	5.34vwxy	6.24lmno
	La(NO ₃) ₃	1.48yz	2.64nopq	3.31v	4.97xyz	5.61wxy
Synaeda Show	Testigo	1.75rst	3.62klmn	4.81jkl	5.24xyz	5.50yz
	AA	1.76rst	3.87ghij	4.80jkl	5.99lmn	6.40lmno
	LaCl ₃	1.73rst	4.15defg	5.42cde	6.18jkl	6.64ijk
	La(NO ₃) ₃	1.77rst	3.78ghij	4.74jkl	6.98e	7.16g
Lalibela	Testigo	1.85lmno	2.44nopq	2.68w	3.87z	4.03z
	AA	1.82opq	3.61klmn	5.48cde	5.84nop	6.35lmno
	LaCl ₃	1.77rst	4.29defg	5.40cde	6.08jkl	6.34lmno
	La(NO ₃) ₃	1.82opq	4.69ab	5.56cde	6.19jkl	6.78hi

Cuadro 5. (Continuación).

Variedad	Solución	Diámetro de capullo, cm				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Golden Parade	Testigo	2.07def	4.19defg	5.21efg	6.53fgh	6.75hi
	AA	2.02ghi	3.85ghij	5.33cde	6.05jkl	6.44lmno
	LaCl ₃	2.03ghi	5.21a	5.62bc	7.32d	7.86e
	La(NO ₃) ₃	2.03ghi	4.72ab	5.29efg	7.26d	7.53f
Red Impression	Testigo	1.83lmno	3.40klmn	4.20pqrs	4.54z	5.27yz
	AA	1.83lmno	2.60nopq	3.84stuv	4.28z	5.34yz
	LaCl ₃	1.81opq	3.79ghij	4.75jkl	5.15xyz	5.66wxy
	La(NO ₃) ₃	1.85lmno	2.16qrs	4.11stuv	4.54z	5.43yz
Barcelona	Testigo	2.04ghi	4.22defg	4.90ghi	5.28vwxy	5.65wxy
	AA	2.09def	3.78ghij	4.64mno	5.45tuv	5.75tuv
	LaCl ₃	2.05ghi	3.86ghij	5.69b	6.38hi	6.78hi
	La(NO ₃) ₃	2.06def	3.71ghij	5.30efg	6.34hi	6.63ijk
Violet Beauty	Testigo	2.21bcd	3.87ghij	4.37mno	5.75nop	6.80hi
	AA	2.22bcd	3.92ghij	4.89ghi	5.06z	5.90pqrs
	LaCl ₃	2.20bcd	3.73ghij	4.77jkl	5.23xyz	5.70tuv
	La(NO ₃) ₃	2.2bcd	3.76ghij	4.75jkl	5.16xyz	5.34yz
Laura Fygi	Testigo	1.65rst	3.83ghij	4.77jkl	5.85nop	6.47lmno
	AA	1.64uvw	3.46klmn	4.83jkl	5.38vwxy	5.85pqrs
	LaCl ₃	1.63uvw	3.48klmn	4.68jkl	5.31vwxy	5.78tuv
	La(NO ₃) ₃	1.68rst	3.71ghij	4.48mno	5.29vwxy	5.47yz
Rosario	Testigo	1.88jkl	3.56klmn	4.45mno	5.68qrs	6.24lmno
	AA	1.90jkl	3.74ghij	4.74jkl	5.14xyz	5.43yz
	LaCl ₃	1.86lmno	3.80ghij	4.74jkl	5.83nop	6.80hi
	La(NO ₃) ₃	1.88jkl	3.57klmn	4.50mno	5.25vwxy	5.58wxy
DMS_{0.05}		0.16	0.60	0.38	0.15	0.22

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano, ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.2. Longitud de capullo

6.3.2.1. Longitud de capullo por efecto de la variedad

En el parámetro longitud de capullo (Cuadro 6) se observaron diferencias estadísticas significativas por variedad estudiada durante la vida en florero. En todas la variedades la longitud de capullo se incrementó de los 3 a los 11 ddc, observándose las mayores

tasas de elongación de los 3 a los 5 ddc, resultados que coinciden con Benschop y De Hertogh (1971), quienes encontraron en tulipán una mayor tasa de elongación de pétalos en los primeros días en postcosecha. Así, a los 11 ddc Acrópolis, Jan van Nes y Golden Parade fueron las variedades con la mayor longitud de capullo y la menor longitud se tuvo en Red Shine y Violet Beauty. Benschop y De Hertogh (1971) señalan una longitud de capullo el final de la vida de florero de diferentes cultivares de tulipán entre 6.4 y 8.6 cm.

Cuadro 6. Longitud de capullo en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Longitud de capullo, cm				
	-----ddc-----				
	3	5	7	9	11
Pink Impression	3.8ab ^z	4.7bc	5.8c	6.8bc	7.6de
Jan van Nes	3.6ef	5.3a	7.1a	7.8a	8.5b
World's Favorite	3.5fg	4.3efg	5.6cd	6.5cde	7.4de
Acrópolis	3.2i	5.5a	6.3b	7.5a	8.8a
Snow Lady	3.4hg	4.3fg	4.8f	5.4fg	6.4h
Lefeber's Memory	3.6de	4.6cdef	5.5d	6.4de	7.4e
Red Shine	3.7cde	4.3g	4.8f	5.3g	5.8j
Synaeda Show	3.7bcde	4.8bc	5.5d	6.2e	6.7g
Lalibela	3.8abc	5.2a	6.2b	6.9b	7.7d
Golden Parade	3.9a	5.4a	6.5b	7.5a	8.2c
Red Impression	3.5fg	4.6bcde	5.2e	5.7f	6.3h
Barcelona	3.7abcd	4.9b	5.6cd	6.3de	6.9fg
Violet Beauty	3.3hi	4.4defg	5.0ef	5.5fg	6.0ij
Laura Fygi	3.7bcde	4.7bcd	5.8c	6.6cd	7.1f
Rosario	3.2i	4.1g	4.9f	5.5fg	6.1hi
Promedio	3.6	4.7	5.6	6.4	7.1
DMS_{0.05}	0.13	0.16	0.15	0.17	0.13

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.2.2. Longitud de capullo por efecto de la solución preservadora

La Figura 11 muestra los resultados de longitud de capullo por efecto de la solución preservadora. A los 3 ddc no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, éstas se registraron a partir de los 5 y hasta los 11 ddc. La solución preservadora con La³⁺, con ambas fuentes, mostraron la mayor longitud de capullo a los 9 ddc. A los 11 ddc el uso de LaCl₃ en la solución del florero superó a los tratamientos restantes, presentando una longitud de capullo de 7.4 cm, mientras que

con ácido ascórbico y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ fue de 7 y 7.2 cm, respectivamente. El testigo registró la menor longitud de capullo.

El mayor diámetro y longitud en las flores con La^{3+} y ácido ascórbico se debió posiblemente a que estos compuestos favorecieron el cierre estomático, disminuyendo la pérdida de agua por transpiración y simultáneamente la respiración (Barceló *et al.*, 2001; leamtin *et al.*, 2008).

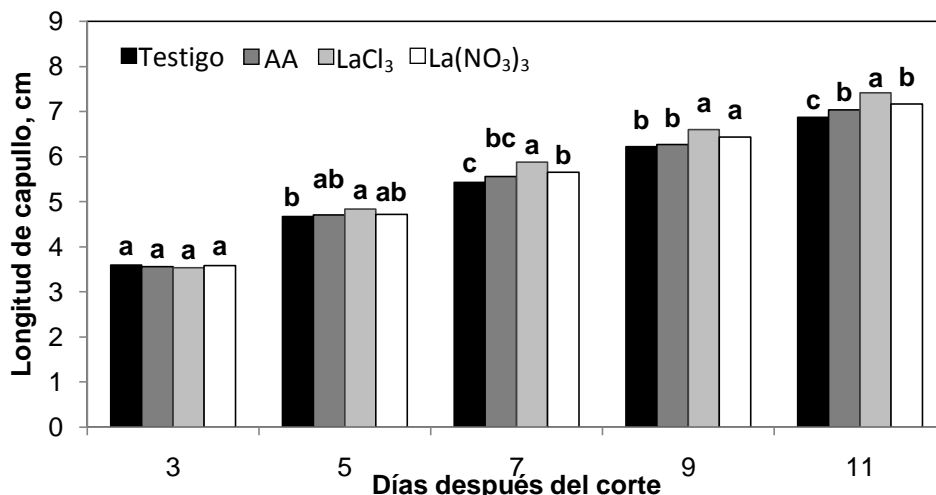


Figura 11. Longitud de capullo de tulipán en postcosecha con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.3.2.3. Longitud de capullo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

La interacción entre los factores de estudio mostró diferencias significativas (Cuadro 7). La variedad Lalibela con solución preservadora de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ mostró la mayor longitud de capullo a los 3 y 5 ddc. En estas mismas fechas los valores más bajos correspondieron a la variedad Acrópolis y Rosario, ambas con agua como solución preservadora (testigo). Después de los 5 ddc, el LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en la variedad Jan van Nes mostró la mayor elongación de capullo. La menor longitud se encontró en el testigo con la variedad Rosario (Cuadro 7).

Cuadro 7. Longitud de capullo en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Longitud de capullo, cm				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Pink Impression	Testigo	3.9abc ^z	4.6jkl	5.7lmn	7.1fgh	7.4ijk
	AA	3.9abc	5.6ab	6.3de	7.2cde	8.1def
	LaCl ₃	3.9abc	4.5jkl	5.8lmn	6.5opq	7.5ijk
	La(NO ₃) ₃	3.7cde	4.1pqr	5.4opq	6.3opq	7.4ijk
Jan van Nes	Testigo	3.7cde	5.6ab	6.9bc	7.9ab	8.4def
	AA	3.5hijk	5.2def	7.1ab	7.3cde	8.5cd
	LaCl ₃	3.6fgh	5.1def	6.9bc	7.8ab	9.4a
	La(NO ₃) ₃	3.6fgh	5.3cd	7.3a	8.2a	9.0b
World's Favorite	Testigo	3.5hijk	4.3mno	5.4opq	6.7ijk	7.2ijk
	AA	3.6fgh	4.3mno	5.5opq	6.5opq	7.1lmn
	LaCl ₃	3.4lmno	4.3mno	5.6lmn	6.1rst	7.5ijk
	La(NO ₃) ₃	3.5hijk	4.4jkl	5.9ijk	6.6lmn	7.8fgh
Acrópolis	Testigo	3.0o	5.6ab	6.2fgh	6.9fgh	8.4def
	AA	3.2no	5.4b	6.1ijk	7.1fgh	8.5cd
	LaCl ₃	3.3lmno	5.3b	6.4de	6.9fgh	9.4a
	La(NO ₃) ₃	3.2no	5.6ab	6.6de	7.3cde	9.0b
Snow Lady	Testigo	3.3lmno	4.1pqr	4.7yz	5.2xy	6.4opq
	AA	3.5hijk	4.7ghi	4.6yz	5.1xy	6.8lmn
	LaCl ₃	3.3lmno	4.3mno	5.0uvw	5.7vwx	6.4opq
	La(NO ₃) ₃	3.9abc	4.6jkl	5.7lmn	7.1fgh	7.4ijk
Lefeber's Memory	Testigo	3.7cde	4.6jkl	5.7lmn	6.6lmn	7.2ijk
	AA	3.6fgh	4.2mno	5.4opq	6.2rst	7.7fgh
	LaCl ₃	3.6fgh	4.7ghi	5.4opq	6.5opq	7.3ijk
	La(NO ₃) ₃	3.6fgh	4.8def	5.4opq	6.4opq	7.2ijk
Red Shine	Testigo	3.7cde	4.2mno	4.4yz	4.8z	5.1x
	AA	3.8cde	4.0stu	4.3yz	5.0xy	5.5w
	LaCl ₃	3.6fgh	4.5jkl	5.2rst	5.6vwx	6.4opq
	La(NO ₃) ₃	3.6fgh	4.4jkl	5.1uvw	5.7vwx	6.0tuv
Synaeda Show	Testigo	3.7cde	4.7ghi	5.2rst	5.9tuv	6.4opq
	AA	3.8cde	4.8def	5.3rst	6.1rst	6.6opq
	LaCl ₃	3.7fgh	5.1def	6.2fgh	6.7ijk	7.5ijk
	La(NO ₃) ₃	3.7cde	4.4jkl	5.1uvw	5.9tuv	6.3rst
Lalibela	Testigo	3.8cde	4.2mno	4.8wxy	5.4xy	8.4def
	AA	3.6hijk	5.3cd	6.7c	7.0fgh	8.1def
	LaCl ₃	3.6fgh	5.4b	6.9bc	7.7bc	8.6cd
	La(NO ₃) ₃	4.1a	6.0a	6.6de	7.5c	8.8bc

Cuadro 7. (Continuación).

Variedad	Solución	Longitud de capullo, cm				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Golden Parade	Testigo	3.9abc	5.4b	6.2fgh	7.3cde	6.7lmn
	AA	3.9abc	5.4b	6.3fgh	7.3cde	7.2ijk
	LaCl ₃	3.9ab	5.4b	7.3ab	8.0a	7.3ijk
	La(NO ₃) ₃	3.8abc	5.3cd	6.3fgh	7.4cde	7.1lmn
Red Impression	Testigo	3.5hijk	4.8def	5.3rst	5.9tuv	6.5opq
	AA	3.4lmno	4.0stu	4.5yz	4.8z	5.6tuv
	LaCl ₃	3.5hijk	4.8def	5.7lmn	6.2rst	6.7lmn
	La(NO ₃) ₃	3.5hijk	4.8def	5.2rst	5.9tuv	6.5opq
Barcelona	Testigo	3.7cde	4.6jkl	5.3rst	6.0rst	6.7lmn
	AA	3.8cde	4.9def	5.5opq	6.1rst	6.7lmn
	LaCl ₃	3.7fgh	5.2cd	6.0ijk	6.5opq	6.9lmn
	La(NO ₃) ₃	3.8abc	4.8def	5.8lmn	6.6lmn	7.1lmn
Violet Beauty	Testigo	3.2lmno	4.9def	5.4opq	5.9tuv	6.4opq
	AA	3.3lmno	4.3mno	4.9uvw	5.5vwx	6.1rst
	LaCl ₃	3.4lmno	4.3mno	4.8wxy	5.2xy	5.6tuv
	La(NO ₃) ₃	3.3lmno	4.2mno	4.8wxy	5.2xy	6.0tuv
Laura Fygi	Testigo	3.7cde	4.6jkl	5.6lmn	6.2rst	7.9fgh
	AA	3.8abc	4.7ghi	6.1ijk	6.7ijk	7.9fgh
	LaCl ₃	3.6fgh	4.7ghi	5.8lmn	6.8ijk	8.7bc
	La(NO ₃) ₃	3.6fgh	4.7ghi	5.8lmn	6.6lmn	8.1def
Rosario	Testigo	3.2lmno	3.9u	4.6yz	5.2xy	5.8tuv
	AA	3.2lmno	4.0stu	4.8wxy	5.5vwx	6.1rst
	LaCl ₃	3.1no	4.7ghi	5.3rst	6.1rst	6.6opq
	La(NO ₃) ₃	3.2lmno	4.0stu	4.7yz	5.2xy	6.0tuv
DMS_{0.05}		0.35	0.42	0.40	0.42	0.35

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano, ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.3. Forma de capullo

6.3.3.1. Forma de capullo por efecto de la variedad

A través de la vida en florero las variedades evaluadas mostraron las tres formas de capullo presentadas en la Figura 1: copa (0–30°), semicopa (31–45°) y completamente abierto (>45°). En el Cuadro 8, se observa que la forma del capullo como característica cualitativa, presentó variaciones a medida que se acercó la senescencia floral. A los 5 ddc, Acrópolis y Golden Parade mostraron la flor completamente abierta, ambas con

48°, en contraste con Pink Impression, Lalibela, Violet Beauty, Laura Fygi y Rosario que presentaron una forma de capullo de copa (entre 25 y 30°). En las variedades restantes se observó la forma de semicopa. Para los 10 ddc, la mayoría de las variedades registraron una forma de capullo completamente abierta con valores superiores a los 45°. Laura Fygi y Rosario mantuvieron una forma de semicopa, mientras que la variedad Red Impression, al igual que en los 5ddc presentaba forma de copa (22°). Finalmente en el último día en florero fue diferente para cada variedad, observándose que Pink Impression, Jan van Nes, World’s Favorite, Acrópolis, Lefeber’s Memory, Red Shine, Lalibela y Golden Parade, mostraban la flor completamente abierta. En algunas variedades, el grado de apertura disminuyó con relación al día 10, tal es el caso de Snow Lady, Synaeda Show, Barcelona y Violet Beauty que cambiaron de flor completamente abierta a semicopa. Laura Fygi y Rosario mostraron la misma forma de capullo en el día 10 y el último día en florero. Red impresión se comportó como una variedad que a través de la vida en florero mostró la misma forma de capullo (Cuadro 8). La forma de capullo es un factor importante en la selección de las variedades de tulipán, en algunas ocasiones no es tan importante una forma específica, sino que esta forma sea constante durante la vida en florero (Benschop y De Hertogh, 1971).

Cuadro 8. Forma de capullo en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Forma de capullo		
	5 ddc	10 ddc	Último día en florero
Pink Impression	C (26)	CA (47)	CA (47)
Jan van Nes	SC (40)	CA (53)	CA (53)
World’s Favorite	SC (36)	CA (52)	CA (52)
Acrópolis	CA(48)	CA (57)	CA (57)
Snow Lady	SC (40)	CA (53)	SC (33)
Lefeber’s Memory	SC(35)	CA (53)	CA (53)
Red Shine	SC(41)	CA (53)	CA (53)
Synaeda Show	SC (31)	CA (48)	SC (35)
Lalibela	C (25)	CA (48)	CA (48)
Golden Parade	CA (48)	CA (55)	CA (55)
Red Impression	C (16)	C (22)	C (22)
Barcelona	SC (37)	CA (53)	SC (39)
Violet Beauty	C (25)	CA (48)	SC (35)
Laura Fygi	C (28)	SC (37)	SC (33)
Rosario	C (30)	SC (41)	SC (39)

ddc: días después del corte. C: copa, SC: semicopa, CA: completamente abierta. Números entre paréntesis son los grados de apertura.

6.3.3.2. Forma de capullo por efecto de la solución preservadora

La forma de capullo en postcosecha mostró diferencias entre las soluciones preservadoras (Cuadro 9). A los 5 ddc, el tratamiento testigo mostró la menor apertura, ya que la forma de capullo fue de copa (23°), mientras que en las restantes fue de semicopa (entre 32 y 36°). Para los 10 ddc, el testigo y las soluciones preservadoras con ácido ascórbico y La(NO₃)₃ presentaron una forma de semicopa. Con LaCl₃, el capullo estaba completamente abierto. En el último día en florero (9, 9.5, 12 y 13 ddc para el testigo, ácido ascórbico, LaCl₃ y La(NO₃)₃, respectivamente), la forma de capullo en todos los tratamientos fue de semicopa (Cuadro 9).

Cuadro 9. Forma de capullo en tulipán por efecto de la solución preservadora.

Solución	Forma de capullo		
	5 ddc	10 ddc	Último día en florero
Testigo	C (23)	SC (42)	SC (42)
AA	SC (32)	SC (45)	SC (45)
LaCl ₃	SC (36)	CA (49)	SC (43)
La(NO ₃) ₃	SC(34)	SC (45)	SC (40)

AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y (LaNO₃)₃: nitrato de lantano, ddc: días después del corte. ddc: días después del corte. C: copa, SC: semicopa, CA: completamente abierta. Números entre paréntesis son los grados de apertura. Números entre paréntesis son los grados de apertura.

6.3.3.3. Forma de capullo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

Durante los primeros cinco días después del corte se observó principalmente una forma de capullo de copa y semicopa. Los tratamientos de ácido ascórbico, LaCl₃ y La(NO₃)₃ en las variedades Acrópolis y Golden Parade provocaron una rápida apertura de la flor, ya que se encontró una forma de capullo completamente abierto (> 45°), en contraste con el testigo que mostroó forma de copa (21°, para ambas variedades). A los 10 ddc la mayoría de los tratamientos presentaron la flor completamente abierta, con excepción del testigo y ácido ascórbico en Synaeda Show, Lalibela, Violet Beauty y Laura Fygi que mostraron una forma de capullo de semicopa. En todos los tratamientos de Red Impresión se registró una forma de copa, que se prolongó hasta el último día en florero. En esta etapa, algunos tratamientos presentaron una disminución en el grado de apertura en comparación con el que se encontró a los 10 ddc, por ejemplo, en todas las

soluciones preservadoras de la variedad Barcelona se encontró un capullo completamente abierto a los 10 ddc y en el último fue de semicopa (Cuadro 10).

Cuadro 10. Forma de capullo en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	-----Forma de capullo-----		
		5 ddc	10 ddc	Último día en florero
Pink Impression	Testigo	C (17)	SC (32)	SC (32)
	AA	C (20)	CA (51)	CA (51)
	LaCl ₃	SC (36)	CA (54)	CA (54)
	La(NO ₃) ₃	C (30)	CA (52)	CA (52)
Jan van Nes	Testigo	SC (38)	CA (47)	CA (47)
	AA	SC (42)	CA (55)	CA (55)
	LaCl ₃	SC (43)	CA (56)	CA (56)
	La(NO ₃) ₃	SC (38)	CA (52)	SC (47)
World's Favorite	Testigo	SC (36)	CA (47)	CA (47)
	AA	SC (34)	CA (53)	CA (53)
	LaCl ₃	SC (37)	CA (54)	CA (54)
	La(NO ₃) ₃	SC (36)	CA (52)	CA (52)
Acropolis	Testigo	C (21)	SC (42)	SC (42)
	AA	CA (61)	CA (66)	CA (66)
	LaCl ₃	CA (55)	CA (63)	CA (63)
	La(NO ₃) ₃	CA (54)	CA (58)	CA (58)
Snow Lady	Testigo	SC (38)	CA (47)	CA (47)
	AA	SC (42)	CA (55)	SC (45)
	LaCl ₃	SC (43)	CA (56)	CA(48)
	La(NO ₃) ₃	SC (38)	CA (52)	SC (38)
Lefeber's Memory	Testigo	C (24)	CA (47)	CA (47)
	AA	SC (38)	CA (55)	CA (55)
	LaCl ₃	SC (35)	CA (56)	CA (56)
	La(NO ₃) ₃	SC (43)	CA (52)	CA (52)
Red Shine	Testigo	SC (32)	CA (47)	CA (47)
	AA	SC (42)	CA (55)	CA (55)
	LaCl ₃	CA (48)	CA (56)	CA (56)
	La(NO ₃) ₃	SC (43)	CA (52)	CA (52)
Synaeda Show	Testigo	C (23)	SC (35)	SC (35)
	AA	C (30)	SC (45)	SC (45)
	LaCl ₃	SC (36)	CA (53)	SC (38)
	La(NO ₃) ₃	SC (36)	CA (58)	SC (32)

Cuadro 10. (Continuación).

Variedad	Solución	Forma de capullo		
		5 ddc	10 ddc	Último día en florero
Lalibela	Testigo	C (19)	SC (36)	SC (36)
	AA	SC (33)	SC (45)	SC (45)
	LaCl ₃	C (22)	CA (53)	CA (53)
	La(NO ₃) ₃	C (26)	CA (58)	CA (58)
Golden Parade	Testigo	C (21)	CA (59)	CA (59)
	AA	CA (61)	SC (44)	SC (44)
	LaCl ₃	CA (55)	CA (61)	CA (61)
	La(NO ₃) ₃	CA (54)	CA (54)	CA (54)
Red Impression	Testigo	C (13)	C (17)	C (17)
	AA	C (24)	C (26)	C (26)
	LaCl ₃	C (17)	C (24)	C (24)
	La(NO ₃) ₃	C (10)	C (21)	C (21)
Barcelona	Testigo	C (24)	CA (47)	SC (38)
	AA	SC (38)	CA (55)	SC (37)
	LaCl ₃	SC (42)	CA (56)	SC (42)
	La(NO ₃) ₃	SC (42)	CA (52)	SC (41)
Violet Beauty	Testigo	C (19)	SC (45)	SC (40)
	AA	SC (34)	SC (45)	CA (57)
	LaCl ₃	C (23)	CA (52)	SC (40)
	La(NO ₃) ₃	C (23)	CA (48)	SC (44)
Laura Fygi	Testigo	C (21)	SC (42)	C (30)
	AA	C (26)	SC (44)	C (33)
	LaCl ₃	SC (36)	SC (37)	C (30)
	La(NO ₃) ₃	C (30)	C (25)	SC 40
Rosario	Testigo	C (20)	SC (45)	SC 31
	AA	C (19)	SC (33)	SC 37
	LaCl ₃	SC (38)	SC (44)	CA (46)
	La(NO ₃) ₃	SC (42)	SC (42)	SC (42)

AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano, ddc: días después del corte. C: copa, SC: semicopa, CA: completamente abierta. Números entre paréntesis son los grados de apertura.

6.3.4. Longitud de tallo floral

6.3.4.1. Longitud de tallo floral por efecto de la variedad

En el Cuadro 11, se observa que la elongación del tallo en postcosecha mostró diferencias estadísticas significativas entre variedades, lo cual demuestra que cada

cultivar tiene un comportamiento en el crecimiento distinto, debido posiblemente a la concentración de fitohormonas que presenta cada variedad o bien a la actividad de las mismas. Hanks y Menhenett (1983), encontraron en cultivares de tulipán Apeldoorn, Paul Richter y Rose Copland diferencias en la longitud del tallo, donde la elongación del tallo se asocio a una mayor concentración y actividad de las giberelinas. Además, una mayor concentración de giberelinas aumentó el transporte de auxinas y mejoraron la biosíntesis de las mismas (Saniewski y Miszczak, 1992).

Así, a los 3, 5, 7, 9 y 11 dcc la variedad Acrópolis mostró la mayor elongación de tallo. La longitud de tallo más baja se encontró en Rosario. A los 11 ddc, Acrópolis registró una longitud del tallo de 60.6 cm, seguida de Synaeda Show, World’s Favorite y Jan van Nes. Las variedades con menor longitud de tallo fueron Rosario y Red Shine. En promedio la longitud del tallo fue de 39.9, 43.2, 46.3, 49.6, 51.8 cm a los 3, 5, 7, 9 y 11 ddc (Cuadro 11).

Cuadro 11. Longitud de tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Longitud de tallo, cm				
	-----ddc-----				
	3	5	7	9	11
Pink Impression	38.1i ^z	41.9g	46.4g	49.8h	53.1d
Jan van Nes	41.0f	47.7c	52.2c	55.0c	56.8c
World’s Favorite	46.5b	49.9b	52.6c	55.0c	57.1c
Acrópolis	50.2a	52.8a	55.8a	58.5a	60.6a
Snow Lady	44.1d	47.9c	51.7d	55.3d	56.8d
Lefeber’s memory	40.1g	43.1f	46.0g	49.1i	51.9g
Red Shine	39.0h	39.6h	40.0i	40.5l	41.6k
Synaeda Show	46.0c	49.9b	53.1b	56.1b	59.6b
Lalibela	42.0e	45.5d	48.5f	51.1g	54.1e
Golden Parade	41.1f	44.6e	48.6f	56.7f	55.4c
Red Impression	46.1c	48.1c	50.2e	54.8e	55.8e
Barcelona	35.1j	37.2i	38.6j	40.3l	42.1j
Violet Beauty	33.0k	35.9j	38.6j	41.7k	44.3i
Laura Fygi	31.1l	36.2j	40.9h	45.0j	49.8h
Rosario	25.1m	28.6k	31.7k	35.1m	38.2l
Promedio	39.9	43.2	46.3	49.6	51.8
DMS_{0.05}	0.29	0.58	0.41	0.47	0.48

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.4.2. Longitud de tallo floral por efecto de la solución preservadora

La longitud de tallo se incrementó durante la vida en florero, independientemente de los tratamientos (Figura 12). Se observó que la aplicación de LaCl_3 , $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y ácido ascórbico incrementó la longitud del tallo en comparación con el testigo. Así, a los 5, 7, 9 y 11 ddc se observó la mayor longitud del tallo con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, superando al testigo en 5.4, 8.1, 9.2 y 10.3% y a la solución preservadora con ácido ascórbico en 2.0, 3.5, 4.5 y 5.7%, respectivamente. Kim *et al.* (2005), encontraron una respuesta diferente, ya que con 2.5 mM LaCl_3 se inhibió la elongación del tallo; sin embargo en perrito (*Antirrhinum majus* L.) y jacinto (*Hyacinthus* spp), la aplicación de La^{3+} favoreció el crecimiento del tallo floral (Brown *et al.*, 1990; Friedman *et al.*, 1998). Por otra parte, Pignocchi y Foyer (2003) mencionan que el ácido ascórbico tiene un papel importante en el crecimiento de las plantas, ya que interviene en la división celular y en la expansión de la pared celular. Torraf *et al.* (1999), señalan que el ascorbato localizado fuera de la pared celular y la ascorbato peroxidasa de la pared celular estimulan el crecimiento; una concentración alta de esta última se asocia con una rápida expansión celular.

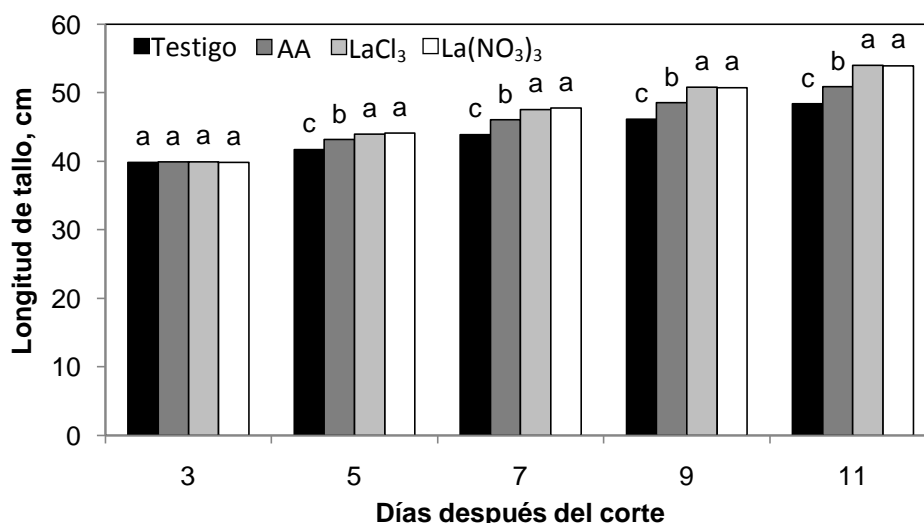


Figura 12. Longitud de tallo floral de tulipán en postcosecha con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.3.4.3. Longitud de tallo floral por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

La mayor longitud de tallo a los 5 ddc se registró en la variedad Acrópolis, independientemente del tratamiento, con valores que oscilaron entre 49.9 y 50.8 cm.

Esta variedad presentó en las siguientes fechas de muestreo la mayor longitud del tallo con LaCl_3 y/o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. Todas las soluciones preservadoras en la variedad Rosario registraron la longitud de tallo más baja a los 3, 5, 7, 9 y 11 ddc (Cuadro 12).

Cuadro 12. Longitud de tallo floral en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Longitud de tallo, cm				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Pink Impression	Testigo	38.0p ^z	39.2stu	40.7uv	42.8stu	52.3rst
	AA	38.1mno	41.8pqr	46.1pq	50.2no	55.0lmn
	LaCl_3	38.0p	42.9pqr	50.1ijk	55.0ghi	60.0c
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	38.1mno	43.6nop	48.7l	51.3lm	55.8lmn
Jan van Nes	Testigo	41.2jkl	44.6nop	48.4l	51.7lm	54.5opq
	AA	41.3ghi	48.0hij	50.7ijk	53.3ijk	54.5opq
	LaCl_3	41.4ghi	49.2efg	55.0c	57.0de	58.4fgh
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40.2jkl	48.8hij	54.6d	58.1cd	59.8cde
World's Favorite	Testigo	46.6c	49.0hij	51.3ghi	54.0ijk	56.0ijk
	AA	46.7c	49.1efg	51.4ghi	52.7ijk	54.4opq
	LaCl_3	46.7c	51.2cd	53.5def	57.4de	59.5cde
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	45.9cde	50.2de	54.1def	55.9f	58.3fgh
Acropolis	Testigo	50.0b	51.3cd	53.3def	55.2f	57.8fgh
	AA	49.9b	53.0a	55.8bc	58.4bc	54.6cde
	LaCl_3	50.8a	54.0a	57.7a	61.3a	63.3a
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	49.9b	53.0a	56.3b	59.1b	61.5b
Snow Lady	Testigo	44.2f	45.4klm	47.2mno	48.7p	54.3opq
	AA	44.0f	51.0cd	55.8bc	58.0cd	54.6lmn
	LaCl_3	43.9f	46.9klm	52.0ghi	54.8ghi	55.4lmn
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	44.2f	48.2hij	51.8ghi	54.7ghi	57.2ijk
Lefeber's Memory	Testigo	39.9mno	42.1pqr	44.5pq	46.4qr	48.2x
	AA	40.1jkl	43.1pqr	46.2mno	48.8p	51.0uvw
	LaCl_3	40.1jkl	44.1nop	47.2mno	52.0lm	55.7lmn
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	40.2jkl	43.2pqr	46.3mno	49.0p	52.4rst
Red Shine	Testigo	38.9mno	39.0stu	39.3uv	39.5vwx	39.8z
	AA	38.8mno	39.1stu	39.3uv	39.5vwx	40.3z
	LaCl_3	39.2mno	41.1stu	41.8rst	42.5stu	44.0y
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	38.9mno	39.3stu	39.8uv	40.6vwx	42.4y
Synaeda Show	Testigo	46.0cde	47.2klm	49.2ijk	51.2no	53.9opq
	AA	46.1cde	49.3efg	53.2def	56.0f	58.4fgh
	LaCl_3	46.1cde	52.3b	56.0bc	58.4bc	63.0a
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	45.9e	50.6de	54.0def	58.8bc	63.0a

Cuadro 12. (Continuación).

Variedad	Solución	Longitud de tallo, cm				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Lalibela	Testigo	41.9ghi	43.5nop	45.3pq	47.3qr	50.1uvw
	AA	41.9ghi	45.4klm	48.7l	52.0lm	54.0opq
	LaCl ₃	42.1ghi	46.1klm	49.2ijk	50.5no	53.8opq
	La(NO ₃) ₃	42.1ghi	46.8klm	50.9ijk	54.7ghi	58.6cde
Golden Parade	Testigo	41.1jkl	43.1pqr	48.2mno	51.7lm	51.1uvw
	AA	41.1jkl	43.0pqr	46.6mno	50.4no	59.7cde
	LaCl ₃	40.8jkl	44.6nop	48.5l	51.9lm	59.1cde
	La(NO ₃) ₃	41.2jkl	47.7hij	51.0ghi	54.0ijk	57.3fgh
Red Impression	Testigo	46.1cde	47.3hij	48.2mno	50.4no	51.5rst
	AA	46.1cde	48.0hij	49.9ijk	51.6	53.2rst
	LaCl ₃	46.1cde	47.7hij	51.0ghi	54.4ghi	58.7cde
	La(NO ₃) ₃	46.1	49.2efg	51.8ghi	54.1ijk	56.1ijk
Barcelona	Testigo	34.9q	35.4xyz	36.3x	37.7yz	39.9z
	AA	35.3q	36.8vwx	37.9w	38.7yz	41.1z
	LaCl ₃	35.1q	37.5stu	39.2uv	41.2vwx	42.4y
	La(NO ₃) ₃	35.2q	38.9stu	41.1rst	43.6stu	45.1y
Violet Beauty	Testigo	32.9r	34.3z	36.2x	38.4yz	40.4z
	AA	33.1r	35.1xyz	37.3w	39.9	41.8z
	LaCl ₃	33.1r	36.9vwx	39.1uv	42.5stu	43.9y
	La(NO ₃) ₃	33.1r	37.2vwx	41.7rst	46.0qr	51.3uvw
Laura Fygi	Testigo	31.3s	35.7vwx	39.2uv	42.5stu	46.7y
	AA	31.0s	36.1vwx	40.7uv	44.1stu	48.1x
	LaCl ₃	31.2s	36.9vwx	41.2rst	46.6qr	52.6rst
	La(NO ₃) ₃	31.1s	36.1vwx	42.7rst	46.7qr	51.9rst
Rosario	Testigo	25.0t	28.6z	31.4y	34.2z	36.4z
	AA	25.3t	28.6z	31.4y	34.5z	37.3z
	LaCl ₃	25.2t	28.3z	32.4y	37.0z	40.5z
	La(NO ₃) ₃	25.1t	28.8z	31.6y	34.6z	38.5z
DMS_{0.05}		0.75	1.53	1.08	0.99	1.26

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano, ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.5. Longitud de entrenudos en el tallo floral

6.3.5.1. Longitud de entrenudos en el tallo floral por efecto de la variedad

El Cuadro 13 muestra las longitudes de los entrenudos apical y basal entre variedades. Se observa que la mayor elongación del entrenudo se encontró en el apical (diferencia entre la longitud al corte y la del último día en florero). En promedio la longitud del tallo a los 11 ddc fue de 51.8 cm (Cuadro 11) y la longitud del entrenudo apical y basal de 21.0 y 9.13 cm (Cuadro 13). Por lo tanto el entrenudo apical representó el 41% de la elongación total del tallo en postcosecha. El intervalo entre variedades osciló de 23 a 52%. Resultados similares encontraron Benschop y De Hertogh (1971) en diferentes cultivares de tulipán. La mayor elongación del entrenudo apical se debe a la diferente concentración de auxinas que existe en el tallo floral. Benasik *et al.* (1985), trabajando con ácido indolacético radiactivo (AIA-1-14-C), encontraron una mayor cantidad de éste en la parte superior del tallo de tulipán, la cual gradualmente disminuye hacia la base.

Cuadro 13. Longitud de entrenudo basal y apical en el tallo floral al momento del corte y al último día en florero de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Longitud de entrenudos, cm			
	-----Al momento del corte-----		-----Último día en florero-----	
	Basal	Apical	Basal	Apical
Pink Impression	6.27e ^z	6.05h	9.05e	12.28k
Jan van Nes	5.10f	13.0c	6.44j	23.95d
World's Favorite	10.0a	16.5a	12.1a	24.15d
Acrópolis	8.90b	15.0b	10.5c	22.10f
Snow Lady	6.20e	9.48ef	7.44h	24.08d
Lefeber's Memory	10.2a	8.1g	12.3a	22.15f
Red Shine	9.35b	10.0	10.6c	15.65i
Synaeda Show	7.24d	13.0c	8.16g	28.03b
Lalibela	9.97a	9.07f	11.3b	23.05e
Golden Parade	5.45f	15.4b	7.02i	29.03a
Red Impression	8.03c	10.0de	9.45d	27.0c
Barcelona	4.37g	4.50j	7.2hi	15.03j
Violet Beauty	6.99d	10.5d	8.64f	19.04g
Laura Fygi	8.0c	5.46i	9.39d	17.48h
Rosario	5.96e	6.01h	7.45h	11.49l
Promedio	7.47	10.1	9.13	20.97
DMS_{0.05}	0.43	0.54	0.28	0.49

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. $DMS_{0.05}$ =Diferencia mínima significativa al 5%.

La variedad World’s Favorite mostró los valores más altos en la longitud del entrenudo basal y apical al momento del corte, seguida de Lefeber’s Memory, Lalibela, Acrópolis y Golden Parade; mientras que, la menor longitud de entrenudo apical y basal se encontró en las variedades Barcelona, Laura Fygi y Rosario. Para el último día en florero, las variedades Lefeber’s Memory, World’s Favorite y Lalibela tuvieron la mayor longitud de entrenudo basal. Golden Parade, Synaeda Show y Red Impression destacaron por el tamaño del entrenudo apical. La menor longitud del entrenudo basal y apical se encontró en Golden Parade y Rosario, respectivamente (Cuadro 13).

6.3.5.2. Longitud de entrenudos en el tallo floral por efecto de la solución preservadora

Para determinar el efecto de las soluciones preservadoras en la longitud de los entrenudos la primera determinación se realizó a los 2 ddc. En la Figura 13 se observa que en la longitud de entrenudos sólo la del entrenudo basal a los 2 ddc, presentó diferencias estadísticas entre tratamientos, encontrándose el valor más alto en el tratamiento testigo. Las longitudes restantes no mostraron variación entre las soluciones preservadoras. Así, la longitud apical osciló entre 10.08 y 10.19 y entre 20.91 y 21.03 cm, a los 2 ddc y en el último día en florero, respectivamente. Mientras que la basal a los 2 ddc fue entre 9.08 y 9.17 cm (Figura 13).

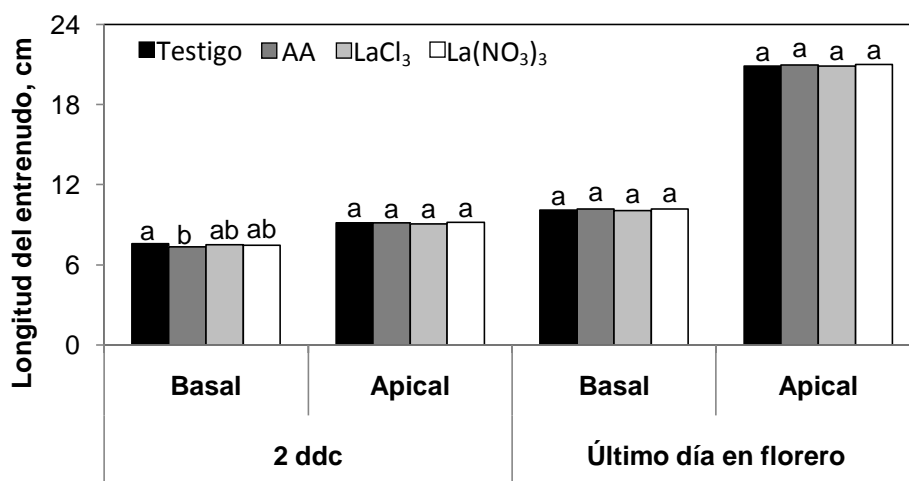


Figura 13. Longitud del entrenudo basal y apical en el tallo floral a los 2 días después del corte (2 ddc) y al último día en florero con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

6.3.5.3. Longitud de entrenudos en el tallo floral por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

Las longitudes de los entrenudos presentaron diferencias significativas por efecto de la interacción de los factores de estudio. Los valores más altos para la longitud del entrenudo basal y apical a los 2 ddc, se encontraron en Lefeber’s Memory con LaCl₃ y en World’s Favorite con ácido ascórbico, respectivamente. En el último día en florero, la longitud más alta del entrenudo basal fue en el testigo o con ácido ascórbico en Lefesr’s Memory. Todos los tratamientos en la variedad Golden Parade destacaron por la mayor longitud del entrenudo apical (Cuadro 14).

Cuadro 14. Longitud de entrenudo basal y apical en el tallo floral a los 2 días después del corte (ddc) y en el último día en florero en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Longitud de entrenudos, cm			
		-----2 ddc-----		-----Último día en florero-----	
		Basal	Apical	Basal	Apical
Pink Impression	Testigo	6.5nopq ^z	6.1klm	9ghi	12.3p
	AA	6.6nopq	5.9klm	9.2ghi	12.3p
	LaCl ₃	6.0uvw	6.1klm	9.0ghi	12.0p
	La(NO ₃) ₃	5.9uvw	6.1klm	9.0ghi	12.4p
Jan van Nes	Testigo	4.9xy	13.2de	6.3v	23.9ef
	AA	4.9xy	12.9de	6.5tu	23.6fgh
	LaCl ₃	5.5xy	12.7de	6.5tu	24.3e
	La(NO ₃) ₃	5.2xy	13.2de	6.5tu	24.0ef
World’s Favorite	Testigo	10.0bc	16.7a	12.4abc	24.1ef
	AA	9.9bc	16.7a	12.3abc	24.3e
	LaCl ₃	10.1bc	16.5a	11.8d	24.2e
	La(NO ₃) ₃	10.0bc	16.1ab	12.0bc	24.1ef
Acrópolis	Testigo	8.9fghi	14.2d	10.5	22.1ij
	AA	9.3cde	14.9c	10.6def	22.4fgh
	LaCl ₃	9.0fghi	15.4abc	10.4def	22.0ij
	La(NO ₃) ₃	8.7fghi	15.4abc	10.3def	21.9ij
Snow Lady	Testigo	6.1rst	9.6fgh	7.1rst	24.1ef
	AA	6.2rst	9.7fgh	7.7mno	23.9ef
	LaCl ₃	6.2rst	8.9hij	7.6mno	24.1ef
	La(NO ₃) ₃	6.5rst	9.8fgh	7.4rst	24.2e
Lefeber’s Memory	Testigo	11.2a	6.7k	12.8a	21.8ij
	AA	9.6cde	8.9hij	12.6a	22.6fgh
	LaCl ₃	10.5a	8.5hij	11.7d	21.8ij
	La(NO ₃) ₃	9.6cde	8.5hij	12.3abc	22.5fgh

Cuadro 14. (Continuación).

Variedad	Solución	Longitud de entrenudos, cm			
		-----2 dcc-----		---Último día en florero---	
		Basal	Apical	Basal	Apical
Red Shine	Testigo	9.3cde	10.2fgh	10.4def	15.5o
	AA	9.2cde	10.0fgh	10.5def	15.8o
	LaCl ₃	9.4cde	10.0fgh	10.6def	15.9o
	La(NO ₃) ₃	9.6cde	10.0fgh	11.0def	15.4o
Synaeda Show	Testigo	7.5nopq	13.2de	8.3jkl	27.8bc
	AA	6.9nopq	13.0de	8.0mno	28.3bc
	LaCl ₃	6.9nopq	13.2de	8.1mno	27.9bc
	La(NO ₃) ₃	7.8jklm	12.8de	8.3jkl	28.0bc
Lalibela	Testigo	10.3a	9.2hij	11.4def	22.8fgh
	AA	9.9bc	8.7hij	11.4def	22.8fgh
	LaCl ₃	9.7cde	9.3hij	10.9def	23.4fgh
	La(NO ₃) ₃	10.1bc	9.1hij	11.3def	23.2fgh
Golden Parade	Testigo	5.7uvw	15.6abc	7.0rst	29.0ab
	AA	5.4xy	15.7ab	7.0rst	28.9ab
	LaCl ₃	5.7uvw	15.3abc	6.9tu	28.5b
	La(NO ₃) ₃	5.1xy	15.0c	7.2rst	29.7a
Red Impression	Testigo	7.9jklm	9.6fgh	9.4ghi	26.8d
	AA	8.1fghi	10.1fgh	9.4ghi	26.9d
	LaCl ₃	8.2fghi	9.8fgh	9.5g	27.5c
	La(NO ₃) ₃	8.0jklm	10.5fgh	9.4ghi	26.9d
Barcelona	Testigo	4.4xy	5.0mn	7.2rst	15.1o
	AA	4.1y	4.3n	7.1rst	15.1o
	LaCl ₃	4.4xy	4.3n	7.5pqr	14.7o
	La(NO ₃) ₃	4.5xy	4.5mn	7.0rst	15.2o
Violet Beauty	Testigo	6.9nopq	10.9f	8.6jkl	19.4k
	AA	6.2rst	10.4fgh	8.2mno	18.9lmn
	LaCl ₃	7.2nopq	10.3fgh	8.7jkl	18.6lmn
	La(NO ₃) ₃	7.7nopq	10.2fgh	9.1ghi	19.2k
Laura Fygi	Testigo	8.3fghi	5.5klm	9.6g	17.3lmn
	AA	7.9jklm	5.7klm	9.1ghi	17.9lmn
	LaCl ₃	7.9jklm	5.2mn	9.6g	17.4lmn
	La(NO ₃) ₃	7. jklm	5.5klm	9.3ghi	17.4lmn
Rosario	Testigo	6.3rst	6.3klm	7.5pqr	11.7p
	AA	5.9uvw	6.0klm	7.5pqr	11.4p
	LaCl ₃	6.1rst	5.8klm	7.5pqr	11.5p
	La(NO ₃) ₃	5.6uvw	5.9klm	7.3rst	11.4p
DMS_{0.05}		1.14	1.43	0.74	1.3

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.6. Peso fresco de tallo

6.3.6.1. Peso fresco de tallo por efecto de la variedad

A partir de los 3 ddc el peso de tallo fresco se incrementa, alcanzando sus máximos valores en la mayoría de las variedades entre el séptimo y el noveno día, valor que posteriormente disminuye considerablemente, debido posiblemente al taponamiento de los haces vasculares que interrumpe la absorción de agua y afecta el peso del tallo. Además, el peso disminuye por una deshidratación de los pétalos. Con los resultados obtenidos, se identifican variedades que mantienen su peso constante durante la postcosecha como World's Favorite, Violet Beauty, Laura Fygi y Rosario donde la diferencia entre el peso a los 3 ddc y el peso máximo es menor a 6 g (Cuadro 15).

Cuadro 15. Peso fresco del tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Peso fresco de tallo, g				
	-----ddc-----				
	3	5	7	9	11
Pink Impression	32.9g ^z	38.3c	48.4b	51.8b	49.2b
Jan van Nes	35.3de	42.4ab	45.0bc	46.6c	44.0c
World's Favorite	32.4h	34.4d	36.0g	37.8i	33.6g
Acrópolis	34.0f	41.1b	48.5a	43.3e	38.4ef
Snow Lady	33.0g	38.5c	44.0cd	47.0c	43.6c
Lefeber's memory	34.9e	38.9c	42.2e	39.8h	37.4f
Red Shine	25.9j	29.0e	31.3h	33.8j	31.5h
Synaeda Show	35.1e	41.7b	47.5a	54.9 ^a	51.6a
Lalibela	31.0i	39.0c	43.4de	41.9f	40.9d
Golden Parade	37.3b	43.2a	44.0cd	46.6c	43.3c
Red Impression	38.5a	43.7a	47.6a	42.8e	39.4e
Barcelona	36.1c	41.5b	44.1cd	46d	43.1c
Violet Beauty	23.9l	26.0f	29.6i	28.1k	25.2i
Laura Fygi	35.6d	37.8c	39.5f	41.2g	37.4f
Rosario	24.3k	25.4f	27.3j	25.4l	22.5j
Promedio	32.7	37.3	41.2	41.8	38.7
DMS_{0.05}	0.36	1.38	1.40	0.55	1.35

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. ddc: días después del corte. $DMS_{0.05}$ =Diferencia mínima significativa al 5%.

En contraste, se observaron variedades cuyo peso a los 3 ddc fue bajo; sin embargo, se va incrementando de manera considerable, tal es el caso de Acrópolis, Pink Impresión y Synaeda Show que mostraron una diferencia entre el peso máximo y el observado a los 3 ddc, mayor a 14 g (Cuadro 15). Por lo tanto, estas variedades son

capaces de mantener una mayor turgencia y como consecuencia presentar mayor vida en florero. Según Sodi y Ferrante (2005), el peso fresco se considera como un criterio de vida de florero, ya que las flores que incrementan su peso fresco tienen una mayor duración en postcosecha. En contraste, se observaron variedades cuyo peso a los 3 ddc es bajo; no obstante, éste se incrementa considerablemente, tal es el caso de Acrópolis, Pink Impresión y Synaeda Show que mostraron una diferencia entre el peso máximo y el observado a los 3 ddc mayor a 14 g. Por lo tanto, estas variedades son capaces de mantener una mayor turgencia y como consecuencia presentar mayor vida en florero. Según Sodi y Ferrante (2005), el peso fresco se considera como un criterio de vida de florero, ya que las flores que incrementan su peso fresco tienen una mayor duración en postcosecha (Cuadro 15).

6.3.6.2. Peso fresco de tallo por efecto de la solución preservadora

A los 5 y 7 dcc, el mayor peso del tallo se encontró al adicionar La^{3+} , ya sea en forma de cloruro o nitrato. El peso fresco más alto en cualquier tratamiento se encontró a los 9 ddc, destacando en la solución con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ con un peso de 43.7 g, seguido de LaCl_3 (42.1 g) y ácido ascórbico (41.5 g). En el testigo se tuvo el peso más bajo (Figura 14).

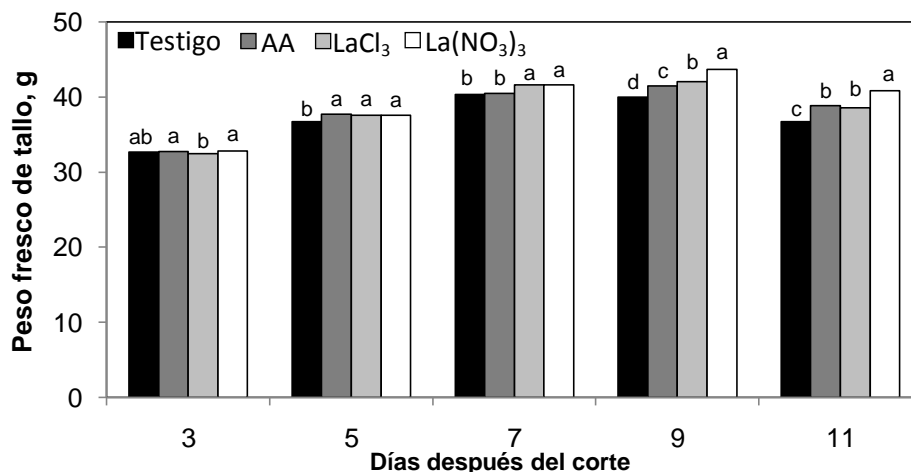


Figura 14. Peso fresco del tallo floral de tulipán en postcosecha con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

El mayor peso en los tratamientos con La^{3+} se debió a un incremento en la longitud del tallo (Figura 14), además se ha observado que el La^{3+} incrementa la resistencia estomática, generando una menor transpiración y pérdida de agua y por tanto, el peso

fresco es más alto, ya que además la fotosíntesis es constante o en ocasiones aumenta (Maheswaran *et al.*, 2001; Fashui *et al.*, 2002). Por otra parte, se ha reportado que el ácido ascórbico incrementa el peso en especies como rosa, girasol y alpinia, debido a un incremento en la absorción de agua, mayor actividad antioxidante y menor peroxidación lipídica (Pereyra, 2005; Sodi y Ferrante, 2005; leamtim *et al.*, 2008).

6.3.6.3. Peso fresco de tallo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

En el Cuadro 16, se observan las diferencias que se presentaron en el peso fresco de tallo por la interacción variedad x solución preservadora. A los 3 ddc la variedad Red Impression con La³⁺ o con ácido ascórbico mostró los valores más altos; a los 5 dcc el mayor peso de tallo se registró con La(NO₃)₃ en la variedad Golden Parade y en Barcelona con el testigo. La variedad Acrópolis con La(NO₃)₃ destacó a los 7 ddc, mientras que a los 9 ddc la variedad Synaeda Show con cualquier fuente de La³⁺ superó al resto de los tratamientos producto de la combinación de variedades y soluciones preservadoras.

Cuadro 16. Peso fresco del tallo floral en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Peso fresco de tallo, cm				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Pink Impression	Testigo	33.1opq ^z	38.4ijk	46.7cde	49.0ghi	47.2efg
	AA	33.2opq	39.0ijk	45.9fgh	52.7def	49.8cde
	LaCl ₃	32.5opq	39.7efgh	42.5ijk	54.2c	51.4c
	La(NO ₃) ₃	32.9opq	36.1lmn	47.1cde	51.3def	48.3efg
Jan van Nes	Testigo	35.6fgh	44.8bcd	49.6bc	50.1def	46.9efg
	AA	35.7fgh	44.2bcd	46.3fgh	48.4ghi	47.1efg
	LaCl ₃	35.1fgh	36.3lmn	37.3opq	38.7vwx	37.3mno
	La(NO ₃) ₃	34.8lmn	44.4bcd	46.9cde	49.3ghi	44.6ghi
World's Favorite	Testigo	33.4opq	36.3lmn	37.9opq	40.1pqrs	34.5stuv
	AA	33.7opq	34.2opq	35.9rst	36.2xy	31.9wxy
	LaCl ₃	28.8s	32.9opq	34.5rst	36.2xy	31.5wxy
	La(NO ₃) ₃	33.8lmn	34.1opq	35.8rst	38.7vwx	36.7pqr
Acrópolis	Testigo	34.3lmn	38.3ijk	40.0lmn	36.2xy	29.4yz
	AA	33.5opq	41.3efgh	46.3fgh	42.5mno	39.6mno
	LaCl ₃	33.8lmn	42.7bcd	48.5cde	41.8pqrs	35.2stuv
	La(NO ₃) ₃	34.3lmn	42.0bcd	59.1a	52.4def	49.5cde

Cuadro 16. (Continuación).

Variedad	Solución	Peso fresco de tallo, cm				
		3	5	7	9	11
Snow Lady	Testigo	33.2opq	36.8lmn	50.4bc	42.4mno	40.7mno
	AA	33.0opq	41.4efgh	37.4opq	52.9c	50.6c
	LaCl ₃	33.0opq	36.6lmn	45.9fgh	43.9mno	40.9mno
	La(NO ₃) ₃	32.9opq	39.3ijk	42.6ijk	48.6ghi	42.3jkl
Lefeber's Memory	Testigo	34.8lmn	35.3lmn	40.8lmn	37.1d	32.4stuv
	AA	35.0ijk	43.5bcd	46.6cde	45.5jkl	43.1jkl
	LaCl ₃	35.1ijk	40.8efgh	42.5ijk	40.4pqrs	39.6mno
	La(NO ₃) ₃	34.8lmn	36.0lmn	39.1lmn	36.3xy	34.6stuv
Red Shine	Testigo	25.6u	27.4rs	28.6tu	31.3z	29.9yz
	AA	26.1t	32.3opq	34.2rst	37.2vwxyz	33.4stuv
	LaCl ₃	26.1t	29.3opq	31.8tu	34.5y	31.4wxy
	La(NO ₃) ₃	25.9t	27.0rs	30.9tu	32.3z	31.4wxy
Synaeda Show	Testigo	35.0ijk	39.4efgh	43.9fgh	51.5def	49.7cde
	AA	34.7lmn	39.0ijk	40.8lmn	43.2mno	39.3mno
	LaCl ₃	35.3fgh	44.0bcd	52.9b	60.6b	56.5b
	La(NO ₃) ₃	35.2fgh	44.4bcd	52.5b	64.4a	60.7a
Lalibela	Testigo	30.7r	32.3opq	34.7rst	32.8z	30.5wxy
	AA	31.1r	36.1lmn	40.5lmn	39.5tuv	38.5mno
	LaCl ₃	31.0r	44.1bcd	52.4b	50.3def	49.6cde
	La(NO ₃) ₃	31.2r	43.6bcd	45.9fgh	45.2jkl	45.1ghi
Golden Parade	Testigo	37.1cde	43.1bcd	41.8lmn	47.9ghi	45.4ghi
	AA	37.3cde	43.1bcd	45.1fgh	40.7pqrs	42.7jkl
	LaCl ₃	37.5c	41.0efgh	46.3fgh	46.0jkl	39.8mno
	La(NO ₃) ₃	37.2cde	45.5a	42.8ijk	51.8def	45.4ghi
Red Impression	Testigo	38.3a	41.5efgh	44.8fgh	40.0pqrs	35.9pqr
	AA	38.5a	45.0b	51.6bc	46.9jkl	44.2ghi
	LaCl ₃	38.1b	44.1bcd	48.1cde	40.5pqrs	35.1pqr
	La(NO ₃) ₃	38.9a	44.0bcd	45.9fgh	43.9mno	42.4jkl
Barcelona	Testigo	36.1fgh	48.9a	50.4bc	47.9ghi	44.7ghi
	AA	36.0fgh	36.6lmn	37.4opq	38.5vwxyz	36.4pqr
	LaCl ₃	36.2fgh	41.6efgh	45.9fgh	49.4ghi	44.9ghi
	La(NO ₃) ₃	36.0fgh	38.9ijk	42.6ijk	48.0ghi	46.2ghi
Violet Beauty	Testigo	23.6w	27.3rs	31.2tu	29.7z	26.3yx
	AA	24.0vw	27.1rs	35.2rst	32.5z	30.3wxy
	LaCl ₃	24.1vw	24.8s	26.0u	25.0z	22.7z
	La(NO ₃) ₃	23.8vw	24.7s	26.1u	25.3z	21.5z

Cuadro 16. (Continuación).

Variedad	Solución	Peso fresco de tallo, cm				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Laura Fygi	Testigo	34.9lmn	36.0lmn	37.4opq	39.1tuv	36.2pqr
	AA	35.3fgh	38.0ijk	39.2lmn	41.5pqrs	34.4stuv
	LaCl ₃	35.9fgh	38.9ijk	40.4lmn	41.6pqrs	38.3mno
	La(NO ₃) ₃	36.2cde	38.4ijk	41.1lmn	42.4pqrs	40.7mno
Rosario	Testigo	24.0vw	25.0s	26.8u	24.2z	21.2z
	AA	24.5vw	25.0s	25.9u	24.1z	22.0z
	LaCl ₃	24.6v	26.6rs	29.5tu	28.0z	24.3z
	La(NO ₃) ₃	24.0vw	25.1s	27.0u	25.2z	22.6z
DMS_{0,05}		0.96	3.63	3.85	1.45	3.56

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte. DMS_{0,05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.7. Incremento relativo del peso fresco de tallo

6.3.7.1. Incremento relativo del peso fresco de tallo por efecto de la variedad

El incremento relativo de peso fresco en tallos florales, tomando como 100% el peso obtenido al momento del corte se observa en el Cuadro 17. En promedio, la ganancia en peso fresco a los 3, 5, 7, 9 y 11 ddc fue de 14, 25, 28, 18 y 8%, respectivamente. Con respecto a las variedades estudiadas se observaron diferencias significativas durante la postcosecha. A los 3 y 5 ddc el incremento relativo de peso fresco más alto se tuvo en las variedades Acrópolis y Lalibela; sin embargo, después de esta fecha la ganancia de peso fresco de estas variedades disminuyó, incluso en la variedad Acrópolis hay una pérdida de peso fresco del 7% a los 11 ddc. En contraste, después de los 5 ddc se presentó el mayor incremento relativo de peso fresco de las variedades evaluadas. Se registraron incrementos de 57 y 58% en Synaeda Show y Pink Impression a los 7 ddc; estas variedades mantienen el incremento relativo más alto hasta los 11 ddc. Rosario fue la variedad con la menor ganancia de peso fresco oscilando entre el 5 y el 13% hasta los 7 ddc, además esta variedad fue la única que presentó una pérdida de peso fresco a los 9 ddc con 7% y la más alta a los 11 ddc con el 14%. La pérdida de peso fresco es uno de los síntomas de la senescencia en pétalos, acompañado por una disminución en el consumo de agua, deshidratación y

marchitamiento (Halevy y Mayak, 1981). Otras variedades que presentaron pérdida de peso fresco a los 11 ddc fueron World's Favorite, Lefeber's Memory, Red Impression, Violet Beauty y Laura Fygi (Cuadro 17).

Cuadro 17. Incremento relativo del peso fresco de tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Incremento relativo del peso fresco de tallo, %				
	-----ddc-----				
	3	5	7	9	11
Pink Impression	117cde ^z	138ab	158a	149a	136a
Jan van Nes	120bc	127d	136c	125c	117c
World's Favorite	106ij	111g	118gh	104gh	94h
Acrópolis	121b	143 ^a	127f	113f	93i
Snow Lady	117cde	133c	142b	132b	125b
Lefeber's memory	111hg	121ef	114g	107g	97g
Red Shine	112fgh	121ef	130cd	122cd	114de
Synaeda Show	119bcd	135bc	157a	147a	137a
Lalibela	126a	140ab	135b	132b	116cd
Golden Parade	116def	118f	125ef	116ef	110f
Red Impression	114efg	124de	111h	102h	98g
Barcelona	115efg	122ef	127de	119de	113e
Violet Beauty	109hi	124de	118gh	106gh	96g
Laura Fygi	106ij	111g	116gh	105gh	94h
Rosario	105j	113g	105i	93i	86i
Promedio	114	125	128	118	108
DMS_{0.05}	3.82	4.52	2.16	3.73	1.88

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.7.2. Incremento relativo del peso fresco de tallo por efecto de la solución preservadora

El incremento relativo de peso fresco en tallos florales por efecto de los tratamientos, tomando como 100% el peso obtenido a los 3 ddc que es cuando ya se observan diferencias entre las soluciones preservadoras se muestra en la Figura 15. La mayor ganancia de peso durante la vida en florero se observó al adicionar a la solución La³⁺ ya sea en forma de LaCl₃ o como La(NO₃)₃. Así, los tallos tratados con LaCl₃ a los 5 ddc presentaron un incremento del 28% con respecto al mostrado en el día 3; en el testigo dicho incremento fue de 23%. Sin embargo, a los 7 y 9 ddc, la respuesta fue mejor con la solución preservadora de La(NO₃)₃, encontrándose una ganancia de peso

fresco de 32 y 23%, respectivamente; mientras que en el testigo fue de 22 y 12%. El ácido ascórbico mostró valores intermedios. A los 11 ddc en todos los tratamientos se observó pérdida de peso fresco principalmente en el tratamiento testigo (Figura 15). La turgencia del tallo es el parámetro más relevante en flores de corte y es resultado del balance entre el agua absorbida y pérdida de la misma. Los resultados obtenidos indican que el La^{3+} aplicado en postcosecha, propició que los tallos florales incrementaran la absorción de agua, debido posiblemente a que disminuyó la oclusión de los vasos conductores o bien inhibió la presencia de microorganismos en la solución preservadora (Huber, 1994).

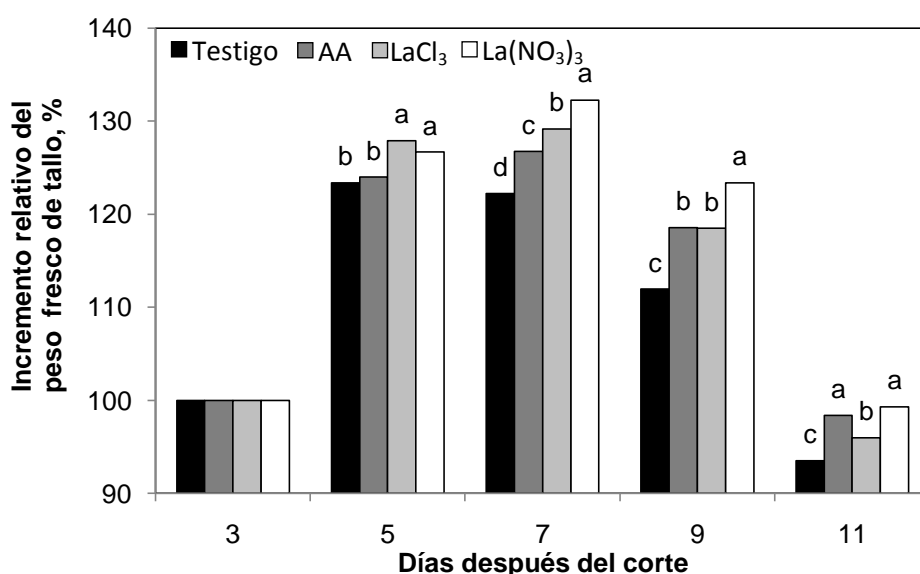


Figura 15. Incremento relativo del peso fresco de tallo floral en con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

6.3.7.3. Incremento relativo del peso fresco de tallo por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

La interacción entre los factores, tomado como el 100% el peso obtenido a los 3 ddc, mostró diferencias significativas durante todo el ciclo de postcosecha. A los 5 y 7 ddc el mayor incremento en peso fresco se observó en la variedad Lalibela teniendo como solución preservadora al LaCl₃, después de esta fecha el incremento en el peso permaneció constante. En Synaeda Show con cualquier forma de La^{3+} en la solución, se encontró el mayor incremento relativo a los 9 y 11 dcc, siendo de 72 y 60% con

LaCl₃ y 83 y 72% con La(NO₃)₃. La ganancia en peso fresco más baja se encontró en Rosario y la solución preservadora de ácido ascórbico con valores de 2 y 6% a los 5 y 7 ddc, respectivamente (Cuadro 18).

Cuadro 18. Incremento relativo del peso fresco de tallo floral en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Incremento relativo del peso fresco de tallo, %			
		-----ddc-----			
		5	7	9	11
Pink Impression	Testigo	116fgh ^z	141bc	148ghi	143e
	AA	118fgh	138cde	159d	150cde
	LaCl ₃	122cde	131cde	167bc	158b
	La(NO ₃) ₃	110lmn	143bc	156def	147cde
Jan van Nes	Testigo	126bc	140cde	144ghi	132f
	AA	123cde	130efg	150def	132f
	LaCl ₃	104opqr	107tuv	110yx	106pqr
	La(NO ₃) ₃	127bc	135cde	142ghi	128fgh
World's Favorite	Testigo	109lmn	114klm	120stuv	103pqr
	AA	102opqr	106tuv	110yz	95stuv
	LaCl ₃	114ijk	120klm	126mno	109mno
	La(NO ₃) ₃	101s	106tuv	115wxy	109mno
Acrópolis	Testigo	112ijk	116hij	105z	86z
	AA	123cde	138cde	127mno	118ijkl
	LaCl ₃	126bc	144bc	124pqr	104pqr
	La(NO ₃) ₃	122cde	172a	153def	145cde
Snow Lady	Testigo	111ijk	152b	128mno	123fgh
	AA	125cde	113nop	160cd	153c
	LaCl ₃	111ijk	139cde	133mno	124fgh
	La(NO ₃) ₃	120fgh	129efg	148ghi	129fgh
Lefeber's Memory	Testigo	102opqr	118klm	107z	93wxy
	AA	124cde	133cde	130mno	123fgh
	LaCl ₃	116fgh	121efg	115wxy	113mno
	La(NO ₃) ₃	103opqr	113nop	104z	100stuv
Red Shine	Testigo	107lmn	112qrs	123pqr	116pqr
	AA	124cde	131cde	142ghi	128fgh
	LaCl ₃	113ijk	122efg	132mno	121ijkl
	La(NO ₃) ₃	104opqr	119klm	124pqr	121ijkl
Synaeda Show	Testigo	113ijk	125efg	147ghi	142e
	AA	112ijk	117klm	124pqr	113mno
	LaCl ₃	125cde	150.bc	172b	160b
	La(NO ₃) ₃	126bc	149bc	183a	172a

Cuadro 18. (Continuación).

Variedad	Solución	Incremento relativo del peso fresco de tallo, %			
		-----ddc-----			
		5	7	9	11
Lalibela	Testigo	105opqr	113nop	107z	99stuv
	AA	116fgh	130efg	127mno	124fgh
	LaCl ₃	143a	169a	163cd	161b
	La(NO ₃) ₃	140ab	147bc	145ghi	145cde
Golden Parade	Testigo	116fgh	113nop	129mno	122ijkl
	AA	115fgh	121efg	109z	114mno
	LaCl ₃	109lmn	124efg	123pqr	106pqr
	La(NO ₃) ₃	122cde	115klm	139jkl	122ijkl
Red Impression	Testigo	108lmn	117klm	104z	93wxy
	AA	117fgh	134cde	122stuv	114mno
	LaCl ₃	116fgh	126efg	106z	92wxy
	La(NO ₃) ₃	113ijk	118klm	113wxy	109mno
Barcelona	Testigo	135b	140cde	133mno	124fgh
	AA	102opqr	104wx	107z	101stuv
	LaCl ₃	115fgh	127efg	136jkl	124fgh
	La(NO ₃) ₃	108lmn	118klm	134jkl	129fgh
Violet Beauty	Testigo	115fgh	132cde	126mno	111mno
	AA	113ijk	147bc	136jkl	126fgh
	LaCl ₃	103opqr	108tuv	103z	94wxy
	La(NO ₃) ₃	104opqr	109tuv	106z	90yz
Laura Fygi	Testigo	103opqr	107tuv	112wxy	104pqr
	AA	107lmn	111qrs	118stuv	97stuv
	LaCl ₃	109lmn	110qrs	116stuv	107mno
	La(NO ₃) ₃	106lmn	114klm	117stuv	112mno
Rosario	Testigo	104opqr	112qrs	101z	88yz
	AA	102opqr	106tuv	99z	90yz
	LaCl ₃	108lmn	120klm	114wxy	99stuv
	La(NO ₃) ₃	105opqr	113nop	105z	94wxy
DMS_{0.05}		1.01	1.19	0.81	0.98

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.8. Consumo de agua en tallos florales

6.3.8.1. Consumo de agua en tallos florales por efecto de la variedad

El patrón de consumo de agua fue similar para la mayoría de las variedades, incrementándose a través del tiempo hasta alcanzar un consumo máximo en la senescencia; sin embargo, en promedio el mayor consumo por día se encontró a los 3 y 5 ddc, disminuyendo éste después de esta fecha (Cuadro 19).

Cuadro 19. Consumo de agua en postcosecha de tallos florales de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Consumo de agua, mL				
	-----ddc-----				
	3	5	7	9	11
Pink Impression	23bc ^z	32ef	40de	47f	54g
Jan van Nes	18ef	24ij	36gh	55d	63d
World's Favorite	16hi	23ij	34i	42g	46j
Acrópolis	21d	29g	38fg	46f	48i
Snow Lady	22d	32de	43c	52e	58ef
Lefeber's memory	22cd	35c	44c	53e	57f
Red Shine	22cd	34cd	43c	59c	65c
Synaeda Show	19e	29gh	43c	59c	68b
Lalibela	24ab	30fg	49b	59c	67b
Golden Parade	23bc	37b	49b	63b	66bc
Red Impression	14j	26ij	35h	55d	59ef
Barcelona	17gh	27h	42cd	53e	59ef
Violet Beauty	18fg	24i	39ef	55d	63d
Laura Fygi	25a	42a	54a	65a	72 ^a
Rosario	15ij	22j	40ef	47f	50h
Promedio	19	30	42	54	60
DMS_{0.05}	1.24	1.71	1.69	1.67	1.67

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

Benschop y De Hertogh (1971), encontraron el mayor consumo de agua en diferentes cultivares de tulipán en las primeras 5 h, descendiendo después de las 24 h. Entre las variedades, la cantidad de agua absorbida mostró diferencias estadísticas. A los 3 y 5 ddc el consumo de agua promedio fue de 19 y 30 mL por tallo floral, respectivamente. A los 3 ddc, en Lalibela se encontró el mayor consumo de agua con 24 mL; por el contrario, la variedad Laura Fygi mostró un consumo bajo de agua, no obstante después de esta fecha su consumo aumentó significativamente (42, 54 65 y 71 mL a

los 5, 7, 9 y 11 ddc, respectivamente). La variedad World’s Favorite fue la variedad que tuvo el menor consumo de agua durante la vida en florero, llegando a 46 mL a los 11 ddc, que representó el 65% del consumo encontrado en Laura Fygi (Cuadro 18). Este consumo de agua se relacionó con la vida en florero que se observa en la Figura 19. La absorción de agua puede ser el factor más importante en incrementar la vida en florero de las flores cortadas (Halevy y Mayak, 1979). Benschop y De Hertogh (1971), consideran al tulipán como una geofita que requiere una gran cantidad de agua en postcosecha, siendo de gran importancia seleccionar variedades con bajo consumo de agua y con una vida en florero aceptable.

6.3.8.2. Consumo de agua en tallos florales por efecto la solución preservadora

La aplicación de ácido ascórbico, $LaCl_3$ y $La(NO_3)_3$ incrementaron el consumo de agua en los tallos florales de tulipán. Particularmente con $LaCl_3$ se presentaron los valores más altos a los 3, 5, 7, 9 y 11 ddc, superando al testigo en 5, 11, 15, 18 y 24%, respectivamente, que mostró los valores más bajos (Figura 16). El mayor consumo con $LaCl_3$ se debió a la mayor longitud de los tallos florales (Figura 12) como lo indica York (2008); por otra parte, el ácido ascórbico reduce el pH en la solución preservadora (leamtin *et al.*, 2008). Van Door (1990) encontró en cultivares de rosa, que la adición de hipoclorito de sodio a la solución de florero disminuyó el pH de la misma, y en consecuencia se encontró una menor proliferación de bacterias retrasando la obstrucción de tejidos conductores e incrementando el flujo de agua a través del tallo (Durkin, 1979).

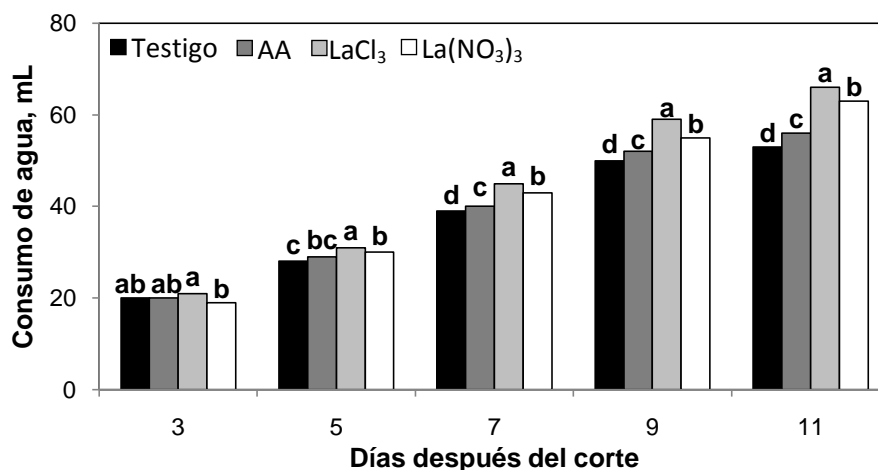


Figura 16. Consumo de agua de tallos florales con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, $LaCl_3$: cloruro de lantano y $La(NO_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.3.8.3. Consumo de agua en tallos florales por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

La interacción de los factores de estudio tuvo efectos significativos sobre el consumo de agua de tallos florales, encontrándose el mayor valor de éste durante la vida en postcosecha en la variedad Laura Fygi con una solución preservadora de LaCl₃. Aunque de los 3 a los 9 dcc, los tratamientos en Synaeda Show presentaron un menor consumo de agua en comparación con los de Laura Fygi, el consumo total (11 dcc) fue semejante entre las soluciones preservadoras de ambas variedades. La variedad Rosario en el testigo, registró el consumo de agua más bajo (Cuadro 20).

Cuadro 20. Consumo de agua de tallos florales en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Consumo de agua, mL				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Pink Impression	Testigo	27ab ^z	35efgh	40qrst	43z	49z
	AA	25cde	34ijkl	43ijkl	52pqrs	55xyz
	LaCl ₃	22ijk	31mno	43ijkl	50stu	57tuv
	La(NO ₃) ₃	19nop	27pqr	35wxy	45xyz	57tuv
Jan van Nes	Testigo	18nop	24uvw	38stuv	56hij	59pqrs
	AA	19nop	26stu	37stuv	59g	68fgh
	LaCl ₃	12wx	17z	35wxy	53nop	61mno
	La(NO ₃) ₃	25cde	29pqr	36wxy	52nop	62mno
World's Favorite	Testigo	17pqr	22xyz	36wxy	40z	43z
	AA	15stu	20yz	31z	38z	40z
	LaCl ₃	15stu	24uvw	36wxy	46xyz	51z
	La(NO ₃) ₃	17pqr	26stu	32z	45xyz	49z
Acrópolis	Testigo	19lmn	23uvw	30z	36z	37z
	AA	25cde	29pqr	37stuv	44yz	45z
	LaCl ₃	20lmn	31mno	42mno	52pqrs	55xyz
	La(NO ₃) ₃	20lmn	34efgh	43ijkl	52pqrs	55xyz
Snow Lady	Testigo	24efgh	30mno	39pqrs	52stu	53yz
	AA	22ijk	30mno	42mno	47vwx	51z
	LaCl ₃	19lmn	35efgh	44ijkl	57hij	68fgh
	La(NO ₃) ₃	22ijk	35efgh	45ijkl	53nop	61mno
Lefeber's Memory	Testigo	22ijk	33ijkl	40pqrs	48vwx	50z
	AA	22ijk	33ijkl	41pqrs	50stu	53yz
	LaCl ₃	23efgh	38cde	48def	55klm	64ijkl
	La(NO ₃) ₃	22ijk	35efgh	46fgh	56klm	63mno
Red Shine	Testigo	23efgh	33ijkl	40pqrs	54nop	53yz
	AA	22ijk	36efgh	43ijkl	56klm	59pqrs

Cuadro 20. (Continuación).

Variedad	Solución	Consumo de agua, mL				
		-----ddc-----				
		3	5	7	9	11
Red Shine	LaCl ₃	24cde	37efgh	46fgh	65cde	73de
	La(NO ₃) ₃	19nop	28pqr	43ijkl	62efg	74de
Synaeda Show	Testigo	20lmn	28pqr	41pqrs	52pqrs	55xyz
	AA	16pqr	27stu	37stuv	57hij	62mno
	LaCl ₃	21ijk	31ijkl	48def	66cde	78a
	La(NO ₃) ₃	20lmn	30mno	47def	62efg	75bcd
Lalibela	Testigo	24efgh	33ijkl	44ijkl	55klm	60pqrs
	AA	23efgh	30mno	47def	53nop	58pqrs
	LaCl ₃	26abc	29pqr	54bc	66cde	77b
	La(NO ₃) ₃	24efgh	29pqr	52bc	62efg	73de
Golden Parade	Testigo	23efgh	35efgh	47fgh	57hij	62mno
	AA	25cde	38cde	45z	62efg	63ijkl
	LaCl ₃	22ijk	38cde	52bc	68ab	72de
	La(NO ₃) ₃	22ijk	36efgh	51bc	64cde	68fgh
Red Impression	Testigo	13vwx	22xyz	33yz	50stu	52yz
	AA	16pqr	20xyz	34yz	53nop	56xyz
	LaCl ₃	16stu	27stu	38stuv	66abc	71f
	La(NO ₃) ₃	13vwx	22xyz	37stuv	50stu	58tuv
Barcelona	Testigo	14vwx	25uvw	42mno	49vwx	56wx
	AA	15stu	26stu	41mno	51stu	57tuv
	LaCl ₃	20lmn	31ijkl	44ijkl	59z	64ijkl
	La(NO ₃) ₃	19nop	27pqr	41mno	53nop	60pqrs
Violet Beauty	Testigo	18nop	25uvw	34yz	52nop	61pqrs
	AA	18nop	24uvw	36wxy	52nop	61mno
	LaCl ₃	19nop	26stu	44ijkl	57hij	65ijkl
	La(NO ₃) ₃	18nop	22xyz	42mno	56klm	64ijkl
Laura Fygi	Testigo	26abc	40cd	51bc	62efg	66fgh
	AA	25cde	41bc	53bc	61efg	68fgh
	LaCl ₃	28a	44a	58a	69a	77a
	La(NO ₃) ₃	21ijk	44ab	55ab	67abc	74bcd
Rosario	Testigo	12x	18z	34yz	41z	46z
	AA	15stu	21xyz	37stuv	44yz	48z
	LaCl ₃	18nop	28pqr	47fgh	54klm	53yz
	La(NO ₃) ₃	15vwx	23xyz	41pqrs	48vwx	54xyz
DMS_{0.05}		2.48	3.42	3.42	3.35	3.35

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y (LaNO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.9 Consumo relativo de agua

6.3.9.1. Consumo relativo de agua por efecto de la variedad

El consumo relativo de agua en tallos florales, tomando como 100% el consumo obtenido a los 3 ddc se observa en el Cuadro 21. A los 11 ddc, las diferencias significativas señalan que la variedad Red Impression mostró el mayor incremento en el consumo de agua siendo de 412% en comparación con el consumo de los 3 ddc. Es decir, esta variedad mostró un consumo bajo durante los primero 3 días y se incrementó hasta los 11 ddc, un comportamiento similar se observó en Jan van Nes. En contraste, la variedad Laura Fygi presentó un consumo alto desde el inicio de la vida en florero y lo mantuvo hasta los 11 ddc. El menor incremento del día 3 a los 11 ddc se encontró en Pink Impression y Acrópolis. En promedio los tallos florales incrementan su consumo de agua en más de tres veces de los 3 a los 11 ddc (Cuadro 21).

Cuadro 21. Consumo relativo de agua del tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	Consumo relativo de agua, %			
	-----ddc-----			
	5	7	9	11
Pink Impression	138fgh ^z	177e	210h	242fg
Jan van Nes	132gh	212cd	322b	364b
World's Favorite	145def	213cd	266def	288d
Acrópolis	142efg	176e	213h	224g
Snow Lady	152bcde	199d	243fg	273de
Lefeber's Memory	157bcd	197d	237g	260ef
Red Shine	152bcde	196d	271de	297d
Synaeda Show	149def	208cd	289cd	331c
Lalibela	127h	206cd	246fg	279de
Golden Parade	160abc	214cd	273de	290d
Red Impression	158bc	247b	381a	412a
Barcelona	162ab	252ab	314b	355bc
Violet Beauty	132gh	214cd	299bc	343bc
Laura Fygi	171a	219c	262ef	289d
Rosario	149cdef	267a	315b	342bc
Promedio	148	213	246	306
DMS _{0.05}	12.5	18.9	23.2	25

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.9.2. Consumo de agua por efecto la solución preservadora

Tomando como referencia el consumo a los 3 ddc (100%), el consumo relativo de agua a los 5, 7, 9 y 11 ddc fue más bajo en el testigo, en comparación con el resto de los tratamientos. El mayor consumo relativo se encontró con LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ (Figura 17). Esta respuesta sugiere que el uso de lantano como solución preservadora en postcosecha incrementa el consumo de agua en los tallos florales y en consecuencia incrementa la vida en florero.

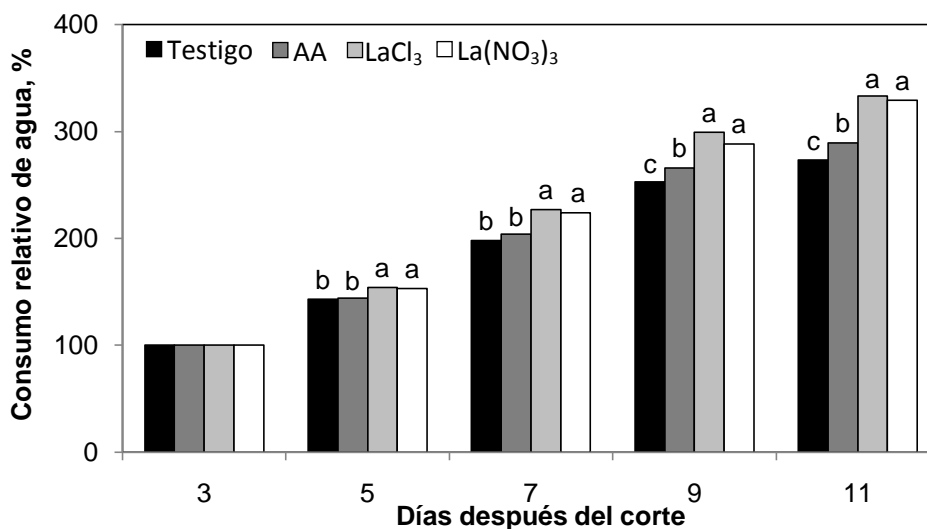


Figura 17. Consumo relativo de agua del tallo floral con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.3.9.3. Consumo relativo de agua por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

El mayor consumo relativo a los 5 ddc se encontró en la variedad Laura Fygi con $\text{La}(\text{NO}_3)_3$; mientras que a los 7 ddc fue en Barcelona sin solución preservadora (testigo), esta última variedad mostro el menor consumo de agua con ácido ascórbico, LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ a los 5, 7, 9 y 11 ddc; es decir, estos compuestos químicos afectaron la absorción de agua en la variedad Barcelona. El mayor consumo de los tallos florales a los 9 y 11 ddc se encontró con LaCl_3 y la variedad Jan van Nes que incrementaron su consumo con respecto al tercer día en más de cuatro veces. El menor consumo relativo se mostró en el testigo de la variedad Pink Impression y Acrópolis (Cuadro 22).

Cuadro 22. Consumo relativo de agua del tallo floral en postcosecha en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Consumo relativo de agua, %			
		-----ddc-----			
		5	7	9	11
Pink Impression	Testigo	130nopq ^z	150xy	158z	181z
	AA	138yz	176xy	211yz	223xyz
	LaCl ₃	140nopq	196stuv	228vwx	260uvw
	La(NO ₃) ₃	145jklm	186vwx	242tuv	305mnop
Jan van Nes	Testigo	132nopq	211lmno	313efgh	330ijkl
	AA	139nopq	198stuv	319efgh	366efgh
	LaCl ₃	142jklm	293abc	442a	507a
	La(NO ₃) ₃	116qrs	147yz	213yz	254uvw
World's Favorite	Testigo	130nopq	212lmno	239vwx	253uvw
	AA	136nopq	204pqrs	251pqrs	267qrst
	LaCl ₃	161def	242cde	308hijk	345efgh
	La(NO ₃) ₃	154fghi	192stuv	267pqrs	289mnop
Acrópolis	Testigo	126qrs	131z	155z	160z
	AA	115rs	149xy	176z	181z
	LaCl ₃	155fghi	211lmno	262pqrs	277qrst
	La(NO ₃) ₃	172bc	215lmno	260pqrs	277qrst
Snow Lady	Testigo	125qrs	163xy	216yz	223xyz
	AA	137nopq	191stuv	212yz	231xyz
	LaCl ₃	183ab	234efgh	301hijk	358efgh
	La(NO ₃) ₃	162def	207pqrs	244tuv	283mnop
Lefeber's Memory	Testigo	150fghi	181uvw	220vwx	229xyz
	AA	152fghi	188uvw	233vwx	244xyz
	LaCl ₃	165cd	206pqrs	237vwx	277qrst
	La(NO ₃) ₃	163def	212lmno	259pqrs	290mnop
Red Shine	Testigo	143jklm	171xy	231vwx	226xyz
	AA	161def	193stuv	253pqrs	266qrst
	LaCl ₃	152fghi	191stuv	266pqrs	302mnop
	La(NO ₃) ₃	150fghi	231efgh	335cde	395c
Synaeda Show	Testigo	137nopq	147yz	188z	198z
	AA	163def	225hijk	349cde	384cde
	LaCl ₃	145jklm	224hijk	309efgh	368efgh
	La(NO ₃) ₃	152fghi	236efgh	311efgh	374cde
Lalibela	Testigo	141jklm	185uvw	233vwx	255uvw
	AA	134nopq	211lmno	237vwx	258uvw
	LaCl ₃	111s	209pqrs	253pqrs	296mnop
	La(NO ₃) ₃	123qrs	219lmno	262pqrs	308mnop

Cuadro 22. (Continuación).

Variedad	Solución	Consumo relativo de agua, %			
		5	7	9	11
Golden Parade	Testigo	154fghi	204pqrs	249tuv	269qrst
	AA	154fghi	181uwx	249tuv	256uvw
	LaCl ₃	170cd	235efgh	305hijk	324ijkl
	La(NO ₃) ₃	162def	234efgh	291lmno	309mnop
Red Impression	Testigo	163def	246cde	379c	393cde
	AA	124qrs	209pqrs	326efgh	342fgh
	LaCl ₃	171bc	245cde	423ab	453b
	La(NO ₃) ₃	175bc	290abc	398ab	459a
Barcelona	Testigo	174bc	296a	342cde	395c
	AA	171bc	275abc	337cde	382cde
	LaCl ₃	157fghi	219lmno	294lmno	319ijkl
	La(NO ₃) ₃	145jklm	220hijk	282lmno	323ijkl
Violet Beauty	Testigo	135nopq	186vwx	285lmno	331ijkl
	AA	136nopq	205pqrs	297lmno	346efgh
	LaCl ₃	141jklm	237efgh	307hijk	347efgh
	La(NO ₃) ₃	118qrs	228hijk	307hijk	350efgh
Laura Fygi	Testigo	156fghi	199stuv	240tuv	257uvw
	AA	163def	211lmno	246tuv	274qrst
	LaCl ₃	158fghi	207pqrs	248tuv	276qrst
	La(NO ₃) ₃	207a	258abc	317efgh	351efgh
Rosario	Testigo	154fghi	290abc	346cde	389cde
	AA	137nopq	243cde	289lmno	315ijkl
	LaCl ₃	151fghi	256abc	298lmno	292mnop
	La(NO ₃) ₃	155fghi	278abc	328efgh	371cde
DMS_{0.05}		25.10	37.90	46.5	50.1

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.10. Curvatura del tallo floral

6.3.10.1. Curvatura del tallo floral por efecto de la variedad

En el Cuadro 23, se muestra una amplia variación en la curvatura de tallo en las variedades del tulipán en la vida en florero, existiendo diferencias estadísticas significativas a los 5 y 10 ddc, así como en el último día en florero.

A los 5 ddc, el ángulo de curvatura promedio de las variedades evaluadas fue de 64°. Siendo las variedades con mayor curvatura Laura Fygi, Violet Beauty, Red Shine, Rosario y Golden Parade con una curvatura que osciló entre 70 y 75°; en contraste, Acrópolis y Snow Lady tuvieron la curvatura más baja. A los 10 ddc todas las variedades mostraron una curvatura superior a los 50° con excepción de Acrópolis que presentó menor curvatura (37° a los 10 ddc). En el último día en florero, sólo las variedades Pink, Snow Lady y Synaeda Show mostraron un incremento en el ángulo de curvatura con respecto a los 5 ddc, en las variedades restantes la curvatura disminuyó, destacando Lalibela que mostró una reducción en la curvatura al 29% (pasando de 62° a 18°) (Cuadro 23).

Cuadro 23. Curvatura del tallo floral en postcosecha de diferentes variedades de tulipán.

Variedad	-----Curvatura del tallo, grados-----		
	5 ddc	10 ddc	Último día en florero
Pink Impression	66de ^z	69a	69a
Jan van Nes	63efg	64bc	63b
World's Favorite	64defg	53e	53f
Acrópolis	44i	37f	37g
Snow Lady	56h	62c	59cd
Lefeber's Memory	65def	57d	51f
Red Shine	72ab	58d	54ef
Synaeda Show	61g	62c	62cd
Lalibela	62fg	57d	18i
Golden Parade	70bc	64bc	63bcd
Red Impression	61g	57d	57ef
Barcelona	67cd	57d	57ef
Violet Beauty	74a	64bc	51g
Laura Fygi	75a	64bc	67a
Rosario	70bc	66ab	66ab
Promedio	64	59	55
DMS_{0.05}	3.11	3.26	3.6

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

En otras geofitas como la *Kniphofia* (*Kniphofia* sp.) también se ha observado un enderezamiento del tallo floral provocado por una variación en biosíntesis de etileno, así como por una diferente concentración de carbohidratos (Woltering *et al.*, 1991).

La curvatura del tallo (gravitropismo negativo) es relativamente común en especies florícolas (flor de corte o maceta); siendo un problema que afecta la calidad de los tallos en el mercado y disminuye su comercialización. El gravitropismo negativo es básicamente un proceso irregular de crecimiento que ocurre sólo en las regiones del tallo capaces de crecer aún durante la etapa de madurez comercial (Halevy y Mayak, 1981). No obstante, a nivel fisiológico es un proceso complejo que requiere la participación, en secuencia o paralela, de distintos componentes celulares, los cuales generalmente presentan variación entre genotipos.

Van der Meulen *et al.* (1997), mencionan que para reducir el gravitropismo negativo en tallos florales de tulipán es necesario seleccionar cultivares o variedades que muestren un crecimiento mínimo del tallo en postcosecha, ya que la elongación del tallo es un carácter controlado genéticamente y que los tulipanes padres transmiten a sus descendientes. La cruce de variedades que muestren una mínima elongación del tallo en postcosecha puede generar nuevas variedades con un menor crecimiento del tallo.

6.3.10.2. Curvatura en el tallo floral por efecto de la solución preservadora

La curvatura de los tallos florales en postcosecha mostró cambios significativos en función de las soluciones preservadoras (Figura 18). A los 5 y 10 ddc y en el último día en florero se observó la mayor curvatura del tallo en el tratamiento testigo, seguida de la solución preservadora con ácido ascórbico. En contraste el menor ángulo de curvatura se presentó con los tratamientos de La^{3+} en ambas fuentes, destacando el LaCl_3 con una curvatura de 59, 47 y 44° a los 5 ddc, 10 ddc y el último día en florero, respectivamente (Cuadro 24). Se ha demostrado que el Ca^{2+} citosólico interviene como segundo mensajero en la curvatura gravitropica de tallos florales ya que este provoca una redistribución de auxinas a lo largo de los tallos florales e incrementa la producción de etileno generando la curvatura (Philosoph-Hadas *et al.*, 1996). El La^{3+} inhibe varios procesos dependientes del Ca^{2+} , bloquea los canales del calcio y estimula a la Ca^{2+} -ATPasa, impidiendo un incremento en el Ca^{2+} citosólico (Belyavskaya, 1996; Staves, 1997). Por lo tanto el La^{3+} se puede utilizar para disminuir la curvatura de tallos florales en tulipán, como lo señala Kim *et al.* (2005). La curvatura del tallo es deseable controlarla, ya que reduce el valor estético y comercial de las flores.

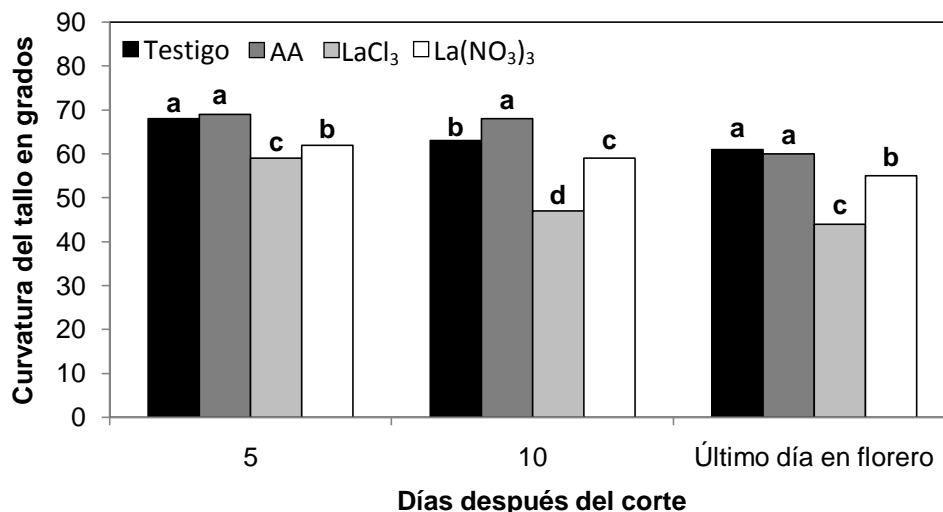


Figura 18. Curvatura del tallo flora con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. Barras del mismo color con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

6.3.10.3. Curvatura en el tallo floral por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

Generalmente en la mayoría de las variedades la solución preservadora con La³⁺ presentó la menor curvatura en comparación con el testigo. El ácido ascórbico mostró un comportamiento irregular para cada variedad. Por ejemplo, en el último día en florero Pink Impression, Jan van Nes, Red Shine, Synaeda Show y Rosario mostraron la menor curvatura de tallo con LaCl₃ o La(NO₃)₃ con relación al ácido ascórbico y testigo; sin embargo, en estos tratamientos el testigo mostró valores más bajos que el ácido ascórbico. En World’s Favorite, Lefeber’s Memory, Lalibela, Golden Parade, Red Impression, Barcelona, Violet Beauty y Laura Fygi, la aplicación de ácido ascórbico, LaCl₃ o La(NO₃)₃ en la solución preservadora generó la curvatura más baja en relación al tratamiento control. En variedades como Acrópolis y Snow Lady el suministro de ácido ascórbico, LaCl₃ o La(NO₃)₃ en la solución, generaron la mayor curvatura del tallo (Cuadro 24).

Cuadro 24. Curvatura del tallo floral en postcosecha en tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	-----Curvatura del tallo, grados-----		
		5ddc	10ddc	Último día en florero
Pink Impression	Testigo	66ijkl ²	73ab	73ab
	AA	72fgh	81a	81a
	LaCl ₃	61qrs	53ijk	53uvw
	La(NO ₃) ₃	66mnop	68bcd	68efg
Jan van Nes	Testigo	80abc	57ghi	60klmno
	AA	76cde	73ab	67hij
	LaCl ₃	46vw	58ghi	56qrst
	La(NO ₃) ₃	52tuv	70bcd	70efg
World's Favorite	Testigo	70fgh	57ghi	57klmno
	AA	71fgh	53ijk	53uvw
	LaCl ₃	52tuv	47k	47wxy
	La(NO ₃) ₃	62qrs	55ijk	55qrst
Acrópolis	Testigo	61qrs	19m	19z
	AA	62qrs	55ijk	55qrst
	LaCl ₃	40vw	33m	33z
	La(NO ₃) ₃	30y	50ijk	50wxy
Snow Lady	Testigo	35x	73ab	45yz
	AA	35x	71bcd	72cde
	LaCl ₃	67ijkl	50ijk	55qrst
	La(NO ₃) ₃	85a	52ijk	65hij
Lefeber's Memory	Testigo	65mnop	64def	62klmno
	AA	76cde	62def	54uvw
	LaCl ₃	51tuv	48k	40yz
	La(NO ₃) ₃	66ijkl	53ijk	47wxy
Red Shine	Testigo	62qrs	62def	62klmno
	AA	77cde	64def	63klmno
	LaCl ₃	72fgh	50ijk	40yz
	La(NO ₃) ₃	77cde	57ghi	51wxy
Synaeda Show	Testigo	69fgh	73ab	65ab
	AA	83abc	71bcd	72cde
	LaCl ₃	45vw	50ijk	45wxy
	La(NO ₃) ₃	48vw	52ijk	55wxy
Lalibela	Testigo	83a	75ab	52wxy
	AA	51tuv	71bcd	17z
	LaCl ₃	62qrs	28l	2z
	La(NO ₃) ₃	52tuv	54ijk	1z

Cuadro 24. (Continuación).

Variedad	Solución	-----Curvatura del tallo, grados-----		
		5ddc	10ddc	Último día en florero
Golden Parade	Testigo	71fgh	57ghi	80a
	AA	74fgh	73ab	32yz
	LaCl ₃	64mnl	58ghi	66hij
	La(NO ₃) ₃	69ijkl	70bcd	74ab
Red Impression	Testigo	65mnop	64def	64hij
	AA	55tuv	62def	63klmno
	LaCl ₃	53tuv	48k	48wxy
	La(NO ₃) ₃	70fgh	53ijk	53uvw
Barcelona	Testigo	80abc	75ab	75ab
	AA	83abc	71bcd	71cde
	LaCl ₃	52tuv	28l	28yz
	La(NO ₃) ₃	52tuv	54ijk	54uvw
Violet Beauty	Testigo	80abc	57ghi	55qrst
	AA	77cde	73ab	54qrst
	LaCl ₃	76cde	58ghi	47wxy
	La(NO ₃) ₃	63mnop	70bcd	48mno
Laura Fygi	Testigo	72fgh	72bcd	78ab
	AA	78cde	75ab	77ab
	LaCl ₃	74fgh	47k	44yz
	La(NO ₃) ₃	75fgh	63def	70efg
Rosario	Testigo	63mnop	68bcd	68efg
	AA	68ijkl	69bcd	69efg
	LaCl ₃	72fgh	62def	62klmno
	La(NO ₃) ₃	78cde	63def	63jk
DMS_{0.05}		8.24	8.62	8.02

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.3.11. Vida en florero

6.3.11.1. Vida en florero por efecto de la variedad

Las variedades evaluadas presentaron diferencias estadísticas significativas en la duración de la vida en florero. La variedad Laura Fygi registró la mayor vida en florero con 13 días, seguida de Snow Lady, Red Shine y Lalibela con 12. Golden Parade, Jan van Nes, Lefeber's Memory, Synaeda Show, Violet Beauty registraron hasta 11 días y

Rosario, Pink Impression, World’s Favorite, Red Impression y Barcelona solamente alcanzaron 10 días en florero. El cultivar Acrópolis, fue el de menor vida en florero (Figura 19). La mayor longevidad en florero de Laura Fygi se asoció con diferentes características en pre y postcosecha. En precosecha influyó el número de hojas por planta (Figura 8A) y en postcosecha el consumo de agua (Cuadro 21).

El número de días en florero de este trabajo es superior al encontrado por Benschop y De Hertogh (1971) quienes reportan un promedio de vida en florero de 5 días en 77 cultivares de tulipán. Ahmed y Khurshid (2004), observaron un número máximo de días en florero de 9, y el más bajo de 5.8 días. Este comportamiento se asoció con el potencial genético de cada variedad. Benschop y De Hertogh (1971), mencionan que para crear nuevas variedades sería deseable seleccionar cultivares con un mayor longevidad en el florero. Van der Meulen *et al.* (1997) al realizar el cruzamiento de genotipos de tulipán con una vida en florero aceptable encontraron que sus descendientes presentaban una vida en florero más alta.

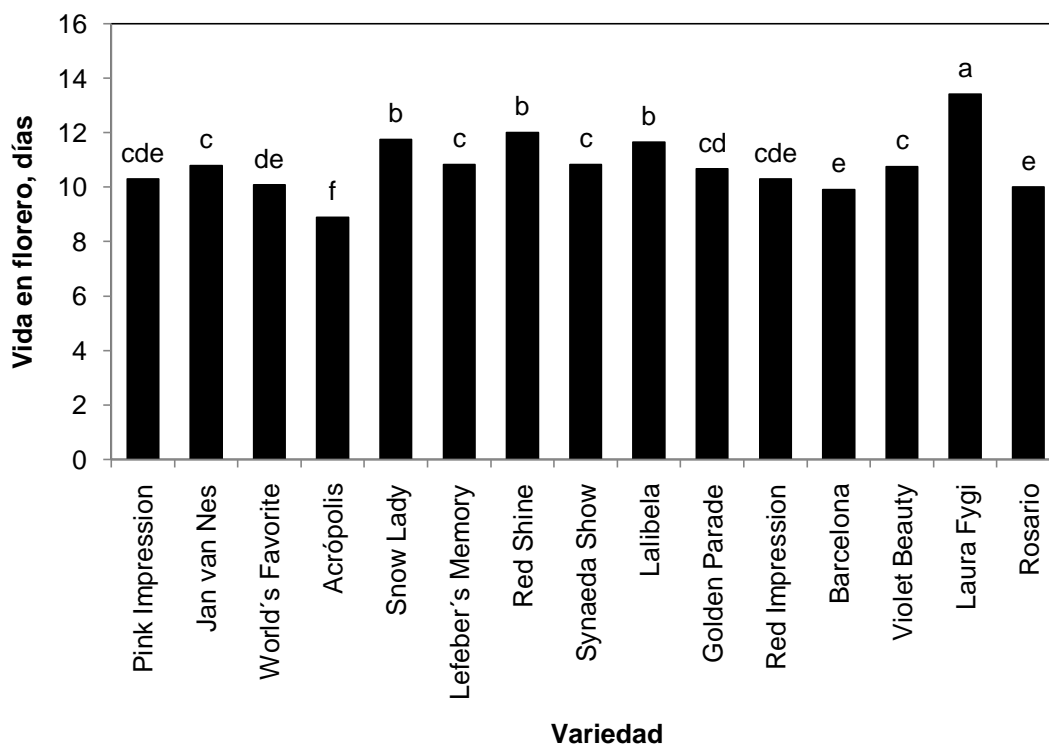


Figura 19. Vida en florero de diferentes variedades de tulipán. Barras con letras distintas indican diferencia estadística significativa ($P \leq 0.05$).

6.3.11.2. Vida en florero por efecto de la solución preservadora

Las soluciones preservadoras evaluadas tuvieron efectos significativos en la vida de florero. El ácido ascórbico, LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ mostraron el mayor número de días en florero (13, 12 y 9 días, respectivamente), en relación al testigo (8.5 días) (Figura 20). La mayor vida en florero de los tratamientos con La^{3+} se debió a la mayor longitud del tallo (Figura 12), peso fresco (Figura 14) y consumo de agua (Figura 16). Además, el La^{3+} puede ejercer una acción antagonista con el etileno e incrementar la actividad antioxidante celular disminuyendo la formación de ERO's, retardando así la senescencia (Fashui *et al.*, 2000; 2005). Por otra parte, en especies como girasol ornamental, gladiola y ginger rojo se ha observado que el ácido ascórbico incrementa la vida en florero (Sodi y Ferrante, 2005; Pereyra y Ávila, 2005), debido a que disminuye las tasas de respiración y de producción de etileno (Ieamtim *et al.*, 2008).

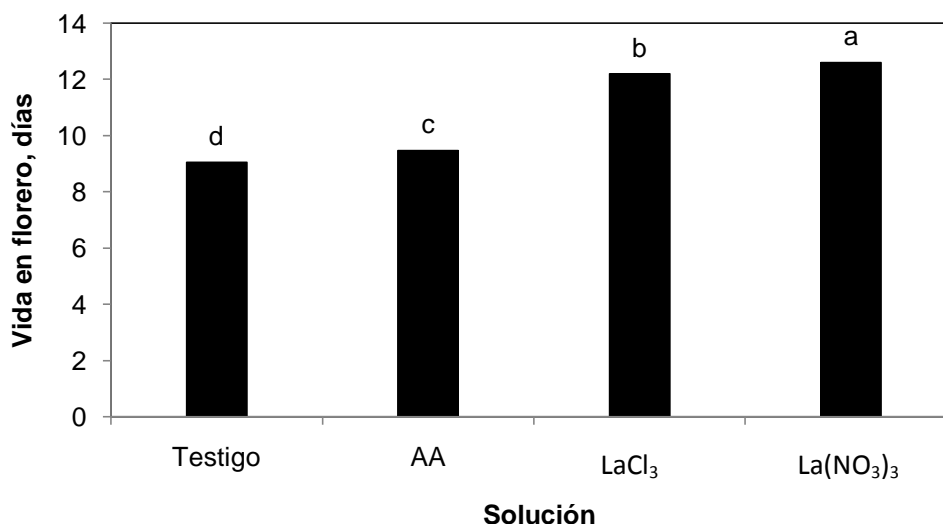


Figura 20. Vida en florero en tulipán con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.3.11.3. Vida en florero por efecto de la interacción variedad × solución preservadora

La interacción variedad × solución preservadora mostró efectos significativos sobre la vida en florero. En general, la mayor vida en florero en todas las variedades se encontró con LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. El ácido ascórbico en Acrópolis, Red Shine y Rosario mostró una vida en florero más baja que el tratamiento testigo. Variedades como Snow Lady y Laura Fygi en solución preservadora conteniendo $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ mostraron la vida en

florero más alta con 14 y 15 días, respectivamente. Pink Impression, World’s Favorite, Snow Lady, Golden Parade y Barcelona sin solución preservadora registraron la menor vida en florero oscilando entre 6 y 8 días (Cuadro 25).

Cuadro 25. Vida en florero de tulipán por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Vida en florero (días)	Variedad	Solución	Vida en florero (días)
Pink Impression	Testigo	8jkl ^z	Lalibela	Testigo	12cde
	AA	10efg		AA	12cde
	LaCl ₃	11efg		LaCl ₃	11efg
	La(NO ₃) ₃	12cde		La(NO ₃) ₃	12cde
Jan van Nes	Testigo	8jkl	Golden Parade	Testigo	8jkl
	AA	10efg		AA	9ghi
	LaCl ₃	13bcd		LaCl ₃	12cde
	La(NO ₃) ₃	13bcd		La(NO ₃) ₃	13bcd
World’s Favorite	Testigo	7mn	Red Impression	Testigo	8jkl
	AA	8jkl		AA	9ghi
	LaCl ₃	12cde		LaCl ₃	12cde
	La(NO ₃) ₃	13bcd		La(NO ₃) ₃	12cde
Acrópolis	Testigo	8jkl	Barcelona	Testigo	6n
	AA	7mn		AA	8jkl
	LaCl ₃	9ghi		LaCl ₃	13bcd
	La(NO ₃) ₃	11efg		La(NO ₃) ₃	13bcd
Snow Lady	Testigo	8jkl	Violet Beauty	Testigo	9ghi
	AA	12cde		AA	9ghi
	LaCl ₃	13bcd		LaCl ₃	13bcd
	La(NO ₃) ₃	14a		La(NO ₃) ₃	12cde
Lefeber’s Memory	Testigo	9ghi	Laura Fygi	Testigo	12cde
	AA	9ghi		AA	13bcd
	LaCl ₃	13bcd		LaCl ₃	14a
	La(NO ₃) ₃	12cde		La(NO ₃) ₃	15a
Red Shine	Testigo	13abc	Rosario	Testigo	9ghi
	AA	10efg		AA	8jkl
	LaCl ₃	13bcd		LaCl ₃	12cde
	La(NO ₃) ₃	13bcd		La(NO ₃) ₃	12cde7
Synaeda Show	Testigo	9ghi	DMS_{0.05}		1.73
	AA	10efg			
	LaCl ₃	12cde			
	La(NO ₃) ₃	12cde			

^zLetras distintas entre columnas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.4. Variables fisiológicas

6.4.1. Contenido de clorofilas al momento del corte y al último día en florero

6.4.1.1. Contenido de clorofilas al momento del corte y al último día en florero por efecto de la variedad.

El contenido de clorofila a, b y total mostró diferencias significativas entre variedades al momento del corte y al último día en florero (Cuadro 26).

Cuadro 26. Contenido de clorofila a, b y total en hoja de diferentes variedades de tulipán al momento del corte y al último día en florero.

Variedad	Clorofila al momento del corte			Clorofila último día en florero		
	-----mg g ⁻¹ PF-----			-----mg g ⁻¹ PF-----		
	A	b	total	a	b	total
Pink Impression	2.07 ^z	3.76gh	5.87h	3.10ab	5.62abc	8.78abc
Jan van Nes	2.60ghij	4.08g	6.72fg	3.06abc	5.73ab	8.85abc
World's Favorite	3.61 ^a	5.82bc	9.49ab	3.25a	6.13a	9.45a
Acrópolis	2.33jkl	3.96gh	6.33gh	3.31a	5.20cd	8.57c
Snow Lady	3.27bcd	5.58cd	8.91bc	1.81i	4.40e	6.25f
Lefeber's Memory	2.17kl	3.58h	5.78h	3.16a	6.06a	9.28ab
Red Shine	2.93efg	5.05ef	8.03de	2.15gh	4.04ef	6.23f
Synaeda Show	3.41abc	6.12ab	9.58ab	2.27fg	3.99ef	6.31f
Lalibela	2.56hij	4.01gh	6.63g	1.90hi	3.16g	5.10g
Golden Parade	2.76fgh	4.75f	7.56e	1.86i	3.55fg	5.44g
Red Impression	3.18cde	5.32de	8.56cd	2.61de	3.71f	6.36f
Barcelona	2.43ijk	4.14g	6.61g	2.46ef	4.29e	6.79ef
Violet Beauty	3.06def	5.30de	8.41cd	3.12a	5.43bcd	8.61bc
Laura Fygi	2.69ghi	4.63f	7.37ef	2.81cd	4.40e	7.26de
Rosario	3.53ab	6.43a	10.03a	2.85bcd	4.93d	7.83d
Promedio	2.84	4.84	7.73	2.65	4.71	7.41
DMS_{0.05}	0.33	0.47	0.70	0.26	0.52	0.69

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

Al momento del corte las variedades con mayor concentración de clorofila a fueron World's Favorite, Rosario y Synaeda Show, mientras que World's Favorite, Rosario y Synaeda Show tuvieron el menor contenido de clorofila a. Al igual que la clorofila a, las variedades World's Favorite, Rosario y Synaeda Show mostraron la más alta concentración de clorofila b y total y World's Favorite; Rosario registró la más baja. En promedio al momento del corte se encontró un contenido de clorofila a, b y total de

2.84, 4.84 y 7.73 mg g⁻¹ PF y disminuyó para el último día en florero en 7, 3 y 4%, respectivamente. Este proceso es común en la senescencia foliar ya que los orgánulos se degradan lentamente comenzando por los cloroplastos (Smart, 1994). Sin embargo, se observaron variedades que para el último día en florero mostraron un mayor contenido de clorofila a, b y total. Por ejemplo, Pink Impression, Jan van Nes, Acrópolis, Lefeber's Memory, Barcelona y Violet Beauty mostraron un incremento de clorofila total, mientras que en las restantes se observó una degradación (Cuadro 26).

Estas diferencias pueden asociarse a las diferentes concentraciones de fitohormonas que presentan las variedades. Así, una mayor concentración de citocininas y giberelinas retrasarán la degradación de clorofilas, mientras que el etileno la acelerarán. El etileno es uno de los principales componentes que degradan la clorofila en hojas senescentes de flores de corte o en follaje ornamental (Ferrante y Francini, 2006) y aunque en la literatura se menciona que en general tulipán no es sensible al etileno (Paulin, 1997), recientemente se ha demostrado que esta sensibilidad dependerá de la variedad o cultivar (Wild *et al.*, 2002; Miszczak *et al.*, 2003). Las flores de crisantemo, por ejemplo, pueden ser clasificadas como sensibles o insensibles al amarillamiento de la hoja como respuesta a la aplicación de etileno. Reyes *et al.* (2000) encontraron al suministrar 100 µL L⁻¹ de etileno, un rápido amarillamiento foliar en especies sensibles, mientras que no se observaron cambios en el color de la hoja en plantas de crisantemo insensibles.

Entre variedades, la mayor concentración de clorofila a y b para el último día en florero se encontró en Pink Impression, Jan van Nes, World's Favorite, Acrópolis, Lefeber's Memory y Violet Beauty con valores superiores a 3.0 y 5.0 mg g⁻¹ PF, para clorofila a y b, respectivamente. (Cuadro 26).

6.4.1.2. Contenido de clorofilas al último día en florero por efecto de la solución preservadora

Para el factor solución preservadora sólo se determinó el contenido de clorofilas en el último día en florero ya que al momento del corte no hay efecto de las soluciones preservadoras. Así, la clorofila a, b y total de los diferentes tratamientos mostró cambios significativos (Figura 21).

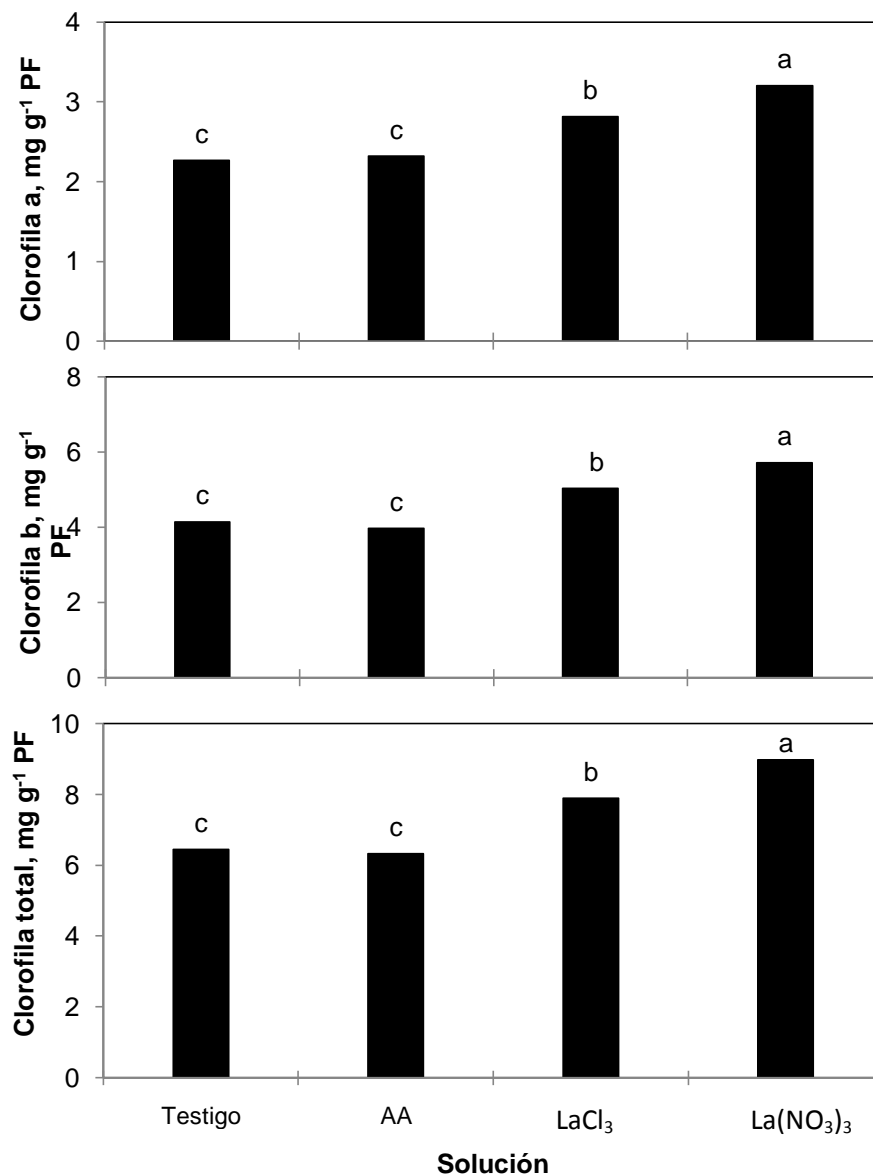


Figura 21. Contenido de clorofila a, b y total en hoja de tulipán al final de la vida en florero con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. Barras con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

La cantidad de clorofila a fue más alta con cualquier solución preservadora en comparación con el testigo, registrándose la mayor concentración de ésta con La(NO₃)₃ (3.21 mg g⁻¹ PF) que supera en 14, 38 y 41% a LaCl₃, ácido ascórbico y el testigo, respectivamente. Para la clorofila b y total el tratamiento con ácido ascórbico mostró los valores más bajos (5.72 y 8.98 mg g⁻¹ PF, respectivamente). Aunque no se ha observado el efecto de La³⁺ en postcosecha de ornamentales, en especies como

espinaca, maíz y tabaco se ha registrado un incremento en el contenido de clorofila con el suministro de lantano, debido a que hay un aumento en la formación de Mg²⁺-clorofila a o La³⁺-clorofila (Liao *et al.*, 1994; Fashui *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2003).

6.4.1.3. Contenido de clorofilas el último día en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

Debido a que no hay efecto de las soluciones preservadoras sobre contenido de clorofilas al momento del corte, en la interacción variedad x solución preservadora sólo se consideró la concentración de clorofila a, b y total al final de la vida en florero. En el Cuadro 27, se puede observar que en las variedades Jan van Nes, Acrópolis, Snow Lady, Red Shine, Synaeda Show, Lalibela, Red Impression, Barcelona, Violet Beauty y Rosario la adición de ácido ascórbico disminuyó la concentración de clorofila a, b y total, tomando como referencia el testigo. En las variedades restantes este tratamiento, así como el de LaCl₃ y La(NO₃)₃ generaron un incremento en cualquier tipo de clorofila, sobresaliendo Lefeber’s Memory con La(NO₃)₃ que mostró los valores más altos con 4.01, 7.86 y 11.95 mg g⁻¹ PF, para clorofila a, b y total, respectivamente. En el testigo de Golden Parade se observó la menor concentración de clorofila (Cuadro 27).

Cuadro 27. Contenido de clorofilas en hoja de tulipán al final de la vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Clorofila al último día en florero, mg g ⁻¹ PF		
		a	b	Total
Pink Impression	Testigo	2.37rst ^z	3.95tuv	6.35vwx
	AA	3.11ghij	5.57hij	8.73hij
	LaCl ₃	3.34efg	6.36cde	9.76cd
	La(NO ₃) ₃	3.59cd	6.63bc	10.29bc
Jan van Nes	Testigo	3.08hijk	6.17efg	9.30efg
	AA	2.95hijk	4.17nop	7.17opqr
	LaCl ₃	2.93hijk	5.71efg	8.69hij
	La(NO ₃) ₃	3.28ghij	6.90bc	10.23cd
World’s Favorite	Testigo	2.30rst	5.58hij	7.92klmn
	AA	3.36def	6.21efg	9.63de
	LaCl ₃	3.64c	6.25efg	9.96cd
	La(NO ₃) ₃	3.73c	6.51cde	10.31bc

Cuadro 27. (Continuación).

Variedad	Solución	Clorofila al último día en florero, mg g ⁻¹ PF		
		a	b	Total
Acrópolis	Testigo	2.66klmn	4.28nop	6.98stu
	AA	2.54nopq	3.52tuv	6.11vwx
	LaCl ₃	4.27a	6.02efg	10.36bc
	La(NO ₃) ₃	3.79b	7.00b	10.86b
Snow Lady	Testigo	1.64xyz	3.56tuv	5.23yz
	AA	1.63xyz	3.34wxyz	5.00yz
	LaCl ₃	1.89wx	6.60c	8.54klmn
	La(NO ₃) ₃	2.07tuv	4.13nop	6.23vwx
Lefeber's Memory	Testigo	2.11tuv	4.41lmn	6.56stu
	AA	3.11ghij	5.94efg	9.10efg
	LaCl ₃	3.42cd	6.04efg	9.52de
	La(NO ₃) ₃	4.01a	7.86a	11.95a
Red Shine	Testigo	2.12tuv	4.04qrst	6.19vwx
	AA	1.49xyz	3.10wxyz	4.62yz
	LaCl ₃	2.36rst	4.02qrst	6.43stu
	La(NO ₃) ₃	2.65klmn	5.01jk	7.71opq
Synaeda Show	Testigo	1.89wx	3.17wxyz	5.09yz
	AA	1.5xyz	2.73wxyz	4.26yz
	LaCl ₃	2.36rst	3.66tuv	6.06vwx
	La(NO ₃) ₃	3.33efg	6.44cde	9.83cd
Lalibela	Testigo	1.73wx	2.89wxyz	4.62yz
	AA	1.61xyz	2.84wxyz	4.47yz
	LaCl ₃	1.84wx	2.97wxyz	4.84yz
	La(NO ₃) ₃	2.45nopq	3.99qrst	6.48stu
Golden Parade	Testigo	1.38xyz	3.10wxyz	4.47yz
	AA	1.59xyz	2.99wxyz	4.61yz
	LaCl ₃	2.04tuv	3.99qrst	6.07vwx
	La(NO ₃) ₃	2.43nopq	4.15nop	6.62stu
Red Impression	Testigo	2.26rst	3.48wxyz	5.78yz
	AA	2.21tuv	2.91wxyz	5.15yz
	LaCl ₃	2.60nopq	4.08nop	6.72stu
	La(NO ₃) ₃	3.37def	4.38nop	7.81klmn
Barcelona	Testigo	2.44nopq	4.06nop	6.54stu
	AA	2.24rst	3.63tuv	5.91yz
	LaCl ₃	2.23rst	4.80jk	7.07opqr
	La(NO ₃) ₃	2.93klmn	4.69lmn	7.67opqr

Cuadro 27. (Continuación).

Variedad	Solución	Clorofila al último día en florero, mg g ⁻¹ PF		
		a	b	Total
Violet Beauty	Testigo	2.98hijk	5.25jk	8.29klmn
	AA	2.64klmn	4.72lmn	7.41opqr
	LaCl ₃	3.10ghij	5.28jk	8.44klmn
	La(NO ₃) ₃	3.77b	6.49cde	10.33bc
Laura Fygi	Testigo	2.28rst	3.69tuv	6.01vwx
	AA	2.28rst	3.69tuv	6.00vwx
	LaCl ₃	3.38def	4.67lmn	8.11klmn
	La(NO ₃) ₃	3.31efg	5.57hij	8.94efg
Rosario	Testigo	2.70klmn	4.56lmn	7.30opqr
	AA	2.50nopq	4.19nop	6.74stu
	LaCl ₃	2.85klmn	5.01jk	7.91klmn
	La(NO ₃) ₃	3.34efg	6.00efg	9.40efg
DMS_{0.05}		0.38	0.61	0.75

²Letras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.4.2. Contenido de azúcares al momento del corte y al último día en florero

6.4.2.1. Contenido de azúcares al momento del corte y al último día en florero por efecto de la variedad

En el Cuadro 28, se presenta el contenido de azúcares al momento del corte y al final de la vida en florero de cada variedad, observándose diferencias estadísticas significativas.

El mayor contenido de azúcares en pétalos al momento del corte se registró en las variedades Snow Lady, Barcelona y World's Favorite; mientras que en el último día en florero fue en Acrópolis, Lefeber's Memory y Jan van Nes. Comparando en contenido de azúcares en las dos etapas podemos observar que variedades como Pink Impression, Jan van Nes, Acrópolis, Lefeber's Memory, Red Shine, Synaeda Show, Lalibela, Golden Parade, Red Impression y Rosario incrementaron la concentración de azúcares del momento del corte al último día en florero (Cuadro 28).

Uno de los síntomas de la senescencia es disminución en los azúcares; sin embargo esto no siempre sucede. Según van Doorn (2004), la senescencia de pétalos puede

deberse por una removilización de azúcares hacia otras partes de la planta o bien por una acumulación de azúcares. En muchas especies los niveles de azúcares en los pétalos siguen siendo altos aún cuando los síntomas de senescencia son ya visibles, tal es el caso de algunas variedades de clavel (van Doorn y Woltering, 2008).

En *Lilium multiflorum* y *Alstroemeria peleigrina* el suministro de azúcares aceleró el amarillamiento de las hojas en los tallos florales (van Doorn, 2004). En hojas senescentes de tabaco y arabidopsis se observó una alta concentración de azúcares, descartando que la disminución en estas moléculas sea el factor que aceleró la senescencia (Masclaux *et al.*, 2000; Yoshida, 2003).

El contenido más bajo de azúcares al momento del corte se encontró en las variedades Lalibela y Rosario y el último día en florero en Rosario (Cuadro 28).

Cuadro 28. Contenido azúcares totales en pétalos de diferentes variedades de tulipán al momento del corte y al último día en florero.

Variedades	Azúcares, mg g ⁻¹ PF	
	Al momento de corte	Último día en florero
Pink Impression	0.203cd ^z	0.223cd
Jan van Nes	0.122gh	0.268ab
World's Favorite	0.278a	0.171fg
Acrópolis	0.238b	0.297a
Snow Lady	0.298a	0.243bc
Lefeber's Memory	0.135fg	0.276ab
Red Shine	0.165e	0.208de
Synaeda Show	0.192de	0.199def
Lalibela	0.097i	0.202def
Golden Parade	0.109hi	0.180ef
Red Impression	0.225bc	0.229cd
Barcelona	0.283a	0.185ef
Violet Beauty	0.233b	0.138gh
Laura fysi	0.155ef	0.135h
Rosario	0.102hi	0.133h
Promedio	0.189	0.206
DMS_{0.05}	0.023	0.034

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.4.2.2. Contenido de azúcares al último día en florero por efecto por efecto de la solución preservadora

Las soluciones preservadoras generaron diferencias significativas en el contenido de azúcares en pétalos en el último día en florero. El mayor contenido de azúcares se observó con la solución conteniendo LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, con un contenido de azúcares de $0.225 \text{ mg g}^{-1} \text{ PF}$. El testigo mostró la menor acumulación de azúcares (Figura 22). Chen *et al.* (2000) y Chen *et al.* (2001), mencionan diversos mecanismos en donde el La^{3+} mejoró la fotosíntesis y en consecuencia la concentración de azúcares o bien el La^{3+} ocasionó una traslocación más eficiente de azúcares de la hoja hacia los pétalos.

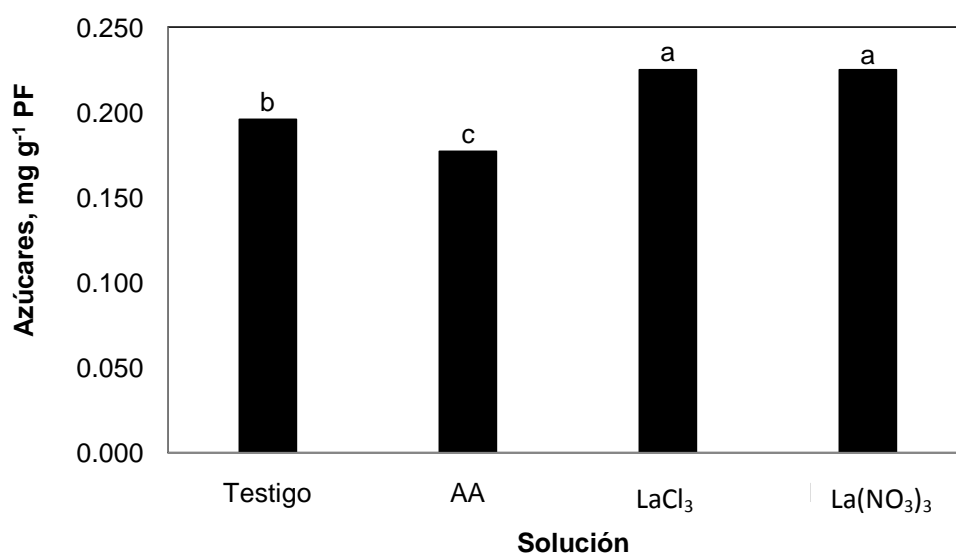


Figura 22. Contenido de azúcares totales en pétalos de tulipán al final de la vida en florero con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.4.2.3. Contenido de azúcares al último día en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

El mayor contenido de azúcares en pétalos el último día en florero se tuvo en las variedades Acrópolis y Lefeber's Memory con la solución preservadora de $\text{La}(\text{NO}_3)_3$. En Pink Impression, World's Favorite, Lalibela, Golden Parade, Red Impression y Barcelona la adición de ácido ascórbico afectó la concentración de azúcares, ya que su valor fue más bajo que en el testigo. La aplicación de ácido ascórbico, LaCl_3 o $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ disminuyó considerablemente los azúcares totales en la variedad Jan van Nes (Cuadro 29).

Cuadro 29. Contenido de azúcares totales en pétalos de tulipán al final de la vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Azúcares en el último día en florero, mg g ⁻¹ PF	Variedad	Solución	Azúcares en el último día en florero, mg g ⁻¹ PF
Pink Impression	Testigo	0.214jkl ²	Lalibela	Testigo	0.225ijk
	AA	0.207lmn		AA	0.109wxy
	LaCl ₃	0.226ijk		LaCl ₃	0.225ijk
	La(NO ₃) ₃	0.247fgh		La(NO ₃) ₃	0.248fgh
Jan van Nes	Testigo	0.344a	Golden Parade	Testigo	0.167opqr
	AA	0.159rst		AA	0.101xy
	LaCl ₃	0.315b		LaCl ₃	0.275d
	La(NO ₃) ₃	0.252fgh		La(NO ₃) ₃	0.175opqr
World's Favorite	Testigo	0.253ef	Red Impression	Testigo	0.253ef
	AA	0.089y		AA	0.162rst
	LaCl ₃	0.152rst		LaCl ₃	0.230hij
	La(NO ₃) ₃	0.190nop		La(NO ₃) ₃	0.273d
Acrópolis	Testigo	0.230hij	Barcelona	Testigo	0.185nop
	AA	0.303c		AA	0.142rst
	LaCl ₃	0.318b		LaCl ₃	0.230hij
	La(NO ₃) ₃	0.338a		La(NO ₃) ₃	0.182nop
Snow Lady	Testigo	0.177opqr	Violet Beauty	Testigo	0.092y
	AA	0.255e		AA	0.125tuv
	LaCl ₃	0.233hij		LaCl ₃	0.160rst
	La(NO ₃) ₃	0.305c		La(NO ₃) ₃	0.177opqr
Lefeber's Memory	Testigo	0.180nop	Laura Fygi	Testigo	0.122wxy
	AA	0.303c		AA	0.140tuv
	LaCl ₃	0.305c		LaCl ₃	0.167opqr
	La(NO ₃) ₃	0.315b		La(NO ₃) ₃	0.109wxy
Red Shine	Testigo	0.175opqr	Rosario	Testigo	0.095y
	AA	0.190lmn		AA	0.130tuv
	LaCl ₃	0.243fgh		LaCl ₃	0.142tuv
	La(NO ₃) ₃	0.225ijk		La(NO ₃) ₃	0.165opqr
Synaeda Show	Testigo	0.225ijk			
	AA	0.237fgh			
	LaCl ₃	0.152rst			
	La(NO ₃) ₃	0.183nop			
DMS_{0.05}		0.270			

²Letras distintas entre columnas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte.

DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.4.3. Contenido de proteína al momento del corte y al último día en florero

6.4.3.1. Contenido de proteínas al momento del corte y al último día en florero por efecto de la variedad

Para las diferentes variedades, el contenido de proteína en hoja al momento del corte y en el último día en florero, mostró diferencias significativas entre variedades. El contenido promedio de proteína fue de 890 y 1109 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF al momento del corte y al último día en florero, respectivamente (Cuadro 30).

Cuadro 30. Contenido de proteína soluble total en hoja de diferentes variedades de tulipán al momento del corte y en el último día en florero.

Variedad	Proteína , $\mu\text{g g}^{-1}$ PF	
	Al momento de corte	Último día en florero
Pink Impression	696.3h ^z	919.6h
Jan van Nes	1013.4b	1147.6d
World's Favorite	612.3i	728.1i
Acrópolis	941.7d	1147.7d
Snow Lady	851.7f	1119.2ef
Lefeber's memory	1018.4b	1196.7c
Red Shine	931.2d	1155.d
Synaeda Show	736.4g	1076.1g
Lalibela	977.5c	1112.4ef
Golden Parade	943.8d	1101.8f
Red Impression	900.4e	1131.9de
Barcelona	972.1c	1232.2b
Violet Beauty	719.5g	1104.8f
Laura Fygi	986.3c	1270.4a
Rosario	1038.8a	1205.1c
Promedio	890	1109
DMS_{0.05}	19.5	16.6

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

Al momento del corte el mayor contenido de proteína se encontró en las variedades Rosario, Jan van Nes y Lefeber's Memory; mientras que, en el último día en florero los valores más altos se encontraron en Barcelona, Laura Fygi y Rosario, destacando Laura Fygi con 1270.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF, esta concentración se relacionó en forma positiva con la mayor vida en florero (Figura 20). En todas las variedades fue más alto el contenido

de proteína en el último día en florero en comparación con los contenidos al momento del corte. El contenido de proteína más bajo tanto al momento del corte como en el último día en florero correspondió a las variedades Pink Impresión y World's Favorite (Cuadro 30).

6.4.3.2. Contenido de proteínas al último día en florero por efecto de la solución preservadora

El contenido de proteínas soluble total en hoja por efecto de las soluciones preservadoras sólo se determinó en el último día en florero, encontrándose diferencias significativas. La mayor concentración de proteína se mostró con la solución preservadora con LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, siendo de 1119 y 1125 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF, respectivamente, valores que superan al testigo en 2.6 y 3.2%. Con la solución de ácido ascórbico se encontró un contenido de proteína de 1104 $\mu\text{g g}^{-1}$ PF (Figura 23). La mayor concentración en los tratamientos con La^{3+} se asocia a que este elemento acelera la transformación de N inorgánico a formas orgánicas, como proteínas (Pang *et al.*, 2001). Por otra parte Fashui *et al.* (2000) y Fashui *et al.* (2005) mencionan que al incrementarse la síntesis de ERO's disminuye la concentración de proteínas, el lantano es un elemento que tiene capacidad antioxidante y reduce la formación de ERO's y por lo tanto se modifica concentración de proteínas.

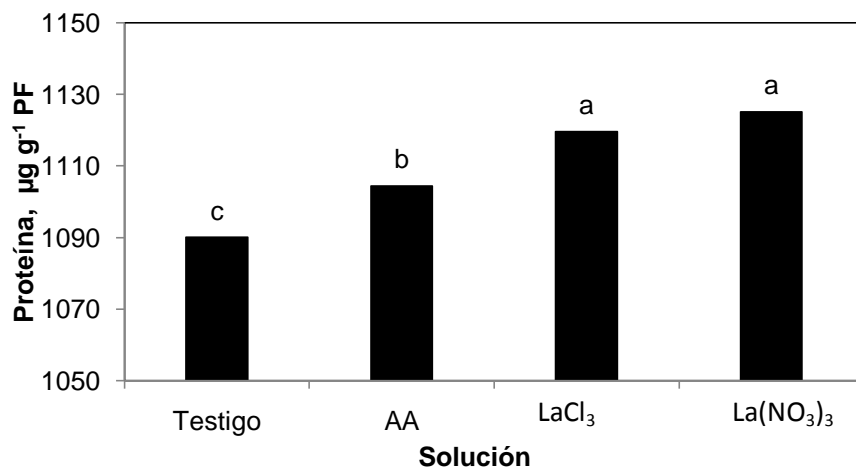


Figura 23. Contenido de proteína soluble total en hoja de tulipán al final de la vida en florero con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl_3 : cloruro de lantano y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$: nitrato de lantano. Barras con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.4.3.3. Contenido de proteína al último día en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora

El contenido de proteína por la interacción entre los factores de estudio sólo se determinó al final de la vida en florero, encontrándose en todas las variedades un incremento en la proteína soluble total de hoja con la adición de La^{3+} con cualquier fuente, los valores más altos se presentaron en la variedad Laura Fygi. El ácido ascórbico no presentó ningún efecto o disminuyó la concentración de proteínas en Snow Lady, Synaeda Show, Golden Parade, Barcelona y Violet Beauty. La menor concentración de proteína se encontró en los tratamientos testigos de Pink Impression y World's Favorite (Cuadro 31).

Cuadro 31. Contenido de proteína soluble total en hoja tulipán al final de la vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Proteína $\mu\text{g g}^{-1}$ PF	Variedad	Solución	Proteína $\mu\text{g g}^{-1}$ PF
Pink Impression	Testigo	911.7w ^z	Lalibela	Testigo	1104.4opq
	AA	915.6w		AA	1109.8opq
	LaCl_3	924.0w		LaCl_3	1114.6opq
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	927.0w		$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1120.9mno
Jan van Nes	Testigo	997.1v	Golden Parade	Testigo	1098.7opq
	AA	1191.6fgh		AA	1094.2opq
	LaCl_3	1196.4f		LaCl_3	1110.1opq
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1205.3ef		$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1104.4opq
World's Favorite	Testigo	699.6x	Red Impression	Testigo	1125.0mno
	AA	720.9x		AA	1128.6mno
	LaCl_3	743.3x		LaCl_3	1132.8mno
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	748.7x		$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1141.2klm
Acrópolis	Testigo	1138.5mno	Barcelona	Testigo	1225.4de
	AA	1145.7klm		AA	1221.5de
	LaCl_3	1148.4klm		LaCl_3	1238.0cd
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1158.0klm		$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1243.7c
Snow Lady	Testigo	1099.0opq	Violet Beauty	Testigo	1091.8opq
	AA	1073.5rst		AA	1088.8rst
	LaCl_3	1145.4klm		LaCl_3	1124.4mno
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1158.9hijk		$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1111.3opq
Lefeber's Memory	Testigo	1193.4fgh	Laura Fygi	Testigo	1257.8b
	AA	1190.7fgh		AA	1264.1b
	LaCl_3	1198.2f		LaCl_3	1274.3a
	$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1204.5ef		$\text{La}(\text{NO}_3)_3$	1285.3a

Cuadro 31. Continuación

Variedad	Solución	Proteína $\mu\text{g g}^{-1}$ PF	Variedad	Solución	Proteína $\mu\text{g g}^{-1}$ PF
Red Shine	Testigo	1140.0klm	Rosario	Testigo	1195.2f
	AA	1149.3klm		AA	1204.7ef
	LaCl ₃	1159.8hijk		LaCl ₃	1208.3ef
	La(NO ₃) ₃	1170.9hijk		La(NO ₃) ₃	1212.2ef
Synaeda Show	Testigo	1071.4rst			
	AA	1068.4u			
	LaCl ₃	1078.0rst			
	La(NO ₃) ₃	1086.4rst			
DMS_{0.05}					43.9

^zLetras distintas entre columnas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.4.4. Contenido de aminoácidos al momento del corte y al último día en florero

6.4.4.1. Contenido de aminoácidos al momento del corte y al último día en florero por efecto de la variedad

Entre las diferentes variedades evaluadas generaron diferencias significativas en el contenido de aminoácidos totales al momento del corte y final de vida en florero. Al momento del corte la concentración promedio de aminoácidos fue de $0.071 \mu\text{M g}^{-1}$ PF, incrementándose en 10% para el último día en florero (Cuadro 32). Resultados que coinciden con lo encontrado por Swider *et al.* (2004) en diferentes especies de alcatraz, quienes mencionan que al acercarse la senescencia se incrementa la concentración de aminoácidos, debido a la proteólisis. Sin embargo, la proteólisis no es el único proceso que contribuye a la acumulación de aminoácidos. El déficit hídrico también se caracteriza por un incremento en la concentración de aminoácidos, y en flores de corte este fenómeno se observa al reducirse la absorción de agua por la obstrucción de los vasos vasculares (Halevy y Makay, 1981). Por lo tanto, posiblemente la acumulación de aminoácidos desempeña un papel en el ajuste osmótico y algunas veces sirven también como fuentes de carbono y nitrógeno (Gilbert *et al.*, 1998).

Con respecto a las variedades Snow Lady, Barcelona y Red Impression registraron los valores más altos al momento del corte con 0.094 , 0.092 y $0.086 \mu\text{M g}^{-1}$ PF. Mientras

que las variedades con menor contenido de aminoácidos fueron Laura Fygi y Lalibela. Al final de la vida en florero la tendencia fue similar (Cuadro 32).

Cuadro 32. Contenido de aminoácidos totales en hoja de diferentes variedades de tulipán al momento del corte y al último día en florero.

Variedades	Aminoácidos, $\mu\text{M g}^{-1}$ PF	
	Al momento de corte	Último día en florero
Pink Impression	0.054l ^z	0.075h
Jan van Nes	0.067i	0.081e
World's Favorite	0.058k	0.068j
Acrópolis	0.076f	0.079f
Snow Lady	0.092a	0.094a
Lefeber's Memory	0.069h	0.075h
Red Shine	0.063j	0.071i
Synaeda Show	0.071g	0.078f
Lalibela	0.054l	0.066k
Golden Parade	0.080e	0.087c
Red Impression	0.086c	0.090b
Barcelona	0.090b	0.094a
Violet Beauty	0.084d	0.085d
Laura fygi	0.052m	0.055l
Rosario	0.070gh	0.076g
Promedio	0.071	0.078
DMS_{0.05}	0.001	0.0007

^zLetras distintas en la misma columna indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

6.4.4.2. Contenido de aminoácidos al último día en florero por efecto de la solución preservadora

El contenido de aminoácidos totales para el último día en florero mostró cambios significativos por efecto de las soluciones preservadoras. Los valores más altos con 0.085 y 0.083 $\mu\text{M g}^{-1}$ PF se registraron en soluciones que contenían $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ y LaCl_3 , respectivamente, superando en 20 y 17% al testigo. En diversas especies no ornamentales se ha observado un incremento en los aminoácidos al adicionar La^{3+} (Ma *et al.*, 2010; Ippolito *et al.*, 2007). El ácido ascórbico mostró una concentración de 0.075 $\mu\text{M g}^{-1}$ PF (Figura 24).

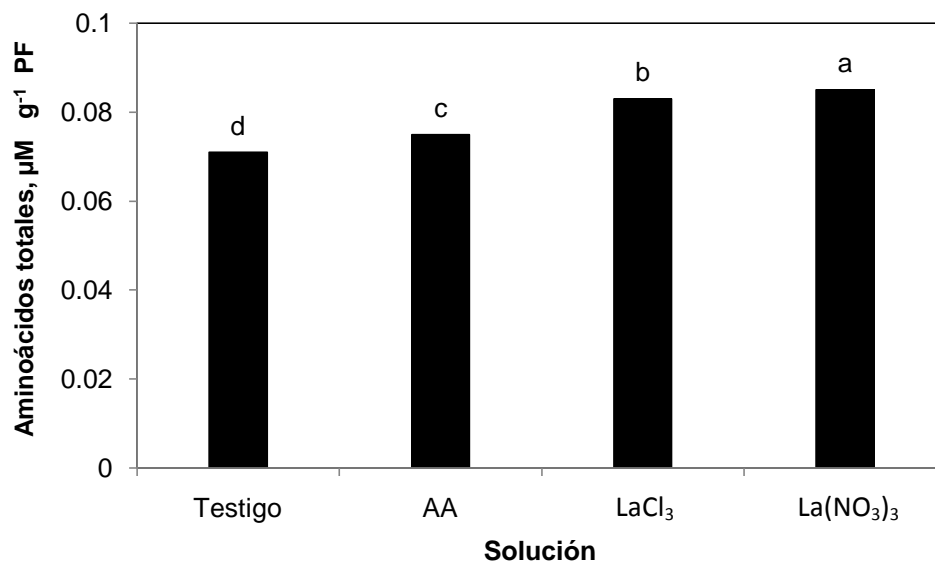


Figura 24. Contenido de aminoácidos totales en hoja de tulipán al final de la vida en florero con diferentes soluciones preservadoras. AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. Barras con letras distintas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

6.4.4.3. Contenido de aminoácidos al último día en florero por efecto de la interacción variedad \times solución preservadora

En la mayoría de la variedades cualquier solución preservadora incrementó el contenido de aminoácidos totales en hoja, destacando la solución con La(NO₃)₃. Así, la mayor concentración de aminoácidos fue en la variedad Snow Lady, seguida de Golden Parade, Red Impression y Violet Beauty. Por el contrario, el testigo de la variedad Laura Fygi registró el menor contenido de aminoácidos totales (Cuadro 33).

Cuadro 33. Contenido de proteína soluble total en hoja tulipán al final de la vida en florero por efecto de la interacción variedad x solución preservadora.

Variedad	Solución	Aminoácidos al último día en florero, $\mu\text{M g}^{-1}$ PF	Variedad	Solución	Aminoácidos al último día en florero, $\mu\text{M g}^{-1}$ PF
Pink Impression	Testigo	0.054y ^z	Lalibela	Testigo	0.054y
	AA	0.082kl		AA	0.064w
	LaCl ₃	0.083jk		LaCl ₃	0.074rst
	La(NO ₃) ₃	0.084jk		La(NO ₃) ₃	0.072rst
Jan van Nes	Testigo	0.067v	Golden Parade	Testigo	0.080lmn
	AA	0.078nop		AA	0.081lmn
	LaCl ₃	0.089fgh		LaCl ₃	0.093cd
	La(NO ₃) ₃	0.091ef		La(NO ₃) ₃	0.094c
World's Favorite	Testigo	0.058x	Red Impression	Testigo	0.086i
	AA	0.058x		AA	0.087i
	LaCl ₃	0.076pq		LaCl ₃	0.093de
	La(NO ₃) ₃	0.082kl		La(NO ₃) ₃	0.094c
Acrópolis	Testigo	0.076pq	Barcelona	Testigo	0.090fgh
	AA	0.076pq		AA	0.091fgh
	LaCl ₃	0.084jk		LaCl ₃	0.093de
	La(NO ₃) ₃	0.079nop		La(NO ₃) ₃	0.103b
Snow Lady	Testigo	0.092ef	Violet Beauty	Testigo	0.083jk
	AA	0.087i		AA	0.081kl
	LaCl ₃	0.105a		LaCl ₃	0.083jk
	La(NO ₃) ₃	0.094c		La(NO ₃) ₃	0.093de
Lefeber's Memory	Testigo	0.069u	Laura Fygi	Testigo	0.053y
	AA	0.073rst		AA	0.054y
	LaCl ₃	0.078nop		LaCl ₃	0.057y
	La(NO ₃) ₃	0.083jk		La(NO ₃) ₃	0.058y
Red Shine	Testigo	0.063w	Rosario	Testigo	0.070u
	AA	0.070u		AA	0.070rst
	LaCl ₃	0.074rst		LaCl ₃	0.077pq
	La(NO ₃) ₃	0.076pq		La(NO ₃) ₃	0.089fgh
Synaeda Show	Testigo	0.071rst			
	AA	0.072rst			
	LaCl ₃	0.087i			
	La(NO ₃) ₃	0.084jk			
DMS_{0.05}		0.001			

^zLetras distintas entre columnas indican diferencias estadísticas de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$.

AA: ácido ascórbico, LaCl₃: cloruro de lantano y La(NO₃)₃: nitrato de lantano. ddc: días después del corte.

DMS_{0.05}=Diferencia mínima significativa al 5%.

VII. CONCLUSIONES

- ✓ Los cultivares de tulipán más precoces fueron Lefeber's Memory, Red Impression y Red Shine y los más tardíos Synaeda Show, Violet Beauty, Snow Lady, Rosario y Barcelona. Esta característica puede aprovecharse para programar fechas de plantación en función de la demanda comercial.
- ✓ El crecimiento de tulipán mostró variabilidad entre variedades. Red Impresión y Synaeda Show destacaron por la altura de planta, mientras que Barcelona y Jan van Nes por los diámetros de tallo basal, medio y apical. No obstante que en la variedad Red Impresión se registró el menor diámetro de tallos, éstos tuvieron la mayor firmeza. En Laura Figi se encontró el mayor número de hojas.
- ✓ El mayor periodo de vida en florero se identificó en las variedades Laura Fygi, seguida de Snow Lady, Red Shine y Lalibela; mientras que la variedad con menor vida en florero fue Acrópolis.
- ✓ El uso de LaCl_3 y $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ en la solución preservadora durante postcosecha mostró los valores más altos para el diámetro de capullo, longitud de capullo, longitud de tallo floral, peso del tallo fresco, consumo de agua, contenido de clorofilas y azúcares solubles totales, proteínas solubles totales, aminoácidos libres totales y vida en florero. Además disminuyó la curvatura del tallo floral.
- ✓ En base a la altura de planta, Red Impresión, Synaeda Show, Acrópolis y Lalibela pueden tener un mejor mercado como flor de corte, mientras que Laura Figi, Rosario y Violet Beauty como flor en maceta.
- ✓ Es necesario generar información detallada de la respuesta que se tiene desde el punto de vista agrónomico con el uso de lantano en otras especies ornamentales

VIII. LITERATURA CITADA

- Ahmed, J. M. and Khurshid, S. 2004.** Performance of tulip (*Tulip gesneriana*) cultivars under Rawalakot conditions. *Asian J. Plant Sci.* 3(2): 170-173.
- Anjum, M. A.; Naveed, F.; Shakeel, F. and Amin, S. 2001.** Effect of some chemicals on keep quality and vase life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.) cut flowers. *J. Res.* 12: 1-7.
- Arboleda, P. J. A. 1993.** Principios fundamentales de la postcosecha de flores. *In: Tercer Seminario Técnico de Floricultura/EXPOFLOR 93.* 11-14 de junio. Huixquilucan, Estado de México, México. p. 44.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2000.** Fundamentos de fisiología vegetal. Ediciones Universitarias de Barcelona, España. 522 pp.
- Barceló, J.; Nicolás, G.; Saboter, B. y Sánchez, R. 2001.** Fisiología vegetal. 7ª. Edición. Ediciones. Pirámide. 566 p.
- Barochov, A.; Tirosh, T. and Mayak, A. 1986.** The fate of membrane proteins during flowers senescence. *Acta Hortic.* 181: 75-80.
- Belyauskaya, N. A. 1996.** Calcium and graviperception in plants inhibitor analysis. *Int. Rev. Cytol.* 168: 123-185.
- Benasik, L.; Saniewski, M. and Antoszewski, R. 1985.** The distribution of radioactivity of labeled [^{14}C] IAA in tulip as related to shoot growth. *Prace Inst. Sad. I Kwlac. Ser-B.* 10: 133-142.
- Benschop, M. and De Hertongh, A. A. 1971.** Post harvest development of cut tulip flowers. *Acta Hortic.* 23: 121-126.
- Brady, C. J. 1988.** Nucleic acid and protein synthesis. *In: Nooden, L. D. and Leopold, A. C. (eds.). Senescence and Aging in plants.* Academic. Press. New York. pp. 147-199.
- Brown, P. H.; Rathjen, A. H.; Graham, R. D. and Tribe, D. E. 1990.** Rare earth elements in biological systems. *In: Gschneidner, Jr. and K. A. Eyring (eds.). Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths,* Amsterdam Holland. 423-453
- Buchanan, W. V. 1997.** The molecular biology of leaf senescence. *J. Expl. Bot.* 48 (307): 181-199.
- Celikel, F. G. and van Doorn, W. G. 1995.** Effects of water stress and gibberelins on flower opening in *Iris x hollandica*. *Acta Hortic.* 405: 246-252.
- Chaín, A. G.; Verdugo, R. G. y Montesinos, V. A. 2002.** Manejo de postcosecha de flores. *Boletín INIA.Temuco, Chile.* 82: 5-32.
- Chen, R.; Rosen, E. and Masson, P. 1999.** Gravitropism in higher plants. *Plant Physiol.* 120: 343-350.
- Chen, W. J.; Gu, Y. H.; Zhao, G. W.; Tao, Y.; Luo, J. P. and Hu, T. D. 2000.** Effects of rare earth ions on activity of RuBPCase in tobacco. *Plant Sci.* 152: 145-151.
- Chen, W. J.; Tao, Y.; Gu, Y. H. and Zhao, G. W. 2001.** Effect of lanthanide chloride on photosynthesis and dry matter accumulation in tobacco seedlings. *Biol. Trace Elem. Res.* 79 (2): 169-176.
- Dalton, D. A. 1995.** Antioxidant defenses of plants and fungi. *In: Oxidative stress and antioxidant defenses in Biology.* Chapman y Hall, New York, NY. pp. 298-355.
- De Hertongh, A. and Kamp, M. 1986.** Commercial forcing and marketing requirements for flower bulbs in the U.S A and Canada. *Acta Hortic.* 177: 267-272.
- Durkin, D. 1979.** Some characteristics of water flow through isolated rose stem segments. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 104: 777-783.
- Edelmann, H. G.; Sabovljevic, A.; Nijo, G. and Roth, U. 2005.** The role of auxin and ethylene for gravitropic differential growth of coleoptiles and roots of rye and maize seedlings. *Adv. Space Res.* 36: 1167-1174.
- Elanchezhian, R. and Srivastava, G. C. 2001.** Physiological responses of *Chrysanthemum* petals during senescence. *Biol. Plantarum* 44(3): 411-415.
- Estrada, P. E.; Colinas, M. T.; Alia, I. y Mejía, J. M. 2003.** Crecimiento del tallo floral de tulipán (*Tulipa sp*) en postcosecha con diferente temperatura de agua. 224 p. *In: Almaguer, V. G.; Colinas, M. T.; Flores, M.; Mora, R. A.; Vidal, E. L.; González, H. R.; Ayala, C. S. and Mejía, J. M. (eds.). Memoria de resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. IX Congreso Nacional y II Internacional de la Asociación Mexicana de Horticultura Ornamental.* 20 al 24 de Octubre del 2003. Chapingo, México. Vol. 10.
- Fashui, H.; Weiping, S.; Zhigang, W.; Mingliang, Y.; Jia, Y.; Jiajia, L.; Ye, S. and Qunhua, X. 2005.** Effect of La (III) on the growth and aging of root of loquat plantlet *in vitro*. *Biol. Trace Elem. Res.* 104 (2): 185-191.

- Fashui, H.; Zhenggui, W. and Guiwen, Z. 2002. Mechanism of lanthanum effect on chlorophyll of spinach. *Sci. China* 45(2): 166-176.
- Fashui, H.; Zhenggui, W. and Zhao, G. 2000. Effect of lanthanum on aged seed germination of rice. Department of Chemistry, University of Science and Technology of China. 75: 205-213.
- Fernández, V. M. O.; González, D. F. y Vázquez, R. 2003. Fuentes de fertilización en el cultivo de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.). 230 p. In: Almaguer, V. G.; Colinas, M. T.; Flores, M.; Mora, R. A.; Vidal, E. L.; González, H. R.; Ayala, C. S.; Mejía, J. M. (eds.). Memoria de resúmenes del X Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas. IX Congreso Nacional y II Internacional de la Asociación Mexicana de Horticultura Ornamental. 20 al 24 de Octubre del 2003. Chapingo, México. Vol. 10.
- Ferrante, A. and Francini, A. 2006. Ethylene and leaf senescence. In Ethylene action in plants. Khan, A. N. (Ed). Springer-Verlong. Berlin, Heidelberg. 206 p.
- Finkel, T. and Holbrook, N. J. 2000. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature* 408 (6809): 239-247.
- Francescangeli, N. y Zagabria, A. 2007. Almacenamiento en frío de los bulbos y uso de paclobutrazol para producir tulipán en maceta. *Agriscientia* 24(1): 37-44.
- Francescangeli, P. y Frangi, R. F. 2006. Adaptación del tulipán a zonas de inviernos templados de Argentina. *ITEA*. 102(3): 278-287.
- Friedman, H.; Meir, S.; Rosenberger, I.; Halevy, A. H.; Kaufman, P. B. and Philosoph-Hadas, S. 1998. Inhibition of the gravitropic response of snapdragon spikes by the calcium-channel blocker lanthanum chloride. *Plant Physiol.* 118: 483-492.
- Gilbert, G. A.; Gadush, M. V.; Wilson, C. and Madore, M. A. 1998. Amino acid accumulation in Sinkand source tissues of *Colcus blumei* Benth during salinity stress. *J. Exp. Bot.* 49: 107-114.
- Halevy, A. H. and Mayak, S. 1979. Senescence and postharvest physiology of cut flowers. Part. 1. *Hortic. Rev.* 1: 204-236.
- Halevy, A. H. and Mayak, S. 1981. Senescence and postharvest physiology of cut flowers, Part 2. *Hortic. Rev.* 3: 59-143.
- Han, S. S. 2003. Role of sugar in the vase solution on postharvest flower and leaf quality of oriental *Lili Stargazer*. *Hortic. Sci.* 38: 412-416.
- Hanks, R. G. and Menhenett, R. 1983. Responses of potted tulips to novel growth-retarding chemicals and interactions with time of forcing. *Sci. Hortic.* 21: 73-83.
- Hanks, R. G. and Rees, A. R. 1977. Stem elongation in tulip and narcissus: the influence of floral organs and growth regulators. *New Phytol.* 78: 579-591.
- Hartmann, T. and Kester, D. 1997. Plant propagation. Principles and Practices. Prentice Hall, New Jersey. 820 p.
- Huber, C. 1994. Estudio de tratamientos de conservación de postcosecha de flores de gladiolo (*Gladiolus hybridus*). Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias 121 p.
- Ichimura, K. 1998. Improvement of postharvest life in several cut flowers by the addition of sucrose. Department of Floriculture, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea. *JARQ-Jpn. Agr. Res. Q.* 32(4): 1-36.
- leamtin, P.; Buanong, M. and Kanlayanarat, S. 2008. Role of ascorbic acid on vase life of red ginger (*Alpinia purpurata* (Vieill.) K. Schum). *Acta Hortic.* 804: 287-290.
- Ippolito, M. P.; Paciolla, C.; d'Aquino, L.; Morgana, M. and Tommasi, F. 2007. Effect of rare earth elements on growth and antioxidant metabolism in *Lemna minor* L. *Caryologia* 60(1-2): 125-128.
- Jin, J.; Shan, N.; Ma, N.; Bai, J. and Gao, J. 2006. Regulation of ascorbate peroxidase at the transcript level is involved in tolerance to postharvest water deficit stress in the cut rose (*Rosa hybrid* L.) cv. Samantha. *Postharvest Biol. Tec.* 40: 236-243.
- Ketsa, S. and Narkbua, N. 2001. Effect of amino oxyacetic acid and sucrose on vase life of cut roses. *Acta Hortic.* 543: 227-234.
- Kim, H. J.; Holcomb, E. J. and Brown, K. M. 2005. Lanthanum effects on gravitropics responses of cut tulip flowers. *Acta Hortic.* 669: 417-423.
- Liao, G. L.; Tang, X. K. and Wu, Z. M. 1994. Effects of lanthanum chloride on membrane permeability of corn root. *J. Chin. Rare Earth Soc.* 10: 256-258.
- Liao, J. L.; Lin, L. Y.; Huang, K. L. and Chen, W.S. 2001. Vase life of *Eustoma grandiflorum* as affected by aluminum sulfate. *Bot. Bull. Acad. Sinica* 42: 35-38.

- Liao, J. L.; Lin, L. Y.; Huang, K. L.; Chen, W. S. and Chen, Y. M. 2000. Post harvest life of cut rose flowers as affected by silver thiosulfate and sucrose. Bot. Bull. Acad. Sinica 41: 299-303.
- Luang-Liang, H.; Li-Jen, L.; Rong-Show, S.; Wen-Shaw, C. and Yu-Han, L. 2002. The synergistic effect of maleic acid hydrazide (1,2-dihydro-3,6-pyridazinedione) and sucrose on vase life of cut roses. Aust. J. Exp. Agr. 42: 637-641.
- Ma, L.; Zhao, J.; Wu, H.; Yuan, X. and Hou, D. 2010. Effects of rare earth elements on callus growth, soluble protein content, peroxidase activity and shoot differentiation of *Echinacea angustifolia* cultures *in vitro*. J. Afr. Biotech. 9 (16): 2333-2341.
- Maheswaran, J.; Meehan, B.; Reddy, N.; Peverill, K. and Buckingham, S. 2001. Impact of rare earth elements on plant physiology and productivity. Rural. Ind. Res. Devlop. Corpo. 1 (145): 1-40.
- Mascarini, L.; Sesar, D.; Caporale, G. y Viella, F. 2006. Longevidad en vaso de rosa híbrida cv. Exótica para flor de corte suplementada con 6-bencilaminopurina en pre y postcosecha. Facultad de Agronomía. U. B. A. Buenos Aires, Argentina.
- Masclaux, C.; Valadier, M. N.; Brugiere, N.; Morot-Gaudry, J. F. and Hirel, B. 2000. Characterization of the sink/source transition in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) shoots in relation to nitrogen management and leaf senescence. Planta 211: 510-518.
- Miszczak, K. L.; Lesiak, W. E.; Miszczak, A. and Saniewski, M. 2003. Effect of methyl jasmonate and ethylene on leaf growth, anthocyanin accumulation and CO₂ evolution in tulip bulbs. J. Fruit Ornamental Plant Res. 11: 59-68.
- Nair, S. A.; Singh, V. and Sharma, T. V. R. S. 2003. Effect of chemical preservatives on enhancing vase-life of gerbera flowers. J. Trop. Agric. 41: 56-58.
- Nakano, Y. and Asada, K. 1981. Hydrogen peroxide in scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplast. Plant Cell Physiol. 22 (5): 867-880.
- Navabpour, S.; Morris, K.; Allen, R.; Harrison, E.; Mackerness, S. A. and Buchanan-Wollaston, V. 2003. Expression of senescence-enhanced genes in response to oxidative stress. J. Exp. Bot. 54 (391): 2285-2292.
- Nell, A. T. and Reid, M. S. 2002. Postcosecha de las flores y plantas: Estrategias para el siglo XXI. Society of American Florists (SAF). Ed. Hortitecnia. Bogotá, Colombia. 115 p.
- Nowak, J. and Rudnicki, R. 1990. Postharvest handling and storage of cut flowers, florist greens and potted plants. Timber Press, Inc., Oregon, USA. 210 pp.
- Osorio, R. B. 2005. Eficiencia nutricional del tulipán (*Tulipa sp.*) y su relación con vida en florero. Tesis de Maestría. Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 155 p.
- Pang, X.; Li, D. and Peng, A. 2001. Application of rare earth elements in the agriculture of China and its Environmental behavior in soil. J. Soils and Sediments 1 (2): 124-129.
- Paulin, A. 1997. La postcosecha de las flores cortadas. Bases fisiológicas. 2^{da}. Edición. Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas. Francia. 135 p.
- Paull R.E. and Chantrachit T. 2001. Benzyladenine and the vase life of tropical ornamentals. Postharvest Biol. Tec. 21: 303-310.
- Pereyra, S. M. y Ávila, A. L. 2005. Postcosecha de *Gladiolus tristis*. Efecto de tratamientos preservantes sobre la vida en florero. VII Jornadas Nacionales de Floricultura. Trevelin, Chubout, Argentina.
- Philosoph-Hadas, S.; Friedman, H.; Meir, S.; Berkovitz-Simantov, R.; Rosenberger, I.; Haleg, A. H.; Kaufman, P. B. and Woltering, E. J. 2001. Gravitropism in cut flowers stalks of Snapdragon. Adv. Space Res. 27 (5): 921-932.
- Philosoph-Hadas, S.; Meir, S.; Rosenberger, I. and Halevy, A. H. 1996. Regulation of the gravitropic response and ethylene biosynthesis in gravistimulated *Snapdragon* spikes by calcium chelators and ethylene inhibitors. Plant Physiol. 116: 310-310.
- Pignocchi, C. and Foyer, C. H. 2003. Apoplastic ascorbate metabolism and its role in the regulation of cell signaling. Curr. Opin. Plant. Biol. 6: 379-389.
- Ramírez, M. M. 2006. Evaluación de mezclas de sustratos y de relaciones K⁺/Ca²⁺ en la solución nutritiva en la producción hidropónica de tulipán. Tesis de Maestría. Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Ramírez, M. M., Trejo-Téllez, L., Gómez-Merino, F., Sánchez-García, P. 2010. La Relación K⁺/Ca²⁺ de la solución nutritiva afecta el crecimiento y calidad postcosecha del tulipán. Rev. Fitotec. Mex. 33 (2): 149-156.
- Reyes, A. T.; Borrett, J. E.; Huber, D. J.; Nell, T. A. and Clark, D. G. 2000. Leaf senescence in a non-yellowing cultivar of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflora*). Physiol. Plantarum 111: 546-549.
- Salisbury, F., Ross, C. 2000. Fisiología de las plantas. Segunda edición. 785 pp.

- Saniewski, M. 1981.** Hormonal control of shoot elongation in tulips. *Sci. Hortic.* 15: 363-372.
- Saniewski, M. and Miszczak, K. L. 1992.** Hormonal control of growth and development of tulips. *Acta Hortic.* 325: 43-54.
- SAS. 2002.** SAS High-Performance Forecasting 2.2: User's Guide, Volumes 1 and 2. Cary, NC: SAS Institute Inc. Ver. 9. 652p.
- Scandalios, J. G. 2005.** Oxidative stress: molecular perception and transduction of signal triggering antioxidant gene defenses. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 38 (7): 995-1014.
- Schiappacasse, C. A., Carrasco, G. y Carrasco, F. 2007.** Efecto de cuatro niveles de sombreado sobre la calidad de vara floral y corno de *Liatris (Liatris spicata)*. *Agricultura Técnica* 67(1): 100-104.
- Secor, J. D. R.; Mc Carty, R.; Shibbes, Y. and Green, D. F. 1982.** Variability and selection for leaf photosynthesis in advanced generation of soybean. *Crop Sci.* 22: 255-258.
- Smart, C., 1994.** Gene expression during leaf senescence. *New Phytol.* 126: 419-448.
- Sodi, A. M. and Ferrante, A. 2005.** Physiological changes during postharvest life of cut sunflowers. *Acta Hortic.* 669: 219-224.
- Staves, M. P. 1997.** Cytoplasmic streaming and gravity sensing in *Chara* intermodal cell. *Planta* 203: 879-884.
- Steiner, A. and van Winden, H. 1970.** Recipe for ferric salts of ethylenediaminetetraacetic acid. *Plant Physiol.* 46: 862-863.
- Sun J.; Jameson, P. E. and Clemens, J. 2001.** Water relations and stamen abscission in cut flowers of selected myrtaceae. *Acta Hortic.* 543: 185-189.
- Suzuki, H.; Kumagai, H.; Mori, F.; Sakamoto, K.; Inubushi, K. and Enomoto, S. 2001.** Influence of lanthanum on the uptake of various elements by marigold. *Focused on New Trends in Bio-Trace Elements Research.* 35: 80-81.
- Swider, R. J.; Skutnik, E.; Wachowics, M. and Lukaszewska, A. J. 2004.** Senescence of cut leaves of *Zantedeschia aethiopica* and *Zantedeschia elliottiana*. Part. II. Free aminoacids accumulation in relation to soluble protein content. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus.* 3 (2): 67-74.
- Torraf, S. A.; El-Din, K. G. and Balbaa, L. K. 1999.** The response of vegetative growth, essential oil of Lemon grass (*Cymbopogon citratus* Hort.) to foliar application of ascorbic acid, nicotinamid and some micromutrients. *Arab. Univ. J. Agric. Sci.* 7: 247-259.
- Trujillo, V. B.; Zavaleta, M. H.; Mora, H. M. y López, H. A. 2006.** Efecto del CaCl₂ sobre la actividad enzimática antioxidante durante la vida en florero de gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolux ex Hook F.). *Rev. Chapingo Ser Hortic.* 12(2): 203-209.
- Van der Meulen, M.; van Oeveen, J. C. and van Tuyl, J. M. 1997.** Breeding as a tool for improving postharvest quality characters of lily and tulip flowers. *Acta Hortic.* 430: 569-575.
- Van Doorn, G. W. and van Mesteren, U. 2003.** Flower opening and closure. A review. *J. Exp. Bot.* 54 (369): 1801-1812.
- Van Doorn, W. G. 1990.** Hydroxyquinoleine citrate and low pH prevent vascular blockage in stems of cut rose flowers by reducing the number of bacteria. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 115: 979-981.
- Van Doorn, W. G. 2004.** Is petal senescence due to sugar starvation? *Plant Physiol.* 134: 35-42.
- Van Doorn, W. G. and Woltering, E. J. 2008.** Physiology and Molecular biology of petal senescence. *J. Exp. Bot.* 59: 453-480.
- Verlinden, S. 2006.** Flower senescence. *In: Jordan, B. R. (ed.). The Molecular Biology and Biotechnology of flowering.* 2nd ed. CABI Publishing. pp.150-177.
- VWS. Flowersbulbs. Bulbos de tulipanes.** Disponible en: <http://www.vws-flowerbulbs.nl/flowerbulbs/subsoort.php?lan=es&id=24>. Consultado: Agosto, 2010.
- Wang, X. P.; Shan, X. Q. and Zhang, S. Z. 2003.** Distribution of rare earth elements among chloroplast components of hyperaccumulator *Dicranopteris dichotoma*. *Anal. Bioanal. Chem.* 376: 913-917.
- Wild, H. P. J.; Gude, H. and Peppelendos, H. W. 2002.** Carbon dioxide and ethylene interactions in tulip bulbs. *Physiol. Plantarum* 114: 320-326.
- Wills, B.; Graham D. and Joice D. 1998.** Postharvest: an introduction to the Physiology and Handling of fruit, vegetable and ornamentals. 4th ed. CAB. International. Australia. 276 pp.
- Woltering, E. J.; Somhorst, D.; Beekhuizen, J. G. and Spekking, W. T. J. 1991.** Ethylene biosynthesis, carbohydrate metabolism phenylalanine ammonialyase activity in gravireacting *Kniphofia* flower stalks. *Acta Hortic.* 298: 99-109.
- York, P. E. 2008.** Effects of preharvest conditions and postharvest handling on postharvest characteristics of cut lilies, roses, sunflowers and zinnias. Thesis. Master of Ciencia. Faculty of North Carolina State University.

Yoshida, S. 2003. Molecular regulation of leaf senescence. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 79-84.

Zagabria, A.; Francescangeli, N. y Mascarini, L. 2005. Inmersión de bulbos de tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) en paclobutrazol y sus efectos sobre características vegetativas y de floración. VII Jornadas Nacionales de Floricultura. Trevelin, Chubut, Argentina. Octubre, 2005.

CAPÍTULO V. SEÑALIZACIÓN CELULAR DEL

LANTANO Y CONCENTRACIONES INTRACELULARES EN LAS PLANTAS

5.1. Señalización celular de lantano en plantas superiores

La señalización celular del lantano está poco documentada. Sin embargo se ha observado que está mediada por los sitios de unión que ejercen en diversos organelos en la célula como mitocondria, cloroplasto y membrana plasmática. Actualmente, uno los mecanismos de señalización más conocido en el que interviene al La^{3+} a nivel celular se han centrado en la función que tiene al bloquear los canales de calcio e inhibir el mecanismo de entrada de este elemento mediada por señalización (Fasano, 2002), y la expresión de genes en respuesta condiciones de estrés por sequía y la salinidad (Liu y Hasenstein., 2005). Al tener un radio iónico similar al Ca^{2+} , pero con una densidad de carga superior, el ión La^{3+} , puede competir en los sitios de unión de la membrana plasmática (dos Remedios, 1981). Los resultados encontrados sugieren que el La^{3+} puede afectar la homeostasis celular del calcio al actuar como un antagonista de éste. Por lo tanto, este ión podría compensar la deficiencia de calcio en ciertas concentraciones (Li *et al.*, 2010).

Debido a que el La^{3+} es similar al Ca^{2+} , puede aumentar la estabilidad de la membrana o contrarrestar el estrés en pared celular, reduciendo de esta manera los contenidos de ácido abscísico (ABA) en protoplasto. Esta relación podría explicar el aumento inicial y posterior disminución del ABA (Liu y Hasenstein, 2005).

Se ha encontrado que el nivel de transcripción del gen putativo *ZmABA1* se relaciona con la baja concentración de ABA en las raíces de plantas control de maíz. Sin embargo, la expresión de este gen (*ZmABA1*) ha demostrado que aumenta hasta cuatro veces con concentraciones de La^{3+} entre 0.1 y 1 mM. Se ha reportado que el La^{3+} inhibe también algunas proteínas cinasas dependientes de calcio necesarias para la señalización de ABA. La inducción de señales de transducción de La^{3+} es similar a la de Ca^{2+} , pero independiente de las cinasas, por lo que los resultados indican que las acciones de Ca^{2+} y La^{3+} son parcialmente independientes entre sí (Shi *et al.*, 2002).

Además, el La^{3+} también es capaz de unirse a un receptor y provocar una respuesta en la expresión de genes que codifican para ABA y actuar de manera contraria a la fosfolipasa implicada en la vía de señalización del ABA (Hagenbeek *et al.*, 2000). Algunos estudios reportan que el La^{3+} ejerce una interacción sinérgica con ABA y se sobreexpresa como VP1 (Vivípara-1), que es un activador transcripcional presente en células de arroz (Gampala *et al.*, 2001).

Resultados similares se han reportado en esta especie sobre la expresión génica de señales de transducción del ABA. Al respecto, se descubrió que el LaCl_3 activa la expresión del gen reportero *GUS* dirigido por el promotor Em, al utilizar LaCl_3 para saturar las concentraciones de ABA a nivel celular. Por otro lado, debido a factores de estrés fisiológico, el La^{3+} puede ejercer por lo menos parte de sus efectos a través del ABA vía señalización, mediante la transcripción de *ABA1* (zeaxantina epoxidasa), un gen que codifica y cataliza la epoxidación de zeaxantina a anteraxantina y violaxantina

(Barrero *et al.*, 2005).

Actualmente, se realizan estudios para evaluar la presencia de una proteína mutante en calmodulina Q41C/K75C (CaMSS), y cuyo mecanismo tiende a unirse a los iones Ca^{2+} en los sitios de acción I, III y IV, mientras que en La^{3+} se une en los sitios I, II y IV alterando sus respuestas a nivel intracelular (Xu *et al.*, 2010).

Algunos estudios realizados con La^{3+} se han vinculado a los procesos intracelulares tales como la inhibición de los canales de iones K^+ y Ca^{2+} , inducción de varios genes (Polisensky y Braam, 1996), la unión de proteínas y sustituyendo la acción de Ca^{2+} dentro de la célula (Belyavskaya, 1996).

Se han estudiado los efectos del ión La^{3+} en los canales activos de K^+ en células guarda de la membrana plasmática. Al respecto, se encontró que el La^{3+} en ambos sitios de la membrana plasmática es capaz de bloquear hacia el interior el flujo de K^+ que es dependiente de la concentración, lo que indica que los sitios de unión de La^{3+} en membrana plasmática se localizan en las células guarda de haba (*Vicia faba* L.). Así, el La^{3+} intracelular aumenta su efecto inhibitorio en las entradas de flujo de K^+ , lo que sugiere que pueden existir puntos de unión más fuertes en el interior la membrana comparativamente con la membrana exterior, debido a que la actividad de los canales iónicos afecta directamente a las células guarda alterando la actividad estomática y el

estado hídrico en la planta. Estos resultados indican que el lantano es capaz de regular el estado hídrico de la planta y en consecuencia fortalecer la resistencia de las plantas a la sequía (Shaowu y Pin, 2004).

Resultados similares se han observado al adicionar La^{3+} como LaCl_3 , ya que bloquea los canales de calcio, lo que aparentemente afecta los cambios en las concentraciones del Ca citosólico en las células guarda, y esto influye indirectamente en la actividad de otros canales iónicos, tales como los canales de K, Cl y malato y finalmente la apertura y cierre estomático (Yang *et al.*, 2002).

Chen *et al.* (2001), mencionan que el cloruro de lantano promueve la actividad de la reacción de Hill, y la actividad de la Mg^{2+} -ATPasa en plantas de tabaco.

Por otro lado, Herscher y Rega (1996), indican que el lantano desplaza al magnesio (Mg^{2+}) en los sitios de acción, dentro de su función como activador del proceso de fosforilación, provocando la inhibición de PMCa^{2+} -ATPasa. Zheng *et al.* (2000), reportan que el ion La^{3+} también es capaz de actuar en la peroxidación de lípidos, reacciones redox, y actividad de ATPasas y Ca^{2+} -ATPasas a nivel celular en el plasmalema a ciertas concentraciones.

En plantas deficientes de calcio, se ha reportado que la aplicación de LaCl_3 mejora la actividad de la K^+ y Mg -ATPasa presentes en membrana plásmatica (Dong *et al.*, 1993). También ejerce un efecto regulador en el sistema antioxidante de las plantas, mejorando el metabolismo de ROS activas en las células (Wang *et al.*, 2009).

En vacuola se ha observado que el mecanismo de acción en canales SV de La^{3+} en bajas concentraciones promueven el flujo en los canales de calcio, pero a medida que aumenta la concentración de La^{3+} , esta respuesta se inhibe, debido a que el Ca^{2+} en comparación con el La^{3+} , tiene una mayor afinidad. Por lo tanto, cuando la concentración de La^{3+} es mayor a 4×10^{-7} M, éste se combina con las proteínas presentes en los canales, provocando la deformación en la conformación de proteínas e inhibiendo el flujo de iones. Con base en los resultados anteriores, posiblemente la capacidad del La^{3+} para formar complejos, es mayor a la del Ca^{2+} libre en citosol (Yangfang *et al.*, 2002).

En el siguiente esquema se ha desarrollado un modelo hipotético que resume los mecanismos bioquímicos y moleculares en los cuales interviene el lantano. Sin embargo,

la información no es vasta, por lo que es necesario seguir generando información que aporte argumentos para conocer los mecanismos moleculares y transducción de señales en los que interviene directamente el ión La^{3+} .

5.2. Propuesta de modelo de señalización celular de lantano

En base a lo anteriormente expuesto en esta investigación se propone un esquema de la ruta de señalización de lantano en plantas superiores (Figura 1).

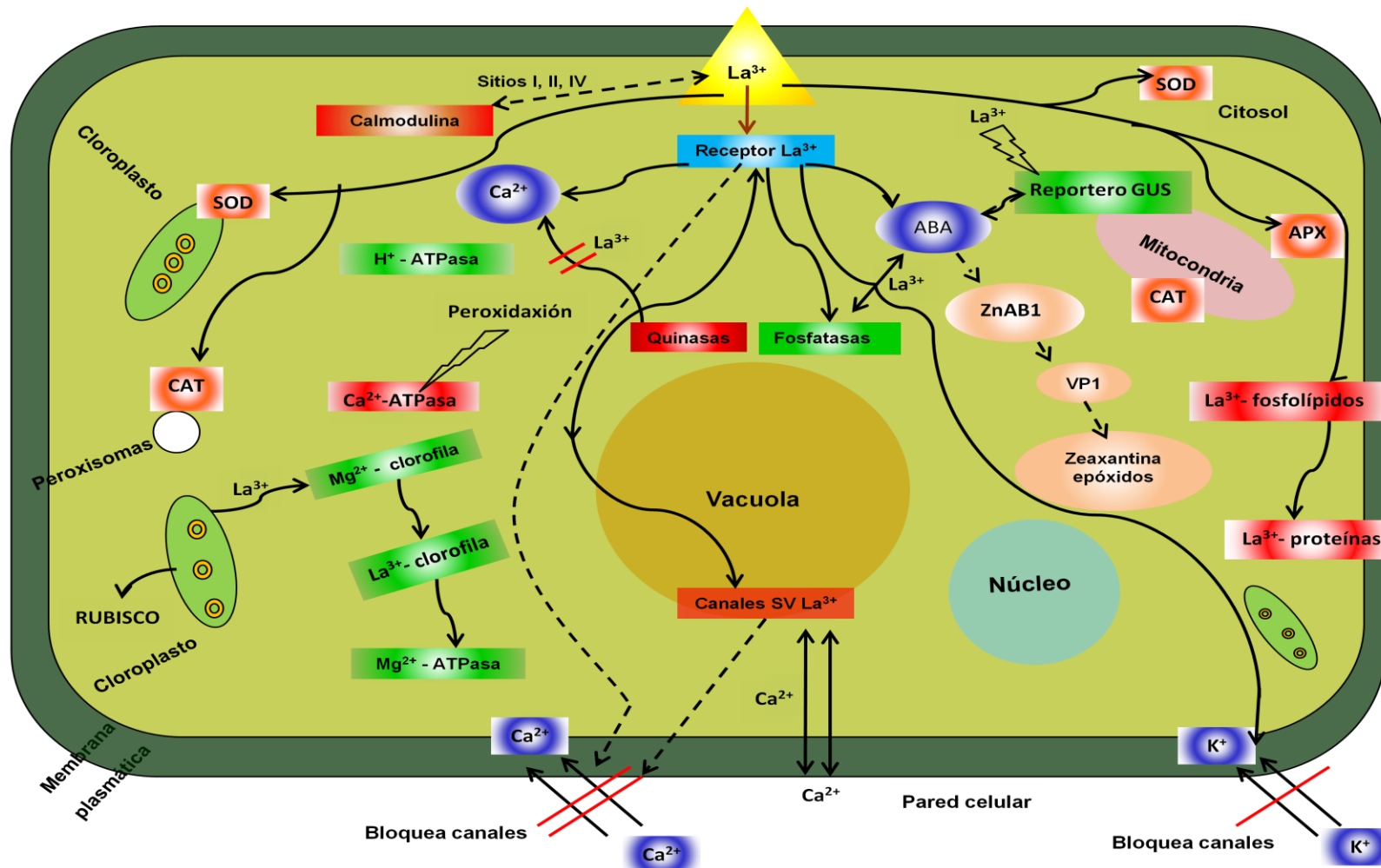


Figura 1. Esquema hipotético de la ruta de señalización de La^{3+} hacia citoplasma, cloroplasto, mitocondria y membrana plasmática. Componentes azul y rosa: evidencia experimental, Componentes rojos: poco estudiados, Componentes verdes: posible acción de La^{3+} .

Literatura citada

- Barrero, J. M.; Piqueras, P.; Gonzalez-Guzman, M.; Serrano, R.; Rodriguez, P. L.; Ponce, M. R. and Micol, J. L. 2005.** A mutational analysis of the ABA1 gene of *Arabidopsis thaliana* highlights the involvement of ABA in vegetative development. *J. Exp. Bot.* 56: 2071–2083.
- Belyavskaya, N. A. 1996.** Calcium and graviperception in plants: inhibitor analysis. *Int Rev Cytol* 168:123–185.
- Chen, W. J.; Tao, Y.; Gu, Y. H. and Zhao, G. W. 2001.** Effect of lanthanide chloride on photosynthesis and dry matter accumulation in tobacco seedlings. *Biol. Trace Elem. Res.* 79 (2): 169-76.
- Dong, B.; Wu, Z. M. and Tan, X. K. 1993.** Effect of LaCl_3 on physiology of cucumber with Ca deficiency. *J. Chin. Rare Earth Soc.* 11: 65–68.
- Dos Remedios, C. G. 1981.** Lanthanide ion probes of calcium-binding sites on cellular membranes. *Cell Calcium* 2: 29-51.
- Fasano, J. M.; Massa, G. D. and Gilroy, S. 2002.** Ionic signaling in plant responses to gravity and touch. *J. Plant Growth* 21: 71– 88.
- Gampala, S. S. L.; Hagenbeek, D. and Rock, C. D. 2001.** Functional interactions of lanthanum and phospholipase D with the abscisic acid signaling effectors VP1 and ABI1-1 in rice protoplasts. *J. Biol. Chem.* 27: 69855-69860.
- Hagenbeek, D.; Quatrano, R. S. and Rock, C. D. 2000.** Trivalent ions activate abscisic acid-inducible promoters through an ABI1-dependent pathway in rice protoplasts. *Plant Physiol.* 123: 1553-1560.
- Herscher, C. J. and Rega, A. F. 1996.** Pre-steady-state kinetic study of the mechanism of inhibition of the plasma membrane Ca^{2+} -ATPase by lanthanum. *Biochem.* 35: 14917-14922.
- Li, Z., Zhang, Z., Yu, M., Zhu, Y. and Zhao, Y. 2010.** Effect of lanthanum on calcium y magnesium contents and cytoplasmic streaming of intermodal cells of *Chara coralline*. *Biol. Trace Element Res.* DOI: 10.1007/s12011-010-8854-3.
- Liu, M. and Hasenstein, K. H. 2005.** La^{3+} uptake and its effect on the cytoskeleton in root protoplasts of (*Zea mays* L.). *Planta* 220: 658-666.
- Polisensky, D. H, Braam, J. 1996.** Cold-shock regulation of the *Arabidopsis* TCH genes and the effects of modulating intracellular calcium levels. *Plant Physiol.* 111: 1271-1279.
- Shaowu, X. and Pin, Y. 2004.** Effect of La^{3+} on inward K^+ channels at plasma membrane in guard cells. *Science in china. B. Chem.* 48: 143-147.
- Shi, P.; Zeng, F.; Song, W.; Zhang, M. and Deng, R. 2002.** Effects of calcium and lanthanum on ABA biosynthesis in cucumber leaves. *Plant Physiol.* 49: 696–699
- Wang, L.; Huang, X. and Zhou, Q. 2009.** Protective Effect of Rare Earth Against Oxidative Stress Under Ultraviolet-B Radiation. *Biol. Trace Elem. Res.* 128: 82–93.
- Xu, K.; Yang, D. X. and Wang, K. 2010.** Metal binding discrimination of the calmodulin Q41C/K75C mutant on Ca^{2+} and La^{3+} . *Science China Chemistry.* 53 (4): 797-806.
- Yang, H. M.; Li, Y. and Wang, G. X. 2002.** Functions and roles of the channels in broad bean stomatal movements. *Acta Phytoecol. Sinica* 26: 656-660.
- Yangfang, S.; Pin, Y. and Zhenming, P. 2002.** Research at channel level on the effect of La Cl_3 on radish (*Raphanus sativus* L.) vacuolar membrane. *Chinese Sci.* 47(2): 112-115.
- Zheng, F.; An, Y.; Ren, L.; Deng, R. and Zhang, M. 2000.** Effects of lanthanum and calcium on photoelectron transport activity and the related protein complexes in chloroplast of cucumber leaves. *Biol. Trace Elem. Res.* 77(1): 83-91.