

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



DEPARTAMENTO DE PLÁSTICOS EN LA AGRICULTURA

PROGRAMA DE POSGRADO EN AGROPLÁSTICULTURA

**Nutrición de *Lilium* (*Lilium sp.*) con Potasio y su Efecto en el Crecimiento,
Concentración de Nutrientes y Algunos Parámetros Fisiológicos y
Anatómicos.**

TESIS

Presentada por:

ENOC BARRERA AGUILAR

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROPLÁSTICULTURA

AGOSTO DE 2010

Saltillo, Coahuila, México.

DECLARACIÓN

Declaro que la información contenida en la Parte Experimental, así como en la Parte de Resultados y Discusión de este documento y que forman parte de las actividades de investigación y desarrollo realizadas durante el período que se me asignó para llevar a cabo mi trabajo de tesis, será propiedad del Centro de Investigación en Química Aplicada.

Saltillo, Coahuila a 30 de Agosto de 2010.

Enoc Barrera Aguilar

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico otorgado con lo cual me permitió realizar el presente proyecto.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada por darme la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por todos los conocimientos compartidos y el apoyo brindado para hacer realidad el presente trabajo de investigación.

A la Dra. Ana María Castillo González del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo otorgado para la realización del análisis de laboratorio.

Al Dr. Edilberto Avitia García del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo otorgado para la realización del análisis de laboratorio.

Al Dr. Raúl Rodríguez García del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el apoyo brindado en las actividades de laboratorio.

A la Dra. Libia Iris Trejo Téllez del Departamento de Edafología e Hidrología del Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas para el uso del laboratorio y equipos en la determinación de Macronutrientes.

A los laboratoristas: Wenceslao Vidal García, Angela Barrera Cortéz y Martha por su importante colaboración en los análisis de laboratorio correspondientes al presente trabajo de investigación.

INDICE

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Situación actual de la floricultura	2
1.2 El género <i>Lilium</i>	4
1.3 Importancia del cultivo de <i>Lilium</i> en la floricultura comercial	5
1.4 Producción de <i>Lilium</i> bajo invernadero	6
1.5 Nutrición mineral en las plantas ornamentales	7
1.6 Función del K ⁺ en las plantas	7
1.6.1 Compartimentación y concentración celular	8
1.6.2 Activación enzimática	9
1.6.3 Síntesis de proteínas	9
1.6.4 Fotosíntesis y pigmentos fotosintéticos	10
1.6.5 Osmorregulación y extensión celular	11
1.6.6 Movimiento estomatal	12
1.6.7 Suplementación de K ⁺ y su efecto en el desarrollo y contenido en las plantas.	12
1.6.8 Interacción del K ⁺ con otros iones	14
JUSTIFICACIÓN	17
HIPÓTESIS	19
OBJETIVOS	19

II. MATERIALES Y METODOS	20
2.1 Efecto de la concentración de K ⁺ en el crecimiento, estado nutrimental y fisiología de <i>Lilium cv Arcachon</i> cultivado en condiciones de hidroponía	20
2.1.1. Sitio experimental	20
2.1.2. Manejo del experimento	21
2.1.2.1. Sustrato y plantación	21
2.1.2.2. Tratamientos	21
2.1.2.3. Riegos	23
2.1.3. Variables estudiadas	23
2.1.4. Diseño experimental y análisis estadístico	29
2.2 Efecto de la concentración de K ⁺ en la solución nutritiva en el consumo de agua y algunos parámetros de crecimiento y fisiológicos en <i>Lilium cv Arcachon</i> cultivado en peat moss	30
III. RESULTADOS	33
3.1. Efecto de la concentración de K ⁺ en el crecimiento, estado nutrimental y fisiología de <i>Lilium cv Arcachon</i> cultivado en condiciones de hidroponía	33
3.1.1. Variables de crecimiento	33
3.1.2. Concentración y contenido nutrimental	55
3.1.3. Respuestas fisiológicas	62
3.1.4. Variables anatómicas	66
3.2. Efecto de la concentración de K ⁺ en la solución nutritiva en el consumo de agua y algunos parámetros de crecimiento y fisiológicos en <i>Lilium cv Arcachon</i> cultivado en peat moss	70

IV. DISCUSIÓN	82
4.1. Efecto de la concentración de K ⁺ en el crecimiento, estado nutrimental y fisiología de <i>Lilium cv</i> Arcachon cultivado en condiciones de hidroponía	82
4.2. Efecto de la concentración de K ⁺ en la solución nutritiva en el consumo de agua y algunos parámetros de crecimiento y fisiológicos en <i>Lilium cv</i> Arcachon cultivado en peat moss	91
V. CONCLUSIONES	96
VI. LITERATURA CITADA	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Planta de <i>Lilium</i> cv Arcachon y a la derecha se muestra la flor con cada una de sus partes.	4
Figura 2. Efecto de las diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva sobre la altura total del tallo de <i>Lilium</i> cv Arcachon a través del tiempo. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	35
Figura 3. Altura total y peso fresco y seco total en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon tratadas con diferentes niveles de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$), x_0 = punto de inflexión.	36
Figura 4. Efecto de la concentración de K^+ en la solución nutritiva sobre el peso fresco aéreo de plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon a través del tiempo. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	39
Figura 5. Peso fresco total a través del tiempo en plantas tratadas con diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	40
Figura 6. Efecto de la concentración de K^+ en la solución nutritiva sobre el peso seco de la raíz a través del tiempo en <i>Lilium</i> cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	42
Figura 7. Peso seco bulbo a través del tiempo en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon tratadas con diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	44
Figura 8. Peso seco total de hojas a través del tiempo en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon tratadas con diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	45
Figura 9. Peso seco aéreo a través del tiempo en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon tratadas con diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	46
Figura 10. Efecto de las diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva sobre el peso seco de la flor a través del tiempo en <i>Lilium</i> cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	47
Figura 11. Efecto de las diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva sobre el peso seco total a través del tiempo en <i>Lilium</i> cv Arcachon. Las barras indican el error estándar ($n=4$).	48
Figura 12. Efecto de diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva sobre el diámetro basal del tallo a través del tiempo en <i>Lilium</i> cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	49
Figura 13. Efecto de las diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva sobre el diámetro apical del tallo a través del tiempo en <i>Lilium</i> cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	50
Figura 14. Área foliar total a través del tiempo en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon tratadas con diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	51

Figura 15. Efecto de diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva sobre el Área foliar total de hojas, de hojas jóvenes y peso seco total de hojas en <i>Lilium</i> cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$), x_0 = punto de inflección.	52
Figura 16. Diámetro y peso seco de la flor en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon bajo diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$), x_0 = punto de inflección.	53
Figura 17. Nivel de quemadura en las hojas maduras de <i>Lilium</i> cv Arcachon por deficiencia de K^+ . Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	62
Figura 18. Influencia del K^+ en la solución nutritiva sobre el potencial hídrico (ψ_h) de las hojas jóvenes y maduras de <i>Lilium</i> cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	65
Figura 19. Influencia del K^+ en la solución nutritiva sobre la fotosíntesis neta de las hojas jóvenes. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$). El modelo insertado indica la relación entre la concentración de N, K^+ y Mg^{++} en hojas jóvenes con la fotosíntesis neta.	66
Figura 20. Correlación del número de células del parénquima esponjoso con el espesor de las hojas jóvenes. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	68
Figura 21. Efecto de la nutrición con K^+ sobre variables anatómicas de las hojas jóvenes de plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).	69
Figura 22. Efecto de la concentración externa de K^+ sobre el contenido de K^+ total en la planta, peso seco total, altura total y diámetro de la flor en <i>Lilium</i> cv Arcachon cultivado en peat moss. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$). x_0 = punto de inflección.	71
Figura 23. Concentración externa de K^+ y su efecto sobre el área foliar total en la planta, número de hojas total, peso fresco de hojas total y peso seco de hojas total en <i>Lilium</i> cv Arcachon cultivado en peat moss. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$). x_0 = punto de inflección.	73
Figura 24. Concentración de K^+ en la raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes, maduras y flor en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon tratadas con diferentes niveles de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$). x_0 = punto de inflección.	79
Figura 25. Consumo y eficiencia en el uso del agua en <i>Lilium</i> cv Arcachon cultivado en peat moss con diferentes niveles de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$). x_0 = punto de inflección.	81
Figura 26. Fotosíntesis neta en <i>Lilium</i> cv Arcachon cultivado en peat moss con diferentes niveles de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$).	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Concentración de nutrimentos en base a la solución de Hoagland para el experimento realizado en perlita.	22
Tabla 2. Concentración de nutrimentos aplicados en el experimento en peat moss.	31
Tabla 3. Efecto de la concentración de K ⁺ en la solución nutritiva sobre la altura de las plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon a 60 días después del trasplante.	34
Tabla 4. Influencia de la concentración de K ⁺ en la solución nutritiva sobre el número de hojas, lectura SPAD y número de botones florales en <i>Lilium</i> cv Arcachon a 60 días después del trasplante.	37
Tabla 5. Efecto de la concentración de K ⁺ en la solución nutritiva sobre el peso fresco de varios órganos y el peso fresco total en <i>Lilium</i> cv Arcachon a 60 días después del trasplante.	37
Tabla 6. Respuesta de <i>Lilium</i> cv Arcachon a 60 días después del trasplante a la aplicación de K ⁺ sobre el peso seco de raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes y maduras, y peso seco total de hojas, flor y total de la planta.	41
Tabla 7. Respuesta de <i>Lilium</i> cv Arcachon 60 días después del trasplante a la concentración de K ⁺ en la solución nutritiva sobre la longitud de los entrenudos, diámetro basal y apical, diámetro de la flor y área foliar.	54
Tabla 8. Concentración de N, P y K ⁺ , en raíz, bulbo, tallo, hojas maduras y hojas jóvenes, en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon expuestas a diferentes concentraciones de K ⁺ en la solución nutritiva.	58
Tabla 9. Concentración de Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ y S, en raíz, bulbo, tallo, hoja madura y hoja joven, en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon expuestas a diferentes concentraciones de K ⁺ en la solución nutritiva.	59
Tabla 10. Contenido total de N, P, K ⁺ , Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ y S, en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K ⁺ .	61
Tabla 11. Potencial hídrico (ψ_h) y variables fisiológicas en plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K ⁺ en la solución nutritiva.	64
Tabla 12. Anatomía de hojas jóvenes de <i>Lilium</i> cv Arcachon expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K ⁺ .	67
Tabla 13. Efecto de la concentración de K ⁺ en la solución nutritiva sobre la altura de las plantas de <i>Lilium</i> cv Arcachon cultivado en peat moss y 60 días después del trasplante.	70
Tabla 14. Influencia del K ⁺ en la solución nutritiva sobre el número de hojas, lectura SPAD y número de botones en <i>Lilium</i> cv Arcachon a 60 días después del trasplante.	72
Tabla 15. Respuesta de <i>Lilium</i> cv Arcachon a 60 días después del trasplante a la aplicación de K ⁺ en la solución nutritiva sobre la longitud de los entrenudos, diámetro basal apical, diámetro de la flor y área foliar.	74
Tabla 16. Concentración de K ⁺ en la solución nutritiva y su efecto sobre el peso fresco de raíz, bulbo, tallo, hojas maduras y jóvenes, total de hojas, flor y peso fresco total de la planta en <i>Lilium</i> cv Arcachon a 60 días después del trasplante.	75

Tabla 17. Respuesta de <i>Lilium cv Arcachon</i> a 60 días después del trasplante a la aplicación de K^+ en la solución nutritiva sobre el peso seco de raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes y maduras, total de hojas, flor y peso seco total de la planta.	76
Tabla 18. Concentración de K^+ en raíz, bulbo, tallo, hojas maduras, hojas jóvenes, flor y contenido total en la planta, en plantas de <i>Lilium cv Arcachon</i> expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K^+ .	77
Tabla 19. Variables fisiológicas en plantas de <i>Lilium cv Arcachon</i> expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K^+ .	80

RESUMEN

Nutrición de *Lilium (Lilium sp.)* con Potasio y su Efecto en el Crecimiento, Concentración de Nutrientes y Algunos Parámetros Fisiológicos y Anatómicos.

El presente trabajo de investigación se desarrolló bajo un sistema hidropónico en condiciones de invernadero con la finalidad de estudiar el efecto de la nutrición con K^+ en el crecimiento, concentración de nutrientes y algunas variables fisiológicas y anatómicas en *Lilium spp* cultivar Arcachon. Dos experimentos fueron conducidos simultáneamente, uno bajo un sistema de recirculación de la solución nutritiva usando perlita como sustrato con aplicación de ocho concentraciones de K^+ (0, 2.5, 5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5 y 30 mM) y un segundo experimento en macetas utilizando peat moss con aplicación de cuatro niveles de K^+ (0, 5, 10 y 20 mM). Se encontraron efectos en algunas variables anatómicas, fisiológicas y nutrimentales lo que a su vez se manifestó en un efecto sobre las variables tanto de crecimiento como de calidad de las plantas. La concentración de K^+ a aplicar dependerá de la variable de crecimiento o de calidad que interese mejorar. En el primer experimento con la aplicación de 3.41, 6.68 y 9.57 mM de K^+ , se obtiene la mayor altura de planta, diámetro de flor y la menor incidencia de quemadura en hojas maduras, respectivamente. En el segundo experimento con 10 mM de K^+ se logra la mayor área foliar, buena calidad de flor y plantas de menor altura mientras que el mayor diámetro de flor se alcanza con 7.73 mM de K^+ .

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Situación actual de la floricultura

En México, información publicada por la SAGARPA (2010 a) menciona que 15 mil productores se dedican al cultivo de plantas ornamentales, generando con esta actividad 188 mil empleos permanentes, 50 mil eventuales y hasta un millón de indirectos, presentando en los últimos ocho años una tasa promedio de crecimiento anual en producción de flores de casi 14 %. Además, indica que son 26 estados de la República los dedicados a la producción de flor, de los cuales destacan el Estado de México, que aporta 52,294 toneladas, el Distrito Federal participando con 16,350 toneladas, Morelos con 7,641, Jalisco que contribuye con 7,919 toneladas, Puebla con 4,193 y Michoacán con 3,255 toneladas. En el año 2000 se registro un valor de la producción de 2,077 millones de pesos y para el 2008 un crecimiento en 5,275 millones de pesos. El consumo *per cápita* de flores en México se estima en 10 dólares (SAGARPA, 2010b). Por otra parte, la Unión Europea cubre el 12% del área mundial dedicada al cultivo de flores generando el 42% de la producción de flores del mundo, con una superficie total de 80,300 hectáreas cultivadas. El país que posee la mayor superficie cultivada es Holanda (27,400 hectáreas), seguido de

Reino Unido, Polonia y Alemania. En cuanto a la producción, Holanda genera el 27%, Italia un 20%, Alemania el 18%, Francia un 13% y Reino Unido un 5%, de los 8,235 millones de euros producidos anualmente por este bloque comercial. Cabe mencionar que la Unión Europea es el principal consumidor de flores del mundo, en el año 2002 consumió cerca de 14,962 millones de euros en flores, mientras que los Estados Unidos reportó un consumo de 7,286 millones de euros y, en tercer lugar, se ubicó Japón con 3,850 millones de euros.

Los principales consumidores de flores a lo interno de la Unión Europea son: Alemania (27%), Francia (17%), Italia (16%), Reino Unido (16%) y Holanda (7%) según informes reportados por la Comisión sobre la Situación del Sector de las Flores y Plantas Ornamentales (2007). Actualmente, en México más del 85 % de las exportaciones se dirigen a Estados Unidos y una pequeña parte se dirige a la Unión Europea, el cual es un mercado potencialmente más grande para comercializar, sin descartar a los mercados asiáticos que se encuentran en crecimiento y su consumo de flores es cada vez mayor, lo que sin duda debe ser aprovechado por nuestro país (SAGARPA, 2003).

A pesar del gran potencial que posee México en el ramo de la producción de flores y ornamentales y de los avances alcanzados en los últimos años, aún persisten algunos problemas para la comercialización, como por ejemplo, la calidad de la flor cortada, determinada por el tamaño del tallo, la forma, el tamaño y color de las flores, y el número de hojas y pétalos, además de la longevidad de esta. Al respecto, Mandujano (2010) reporta que la inmersión de los tallos florales de *Lilium* cv Star figther en soluciones que contengan 0.1 mM

de cobalto y 1 mM de Calcio (Ca^{++}) resultan en flores con una mayor duración en poscosecha, oscilando entre 4 y 6 días mayor a la de los tallos no tratados.

1.2 El género *Lilium*



Figura 1. Planta de *Lilium* cv Arcachon y a la derecha se muestra la flor con cada una de sus partes.

El género *Lilium*, pertenece a la familia Liliaceae, la cual reúne aproximadamente 100 especies de plantas conocidas como azucenas o *Lilium*, así como de innumerables híbridos de plantas perennes originarias del hemisferio norte que presentan bulbos compuestos por brácteas escamosas, las cuales almacenan las sustancias de reserva necesarias para el desarrollo de la planta, antes de la emergencia del sistema radical, estas escamas también protegen al meristemo apical que da origen a un tallo folioso no ramificado de crecimiento definido y en el extremo se desarrollan las flores, solitarias o en inflorescencias racimosas (Figura 1) (Epstein and Bloom, 2005). El sistema radical de las plantas del género *Lilium* está compuesto por raíces carnosas que nacen del disco basal y raíces adventicias del tallo ubicadas en la

porción superior del bulbo, las cuales tienen la función de absorber nutrientes y agua (De Hertogh y Le Nard, 1993 citado por Ortega-Blu *et al.*, 2006).

1.3 Importancia del cultivo de *Lilium* en la floricultura comercial

Lilium es uno de los cultivos ornamentales de alto valor y es cultivado para flor de corte y como planta de maceta (Varshney *et al.*, 2001). Facchinetti y Marinangeli (2008), reportan que la producción mundial de bulbos florales ocupa una superficie total de más de 31,000 ha y que Holanda cuenta con el 65% de la producción mundial con 10,000 millones de bulbos aproximadamente, entre los cuales se incluyen bulbos de tulipán, *Lilium*, jacintos y narcisos. El consumo está centralizado en esa parte del mundo, sin embargo la producción se está desplazando hacia países del hemisferio sur, que en los últimos años han logrado posicionarse muy bien en el mercado por diferentes razones como la contraestación, las mejores condiciones climáticas, de calidad de suelo y, como consecuencia, un crecimiento más rápido y con menores costos laborales (Facchinetti y Marinangeli, 2008).

En México, *Lilium* es una especie de amplio cultivo además de ser de gran importancia económica en la producción y comercialización de flores de corte en el mercado internacional (Álvarez *et al.*, 2008), siendo una de las especies de flor más exportadas por México hacia los mercados de Estados Unidos y Canadá (SAGARPA, 2010 b). México ocupa el 17^o lugar como país exportador

de flores, con un 12% de la producción nacional destinado a la exportación, el resto se canaliza al consumo doméstico (SAGARPA, 2010 b).

1.4 Producción de *Lilium* bajo invernadero

En México la agricultura protegida se emplea principalmente en la producción de hortalizas, sin embargo, las ornamentales de corte representan el 4% de la superficie que se cultiva bajo este sistema (SAGARPA, 2008). El cultivo de *Lilium* bajo invernadero puede ser una opción importante en mercados de alta demanda para lograr una producción de flores durante todo el año. En lugares donde existen suelos infestados de plagas (trips y áfidos) y enfermedades como *Pythium*, *Phytophthora*, entre otros, o donde predominan condiciones ambientales que dificultan la producción de *Lilium* a cielo abierto, la producción bajo invernadero puede ser una alternativa viable. Otra alternativa sería la implementación de un sistema hidropónico en el cual se use sustrato ya sea orgánico o inorgánico combinado con un sistema de riego para así propiciar el uso eficiente de los recursos hídricos, lo que además se puede reflejar en reducción de costos de producción. Se recomiendan para este cultivo temperaturas nocturnas entre los 12-15°C y las diurnas a 25° C. Así también existen recomendaciones para la solución de riego en cuanto al control del pH entre 6 y 7, así como de mantener riegos frecuentes durante las primeras semanas posteriores a la siembra de los bulbos de *Lilium*.

1.5 Nutrición mineral en las plantas ornamentales

El estado nutrimental de las plantas afecta el rendimiento, la calidad, y la susceptibilidad a las bacterias (Pérez *et al.*, 1992) y a las enfermedades causadas por los hongos (Sakai, 1990), por lo que es necesario tener un buen conocimiento de los requerimientos minerales de las plantas a fin de garantizar un buen rendimiento y evitar el desperdicio de nutrientes.

En especies ornamentales como el *Anthurium* se hace mucho énfasis en la importancia del suministro de Nitrógeno (N) y Potasio (K^+) en la producción de flores y calidad de la flor (Boertje, 1978; Dufour y Clairon, 1997; Sonneveld y Voogt, 1993). Higaki *et al.* (1992) señala que la falta de K^+ tiene una gran influencia negativa en la longitud del tallo floral. Además, la variación de la concentración de Ca^{++} tiene influencia en la calidad de la flor (Higaki *et al.*, 1980). En estudios recientes en *Anthurium andreanum* Lind. L. Dufour y Guérin (2005) afirman que el suministro de K^+ debe ser alto, especialmente durante la fase reproductiva para alcanzar un buen rendimiento y una flor de calidad.

1.6 Función del K^+ en las plantas

El K^+ es un catión inorgánico de alta movilidad en las plantas debido a que no es metabolizado, solo forma complejos débiles, siendo fácilmente intercambiable. Es considerado como el catión más abundante en el citoplasma

contribuyendo alrededor del 1-10% del peso seco de las plantas (Epstein y Bloom, 2005).

La importancia del K^+ en las plantas radica en que se requiere en procesos tales como: síntesis de proteínas, activación enzimática, transporte y translocación de asimilados en la membrana celular, fotosíntesis, neutralización de aniones y regulación del potencial osmótico, siendo éste uno de los mecanismos más importantes en el control de las relaciones hídricas de la planta (Pardo *et al.*, 2006) y que favorece la turgencia y el crecimiento celular. Por lo tanto, el suministro inadecuado de K^+ puede ser un factor limitante para la producción agrícola (Shabala, 2003; Marschner, 1995).

1.6.1 Compartimentación y concentración celular

El K^+ en el citoplasma y en los cloroplastos se requiere en un rango de concentración de 100 a 200 mM (Cuin *et al.*, 2003; Taiz y Zeiger, 2002; Walker *et al.*, 1996). Funcionalmente, las vacuolas son los depósitos de K^+ que garantizan el suministro adecuado para el citoplasma. La concentración media de K^+ en la vacuola varía entre 10 y 200 mM o puede llegar a 500 mM en las células guarda de los estomas (Marschner, 1995). Se ha reportado que en raíces de cebada la concentración de K^+ en las vacuolas varió en forma proporcional con la concentración de K^+ en los tejidos, mientras que el K^+ en el citoplasma se mantuvo constante en un rango amplio de concentraciones, así

también, con la disminución de la disponibilidad de K^+ , la concentración de K^+ en el citoplasma fue mayor que la concentración vacuolar (Walker *et al.*, 1996).

1.6.2 Activación enzimática

A pesar de que el K^+ no es un constituyente de estructuras orgánicas, un gran número de enzimas (más de 60) son completamente dependientes o son estimuladas por éste (Mengel y Kirkby, 2001). El K^+ y otros iones monovalentes activan enzimas por inducción de cambios conformacionales, enzimas reguladoras, particularmente la piruvato kinasa, fosfofructokinasa y ADP-glucosa almidón sintasa, presentan altos requerimientos de K^+ . Otra función del K^+ es la activación de la bomba de protones ATPasa de la membrana celular (Anthon y Spanswick, 1986).

1.6.3 Síntesis de proteínas

El K^+ es requerido para la síntesis de proteínas como la ribulosa-bifosfato-carboxilasa (Rubisco), afectando la tasa de asimilación de CO_2 (Valmorbida y Fernandes, 2007). En plantas de garbanzo cultivadas bajo diferentes niveles de K^+ se encontró que al incrementar la dosis de K^+ aumentó significativamente el contenido de proteína cruda en la semilla (150 Kg ha^{-1} de K^+) (Ali *et al.*, 2007).

1.6.4 Fotosíntesis y pigmentos fotosintéticos

El K^+ desempeña un rol central en la fotosíntesis y procesos relacionados. La deficiencia de K^+ induce una disminución en la fotosíntesis neta, lo cual está relacionado con su función en la síntesis de la Rubisco. Bednarz y Oosterhuis, (1999), encontraron que en hojas de algodón bajo adecuada suplementación de K^+ la tasa fotosintética incrementó al paso de los días en comparación con plantas deficientes, en las cuales la fotosíntesis se vió disminuida. La disminución de la tasa fotosintética por deficiencia de K^+ aparentemente también está relacionada con la reducción de la conductancia estomática, lo cual aumenta la resistencia del mesofilo y disminuye la actividad de la Rubisco (Zhao *et al.*, 2001; Cakmak y Engels, 1999; Peoples y Koch, 1979). Se ha reportado que en plantas de kenaf, algodón y tomate (Delwar *et al.*, 2010; Kanai *et al.*, 2007; Raja y Zhao, 2005) la fotosíntesis neta y la conductancia estomática disminuyeron a medida que se redujo la concentración de K^+ en la solución nutritiva. En un estudio realizado por Egilla *et al.* (2005) se reportó que en plantas de *Hibiscus rosa-sinensis* L. la mayor tasa fotosintética y conductancia estomática se obtuvo bajo los tratamientos con K^+ . Mientras que en plantas de *Guzmania lingulata* Cherry, el contenido de clorofila se incrementó significativamente con el aumento en la concentración de K^+ (Yi y Ming, 2008).

1.6.5 Osmorregulación y extensión celular

El K^+ es conocido como el dominante osmótico y contribuye al alargamiento celular y expansión de la hoja (Shabala, 2003; Shabala *et al.*, 2000; Fricke y Flowers, 1998; Fricke *et al.*, 1994). La expansión celular depende de la turgencia y para alcanzar la turgencia óptima se requiere de K^+ suficiente (Marschner, 1995). La osmorregulación es el proceso fisiológico que involucra la regulación del potencial osmótico de las células y se logra mediante la absorción, transporte y compartimentación de agua y solutos, con K^+ como un componente importante. En consecuencia, los canales transmembranales de agua y K^+ probablemente co-regulados pueden funcionar de forma coordinada para mantener la osmolaridad citosólica apropiada (Yan *et al.*, 2006).

En plantas de *Olea europaea* L. crecidas en un medio salino se encontró que el contenido relativo de agua en los tejidos fue menor que en plantas crecidas sin salinidad y fue incrementado con la adición de K^+ ; además, el espesor de la hoja se incrementó en 13% al incrementar la concentración de K^+ , encontrando diferencias significativas en la longitud de las células del mesófilo en empalizada (Karimi *et al.*, 2009). Wang (2007), reportó que *Phalaenopsis* produjo hojas más anchas con el incremento de la concentración de K^+ en la solución nutritiva. Por otro lado, Egilla *et al.* (2005) señalan que en plantas de *Hibiscus rosa-sinensis* L. el contenido de agua en las hojas aumentó significativamente al incrementar la concentración de K^+ . Mientras que en plantas de *Guzmania lingulata* Cherry se encontró que el ancho de las hojas se

incrementó significativamente con el aumento en la concentración de K^+ (Yi y Ming, 2008).

1.6.6 Movimiento estomatal

El K^+ influye en el movimiento estomatal debido a los cambios de turgencia en las células guarda, ya que un incremento en su concentración en estas células aumenta su potencial osmótico e incrementa la turgencia de las mismas lo cual resulta en la apertura estomatal. El cierre de los estomas corresponde a un decremento en la presión osmótica de las células guarda debido a la salida del K^+ . La eficiencia en el uso del agua con una nutrición óptima de K^+ resulta en un mayor control en la apertura y cierre de estomas (Yan *et al.*, 2006). Yi y Ming (2008), reportaron que en plantas de *Guzmania lingulata* Cherry el agua almacenada en los tejidos y el espesor total de las hojas así como el contenido relativo de agua se incrementó significativamente al aumentar la concentración de K^+ , además el porcentaje de apertura estomatal disminuyó significativamente con el incremento en la concentración de K^+ .

1.6.7 Suplementación de K^+ y su efecto en el desarrollo y contenido en las plantas.

El K^+ es el tercer elemento mineral más importante para las plantas y es absorbido por las plantas en grandes cantidades, en comparación con otros

minerales, con excepción del N (Ali *et al.*, 2007). El 70-80 % del K⁺ total que alcanza las raíces lo hace por difusión, un 10-15 % lo hace por flujo de masa y un 2-5 % es interceptado radicalmente (Carvajal, 1985). La deficiencia de K⁺ disminuye la fotosíntesis y el traslado de los azúcares a la raíz, promueve la acumulación de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno y la aparición en las células de las hojas de sustancias catabólicas, como la putrescina, que inicia la necrosis de los tejidos vivos y además promueve la susceptibilidad al ataque de los hongos pues disminuye la turgencia de las células, favoreciendo la entrada de los patógenos (Cakmak, 2005). Delwar *et al.* (2010) y Ali *et al.* (2007), encontraron que con incrementos en la concentración de K⁺, las plantas de kenaf y de garbanzo alcanzaron mayor altura; además, en kenaf también aumentó el peso seco de la raíz, comparadas con plantas tratadas con concentraciones más bajas. En *Lilium* híbrido asiático un incremento en la dosis de K⁺ promovió el tamaño del bulbo y la floración a una dosis óptima, sin embargo en las plantas tratadas con dosis de K⁺ muy elevadas se presentaron efectos de toxicidad lo cual se manifestó en reducción de la longitud de tallo, número y longitud de hojas, tamaño de bulbo y porcentaje de floración (Varshney *et al.*, 2001). Bajo una dosis alta de K⁺ en plantas de gladiolo (*Gladiolus grandiflorus* L.) se encontró una reducción en los días a la emergencia de la espiga y un retraso en la apertura de las primeras flores (Zubair *et al.*, 2006). Por otro lado Suvra *et al.* (2007), encontraron que en plantas madre de papa (*Solanum tuberosum* L.) al incrementar la dosis de K⁺ se incrementó significativamente el número de inflorescencias por planta y número

de flores por inflorescencia. En otro estudio realizado en plantas de girasol, la aplicación foliar de niveles variados de K^+ mejoró significativamente el peso fresco y seco del tallo, así como el número, rendimiento y peso de 100 achenios (Saeed *et al.*, 2007). Khayyat *et al.* (2009) encontraron que en plantas de fresa el K^+ aminoró el efecto negativo de la salinidad sobre las plantas y aumentó el peso fresco de vástago y, consecuentemente, se redujo el peso fresco de la raíz y se favoreció el uso eficiente del agua, incluso en plantas crecidas en un medio no salino.

1.6.8 Interacción del K^+ con otros iones

El contenido foliar de un catión depende tanto de la disponibilidad particular del elemento como de la presencia o ausencia de otros nutrimentos en el medio de crecimiento, en el cual se presentan interacciones entre K^+ y H^+ , Ca^{++} , Magnesio (Mg^{++}) y Sodio (Na^+) (Dibb y Thompson, 1985). Por ejemplo, se presenta un antagonismo con Mg^{++} debido a que un alto contenido de K^+ inhibe su absorción, lo cual está relacionado con un balance iónico y no con un efecto competitivo específico por los transportadores. El estatus de K^+ en la planta puede deteriorarse aún más en presencia de altos niveles de cationes monovalentes como Na^+ y Amonio (NH_4^+) que interfieren con la absorción del K^+ (Qi y Spalding, 2004; Rus *et al.*, 2004; Spalding *et al.*, 1999; citados por Ashley *et al.*, 2005). Debido a que el Na^+ y K^+ son cationes monovalentes y físico-químicamente similares, en condiciones salinas el Na^+ compite con K^+

para ser absorbido a través de los sistemas de transporte. Las altas concentraciones de Na^+ en el citoplasma así como una alta proporción Na^+/K^+ provoca una toxicidad metabólica debido a la competencia entre Na^+ y K^+ por los sitios de unión en muchas enzimas (Tester y Davenport 2003; Maathuis y Amtmann, 1999 y Bhandal y Malik 1988).

Por otro lado, el K^+ tiene un efecto sinérgico con N y Fósforo (P) (Das, 1999), El N puede ser absorbido por las plantas como un catión (NH_4^+) o como un anión (Nitrato (NO_3^-)). Esto presenta la posibilidad única de obtener tanto una interacción catión-catión así como catión-anión con K^+ (Halevy y Bazelet, 1992).

Se ha encontrado que la salinidad induce deficiencias de K^+ , por ejemplo, en tomate (Kaya *et al.*, 2001b; Satti y Al-Yahyai, 1995) pepino y espinaca (Chow *et al.*, 1990). Mantener adecuados niveles de K^+ es esencial para la sobrevivencia de plantas en hábitats salinos (Tester y Davenport, 2003). De hecho, la nutrición con K^+ juega un rol en el incremento de la tolerancia de las plantas a la salinidad tales como arroz (Bohra y Doerffling, 1993), tomate (Yurtseven *et al.*, 2005; Kaya *et al.*, 2001b; Satti y López, 1994), pepino y pimiento (Kaya *et al.*, 2001a), lechuga, col china (Feigin *et al.*, 1991) y fresa (Kaya *et al.*, 2003). En plantas madre de papa (*Solanum tuberosum* L.) tratadas bajo diferentes dosis de N y K^+ Suvra *et al.* (2007), encontraron que el efecto combinado de estos dos nutrimentos incrementó significativamente el número de inflorescencias por planta pero no así el número de flores por inflorescencia. En *Guzmania lingulata*

Cherry el K^+ en las hojas de las plantas se incrementó conforme se incrementó la concentración de K^+ en la solución; pero las concentraciones de Ca^{++} , Mg^{++} y P disminuyeron. La concentración de N en los tejidos fue mayor en la sexta hoja bajo deficiencias de K^+ (Yi y Ming, 2008). Mientras que en plántulas de cebada bajo condiciones de hidroponía el contenido más alto de K^+ en la raíz se presentó con las concentraciones más altas de K^+ , cuando la fuente de N fue NO_3^- , mientras que el contenido de K^+ en el vástago y en toda la planta el comportamiento fue lineal debido a que el contenido de este tendió a incrementarse con el aumento en la concentración en la solución externa (Szczerba *et al.*, 2006).

JUSTIFICACION

Los sistemas modernos de plasticultura incluyen la producción en condiciones de invernadero e hidroponía. Sin embargo, en la actualidad esta tecnología en México se encuentra particularmente enfocada a la producción de los cultivos hortícolas para incrementar tanto el rendimiento como la calidad de las cosechas. Se requiere que la floricultura en México se integre a este patrón tecnológico para lograr el abastecimiento constante con flores de calidad en los mercados exigentes como el de los Estados Unidos y la Unión Europea. No obstante, hace falta llevar a cabo estudios suficientes sobre la producción hidropónica de flores ya que la casi totalidad de los estudios que se han realizado en este campo han sido principalmente en el cultivo del tomate. Para una adecuada producción de plantas ornamentales en hidroponía se requiere generar información básica que permita en un futuro cercano conocer las concentraciones óptimas de los nutrientes esenciales, de los cuales el K^+ es especialmente importante por la gran cantidad que se demanda por las plantas. A su vez, el conocer los niveles óptimos de aplicación del K^+ permite hacer un uso eficiente de los fertilizantes, lo que conlleva a un ahorro de recursos económicos, permitiendo incrementar la rentabilidad. Además, al aplicar fertilizante en niveles superiores a la dosis óptima implica que una parte de los nutrientes no sean empleados por las plantas y al desperdiciarse se ocasiona un daño al ambiente. La producción hidropónica de flores permite hacer un uso eficiente no solo de los fertilizantes sino también del agua (ahorro promedio del

19 al 29% de agua en producción de crisantemo y rosa respectivamente) logrando aumentar la calidad y el rendimiento de las flores (Van Os, 1999, citado por Abd-Elmoniem 2006).

Lilium spp no ha sido la excepción en cuanto a la falta de estudios de nutrición, por lo que las recomendaciones de fertilización son limitadas y contradictorias a pesar de su importancia en el mercado internacional de las flores. Tomando en consideración que los nutrientes que aporta el bulbo madre no son suficientes para completar el ciclo de cultivo de *Lilium* spp. la fertilización en la producción comercial de estas flores es una práctica necesaria (Ortega-Blu *et al.*, 2006). Las diferencias tanto morfológicas como de producción de materia seca entre sus diferentes cultivares hacen suponer que sus requerimientos nutricionales también sean diferentes por lo que es importante que las recomendaciones de cada nutrimento sean específicas para cada cultivar de *Lilium* spp. Tal es el caso del K^+ el cual interviene en procesos fisiológicos importantes tales como de relaciones hídricas, fotosíntesis, transporte de asimilados y activación enzimática, entre otros (Britto y Kronzucker, 2008). Por lo anteriormente mencionado en el presente estudio se propone evaluar el efecto del K^+ en la solución nutritiva para definir una concentración que permita una mayor producción de flores de alta calidad.

HIPÓTESIS

La concentración de K^+ puede tener efectos benéficos en variables de crecimiento y calidad, así como afectar la concentración de nutrimentos en los diferentes órganos vegetales. No obstante, es necesario determinar la concentración adecuada de este elemento en la solución nutritiva para *Lilium sp* para obtener plantas y flores de mejor calidad.

OBJETIVOS

En el presente estudio se plantearon como objetivos: analizar el efecto de la concentración de K^+ en la solución nutritiva sobre el crecimiento y nutrición de *Lilium cv. Arcachon* cultivado en hidroponía bajo condiciones de invernadero, considerando además el efecto en variables morfológicas, nutrimentales, fisiológicas y anatómicas. Con esta información se podrá generar conocimientos sobre el nivel óptimo de nutrición con K^+ para la producción y calidad de las flores de *Lilium* obtenida bajo un sistema de producción hidropónico.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1 Efecto de la concentración de K⁺ en el crecimiento, estado nutrimental y fisiología de *Lilium cv Arcachon* cultivado en condiciones de hidroponía

2.1.1. Sitio experimental

El experimento se realizó de septiembre a noviembre de 2009 en un invernadero tipo túnel de la Estación Experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) en Saltillo, Coahuila, cuyas coordenadas geográficas son: 25° 27' Latitud Norte, 101° 02' Longitud Oeste y una altitud de 1610 msnm. Durante el periodo en que el experimento se mantuvo dentro del invernadero se registró una temperatura mínima promedio de 12°C y la máxima promedio fue de 27°C. Los valores promedios de humedad relativa mínima y máxima registrados a lo largo del experimento oscilaron entre 45 y 75%. La radiación PAR promedio incidente durante la hora de mayor insolación (12:00 a 14:00 horas) fue de 460 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

2.1.2. Manejo del experimento

2.1.2.1. Sustrato y plantación

En este experimento las plantas de *Lilium* se desarrollaron en un sustrato a base de perlita, el cual fue contenido en cajas de plástico color verde con las siguientes dimensiones: 48 cm de largo, 30 cm de ancho y 27 cm de altura. La perlita fue previamente desinfectada con una solución de hipoclorito de sodio al 5% saturándolo durante 24 horas y posteriormente se efectuó un riego diario durante tres días utilizando agua corriente, la cual se dejó drenar completamente. Posteriormente se efectuó un riego por día durante dos ocasiones utilizando agua destilada. La perlita presentó una capacidad de retención de humedad del 33.25 %, una porosidad del 63.75 % y una densidad de 0.25 g cm⁻³. La plantación de los bulbos de *Lilium* sp., cultivar Arcachon se realizó el 04 de septiembre de 2009. Los bulbos empleados fueron importados de Holanda y tenían un calibre de 16 a 18 cm de circunferencia; estos fueron previamente lavados en agua corriente y desinfectados mediante inmersión en una solución de Benlate (1g/L) por 30 minutos. Los bulbos se colocaron sobre una primera capa de sustrato de 7.5 cm de espesor. Se plantaron 12 bulbos por contenedor a tresbolillo y con las raíces extendidas, para posteriormente cubrirlos con otra capa de sustrato de 17cm.

2.1.2.2. Tratamientos

Las soluciones nutritivas fueron preparadas con agua destilada. En el presente experimento se prepararon ocho soluciones nutritivas correspondientes a los

tratamientos con diferentes niveles de K^+ : 0, 2.5, 5, 7.5, 12.5, 17.5, 22.5 y 30mM, para el resto de los nutrientes se tomó como base la solución de Hoagland (Hoagland y Arnon, 1950). En la Tabla 1 se muestran las concentraciones de los nutrimentos en cada una de las ocho soluciones nutritivas (La concentración de S varió debido al uso de fuentes de K^+ sulfatadas). El pH de las soluciones nutritivas osciló entre 6.2 y 6.6 mientras que la conductividad eléctrica (CE) se mantuvo entre 1.5 y 3.3 $dS\ m^{-1}$.

Tabla 1. Concentración de nutrimentos en base a la solución de Hoagland para el experimento realizado en perlita.

	Concentración de K^+							
Macronutrimentos (mM)	0	2.5	5	7.5	12.5	17.5	22.5	30
N	15	15	15	15	15	15	15	15
P	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
K^+	0	2.5	5	7.5	12.5	17.5	22.5	30
Ca^{++}	4	4	4	4	4	4	4	4
Mg^{++}	3.5	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3
S	2	0.5	1.7	3	5.4	6.4	8.9	12.7
Micronutrimentos (μM)								
B	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2	46.2
Mn	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1
Zn	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Cu	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Mo	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Fe	89.53	89.53	89.53	89.53	89.53	89.53	89.53	89.53

2.1.2.3. Riegos

Se empleó un sistema de riego por goteo automatizado con recirculación de la solución nutritiva, usando ocho contenedores plásticos de 50 L de capacidad cada uno. Después de plantar los bulbos se programaron tres riegos diarios de 10 minutos cada uno. En cada contenedor se colocaron 6 estacas de riego las cuales permitían un volumen de 6 L de agua por hora, utilizando goteros de 2 L de agua por hora en cada unidad experimental. Posteriormente en la etapa de máxima demanda se programaron seis riegos diarios con reposición diaria del agua evapotranspirada y renovación semanal de la solución nutritiva de cada uno de los contenedores.

2.1.3. Variables estudiadas

Se determinó la curva de crecimiento, para lo cual se efectuaron muestreos con intervalos de 10 días durante ocho semanas. Las plantas a muestrear fueron seleccionadas considerando aquellas de la hilera central del contenedor para no alterar el nivel de competencia entre plantas. Cada planta fue sometida primeramente a un lavado de raíz con agua corriente para eliminar el exceso de sustrato y posteriormente se le midieron las siguientes variables: altura de tallo, altura a la inflorescencia (excepto en el primer muestreo), diámetro basal determinado en la base del tallo (vernier digital Caliper Auto TEC™), diámetro apical (esta medición se realizó en la parte superior del tallo considerado como el extremo apical utilizando un vernier digital (Caliper Auto TEC™), número de botones, diámetro de flor o en su caso longitud del botón (se determinó al

momento del corte utilizando una regla graduada, en flores completamente desarrolladas o botones); lectura SPAD (Índice de clorofila) tanto en hojas de los dos tercios inferiores (hojas maduras) como del tercio superior (hojas jóvenes) (medidor SPAD Konica Minolta) (se realizaron mediciones en tres hojas diferentes para cada posición y registrando el promedio inferior y superior), área foliar de las hojas maduras como de las jóvenes (LI-COR modelo LI-3100), así como el registro de quemadura en hojas por deficiencia de K^+ . La quemadura se midió en base a una escala de 1 a 3 para definir el grado de quemaduras del margen de las hojas, correspondiendo el valor de 1 a las plantas sin presencia de margen deshidratado, 2 a plantas con una presencia intermedia de estos síntomas y 3 a plantas con síntomas severos. Posteriormente se procedió a separar la planta en raíz, bulbo, tallo y hojas para el primer muestreo; a partir del segundo muestreo la planta se separó en raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes, hojas maduras y flores. Se registró el peso fresco de cada órgano y posteriormente estos fueron lavados con agua destilada antes de introducirlos en bolsas de papel No. 12. Se introdujeron luego en un horno de secado con recirculación de aire a 75°C por 72 horas para posteriormente registrar el peso seco de cada órgano con ayuda de una balanza digital (Denver instrument modelo AL-3K).

A los 54 días después del trasplante, utilizando el analizador de gases en infrarojo LI-6200 Licor Inc, se midió la tasa de fotosíntesis neta, conductancia estomatal y conductancia de la hoja. Al momento de la medición de las variables fotosintéticas las flores se encontraban con los tépalos completamente

expandidos. Las lecturas fueron tomadas en el periodo de 11:00 a las 13:00 horas sobre una hoja joven de la planta y que tuviese una posición perpendicular a la radiación solar. En la parte inferior de la planta se realizó otra lectura de fotosíntesis y conductancia en una hoja madura. Se registraron tres lecturas tanto en la hoja joven como en la hoja madura tomando una planta por repetición.

Al finalizar el experimento se midió el potencial hídrico de la hoja (ψ_h) con una Cámara de Presión de Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, California, USA) realizando las mediciones del 11 al 13 de noviembre de 2009 de 11:00 a 14:00 horas. Las mediciones se realizaron en dos hojas posicionadas en la parte inferior y superior del tallo, seleccionando una planta por repetición. Ante la falta de peciolo en la hoja de *Lilium*, se retiró parte de la sección proximal de la hoja dejando al descubierto 2 cm de la nervadura central y efectuando las mediciones sobre ese extremo.

La cosecha final se realizó a los 60 días después del trasplante cuando se detectó la apertura completa (tépalos en posición horizontal o 90° con respecto al eje de la planta) de dos botones florales por planta. En el presente experimento previamente se seleccionaron y marcaron las plantas representativas de cada unidad experimental destinadas a cosecha final para no ser tomadas en alguno de los muestreos, siendo cinco plantas por repetición finalmente las cosechadas. A las plantas cosechadas se les midieron las variables siguientes: altura a la inflorescencia, número de hojas jóvenes, maduras y de la inflorescencia, distancia de entrenudos en el tercio apical y en

el tercio basal, diámetro basal y apical del tallo; número de botones florales, diámetro de flor; lectura SPAD en hojas jóvenes y maduras, área foliar de las hojas jóvenes y maduras, y el peso fresco y seco de flores, hojas, tallo, bulbo, raíz y la quemadura en hojas por deficiencia de K^+ . Cada una de estas variables se midió de forma similar a la descrita anteriormente en los muestreos para la determinación de la curva de crecimiento.

El material seco obtenido en la cosecha final se llevó a molienda en un molino Analytical Mill (marca Tekmar Co. modelo A-10). Las muestras de las cinco plantas por repetición fueron molidas y se juntaron por órgano y homogenizaron obteniendo así muestras compuestas. A partir de este material, para cada órgano se procedió a determinar la concentración de N. El N total fue determinado en base al método de Micro-Kjeldalh (Chapman y Pratt, 1973) en el cual el material previamente molido (0.5 g) se llevó a digestión con una mezcla de $H_2SO_4:HClO_4$ (2:1ml) y 2 ml de H_2O_2 al 30%. La concentración de Nitrógeno se obtuvo mediante titulación con H_2SO_4 0.05 N.

La concentración de K^+ en los tejidos se determinó con un flamómetro Corning 400, tomando una muestra del digestado obtenido a partir de 0.5 g de muestra molida a la que se le añadieron 4 ml de una mezcla de $H_2SO_4:HClO_4$ (2:1ml), llevada a calentamiento ($50^\circ C$) y posteriormente se le añadieron 2 ml de H_2O_2 al 30% (Alcántar y Sandoval, 1999). La concentración de P, Ca^{++} y Mg^{++} se determinaron por Espectrometría de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES VARIAN, modelo Liberty) utilizando el extracto diluido

(1:50) obtenido con la digestión ácida de las muestras secas. La concentración de S se determinó por turbidimetría (Alcántar y Sandoval, 1999), con ayuda de un espectrofotómetro (Thermo Spectronic-Genesystm 10uv) con lecturas a 420 nm, realizando previamente una digestión húmeda del material empleando una mezcla de HNO₃:HClO₄ (2:1 ml). El método se modificó al utilizar 0.25 g de muestra y aforar a 50 ml.

Se realizaron observaciones del efecto de los tratamientos con K⁺ sobre la anatomía de las hojas de *Lilium*. Para ello, al momento de la cosecha se seleccionó una planta por repetición y se tomaron muestras vegetales de la sección media de una hoja joven y una hoja madura. Las muestras obtenidas se colocaron en viales con fijador FAA (50% de etanol al 96%, 5% de ácido acético glacial, 10% de formaldehído al 37% y 35% de agua destilada). Las muestras de tejido posteriormente se fraccionaron en cortes transversales y se lavaron con alcohol etílico al 75% para luego ser colocados en una solución con fijador GAA (25% de glicerol, 50% de etanol al 100%, 25% de agua destilada, aprox. 0.0002% de safranina o fast green) y se dejó reposar por tres días. Después de lo anterior, las fracciones de tejido se colocaron en una tela porosa utilizando cajas Petri con un nivel de alcohol al 70%, para posteriormente introducir los envoltorios en el Jung Histokinette 2000 Leica durante 48 horas. Posterior a esto las muestras se secaron en un horno de aire circulante por 24 horas. Después se fijaron en parafina (Merck O Leica) dejando reposar durante 24 horas.

A continuación se recortaron individualmente las fracciones de tejido del bloque de parafina y se fijaron en bases de madera dejando reposar por un día, luego se realizaron cortes a 10 μ m en un micrótopo rotatorio (Jung Histocut Modelo 820, Leica), para enseguida ensamblar en un portaobjetos (CORNING 0.8-1.1 mm de espesor y de 25 x 75 mm) añadiendo dos gotas de adhesivo de HAUPT y cinco gotas de formaldehído, sobre el cual se acomodaron dos segmentos del corte obtenido; luego el portaobjetos se colocó sobre una plancha de calentamiento (Slide Warmer 26020, Clinical Scientific Equipment Co.) a 45°C y se dejó secar a temperatura ambiente. Después de 24 horas la preparación se colocó sobre la plancha caliente para posteriormente sumergirse en tres recipientes de xileno al 100% por tres minutos en cada uno; luego se pasó a una solución de etanol al 100% por tres minutos, posterior a eso se sumergió en soluciones de etanol al 96%, al 70% y al 50% por tres minutos en cada una. Posteriormente se colocó por cinco minutos en una solución de safranina. Se sacó y se sumergió por 10 ocasiones en agua corriente en dos recipientes diferentes. Luego se sumergió por un minuto en soluciones de etanol al 50%, 70%, 96% y al 100%. Posteriormente se colocó por siete minutos en colorante Fast-Green, luego en etanol al 100% durante un minuto, después en tres recipientes de xileno al 100% por tres minutos en cada uno. Luego se le añadieron dos gotas de bálsamo de Canadá (Merck) y se le colocó un cubreobjetos (Corning de 24 x 50 mm) y por último se introdujo a la estufa por 48 horas. Con ayuda de un microscopio óptico (modelo OLYMPUS BX60) y un analizador de imagen (Image-Pro Plus versión 7.0), las preparaciones

permanentes obtenidas de las muestras de hojas terminales se utilizaron en la medición del espesor de la hoja, el número de vasos de xilema, número de células de parénquima esponjoso, el número de estomas así como su longitud y anchura. En el caso del espesor de la hoja, se llevaron a cabo las mediciones en un extremo opuesto a la nervadura central a una distancia de 781 μm tomada a partir del primer haz vascular cercano a la misma nervadura, con una ampliación del campo visual de 50x. Las observaciones del número de vasos de xilema y el diámetro de los mismos se efectuaron al extremo opuesto a la nervadura central en el primer haz vascular cercano a la misma, utilizando una ampliación de 200x. Se contabilizó el número de células del parénquima esponjoso al extremo opuesto a la nervadura central delimitando un área de 20,000 μm^2 , con una ampliación de 100x. El número de estomas se midió en el envés de la hoja en un extremo de la nervadura central y en un área delimitada de 291,000 μm^2 , a una ampliación de 100x, a estos estomas se les determinó la longitud y el ancho, midiendo el diámetro ecuatorial y polar respectivamente.

2.1.4. Diseño experimental y análisis estadístico

El experimento fue establecido en un diseño en bloques al azar con ocho tratamientos y cuatro repeticiones, teniendo 12 plantas por unidad experimental. Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico mediante análisis de varianza (proc ANOVA) y comparación de promedios de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.05$) con ayuda del programa SAS (Statistical Analysis Systems), versión 8.0.

Se realizó un análisis segmentado incluyendo todas las observaciones para cada uno de los tratamientos con el programa SAS (Statistical Analysis Systems), versión 8.0, para posteriormente obtener los modelos de crecimiento.

2.2 Efecto de la concentración de K^+ en la solución nutritiva en el consumo de agua y algunos parámetros de crecimiento y fisiológicos en *Lilium cv Arcachon* cultivado en peat moss

Para el segundo experimento, la plantación se realizó el 09 de septiembre de 2009. Los bulbos fueron desinfectados como anteriormente se describió en la sección 2.1.2.1 y fueron plantados en macetas de seis pulgadas de diámetro color negro utilizando Sphagnum peat moss marca Special Blend (Sun Gro Horticulture Inc.) con pH inicial de 6.3 como sustrato. Se colocó un bulbo por maceta sobre una capa de sustrato de 5 cm y posteriormente se cubrió el resto del contenedor hasta el fin del mismo. Una vez cubierto el bulbo se añadió 1 g de superfosfato simple sobre el sustrato de cada maceta.

En este experimento se empleó también agua destilada para preparar las soluciones nutritivas, las cuales contenían: 0, 5, 10 y 20 mM de K^+ . Las soluciones tuvieron un pH de 6.1 a 6.4 y registraron lecturas de CE de 1.23 a 2.5 dSm^{-1} . Los restantes nutrimentos de las soluciones correspondieron a los indicados en la Tabla 2.

Tabla 2. Concentración de nutrimentos aplicados en el experimento en peat moss.

Macronutrimentos (mM)	Concentración de K⁺			
	0	5	10	20
N	12	12	12	12
P	0.5	0.5	0.5	0.5
K ⁺	0	5	10	20
Ca ⁺⁺	2	2	2	2
Mg ⁺⁺	2.6	2	2	2
S	0	0.5	3	5.5
Micronutrimentos (µM)				
B	46.2	46.2	46.2	46.2
Mn	9.1	9.1	9.1	9.1
Zn	0.76	0.76	0.76	0.76
Cu	0.32	0.32	0.32	0.32
Mo	0.11	0.11	0.11	0.11
Fe	89.53	89.53	89.53	89.53

Los riegos se efectuaron manualmente según las necesidades de las plantas pero considerando un 30% de fracción de lixiviado. En general, los riegos se aplicaron cada 10 días ya que no se permitió la evaporación de la solución nutritiva desde la superficie del sustrato. Para ello se colocó una película de plástico coextruido blanco/negro sobre la superficie del sustrato con un orificio en el centro para permitir la emergencia de las plantas. El volumen drenado fue recuperado en recipientes de vidrio de dos litros colocados por debajo de cada contenedor.

Las variables que se midieron en este experimento fueron: altura a la inflorescencia, el número de hojas jóvenes, maduras y de la inflorescencia, la distancia de entrenudos a 1/3 y 2/3 del tallo, el diámetro basal y apical del tallo;

el número de botones, el diámetro de flor; lectura SPAD en hojas jóvenes y maduras; el área foliar de hojas jóvenes y maduras, y el peso fresco y seco de flores, de hojas jóvenes y maduras, tallo, bulbo, raíz y la quemadura en hojas por deficiencia de K^+ . Además se midió la tasa de fotosíntesis neta, conductancia estomatal y conductancia de la hoja así como la concentración de K^+ en raíz, bulbo, tallo, hojas maduras, hojas jóvenes y en flores. Estas variables se cuantificaron de manera similar a la descrita en el experimento anterior. Adicionalmente se cuantificó el consumo acumulado de agua, el cual se determinó efectuando mediciones del volumen del drenaje después de cada riego aplicado. Para este experimento se utilizó un diseño de bloques al azar, con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, considerando una planta como unidad experimental. Los análisis estadísticos fueron similares a los descritos en el experimento anterior.

III. RESULTADOS

3.1. Efecto de la concentración de K⁺ en el crecimiento, estado nutrimental y fisiología de *Lilium cv* Arcachon cultivado en condiciones de hidroponía

3.1.1. Variables de crecimiento

Las plantas tratadas con los diferentes niveles de K⁺ mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en altura total del tallo y altura total de la planta; sin embargo, en cuanto a la altura a la inflorescencia no se detectó diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 3). La prueba de Tukey registró diferencias significativas entre los tratamientos de 30 y 2.5 - 5 mM de K⁺ ($P \leq 0.05$) (Tabla 3). La altura total del tallo presentó un comportamiento sigmoideal a través del tiempo en cada uno de los tratamientos con K⁺ (Figura 2) mientras que el modelo obtenido mediante el análisis segmentado estima que la máxima altura de la planta se obtiene al suministrar una concentración de K⁺ de 3.41 mM en la solución nutritiva (Figura 3); además, estima que el máximo peso seco total de la planta se alcanza con la aplicación de 4.24 mM de K⁺. En el número de hojas jóvenes, maduras y de la inflorescencia, además del número total de hojas en la planta no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos (Tabla 4).

El índice de clorofila (lectura SPAD) determinado en las hojas maduras no fue afectado significativamente por la suplementación de K⁺, pero en las hojas

jóvenes sí se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) siendo las plantas tratadas con 22.5 y 30 mM de K^+ las que resultaron con un índice SPAD más bajo (Tabla 4). Asimismo se observó una diferencia significativa para el número de botones entre las plantas tratadas con 17.5 y 0 mM (Tabla 4).

Tabla 3. Efecto de la concentración de K^+ en la solución nutritiva sobre la altura de las plantas de *Lilium cv Arcachon* a 60 días después del trasplante.

K ⁺ (mM)	Altura (cm)		
	Total del Tallo	Inflorescencia	Total de la planta
0	50.61ab ^z	24.30	74.91ab
2.5	56.03a	24.95	80.98ab
5	56.15a	25.30	81.45a
7.5	53.71ab	25.45	79.16ab
12.5	54.62ab	25.77	80.39ab
17.5	54.27ab	25.12	79.39ab
22.5	54.09ab	24.42	78.51ab
30	49.89b	24.10	73.99b
^y ANOVA			
K ⁺	*	NS	*
DMS	6.052	2.37	7.19
CV (%)	4.75	4.02	3.86

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$.

^yAnálisis de varianza, NS, *, no significativo y significativo a $P \leq 0.05$. DMS: Diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación.

No se registró diferencias significativas en el peso fresco de raíz y bulbo (Tabla 5), sin embargo, se detectaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para el peso fresco del tallo, peso fresco de las hojas jóvenes y maduras, peso fresco total de hojas, peso fresco de flores y peso fresco total de planta, destacando las plantas tratadas con 5 mM de K^+ las que en general registraron el peso fresco más alto de estos órganos.

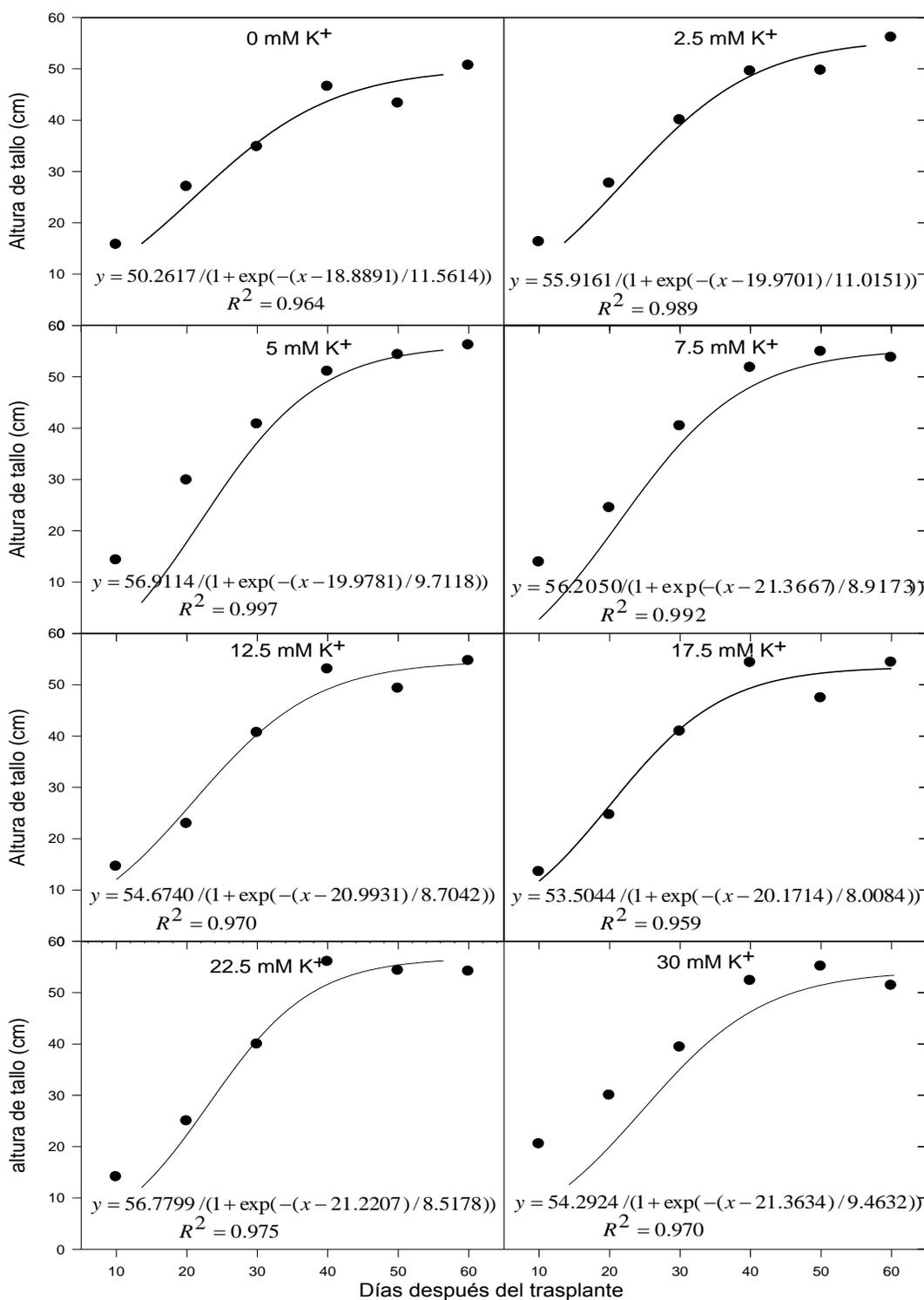


Figura 2. Efecto de las diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva sobre la altura total del tallo de *Lilium cv Arcachon* a través del tiempo. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

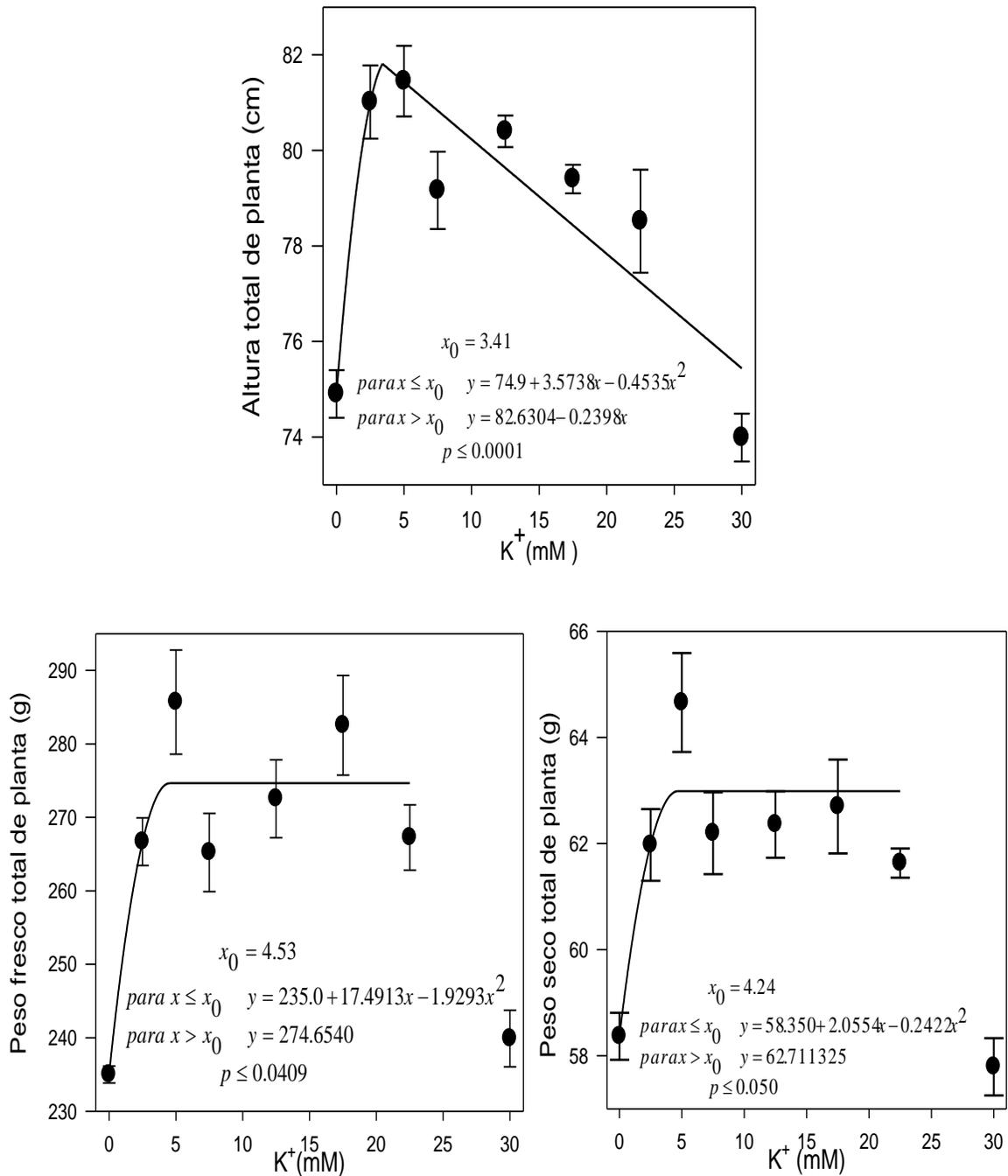


Figura 3. Altura total y peso fresco y seco total en plantas de *Lilium* cv Arcachon tratadas con diferentes niveles de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$), x_0 = punto de inflección.

Tabla 4. Influencia de la concentración de K⁺ en la solución nutritiva sobre el número de hojas, lectura SPAD y número de botones florales en *Lilium* cv Arcachon a 60 días después del trasplante.

K ⁺ (mM)	Número de hojas				Lectura SPAD		Número de botones florales
	jóvenes	maduras	Inflorescencia	Totales	Hojas maduras	Hojas jóvenes	
0	34.50	51.12	5.71	91.33	65.40	73.91a ^z	3.85b
2.5	37.25	49.86	6.05	93.16	65.01	73.43ab	4.15ab
5	35.55	53.54	5.77	94.86	64.75	73.28ab	4.10ab
7.5	35.51	47.75	5.62	88.88	65.80	73.09abc	4.00ab
12.5	36.59	49.84	5.67	92.10	65.41	72.37abc	4.10ab
17.5	35.86	54.62	5.84	96.32	63.57	71.23abc	4.35a
22.5	36.95	50.67	5.70	93.32	64.04	69.96bc	4.05ab
30	34.06	49.79	5.92	89.77	63.45	69.48c	4.15ab
^y ANOVA							
K ⁺	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS
DMS	6.707	7.213	1.283	10.422	3.457	3.695	0.482
CV (%)	7.90	5.98	9.35	4.75	2.25	2.16	4.96

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y Análisis de varianza, NS, **, no significativo y significativo a $P \leq 0.01$, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

Tabla 5. Efecto de la concentración de K⁺ en la solución nutritiva sobre el peso fresco de varios órganos y el peso fresco total en *Lilium* cv Arcachon a 60 días después del trasplante.

K ⁺ (mM)	Peso fresco (g)							
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Total de hojas	Flor	Total de la planta
0	47.38	23.40	45.68ab ^z	30.28c	29.91b	60.19c	58.36b	235.01b
2.5	46.72	24.78	52.03ab	39.94ab	40.28ab	80.22ab	62.93ab	266.68ab
5	52.61	23.55	53.06a	43.53a	42.39a	85.92a	70.57a	285.71a
7.5	50.14	24.16	49.39ab	38.99abc	35.13ab	74.12abc	67.41ab	265.22ab
12.5	46.59	25.25	51.20ab	41.05ab	39.91ab	80.96ab	68.54a	272.54ab
17.5	51.30	27.04	49.10ab	41.61ab	43.65a	85.26ab	69.84a	282.54ab
22.5	49.02	24.48	48.88ab	41.97ab	37.53ab	79.5ab	65.38ab	267.26ab
30	43.35	23.97	43.18b	33.66bc	33.33ab	66.99bc	62.41ab	239.90ab
^y ANOVA								
K ⁺	NS	NS	*	***	**	**	**	*
DMS	16.95	10.13	9.54	8.94	11.31	18.82	9.41	49.74
CV (%)	14.77	17.37	8.19	9.69	12.63	10.36	6.04	7.93

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y análisis de varianza, NS, *, **, ***, no significativo y significativo a $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

El mayor peso fresco de hojas maduras y de la flor se alcanzó con 5 y 17.5 mM de K⁺ además de 12.5 mM en el caso del peso fresco de la flor. El menor peso

fresco del tallo se obtuvo con 30mM. Para el resto de las variables anteriormente mencionadas los valores obtenidos con 0 mM de K⁺ fueron significativamente más bajos que el resto de los tratamientos.

De acuerdo con el análisis segmentado, el máximo peso fresco total de la planta se estima que se obtiene con una concentración de 4.53 mM de K⁺, mientras que la zona de consumo de lujo se presenta con 5 hasta 22.5 mM de K⁺; a partir de esta concentración y hasta los 30 mM se presenta la zona de toxicidad (Figura 3).

El peso fresco aéreo (Figura 4) aumentó exponencialmente con respecto al tiempo con cada uno de los tratamientos de K⁺, la misma tendencia fue encontrada para el peso fresco total de la planta (Figura 5).

En el peso seco de bulbo, hojas maduras, la flor y total de la planta no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de K⁺, pero sí para el peso seco de tallo, hojas jóvenes, total de hojas y peso seco de raíz ($P \leq 0.05$) (Tabla 6). El mayor peso seco de raíz, hojas jóvenes y total de hojas se obtuvo en las plantas tratadas con 5mM de K⁺, el cual fue significativo ($P \leq 0.05$) en comparación con el obtenido con el tratamiento de 30 mM de K⁺. Los tratamientos con 2.5, 5 y 7.5 mM de K⁺ incrementaron significativamente el peso seco del tallo y con 30 mM se obtuvo el peso seco del tallo significativamente más bajo. El peso seco de la raíz (Figura 6) mostró una tendencia cúbica a incrementarse en todos los tratamientos, presentándose el mayor incremento en el lapso de los 50 a 60 días después del trasplante.

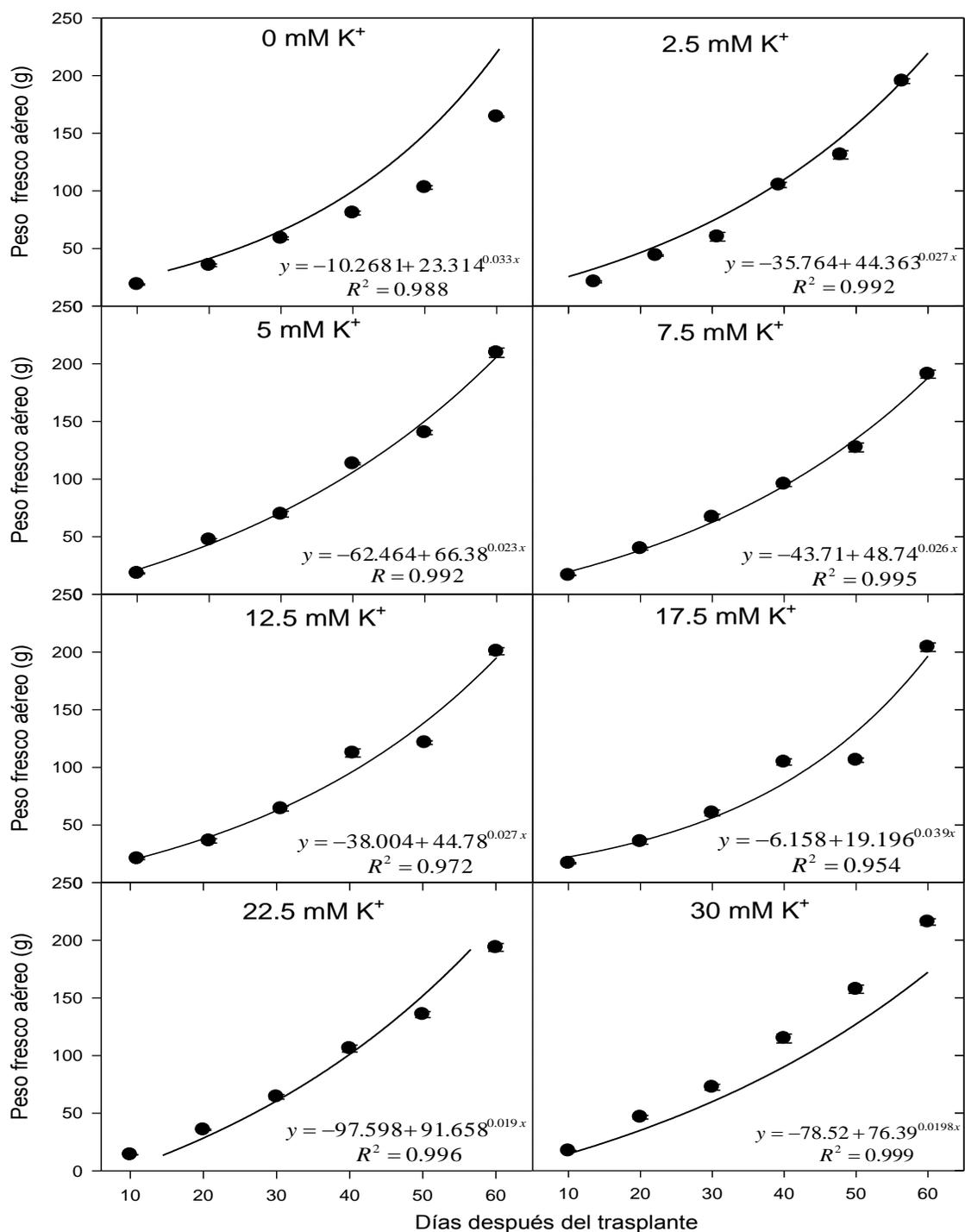


Figura 4. Efecto de la concentración de K^+ en la solución nutritiva sobre el peso fresco aéreo de plantas de *Lilium cv Arcachon* a través del tiempo. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

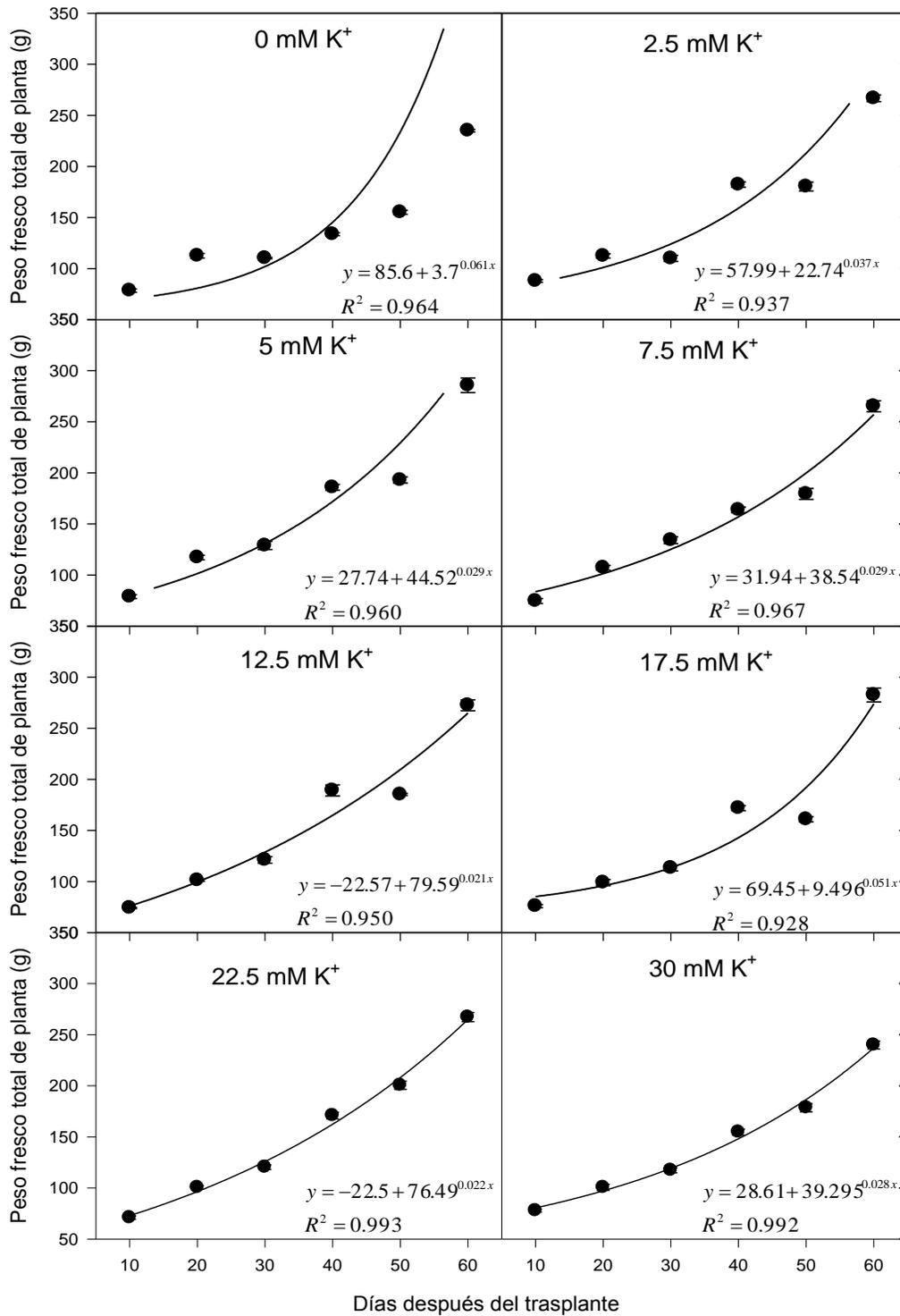


Figura 5. Peso fresco total a través del tiempo en plantas de *Lilium* cv Arcachon tratadas con diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

Tabla 6. Respuesta de *Lilium* cv Arcachon a 60 días después del trasplante a la aplicación de K⁺ sobre el peso seco de raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes y maduras, y peso seco total de hojas, flor y total de la planta.

K ⁺ (mM)	Peso seco (g)							
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Total de hojas	Flor	Total de la planta
0	8.97 ab ^z	9.53	10.54 ab	9.11 ab	9.05	18.16 ab	11.16	58.36
2.5	9.45 ab	9.97	11.30 a	9.86 ab	9.75	19.61 ab	11.65	61.98
5	10.44 a	10.30	11.50 a	10.19 a	10.02	20.21 a	12.21	64.66
7.5	9.43 ab	10.36	11.25 a	9.92 ab	9.40	19.32 ab	11.85	62.21
12.5	9.65 ab	10.35	11.14 ab	9.72 ab	9.49	19.21 ab	12.02	62.37
17.5	9.24 ab	10.78	10.98 ab	9.80 ab	9.70	19.50 ab	12.21	62.71
22.5	9.44 ab	10.31	10.92 ab	9.70 ab	9.26	18.96 ab	12.02	61.65
30	8.83 b	9.87	10.08 b	8.80 b	8.86	17.66 b	11.36	57.80
^y ANOVA								
K ⁺	*	NS	**	**	NS	*	NS	NS
DMS	1.57	2.15	1.12	1.13	1.42	2.44	1.18	7.41
CV (%)	6.99	8.90	4.30	4.92	6.36	5.39	4.20	5.08

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y Análisis de varianza, NS, *, **, no significativo y significativo a $P \leq 0.05$, 0.01, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

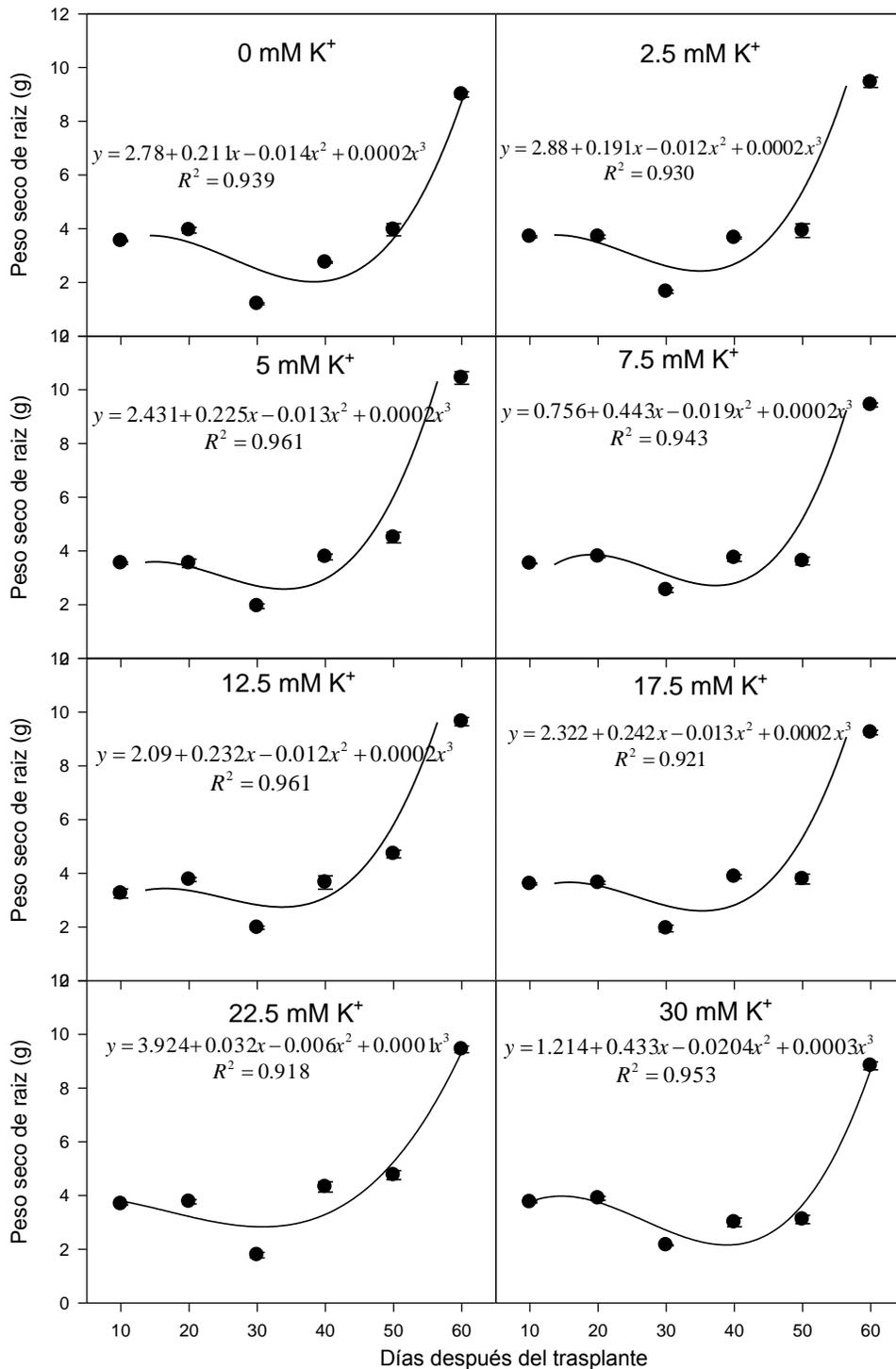


Figura 6. Efecto de la concentración de K⁺ en la solución nutritiva sobre el peso seco de la raíz a través del tiempo en *Lilium cv Arcachon*. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

El peso seco de bulbo (Figura 7) se ajustó a una curva cúbica con tendencia a disminuir en etapas iniciales y a partir de los 50 días tendió a incrementarse. El peso seco total de hojas (Figura 8), aéreo (Figura 9) y el peso seco de la flor (Figura 10) tendieron a incrementar exponencialmente a través del tiempo, observándose un incremento mayor en el transcurso de los 50 a 60 días después del trasplante independientemente de la concentración de K^+ en la solución nutritiva. De la misma manera el peso seco total de la planta presentó un mayor incremento en los últimos 10 días del ciclo de cultivo (Figura 11).

El modelo obtenido mediante el análisis segmentado estima que con la aplicación de 5 mM de K^+ en la solución nutritiva el máximo diámetro basal se obtiene a los 26.2 días después del trasplante mientras que con 22.5 mM el valor máximo se logra a los 28.8 días (Figura 12) en tanto que para el resto de los tratamientos las plantas alcanzaron el mayor diámetro basal entre los 18.83 y 19.88 días. El diámetro apical tendió a comportarse en forma cúbica a través del tiempo presentándose los valores más altos a los 20 días después del trasplante en todos los tratamientos (Figura 13). El área foliar total en todos los tratamientos presentó un comportamiento sigmoideal durante el transcurso del ciclo de cultivo (Figura 14). Con el análisis segmentado se estima que el máximo peso seco total de hojas (Figura 15) y peso seco de flor (Figura 16) se obtiene con 2.5 mM y 6.13 mM de K^+ respectivamente.

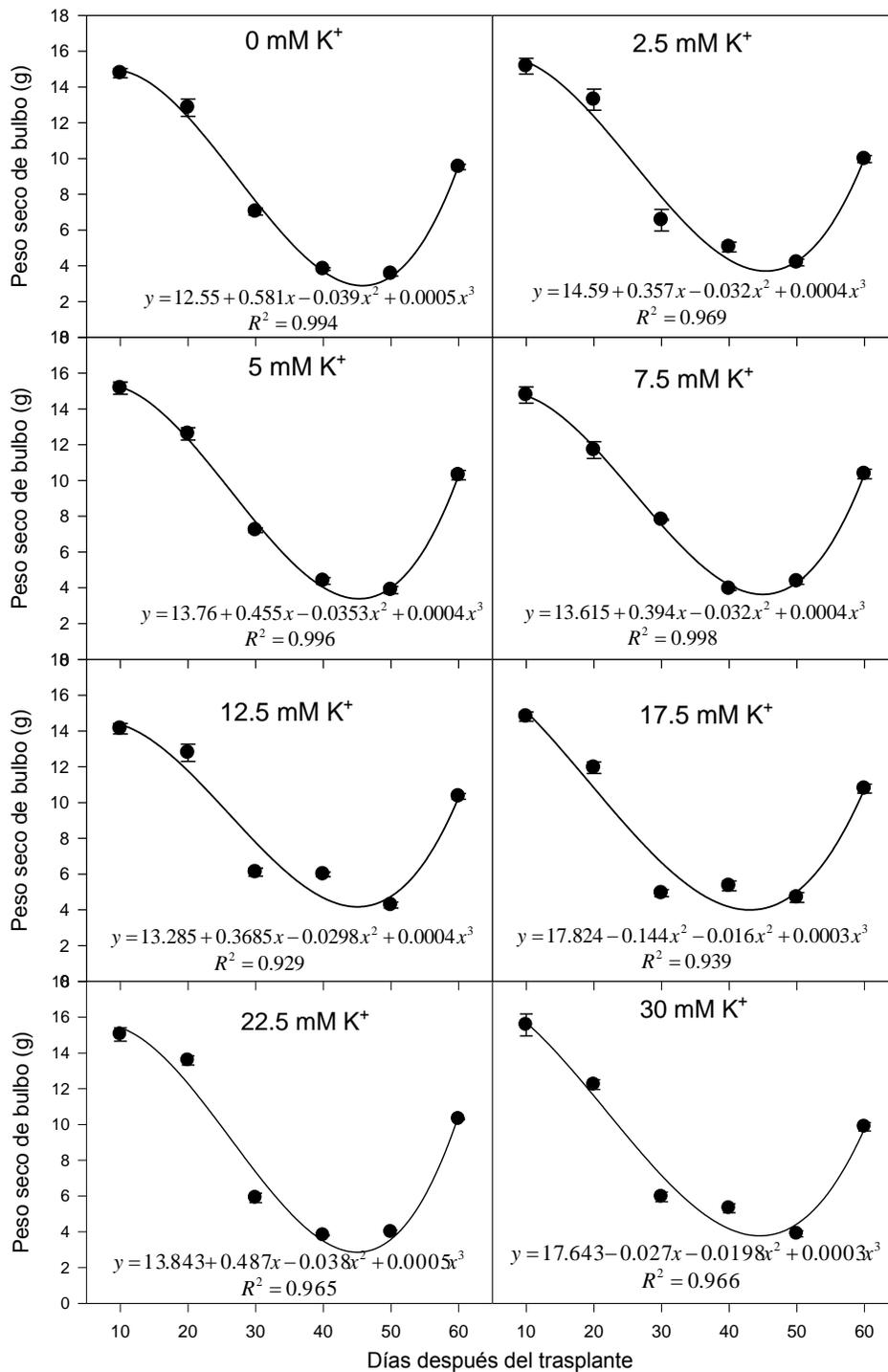


Figura 7. Peso seco bulbo a través del tiempo en plantas de *Lilium cv Arcachon* tratadas con diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

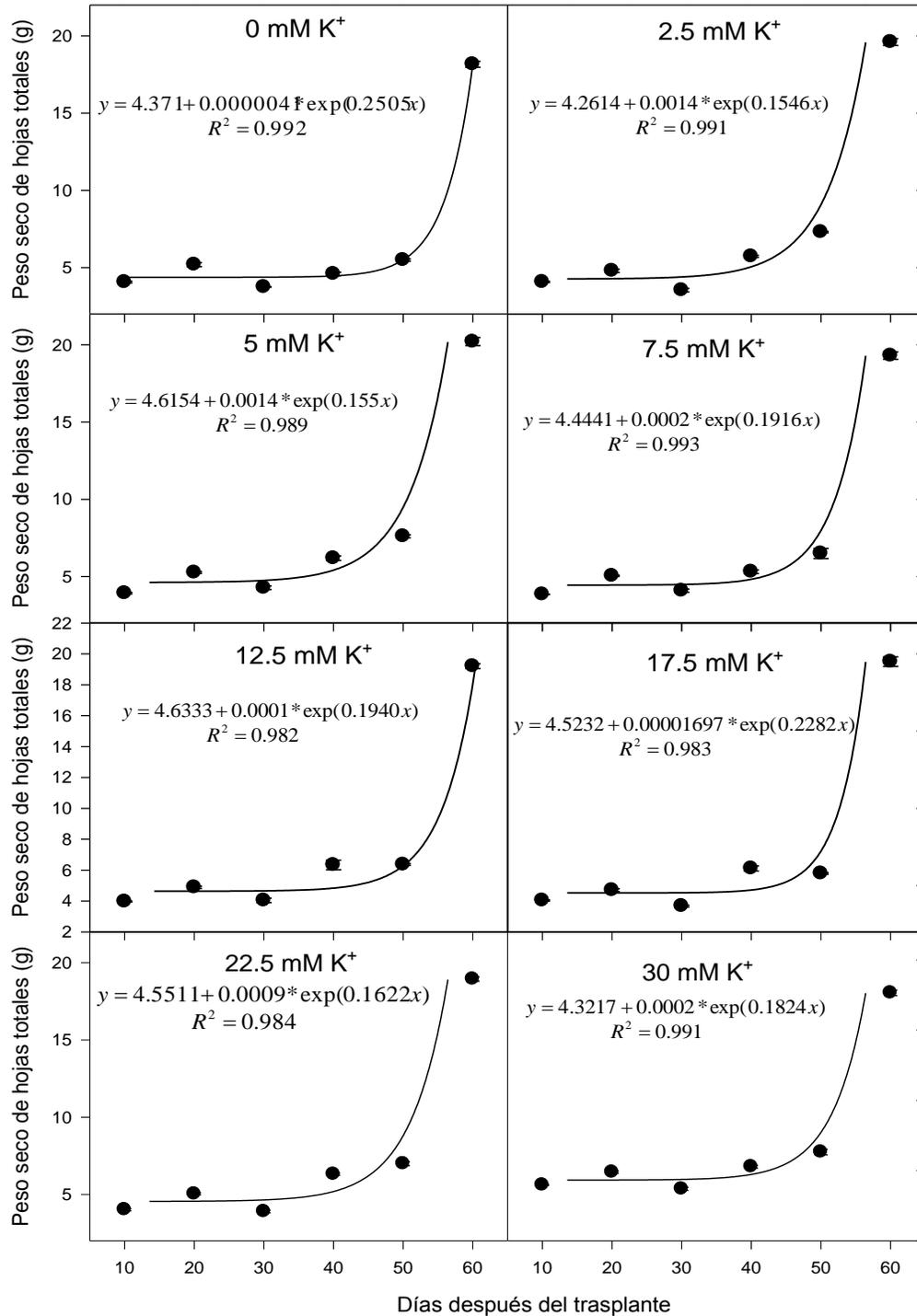


Figura 8. Peso seco total de hojas a través del tiempo en plantas de *Lilium cv* Arcachon tratadas con diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

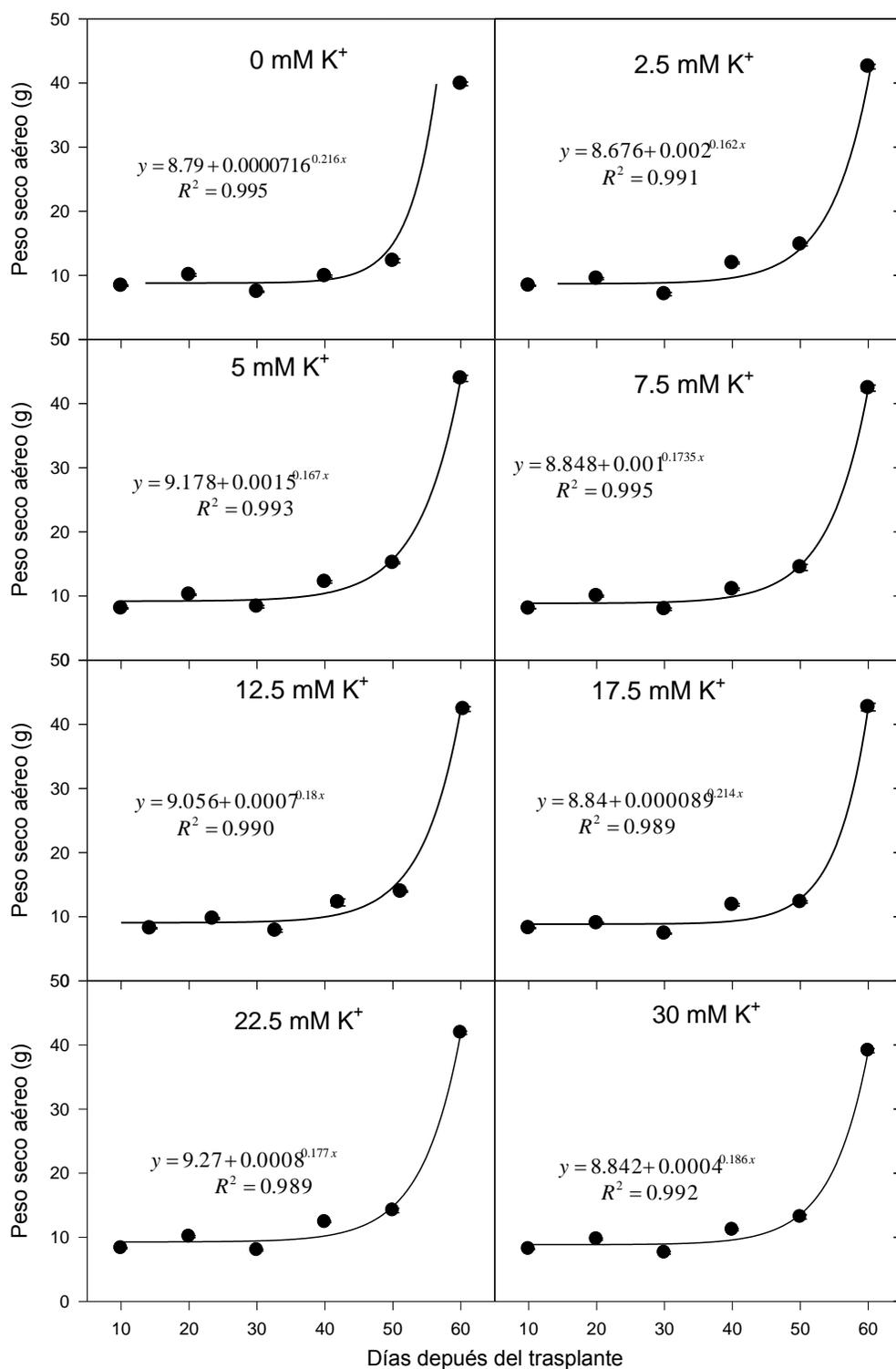


Figura 9. Peso seco aéreo a través del tiempo en plantas de *Lilium* cv Arcachon tratadas con diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media (n=4).

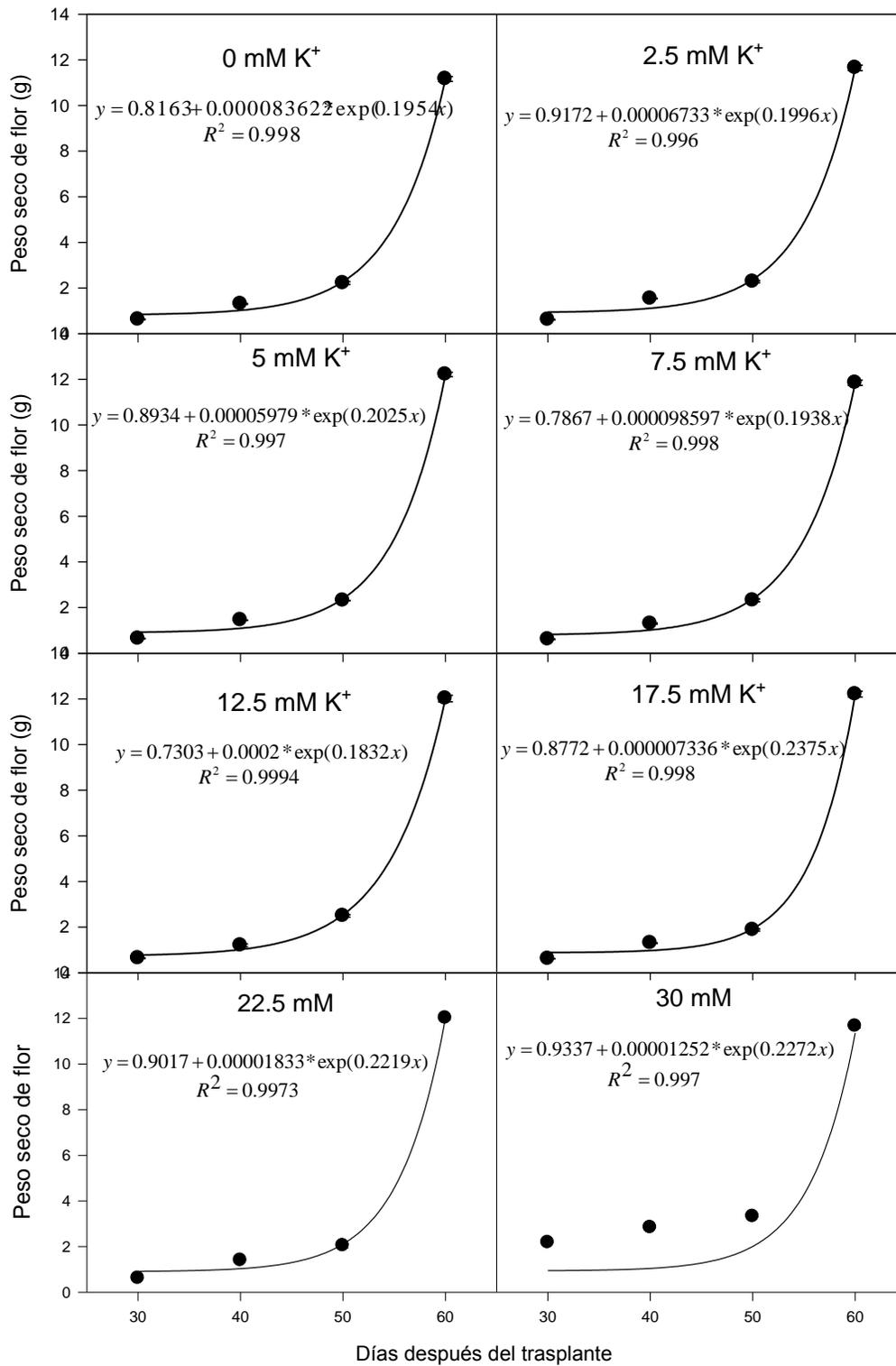


Figura 10. Efecto de las diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva sobre el peso seco de la flor a través del tiempo en *Lilium* cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

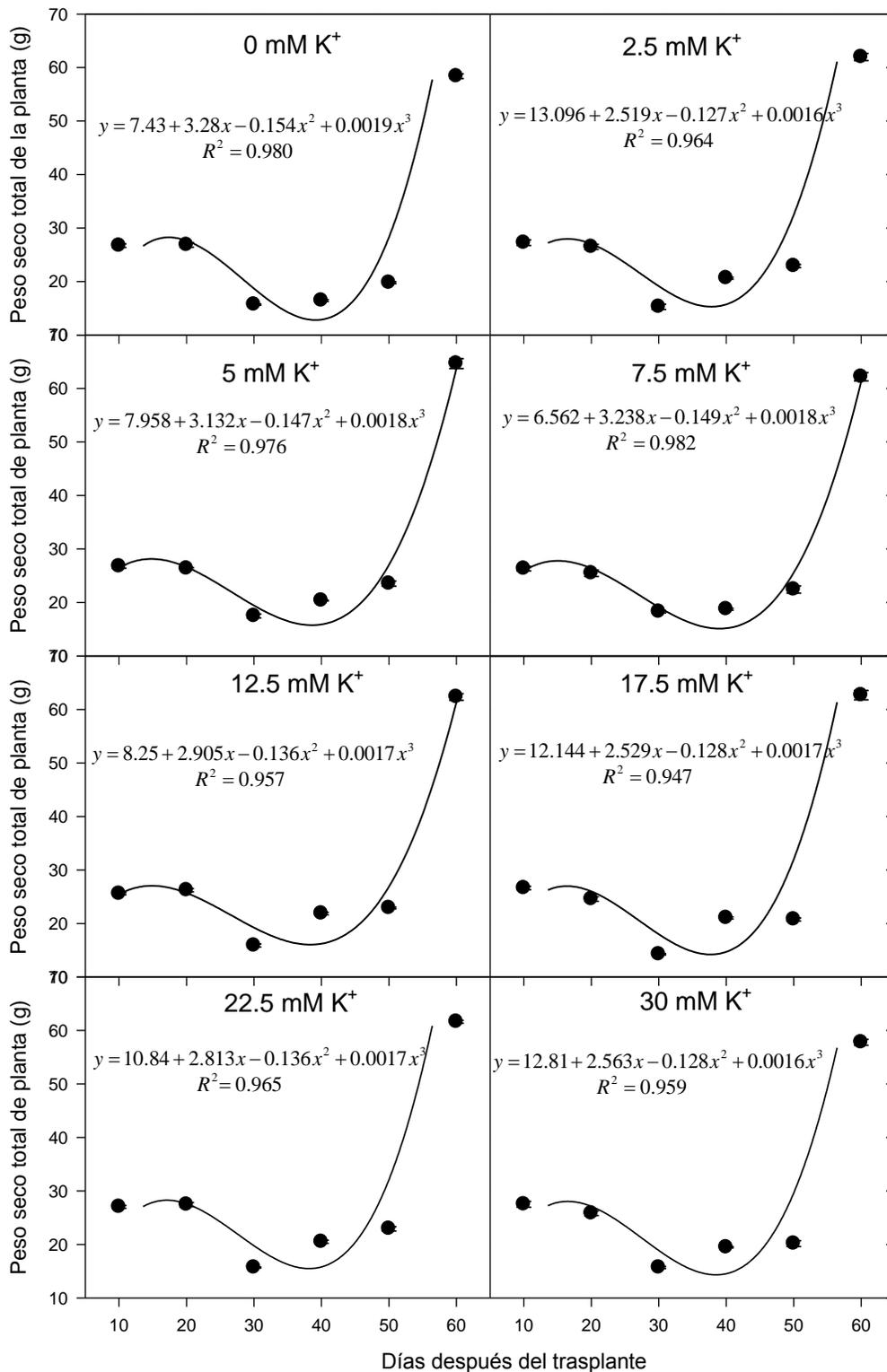


Figura 11. Efecto de las diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva sobre el peso seco total a través del tiempo en *Lilium cv Arcachon*. Las barras indican el error estándar ($n=4$).

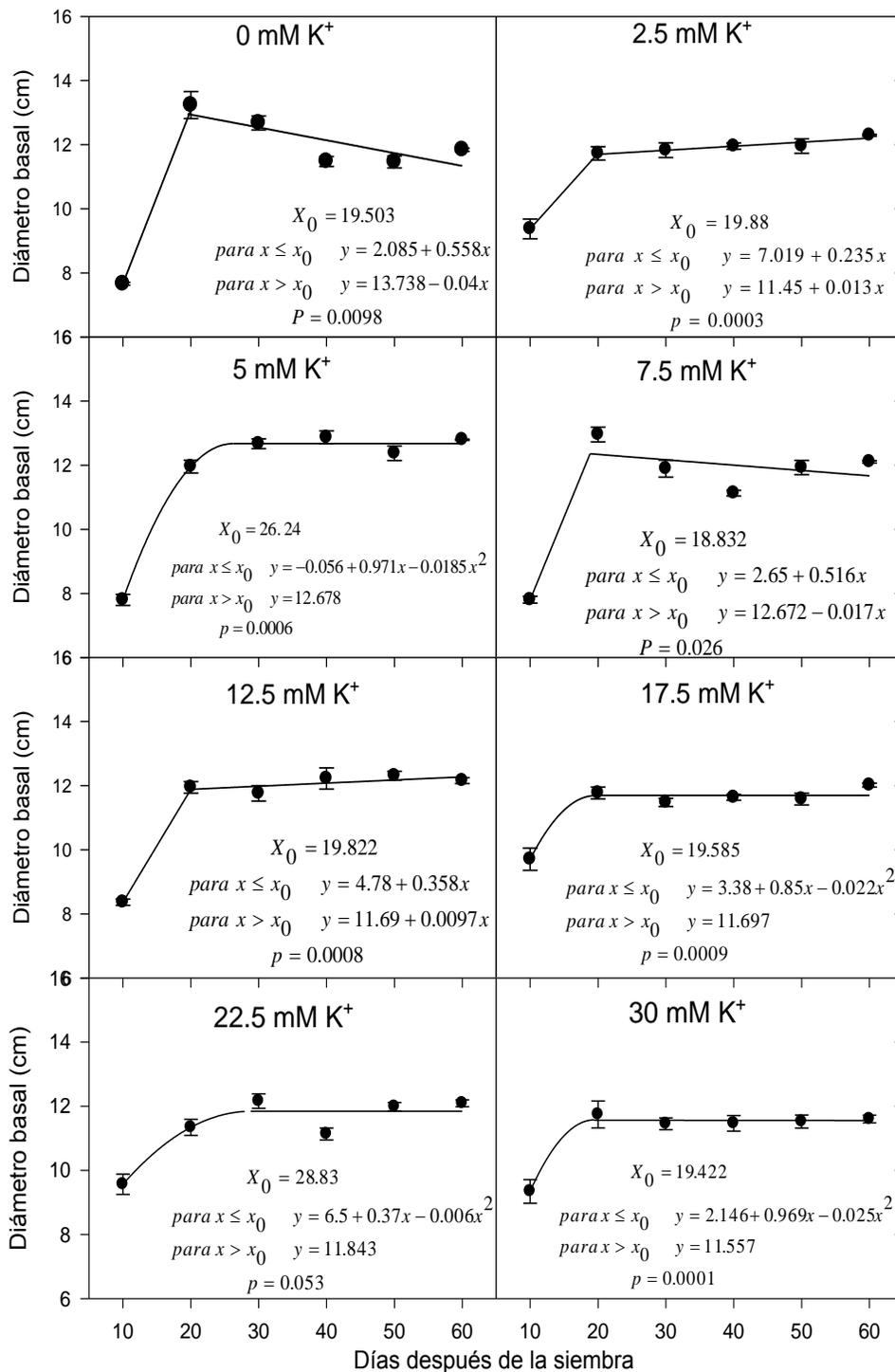


Figura 12. Efecto de diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva sobre el diámetro basal del tallo a través del tiempo en *Lilium* cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$), x_0 = punto de inflexión.

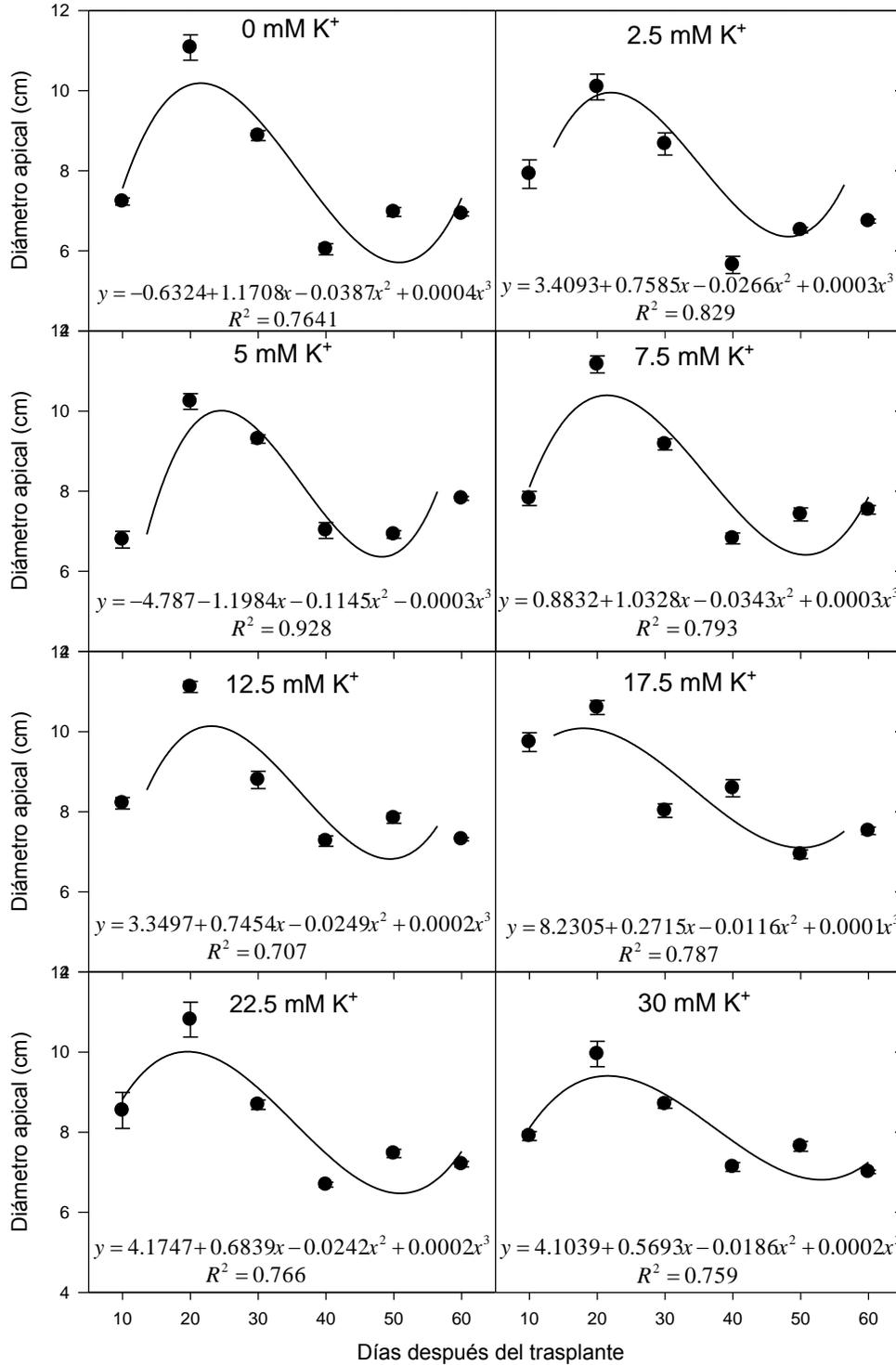


Figura 13. Efecto de las diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva sobre el diámetro apical del tallo a través del tiempo en *Lilium cv Arcachon*. Las barras indican el error estándar de la media (n=4).

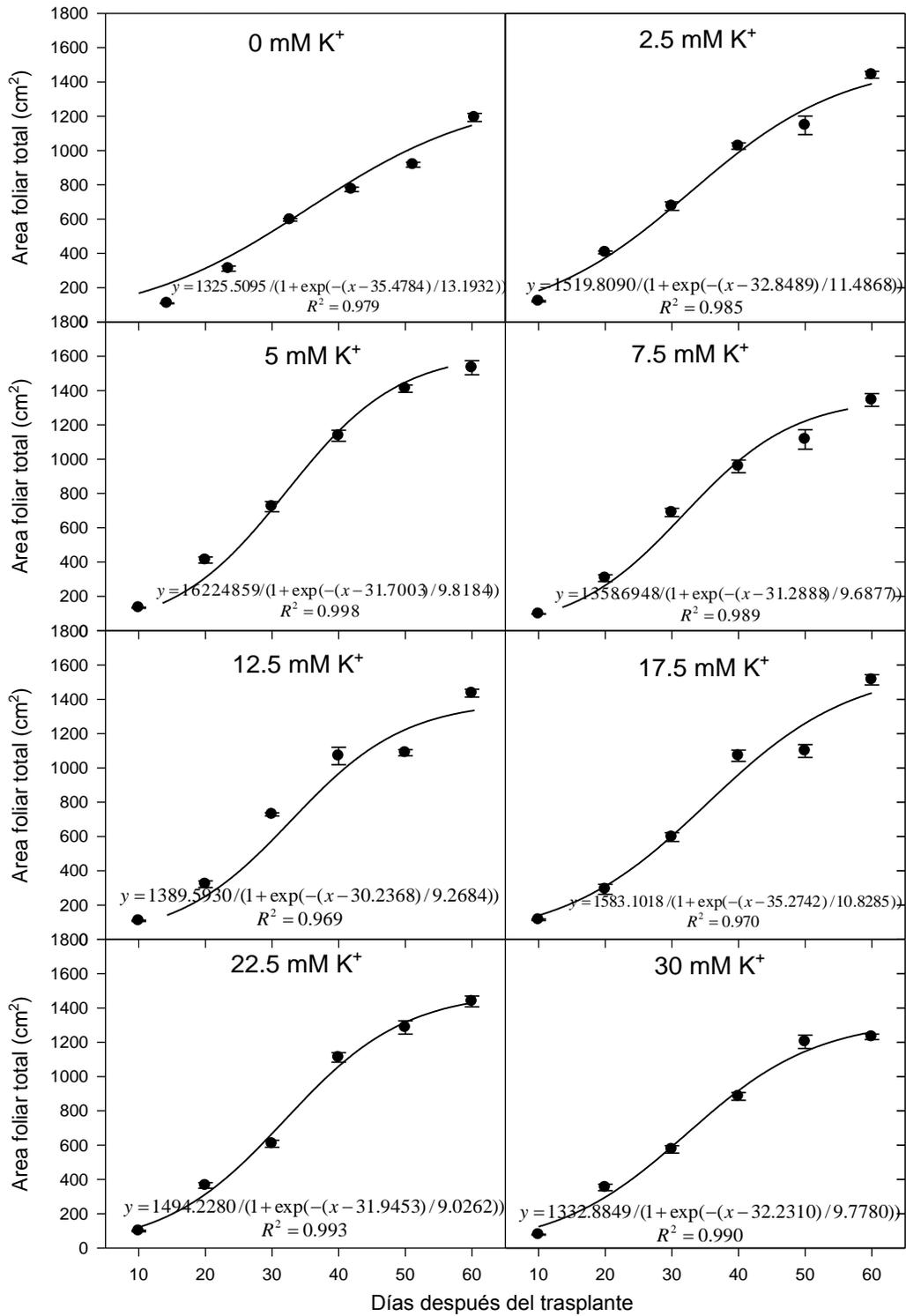


Figura 14. Área foliar total a través del tiempo en plantas de *Lilium* cv Arcachon tratadas con diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

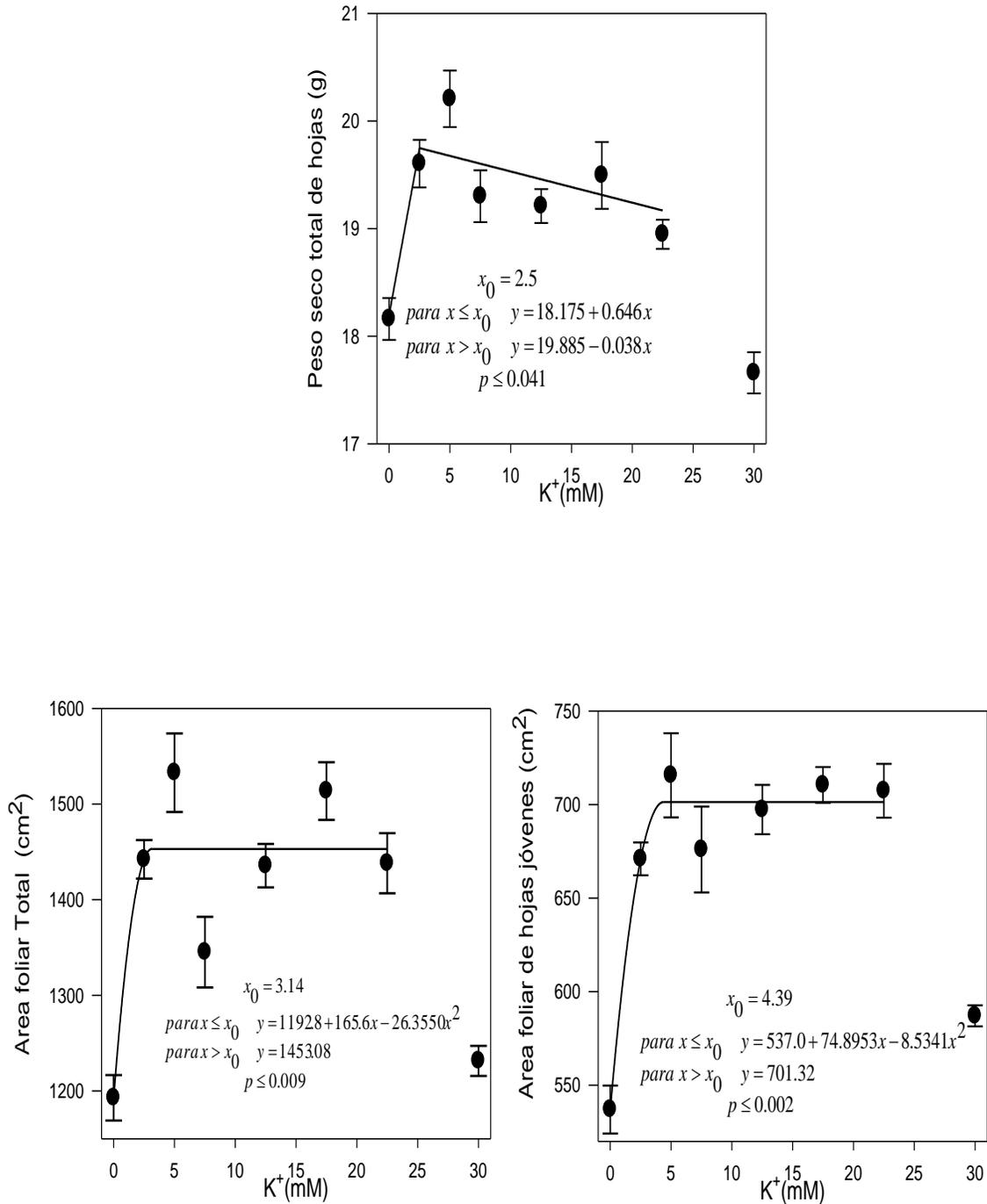


Figura 15. Efecto de diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva sobre el Área foliar total de hojas, de hojas jóvenes y peso seco total de hojas en *Lilium* cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$), x_0 = punto de inflexión.

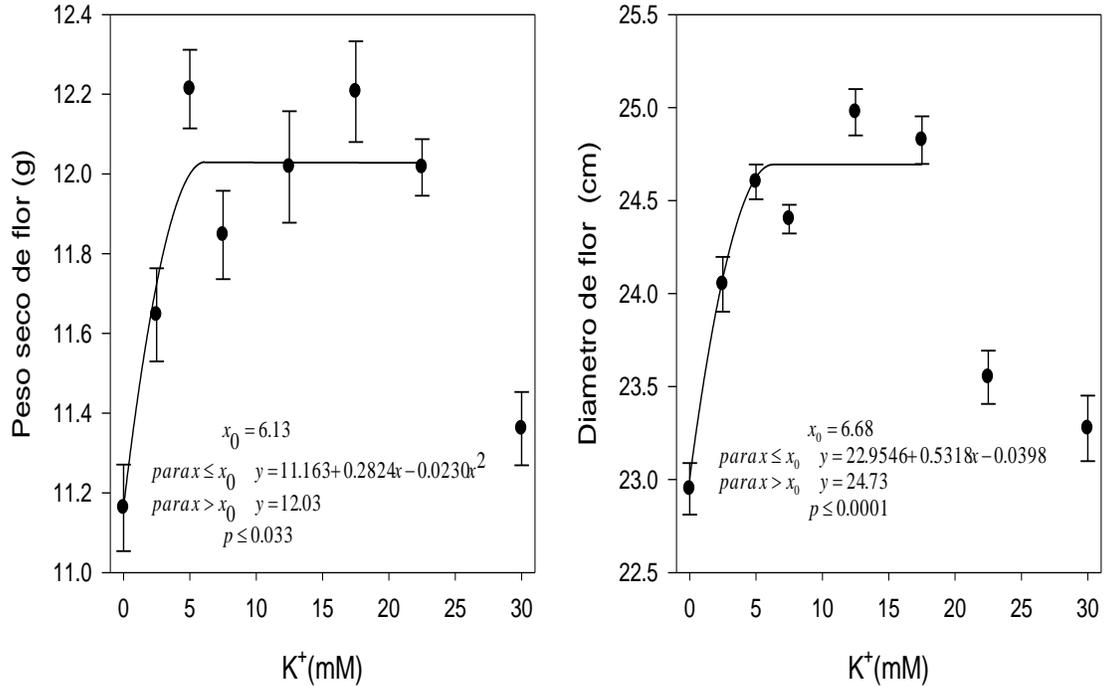


Figura 16. Diámetro y peso seco de la flor en plantas de *Lilium* cv Arcachon bajo diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$), x_0 = punto de inflexión.

La aplicación de diferentes niveles de K⁺ en la solución nutritiva no tuvo efectos significativos en la longitud de los entrenudos tanto de la parte superior como inferior del tallo (Tabla 7), mientras que el suministro de 5 mM de K⁺ incrementó significativamente el diámetro basal, apical y área foliar total de las plantas ($P \leq 0.05$). El incremento del área foliar de las hojas jóvenes fue significativamente mayor con la aplicación de 5, 12.5, 17.5 y 22.5 mM de K⁺. No se registró diferencias significativas en el área foliar de hojas maduras pero sí para el diámetro de la flor, en donde los tratamientos con 12.5 y 17.5 mM de K⁺ aumentaron significativamente ($P \leq 0.05$) el diámetro de este órgano.

El modelo del análisis segmentado estima que con 3.14 y 4.39 mM de K⁺ se obtiene el mayor área foliar total y área foliar de hojas jóvenes (Figura 15) respectivamente mientras que la zona de consumo de lujo se presenta con 5 hasta 22.5 mM de K⁺ y a partir de este último hasta 30 mM se presenta la zona de toxicidad en ambas variables. El máximo diámetro de la flor se alcanza con la suplementación de 6.68 mM de K⁺ en la solución externa, la zona de consumo de lujo se presenta con 7.5 hasta 17.5 mM de K⁺ y la zona de toxicidad de 17.5 hasta 30 mM de K⁺ (Figura 16).

Tabla 7. Respuesta de *Lilium cv Arcachon* 60 días después del trasplante a la concentración de K⁺ en la solución nutritiva sobre la longitud de los entrenudos, diámetro basal y apical, diámetro de la flor y área foliar.

K ⁺ (mM)	Longitud de entrenudos (cm)		Diámetro (mm)		Área foliar (cm ²)			Diámetro de flor (cm)
	superior	inferior	Basal	Apical	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Total	
0	0.507	0.666	11.84b ^z	6.92b	537.04b	655.81	1192.85c	22.95c
2.5	0.515	0.763	12.29ab	7.40ab	670.94ab	771.29	1442.23abc	24.05abc
5	0.539	0.694	12.79a	7.82a	715.62a	817.20	1532.82a	24.60ab
7.5	0.523	0.747	12.11ab	7.53ab	675.96ab	669.18	1345.14abc	24.40abc
12.5	0.516	0.732	12.16ab	7.31ab	697.29a	738.34	1435.63abc	24.97a
17.5	0.517	0.640	12.01ab	7.52ab	710.44a	803.27	1513.71ab	24.82a
22.5	0.506	0.709	12.09ab	7.20ab	707.32a	730.82	1438.14abc	23.55abc
30	0.504	0.665	11.60b	7.00b	587.06ab	644.41	1231.47bc	23.27bc
^y ANOVA								
K ⁺	NS	NS	**	*	**	*	**	***
DMS	0.11	0.14	0.85	0.74	149.58	185.08	300.16	1.46
CV (%)	8.69	8.51	2.95	4.25	9.52	10.71	9.10	2.56

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y análisis de varianza, NS, *, **, ***, no significativo y significativo a $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

3.1.2. Concentración y contenido nutrimental

La concentración de N mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la raíz, bulbo, y en hojas jóvenes y maduras (Tabla 8). En las hojas jóvenes la mayor concentración ocurrió en las plantas tratadas con 7.5 y 22.5 mM de K^+ en tanto que en raíces, bulbo y hojas maduras la concentración de N tiende a disminuir con niveles intermedios de K^+ . En el tallo no se detectó efecto significativo de los tratamientos con K^+ .

La concentración más alta de P ($P \leq 0.05$) en la raíz, tallo y hojas maduras se detectó en plantas irrigadas con soluciones conteniendo niveles altos de K^+ (Tabla 8), mientras que en hojas jóvenes esta tiende a disminuir con altos niveles de K^+ .

La concentración en el bulbo no se afectó significativamente con la aplicación de los diferentes niveles de K^+ . La concentración de K^+ encontrada en el bulbo al inicio del experimento fue de 261.8 mM, pero al final del experimento esta se incrementó cuando las plantas se irrigaron con soluciones conteniendo más de 5 mM de K^+ (Tabla 8). En las hojas jóvenes la concentración de K^+ más baja se registró con la aplicación de 0, 5, 7.5 y 12.5 mM de K^+ en la solución nutritiva. La concentración de K^+ en la raíz, bulbo, tallo y hojas maduras fue significativamente mayor con la suplementación externa de 30 mM de K^+ , en tanto que en las hojas jóvenes la concentración más alta de K^+ se encontró con la suplementación de 12.5 a 30 mM de K^+ .

La aplicación de diferentes niveles de K^+ afectó significativamente ($P \leq 0.05$) la concentración de Ca^{++} , Mg^{++} y S en los diferentes órganos de la planta (Tabla 9). En la raíz, la concentración más alta de Ca^{++} se encontró con la suplementación de 22.5 y 30 mM de K^+ , en el bulbo con 0 a 5 mM y en el tallo con 2.5 a 7.5 mM. Con 30 mM en las hojas maduras y en las hojas jóvenes la concentración más alta de Ca^{++} se registró con 12.5 mM de K^+ en la solución nutritiva. La concentración más alta de Mg^{++} en la raíz y de S tanto en el bulbo como en las hojas jóvenes se encontró con las concentraciones de 22.5 y 30 mM de K^+ ($P \leq 0.05$) con la aplicación de 0 y 2.5 mM de K^+ se registró la más alta concentración de Mg^{++} en el bulbo y en las hojas maduras respectivamente, mientras que en el tallo la concentración más alta se encontró con la aplicación de 0 y 2.5 mM de K^+ . En cuanto a las hojas jóvenes la suplementación de 0 y 5 mM de K^+ incrementó significativamente la concentración de Mg^{++} .

Con respecto al S, la concentración más alta en la raíz y hojas maduras se registró con la aplicación de 30 mM de K^+ , mientras que con la suplementación de 17.5, 22.5 y 30 mM de K^+ se encontró la concentración más alta de S en el tallo.

En general, la concentración de N tendió a aumentar en raíces y hojas jóvenes de plantas expuestas a altos niveles de K^+ en la solución nutritiva, pero tendió a disminuir en el bulbo. En tallos y hojas maduras no se observó ninguna tendencia definida.

La concentración del P en general tendió a elevarse en raíces y tallos de plantas tratadas con niveles elevados de K^+ ; sin embargo, en hojas jóvenes tendió a disminuir con altas concentraciones de K^+ en la solución nutritiva mientras que en el bulbo la disminución fue con niveles intermedios de K^+ .

Con respecto a la concentración de K^+ y S en general, tendieron a elevarse en todos los órganos evaluados conforme se incrementó la concentración de K^+ en la solución nutritiva.

En general, la concentración de Ca^{++} tendió a disminuir con los niveles intermedios de K^+ en la solución nutritiva en raíces y bulbos pero con niveles altos de K^+ , la concentración de Ca^{++} se recuperó en estos órganos. En el caso de las hojas maduras la concentración de Ca^{++} se elevó conforme se incrementó la concentración de K^+ en la solución nutritiva, pero en el caso de las hojas jóvenes este aumento en Ca^{++} solo ocurrió hasta que la concentración externa de K^+ fue de 12.5 mM, pues concentraciones mayores estuvieron asociadas con una disminución en el Ca^{++} foliar.

La concentración de Mg^{++} en los tejidos tendió en general a disminuir en todos los órganos estudiados con excepción de la raíz conforme se elevó la concentración de K^+ externa.

Tabla 8. Concentración de N, P y K⁺, en raíz, bulbo, tallo, hojas maduras y hojas jóvenes, en plantas de *Lilium* cv Arcachon expuestas a diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva.

K ⁺ (mM)	N (mM)					P (mM)					K ⁺ (mM)				
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas maduras	Hojas jóvenes
0	487.73abc ^z	775.00a	482.36	1178.0ab	1173.87cd	25.05cd	57.26	48.76b	64.14ab	73.44a	150.53e	219.00b	120.83e	275.22e	312.1c
2.5	502.20abc	663.40ab	396.80	1147.0ab	967.20d	31.54bc	50.49	47.93b	55.20ab	59.47ab	123.51e	239.14ab	305.43de	359.13de	332.3c
5	347.20c	647.28ab	390.60	1132.5ab	1140.80cd	14.98d	53.29	47.19b	51.31b	74.4a	171.68de	332.28ab	459.82cd	465.69cde	406.1bc
7.5	442.68bc	558.00b	337.28	785.3b	1215.20abcd	22.04cd	42.58	40.13b	62.77ab	74.43a	399.41dc	265.15ab	531.14bcd	679.66bc	698.1b
12.5	488.56abc	529.07b	489.80	1185.4ab	1506.60ab	19.08d	47.64	49.29b	64.42ab	71.41a	516.88c	329.76ab	688.05bc	674.63bcd	1293.9a
17.5	375.72c	688.20ab	331.08	1103.6ab	1463.20abc	21.61cd	48.36	44.88b	57.07ab	55.93ab	570.58c	385.14ab	777.84ab	594.07bcd	1273.7a
22.5	606.77ab	529.07b	388.53	1322.7a	1535.12a	39.21ab	47.47	53.39b	52.68ab	58.95ab	908.73b	347.38ab	647.78bc	808.09ab	1565.7a
30	659.68a	644.80ab	477.40	1206.9a	1205.28bcd	43.52a	57.11	70.16a	68.05a	48.21b	1215.00a	432.97a	949.01a	1121.02a	1293.9a
^y ANOVA															
K ⁺	***	**	NS	*	***	***	NS	***	*	**	***	*	***	***	***
DMS	177.15	214.55	206.41	413.65	327.18	10.87	23.15	15.42	15.87	20.75	240.51	210.73	247.60	318.50	354.11
CV (%)	15.28	14.37	21.14	15.40	10.81	16.89	19.32	12.95	11.26	13.56	19.99	27.87	18.64	21.58	16.65

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y Análisis de varianza, NS, *, **, ***, no significativo y significativo con $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

Tabla 9. Concentración de Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y S, en raíz, bulbo, tallo, hoja madura y hoja joven, en plantas de *Lilium cv Arcachon* expuestas a diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva.

K ⁺ (mM)	Ca ⁺⁺ (mM)					Mg ⁺⁺ (mM)					S (mM)				
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hoja madura	Hoja joven	Raíz	Bulbo	Tallo	Hoja madura	Hoja joven	Raíz	Bulbo	Tallo	Hoja madura	Hoja joven
0	50.45ba ^z	28.70ab	26.83b	100.37b	129.90b	50.45ba	41.30a	104.92a	199.89ab	271.11a	46.30e	39.25ab	28.89b	84.15d	125.90d
2.5	49.53ba	29.62a	34.89a	125.10ab	170.87ab	49.53ba	33.20ab	119.67a	209.38a	223.09ab	39.69e	23.57b	19.59b	82.03d	115.83d
5	23.36b	26.19abc	28.99ab	111.26ab	97.90b	23.36b	32.87ab	85.14b	155.33abc	272.40a	68.03de	21.90b	26.78b	93.91d	120.44d
7.5	37.74b	16.39cd	28.75ab	102.91ab	97.34b	37.74b	25.69b	66.46c	158.72abc	180.66abcd	148.10cd	30.49ab	30.77b	102.05d	135.70cd
12.5	46.79ba	15.74cd	24.64b	147.57ab	241.82a	46.79ba	27.81ab	47.90d	147.06bc	187.95abc	171.23c	40.80ab	31.46b	177.25c	223.80ab
17.5	27.99b	15.48cd	23.22b	125.76ab	163.69ab	27.99b	26.79ab	42.72d	138.98bc	128.63cd	223.15bc	35.82ab	58.35a	165.04c	179.65bc
22.5	72.33a	13.23d	21.96b	141.47ab	180.63ab	72.33a	25.53b	42.05d	120.45c	134.24bcd	293.37b	51.66a	65.74a	223.72b	258.18a
30	69.28a	17.81bcd	24.09b	160.93a	106.28b	69.28a	28.46ab	40.22d	137.72bc	93.14d	474.65a	53.98a	74.04a	271.81a	260.21a
^y ANOVA															
K ⁺	***	***	***	*	***	**	*	***	***	***	***	**	***	***	***
DMS	28.13	10.93	7.50	60.47	91.38	28.13	14.92	16.93	62.24	94.41	90.87	25.37	23.26	39.52	45.30
CV (%)	25.14	22.59	11.86	20.09	25.94	35.34	20.82	10.40	16.56	21.35	20.93	28.77	23.37	11.11	10.76

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y Análisis de varianza, NS, *, **, ***, no significativo y significativo a $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

El contenido de los nutrientes en las plantas de *Lilium* varió en relación a la concentración de K^+ en la solución nutritiva ($P \leq 0.05$). El contenido de N en la planta fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) cuando se aplicó K^+ en concentraciones mayores a 12.5 y menores de 5 mM (Tabla 10). Con respecto al P, no se detectó una tendencia clara al incrementar la concentración de K^+ en la solución nutritiva. Tanto el contenido de K^+ como el de S en las plantas tendieron a aumentar significativamente ($P \leq 0.05$) a medida que se incrementó la concentración del K^+ en la solución externa, encontrando el mayor contenido en las plantas bajo los tratamientos con 22.5 y 30mM. No obstante, el contenido de Mg^{++} en las plantas disminuyó significativamente al aumentar la concentración de K^+ en la solución nutritiva, mientras que el contenido de Ca^{++} aumentó significativamente al aplicar 12.5 mM de K^+ mientras que con el suministro de 5 y 7.5 mM de K^+ disminuyó significativamente.

Tabla 10. Contenido total de N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ y S, en plantas de *Lilium* cv Arcachon expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K⁺.

K ⁺ (mM)	Contenido (mM/planta)					
	N	P	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	S
0	38.40 ab ^z	2.54	10.11 e	3.13 bc	6.60 a	3.02 e
2.5	36.50 ab	2.47	13.81 e	4.04 ab	6.76 a	2.78 e
5	37.71 ab	2.52	19.34 de	2.94 c	6.18 ab	3.42 de
7.5	33.24 b	2.43	25.73 cd	2.80 c	4.75 bc	4.36 d
12.5	41.47 a	2.53	35.06 bc	4.63 a	4.47 bc	6.28 c
17.5	39.62 ab	2.31	36.30 b	3.50 bc	3.69 c	6.45 c
22.5	42.53 a	2.50	41.84 ab	4.12 ab	3.61 c	8.62 b
30	38.34 ab	2.70	46.27 a	3.41 bc	3.18 c	10.18 a
yANOVA						
K ⁺	*	NS	***	***	***	***
DMS	8.06	0.6	9.68	1.1	1.78	1.23
CV (%)	8.83	10.19	14.29	13.02	15.30	9.21

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$.^y Análisis de varianza, NS, *, ***, no significativo y significativo a $P \leq 0.05$, 0.001, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

Las plantas de *Lilium* tratadas con las concentraciones altas de K⁺ (12.5, 17.5, 22.5 y 30 mM) en la solución nutritiva presentaron el nivel más bajo de quemadura en las hojas inferiores por deficiencia de K⁺ (Figura 17). El análisis segmentado indica que la aplicación de 9.57 mM de K⁺ o más puede evitar que se presenten quemaduras en las hojas por deficiencia de K⁺. Sin embargo, se obtiene un nivel aceptable cuando la concentración de K⁺ en la solución nutritiva fue de 7.5 mM.

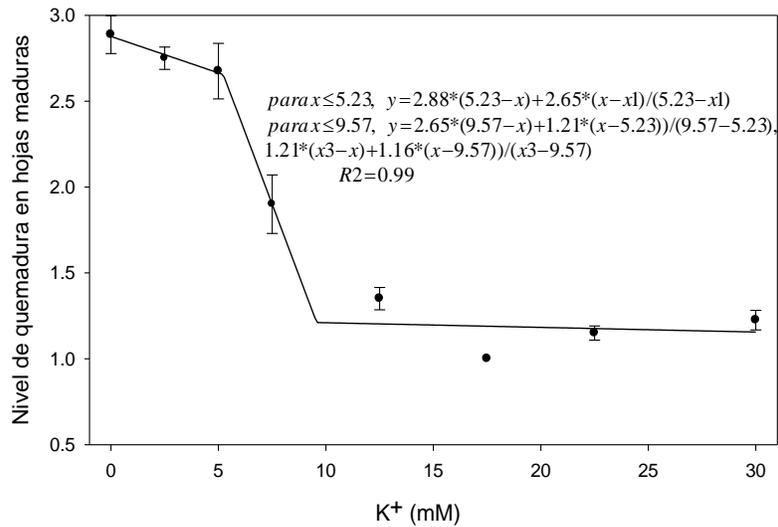


Figura 17. Nivel de quemadura en las hojas maduras de *Lilium* cv Arcachon por deficiencia de K⁺. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

3.1.3. Respuestas fisiológicas

El ψ_h tanto en las hojas jóvenes como en hojas maduras fue significativamente ($P \leq 0.05$) mayor en las plantas tratadas con altas concentraciones de K⁺ (22.5 y 30mM) (Tabla 11), mostrando una tendencia cúbica para el caso de las hojas jóvenes y un comportamiento cuadrático en las hojas maduras (Figura 18). La fotosíntesis neta se incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) en las hojas jóvenes al aplicar 7.5 mM de K⁺ en tanto que los valores más bajos se registraron en las plantas tratadas con 30 mM de K⁺. El modelo de regresión lineal múltiple calculado muestra que la interacción de la concentración de N, K⁺ y Mg⁺⁺ en los tejidos afecta la fotosíntesis neta en las hojas jóvenes (Figura 19). En las hojas maduras no se registraron diferencias significativas en la fotosíntesis neta entre los diferentes tratamientos de K⁺ (Tabla 11).

La conductancia de la hoja en las hojas jóvenes fue significativamente ($P \leq 0.05$) mayor al aplicar 5 mM de K^+ en la solución nutritiva y mientras que con 30 mM se registró una reducción significativa. La mayor conductancia de la hoja en las hojas maduras se registró con la aplicación de 2.5 y 5 mM de K^+ ($P \leq 0.05$) mientras que con la aplicación de las concentraciones más altas de K^+ (17.5, 22.5 y 30 mM) se redujo significativamente.

La concentración interna de CO_2 en las hojas de jóvenes fue significativamente ($P \leq 0.05$) más alta en plantas tratadas con solución sin K^+ en comparación con las plantas tratadas con 17.5 mM de K^+ , en las hojas maduras no se encontraron diferencias significativas entre los niveles de K^+ . La mayor resistencia estomática así como la menor conductancia estomática en las hojas jóvenes se registró en las plantas tratadas con 30 mM de K^+ ($P \leq 0.05$), mientras que con la aplicación de 0 y 5 mM se registraron la menor resistencia estomática y la mayor conductancia estomática. En las hojas maduras la mayor resistencia se registró con 22.5 mM y la conductancia estomática fue significativamente menor con la aplicación de 22.5 y 30 mM de K^+ , mientras que la menor resistencia estomática se registró con 2.5 y 5 mM de K^+ y la mayor conductancia estomática con 5 mM de K^+ .

Tabla 11. Potencial hídrico (ψ_h) y variables fisiológicas en plantas de *Lilium* cv Arcachon expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K^+ en la solución nutritiva.

K^+ (mM)	ψ_h (MPa)		Fotosíntesis neta ($\mu\text{molCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$)		Conductancia (cm s^{-1})		Concentración interna de CO_2 (ppm)		Resistencia estomática (sm^{-1})		Conductancia estomática (cm s^{-1})	
	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras
0	-0.532 bc ^z	-0.417 b	17.51 ab	24.60	0.301 ab	0.320 ab	247.43 a	163.91	1.40 b	1.26 bc	0.83 a	0.85 abc
2.5	-0.604 c	-0.528 b	15.81 ab	27.23	0.222 ab	0.377 a	175.30 abc	141.68	1.93 ab	1.03 c	0.57 ab	1.03 ab
5	-0.464 bc	-0.451 b	13.93 ab	28.02	0.317 a	0.391 a	231.60 ab	214.57	1.27 b	0.97 c	0.81 a	1.04 a
7.5	-0.414 b	-0.439 b	23.97 a	20.59	0.171 ab	0.256 ab	136.52 bc	148.20	2.32 ab	1.49 abc	0.44 ab	0.69 abc
12.5	-0.429 b	-0.476 b	12.97 ab	25.65	0.174 ab	0.215 ab	201.37 abc	158.14	2.00 ab	1.76 abc	0.58 ab	0.57 bc
17.5	-0.550 bc	-0.514 b	18.09 ab	23.01	0.196 ab	0.180 b	120.59 c	102.99	1.74 ab	1.87 abc	0.58 ab	0.58 abc
22.5	-0.230 a	-0.281 a	15.84 ab	22.11	0.175 ab	0.152 b	161.69 abc	136.67	2.11 ab	2.33 a	0.48 ab	0.44 c
30	-0.183 a	-0.187 a	10.47 b	28.83	0.137 b	0.158 b	172.20 abc	183.50	4.61 a	2.17 ab	0.35 b	0.51 c
^y ANOVA												
K^+	***	***	*	NS	*	***	**	NS	*	**	*	***
DMS	0.16	0.12	12.95	9.05	0.17	0.19	102.54	137.52	3.16	1.04	0.43	0.46
CV (%)	-15.35	-12.51	33.96	15.26	33.45	31.38	23.91	37.12	61.35	27.17	31.16	27.45

^zMedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y Análisis de varianza, NS, *, **, ***, no significativo y significativo a $P \leq 0.05, 0.01, 0.001$, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

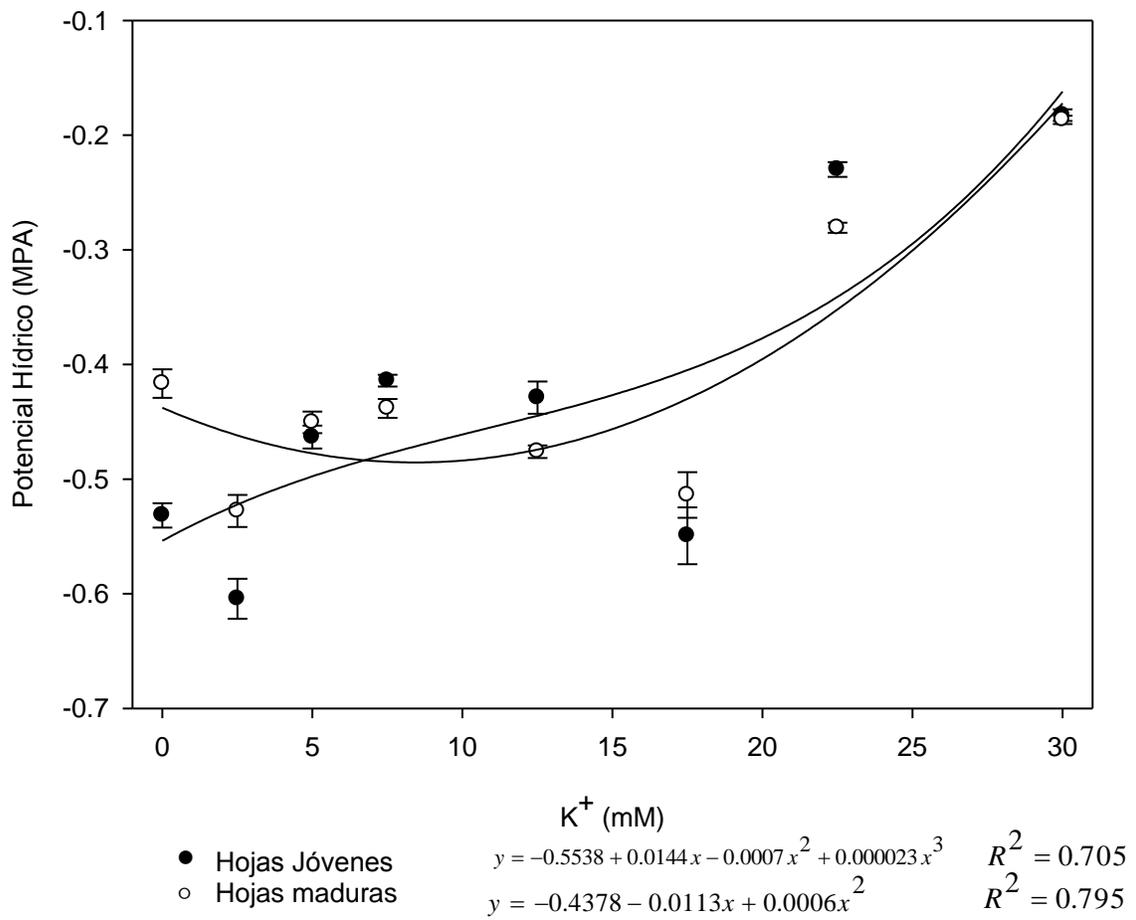


Figura 18. Influencia del K⁺ en la solución nutritiva sobre el potencial hídrico (ψ_h) de las hojas jóvenes y maduras de *Lilium* cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media (n=4).

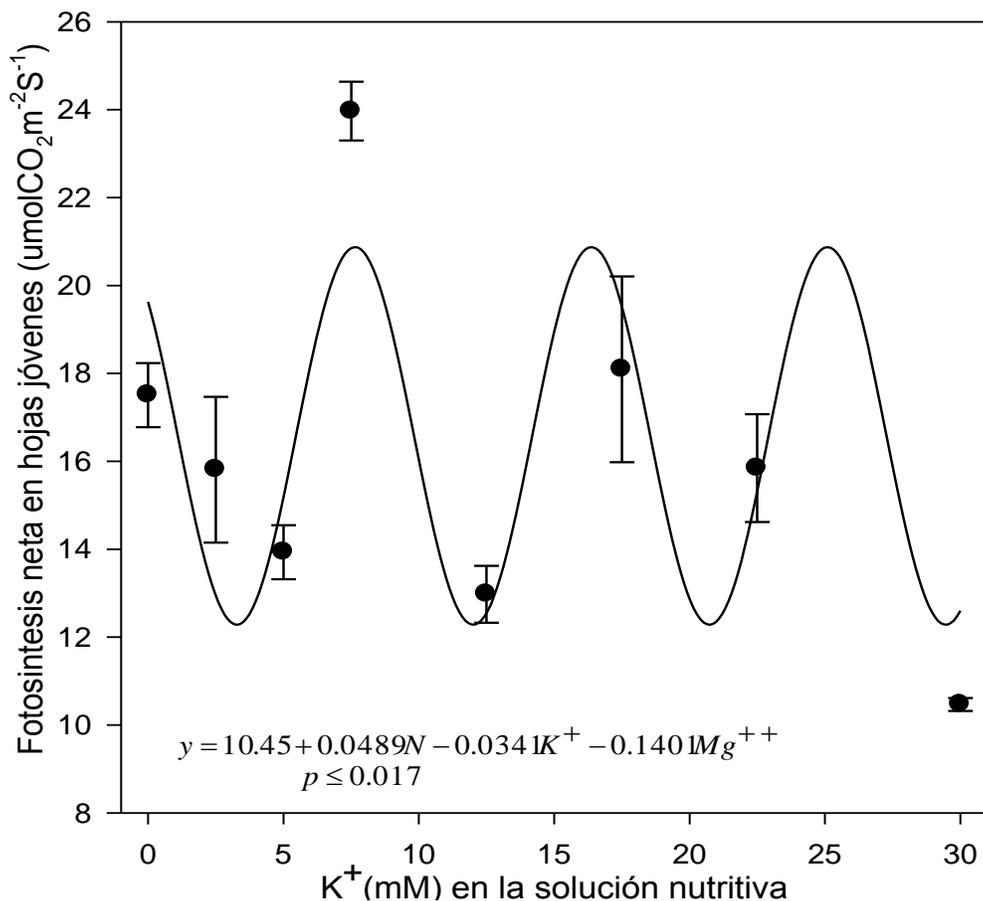


Figura 19. Influencia del K^+ en la solución nutritiva sobre la fotosíntesis neta de las hojas jóvenes. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$). El modelo insertado indica la relación entre la concentración interna de N, K^+ y Mg^{++} en hojas jóvenes con la fotosíntesis neta.

3.1.4. Variables anatómicas

La aplicación de 12.5 y 17.5 mM de K^+ incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) el espesor de las hojas jóvenes mientras que este disminuyó con 0 y 30 mM, tratamientos que también redujeron significativamente el tamaño de las células del parénquima esponjoso (Tabla 12). Con 0 mM de K^+ se aumentó significativamente ($P \leq 0.05$) el número de células del parénquima esponjoso y se disminuyó con 17.5 mM, el cual también aumentó significativamente

($P \leq 0.05$) el tamaño de las células del parénquima esponjoso (Tabla 12). En cuanto al número y diámetro de los vasos del xilema no se registraron diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de K^+ . El mayor número de estomas se registró con la aplicación de 0 mM de K^+ ($P \leq 0.05$) junto con la dosis de 0 y 30 mM la menor longitud de los estomas. En cuanto al ancho de los estomas no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de K^+ ($P > 0.05$). Las tendencias encontradas en estas variables generalmente fueron cuadráticas a excepción del número y longitud de estomas, que se comportaron en forma cúbica al aumentar la concentración de K^+ (Figura 21).

Tabla 12. Anatomía de hojas jóvenes de *Lilium* cv Arcachon expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K^+ .

K^+ (mM)	Espesor de la hoja (μm)	Número de células (20,000 μm^2)	Área por célula (μm^2)	Número de vasos	Diámetro de vasos (μm)	Estomas		
						Número (29,000 μm^2)	Longitud (μm)	Ancho (μm)
0	572.5b ^z	21.0a	955.1c	9.0	26.3	13.0a	93.6b	54.5
5	606.3ab	18.0bc	1119.0bc	6.0	27.4	11.0ab	103.9a	53.6
12.5	659.7a	15.3cd	1328.0ab	8.3	25.6	8.5c	105.8a	55.6
17.5	646.8a	14.3d	1433.7a	6.0	29.3	11.3ab	99.9ab	52.7
30	564.4b	19.5ab	1022.5c	6.8	27.1	10.5bc	94.3b	51.1
^y ANOVA								
K^+	**	***	***	NS	NS	***	**	NS
DMS	62.83	2.89	220.47	5.35	5.56	2.16	8.13	5.55
CV (%)	4.57	7.28	8.35	32.94	9.11	8.82	3.63	4.60

^zMedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$.

^yAnálisis de varianza, NS, **, ***, no significativo y significativo a $P \leq 0.01$, 0.001, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

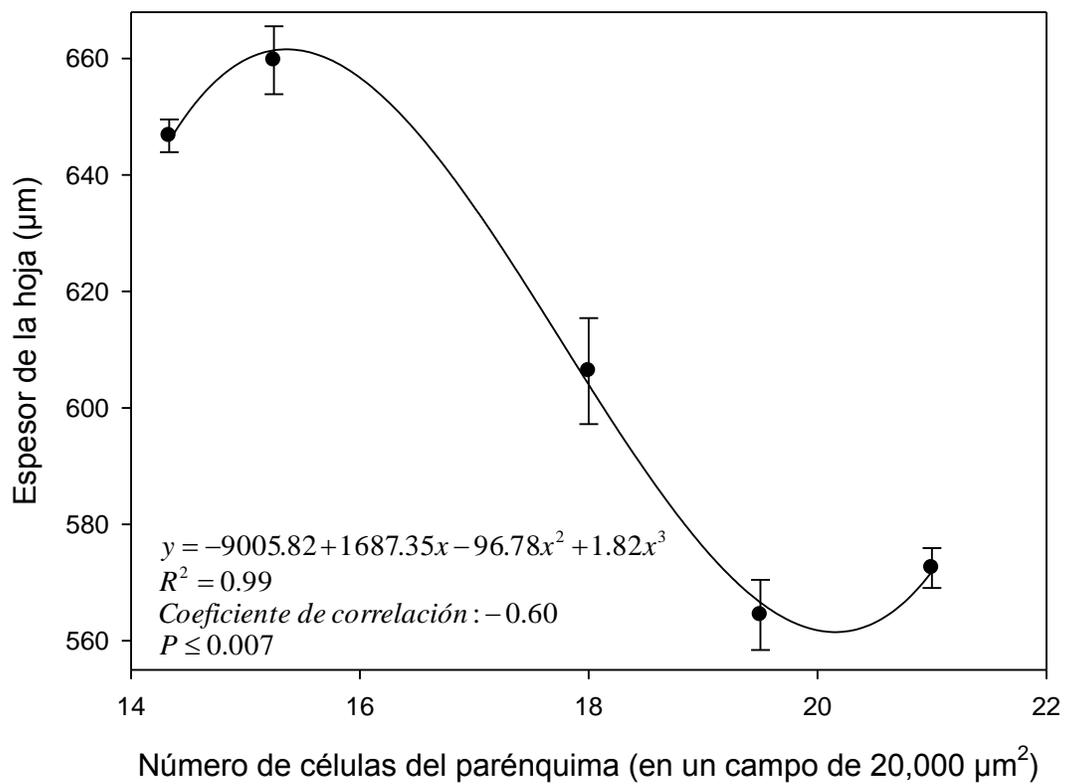


Figura 20. Correlación del número de células del parénquima esponjoso con el espesor de las hojas jóvenes. Las barras indican el error estándar de la media ($n=4$).

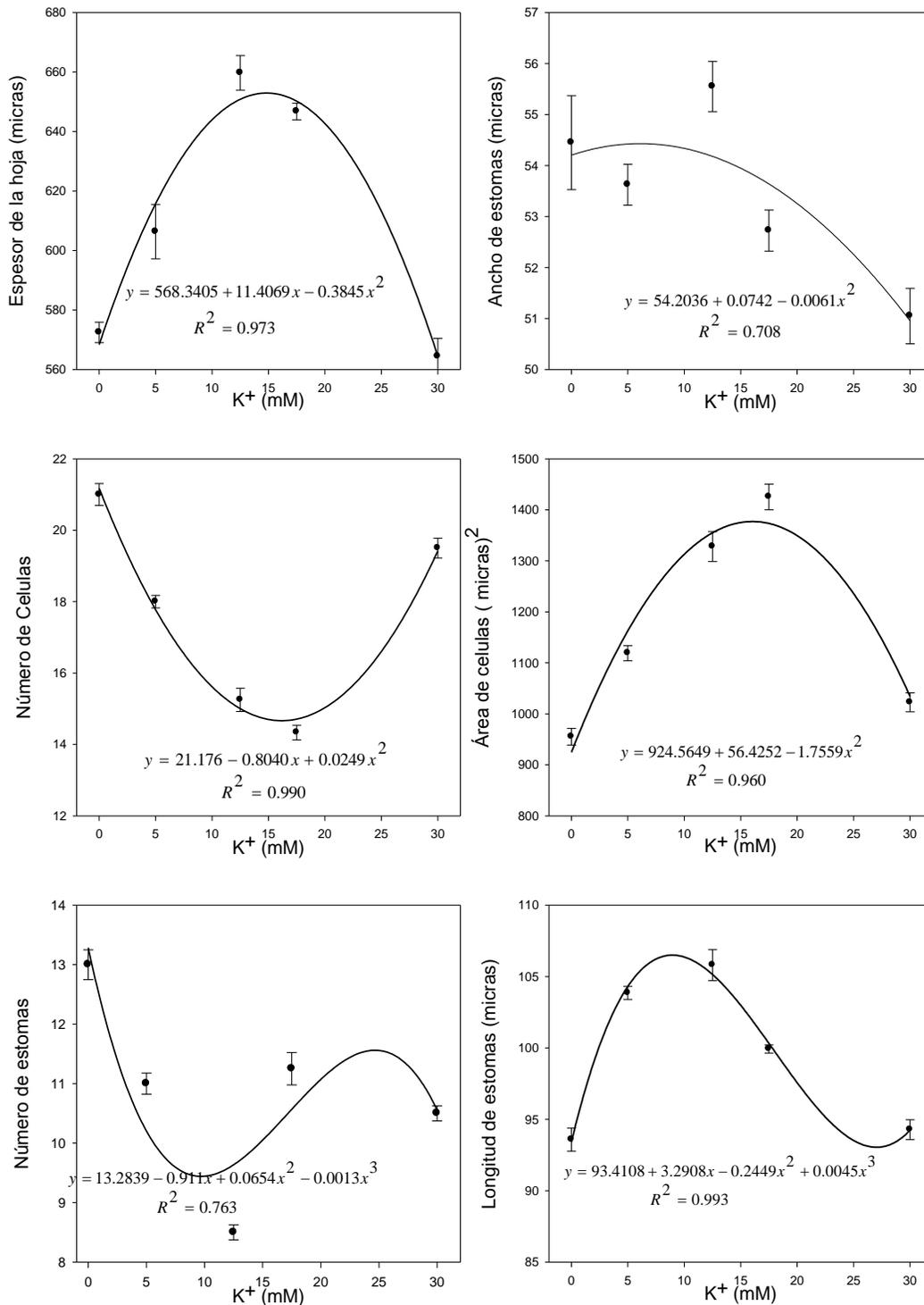


Figura 21. Efecto de la nutrición con K⁺ sobre variables anatómicas de las hojas jóvenes de plantas de *Lilium* cv Arcachon. Las barras indican el error estándar de la media (n=4).

3.2. Efecto de la concentración de K⁺ en la solución nutritiva en el consumo de agua y algunos parámetros de crecimiento y fisiológicos en *Lilium cv Arcachon* cultivado en peat moss

Se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos para las variables de altura de tallo y altura total de la planta (Tabla 13). La prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) registró diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos con 5 y 20 mM de K⁺ para las variables anteriormente mencionadas, pero no así para la altura de la inflorescencia (Tabla 13). La mayor altura total de la planta se registró al aplicar una concentración de 5 mM de K⁺ en la solución nutritiva, lo cual fue significativamente mayor ($P \leq 0.05$) al resto de los tratamientos aplicados (Tabla 13). De acuerdo con el análisis segmentado, la mayor altura total de la planta se alcanza con la dosis de 5.0 mM de K⁺ (Fig. 22).

Tabla 13. Efecto de la concentración de K⁺ en la solución nutritiva sobre la altura de las plantas de *Lilium cv Arcachon* cultivado en peat moss y 60 días después del trasplante.

K ⁺ (mM)	ALTURA (cm)		
	Tallo	Inflorescencia	Total de la planta
0	47.88 a ^z	22.76	70.64 b
5	49.32 a	25.00	74.32 a
10	46.26 ab	22.40	68.66 bc
20	44.00 b	22.20	66.20 c
^y ANOVA			
K ⁺	**	NS	***
DMS	3.15	2.96	3.06
CV (%)	3.58	6.83	2.33

^zMedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. ^yAnálisis de varianza, NS, **, ***, no significativo y significativo a $P \leq 0.01, 0.001$. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

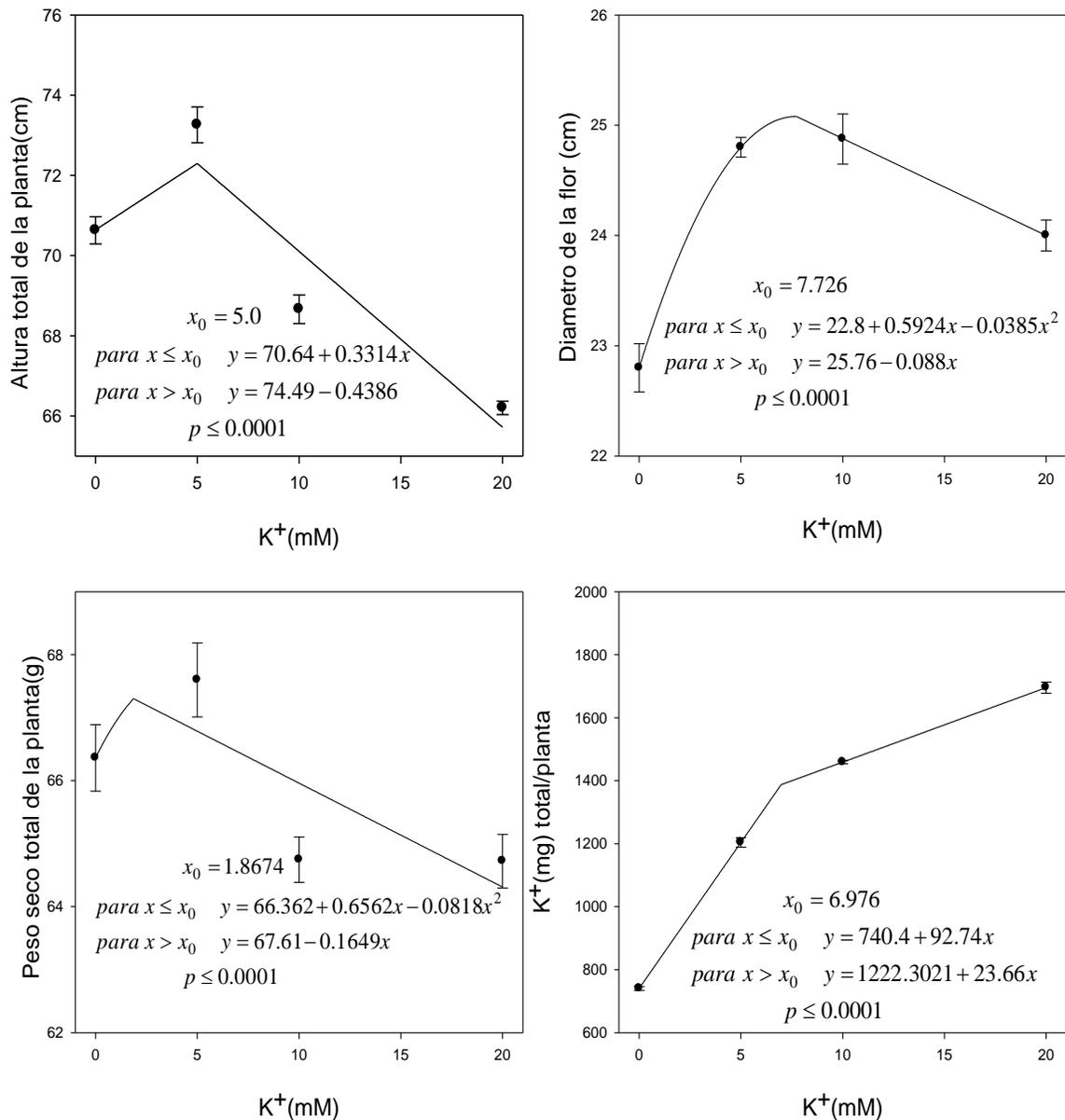


Figura 22. Efecto de la concentración externa de K⁺ sobre el contenido de K⁺ total en la planta, peso seco total, altura total y diámetro de la flor en *Lilium* cv Arcachon cultivado en peat moss. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$). x_0 = punto de inflección.

El número de hojas jóvenes, maduras, de inflorescencia y hojas totales, índice SPAD de las hojas maduras y jóvenes así como en el número de botones florales, no registraron diferencias significativas entre los tratamientos de K⁺ (Tabla 14). Sin embargo, el máximo número de hojas totales se obtiene al

suplementar K⁺ en una concentración de 5.0 mM de acuerdo con el modelo obtenido a partir del análisis segmentado (Fig. 23). La aplicación de las diferentes concentraciones de K⁺ no afectó significativamente la longitud de los entrenudos tanto del tallo superior como inferior así como tampoco en el diámetro de la parte tanto basal como apical del tallo (Tabla 15). Sin embargo, se registró diferencia significativa ($P \leq 0.05$) para el área foliar de las hojas jóvenes y el diámetro de la flor. La aplicación de 5, 10 y 20 mM de K⁺ incrementó significativamente tanto el área foliar de las hojas jóvenes como el diámetro de la flor ($P \leq 0.05$). El modelo determinado señala que el máximo diámetro de la flor se logra al suministrar 7.73 mM de K⁺ en la solución nutritiva (Fig. 22) y la máxima área foliar total con 10.0 mM (Fig. 23).

Tabla 14. Influencia del K⁺ en la solución nutritiva sobre el número de hojas, lectura SPAD y número de botones en *Lilium* cv Arcachon a 60 días después del trasplante.

K ⁺ (mM)	Número de hojas				Lectura SPAD		Número de botones
	jóvenes	maduras	Inflorescencia	Totales	Hojas maduras	Hojas jóvenes	
0	28.20 ^z	50.80	5.00	84.00	67.90	77.72	3.40
5	29.00	52.07	5.60	86.67	69.28	76.80	4.00
10	31.93	55.12	4.25	91.32	68.32	76.16	3.80
20	30.25	51.80	5.40	87.45	68.26	78.76	4.00
^y ANOVA							
K ⁺	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
DMS	6.14	10.89	2.53	12.60	4.30	4.04	1.90
CV (%)	10.95	11.05	26.57	7.68	3.34	2.78	26.64

^zMedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^yAnálisis de varianza, NS, no significativo. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

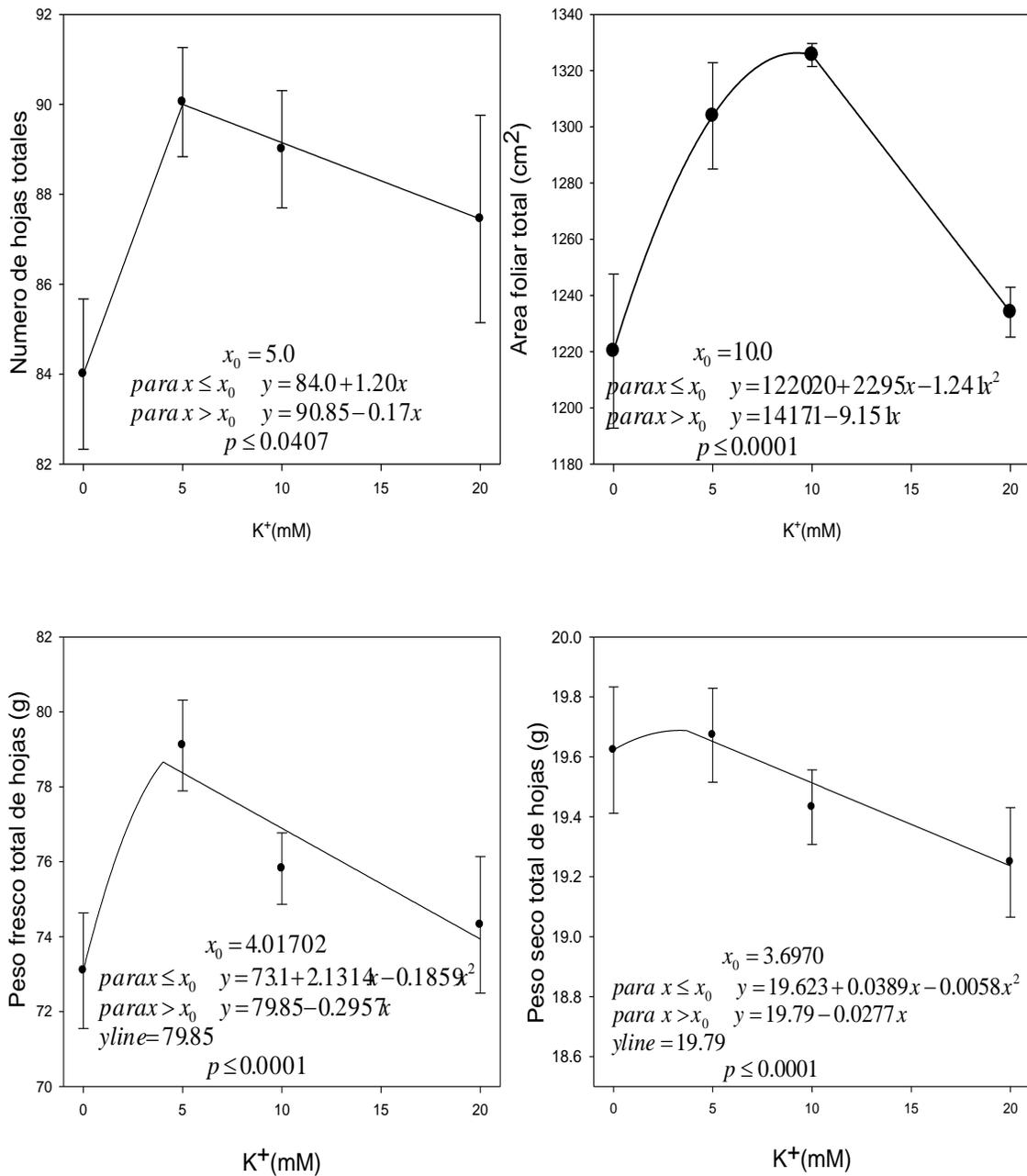


Figura 23. Concentración externa de K⁺ y su efecto sobre el área foliar total en la planta, número de hojas total, peso fresco de hojas total y peso seco de hojas total en *Lilium* cv Arcachon cultivado en peat moss. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$). x_0 = punto de inflección.

Tabla 15. Respuesta de *Lilium* cv Arcachon a 60 días después del trasplante a la aplicación de K⁺ en la solución nutritiva sobre la longitud de los entrenudos, diámetros basal y apical, área foliar y diámetro de la flor.

K ⁺ (mM)	Longitud de entrenudos (cm)		Diámetro (mm)		Área foliar (cm ²)			Diámetro de flor (cm)
	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Basal	Apical	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Total	
0	0.60	0.64	10.26	7.56	531.98b ^z	688.24	1220.20	22.80b
5	0.58	0.64	10.44	7.98	625.84a	678.10	1303.92	24.80a
10	0.48	0.56	10.84	7.64	604.12a	721.42	1325.58	24.88a
20	0.48	0.60	10.08	8.00	590.16ab	643.90	1234.08	23.76ab
^y ANOVA								
K ⁺	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	**
DMS	0.14	0.17	0.96	0.86	68.43	152.65	141.70	1.66
CV (%)	14.38	14.43	4.90	5.89	6.20	11.91	5.94	3.68

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y Análisis de varianza, NS, **, no significativo y significativo a $P \leq 0.01$, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

El peso fresco de la raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes y total de la planta se afectó significativamente ($P \leq 0.05$) por la suplementación de las diferentes concentraciones de K⁺ en la solución nutritiva, excepto en las variables de peso fresco de hojas maduras, total de hojas y de la flor (Tabla 16). Las plantas irrigadas con la solución nutritiva sin K⁺ o bien con 30 mM, presentaron el mayor peso fresco de la raíz, mientras que el peso fresco del bulbo tendió a disminuir a medida que se aumentó la concentración de K⁺ en la solución nutritiva. La aplicación de 5 mM de K⁺ incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) el peso fresco del tallo, de las hojas jóvenes y del total de la planta (Tabla 16). El máximo peso fresco total de hojas se obtiene al aplicar una concentración de K⁺ de 4.02 mM de acuerdo al análisis segmentado (Figura 23).

Tabla 16. Concentración de K⁺ en la solución nutritiva y su efecto sobre el peso fresco de raíz, bulbo, tallo, hojas maduras y jóvenes, total de hojas, flor y peso fresco total de la planta en *Lilium* cv Arcachon a 60 días después del trasplante.

K ⁺ (mM)	Peso fresco (g)							
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Total de hojas	Flor	Total de la planta
0	105.32a ^z	37.10a	42.56b	33.30b	37.20	70.50	63.54	319.02b
5	97.90ab	35.90ab	47.70a	39.54a	37.68	77.20	75.74	334.48a
10	90.04b	32.32bc	41.02b	37.18ab	39.92	77.12	67.42	307.92b
20	102.82a	30.72c	39.60b	35.12ab	37.80	72.84	69.56	315.60b
^y ANOVA								
K ⁺	**	**	***	*	NS	NS	NS	***
DMS	10.56	4.55	3.76	5.39	5.23	6.88	12.26	12.35
CV (%)	5.68	7.13	4.70	7.91	7.30	4.92	9.45	2.06

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y Análisis de varianza, NS, *, **, ***, no significativo y significativo a $P \leq 0.05$, 0.01, 0.001, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

La suplementación de diferentes concentraciones de K⁺ no afectó significativamente el peso seco de la raíz, del bulbo, hojas jóvenes, hojas maduras y peso seco total de hojas (Tabla 17); sin embargo sí afectó significativamente ($P \leq 0.05$) el peso seco del tallo, de la flor y del total de la planta. Se registró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos con 0 y 10 mM de K⁺ para el peso seco de la raíz, mientras que con 5 mM de K⁺ se incrementó significativamente el peso seco del tallo, flor y total de la planta (Tabla 17). El máximo peso seco total de la planta se alcanza con 1.87 mM de K⁺ (Figura 22) mientras que el mayor peso seco total de hojas se logra con 3.7 mM de K⁺ (Figura 23).

Tabla 17. Respuesta de *Lilium* cv Arcachon a 60 días después del trasplante a la aplicación de K⁺ en la solución nutritiva sobre el peso seco de raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes y maduras, total de hojas, flor y peso seco total de la planta.

K ⁺ (mM)	Peso seco (g)							
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Total de hojas	Flor	Total de la planta
0	11.02a ^z	12.62	10.48b	9.38	9.92	19.30	11.28b	64.70b
5	10.82ab	12.42	11.34a	9.86	9.84	19.70	12.88a	67.06a
10	10.16b	12.54	10.64b	9.50	9.94	19.44	11.52ab	64.30b
20	10.70ab	11.74	10.40b	9.40	9.86	19.26	12.26ab	64.30b
^y ANOVA								
K ⁺	*	NS	***	NS	NS	NS	*	**
DMS	0.80	1.38	0.48	0.62	1.04	1.36	1.60	2.08
CV (%)	3.98	5.98	2.39	3.44	5.59	3.72	7.09	1.70

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^y Análisis de varianza, NS, *, **, no significativo y significativo a $P \leq 0.05$, 0.01, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

La concentración de K⁺ en los diferentes órganos de la planta se afectó significativamente ($P \leq 0.05$) por la aplicación de diferentes niveles de K⁺ en la solución externa. A medida que se incrementó la concentración de K⁺ en la solución externa tendió a aumentar la concentración de K⁺ en la raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes y maduras, en la flor y el total de la planta (Tabla 18), registrándose las concentraciones más altas en la raíz y total de la planta bajo los tratamientos con la concentración más alta de K⁺ (20 mM) ($P \leq 0.05$). Con la aplicación de 10 y 20 mM de K⁺ en la solución nutritiva se registró la mayor concentración de K⁺ en el bulbo, tallo, hojas jóvenes y maduras y la menor concentración en todos los órganos de la planta se registró con la aplicación de 0 mM de K⁺ (Tabla 18). De acuerdo con el modelo obtenido mediante el análisis

segmentado, el máximo contenido de K⁺ total en la planta se logra con 6.98 mM de K⁺ en la solución externa (Figura 22). La aplicación de 5.0, 8.84, 8.0, 9.84 y 8.97 mM de K⁺, permite obtener la máxima concentración de K⁺ en el bulbo, tallo, hojas maduras, hojas jóvenes y flor respectivamente (Figura 24).

Tabla 18. Concentración de K⁺ en raíz, bulbo, tallo, hojas maduras, hojas jóvenes, flor y contenido total en la planta, en plantas de *Lilium cv Arcachon* expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K⁺.

K ⁺ (mM)	K (mM)						K (mg)
	Raíz	Bulbo	Tallo	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Flor	Total en la planta
0	266.83c ^z	249.71c	237.63c	273.88c	249.21c	432.98b	724.01d
5	448.07b	317.02b	471.23b	519.56b	467.20b	529.63a	1199.40c
10	584.01b	343.61ab	658.51a	656.40a	678.66a	604.14a	1450.08b
20	1062.29a	380.61a	724.97a	600.79ab	714.90a	581.99a	1685.92a
^y ANOVA							
K ⁺	***	***	***	***	***	***	***
DMS	155.23	54.58	96.71	110.79	207.12	78.47	119.42
CV (%)	14.01	9.01	9.85	11.51	20.91	7.78	5.03

^zMedias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con $P \leq 0.05$. ^yAnálisis de varianza, ***, significativo a $P \leq 0.001$, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

La aplicación de los diferentes niveles de K⁺ tuvo un efecto significativo ($P \leq 0.05$) en el consumo diario y acumulado por planta, así como en las hojas maduras para: conductancia de la hoja, conductancia estomatal, resistencia estomatal y concentración interna de CO₂. La prueba de comparación de medias registró diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) en plantas tratadas con 5 y 10 mM de K⁺ para el consumo de agua diario y acumulado por planta así como para conductancia de la hoja y resistencia y conductancia estomática en las hojas jóvenes (Tabla 19). La significancia estadística para

conductancia de la hoja, resistencia y conductancia estomática en las hojas maduras se registraron entre los tratamientos con 0 y 10 mM de K^+ . La tasa de fotosíntesis neta en las hojas de jóvenes y concentración interna de CO_2 en las hojas maduras se incrementó significativamente con la aplicación de 20 mM de K^+ . El modelo obtenido mediante el análisis segmentado estima que el máximo consumo de agua acumulado por planta se logra con 1.87 mM de K^+ en tanto que la mayor eficiencia en el uso del agua es con 2.40 mM de K^+ (Figura 25). La fotosíntesis neta tanto en las hojas jóvenes como maduras presentan una tendencia de crecimiento cúbica (Figura 26).

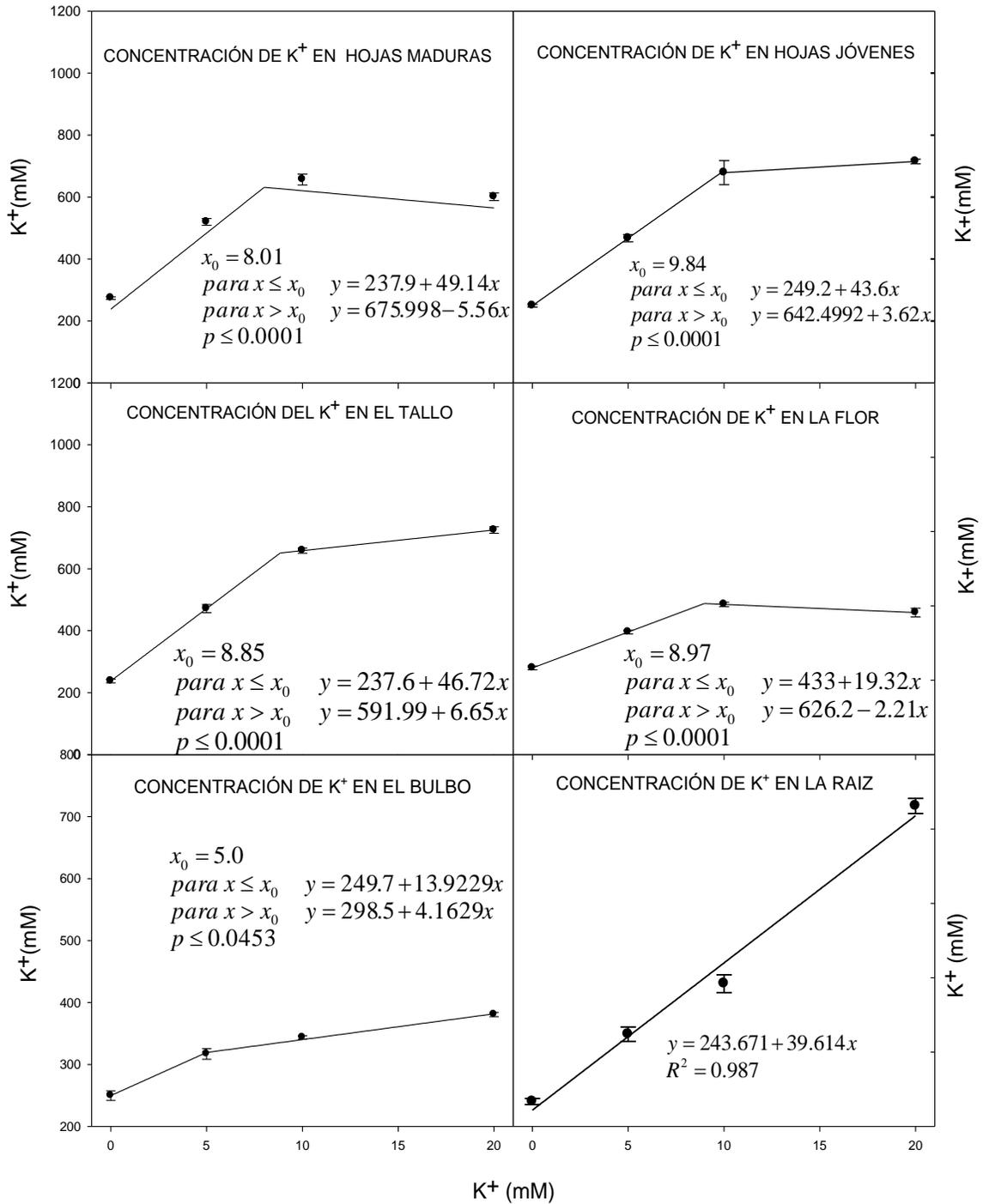


Figura 24. Concentración de K⁺ en la raíz, bulbo, tallo, hojas jóvenes, maduras y flor en plantas de *Lilium* cv Arcachon tratadas con diferentes niveles de K⁺ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$). $x_0 =$ punto de inflección.

Tabla 19. Variables fisiológicas en plantas de *Lilium* cv Arcachon expuestas a soluciones nutritivas con diferentes concentraciones de K⁺.

K ⁺ (mM)	Consumo de agua (ml)			Fotosíntesis neta (μmolCO ₂ m ⁻² S ⁻¹)		Conductancia (cm s ⁻¹)		Concentración interna de CO ₂ (ppm)		Resistencia estomática (sm ⁻¹)		Conductancia estomática (cm s ⁻¹)	
	Diario/planta	Acumulado/planta	Eficiencia en el uso del agua (mL/g)	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras	Hojas jóvenes	Hojas maduras
0	35.48ab ^z	2306.3ab	35.7	12.8ab	20.5	0.34ab	0.36b	301.9	289.2ab	1.04ab	1.04a	0.99ab	1.05b
5	37.57a	2442.0a	36.4	7.3b	19.7	0.39a	0.41ab	318.5	270.1b	0.89b	0.88bc	1.14a	1.19ab
10	34.01b	2211.0 b	34.4	9.7ab	21.3	0.28b	0.44a	292.5	265.5b	1.18a	0.79c	0.85b	1.27a
20	34.74ab	2258.0ab	35.1	16.3a	17.0	0.32ab	0.38ab	277.1	337.7a	1.09ab	0.96ab	0.90b	1.04b
^y ANOVA													
K ⁺	*	*	NS	*	NS	*	*	NS	*	*	***	*	**
DMS	2.85	185.35	2.17	7.61	7.61	0.09	0.07	76.27	63.16	0.24	0.14	0.23	0.17
CV (%)	4.28	4.28	3.27	35.23	20.67	14.31	8.72	13.66	11.57	12.29	8.25	12.72	7.89

^z Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Tukey con P≤0.05. ^y Análisis de varianza, NS, *, **, ***, no significativo y significativo a P≤0.05, 0.01, 0.001, respectivamente. DMS: Diferencia mínima significativa, CV: coeficiente de variación.

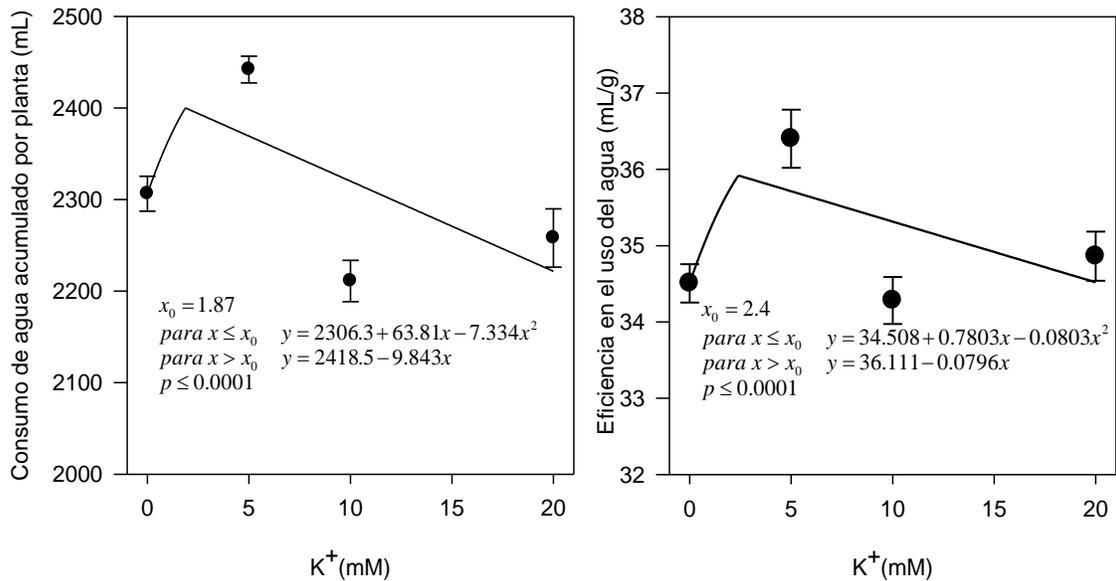


Figura 25. Consumo y eficiencia en el uso del agua en *Lilium* cv Arcachon cultivado en peat moss con diferentes niveles de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$). x_0 = punto de inflexión.

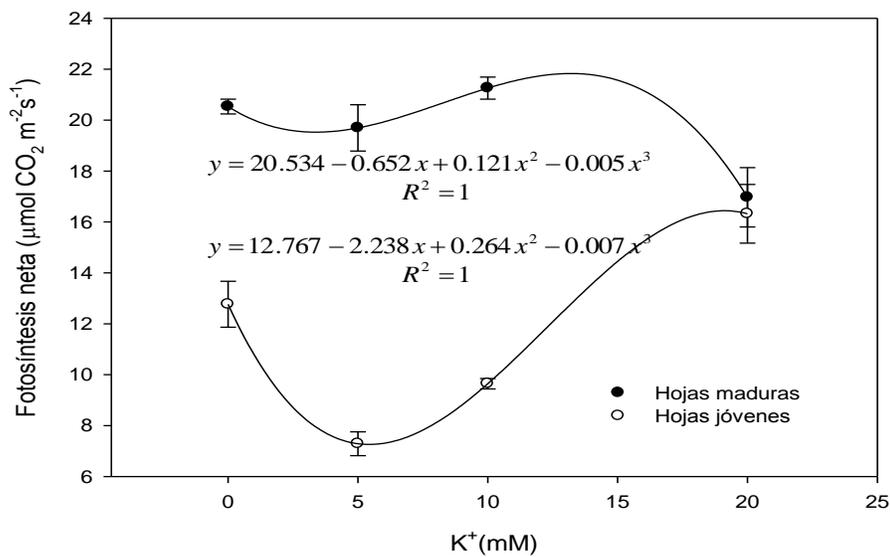


Figura 26. Fotosíntesis neta en *Lilium* cv Arcachon cultivado en peat moss con diferentes niveles de K^+ en la solución nutritiva. Las barras indican el error estándar de la media ($n=5$).

IV. DISCUSION

4.1. Efecto de la concentración de K⁺ en el crecimiento, estado nutrimental y fisiología de *Lilium cv Arcachon* cultivado en condiciones de hidroponía

El efecto de la concentración de K⁺ sobre la altura de las plantas ha sido comprobada en diversos estudios. Delwar *et al.*, (2010) y Ali *et al.*, (2007) encontraron que al incrementar la concentración de K⁺ se promovió una mayor altura en plantas de kenaf y garbanzo. Lo anterior es atribuido a que el K⁺ contribuye al alargamiento celular debido a su función de regulador osmótico en las células (Fricke *et al.*, 1994; Fricke y Flowers., 1998; Shabala *et al.*, 2000; Shabala, 2003). En contraste, Varshney *et al.* (2001) reportó una menor altura de las plantas de *Lilium* asiático debido a los efectos de toxicidad provocados por la alta concentración de K⁺, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio ya que se presentó una menor altura de la planta cuando la concentración de K⁺ en la solución nutritiva era de 30 mM. La función de osmoregulación del K⁺ también puede explicar el incremento registrado en el peso fresco del tallo, hojas jóvenes y maduras así como de la flor en *Lilium cv Arcachon* cuando se aplicó K⁺ en la solución externa, pues se ha demostrado que la aplicación de K⁺ está asociado con un aumento en el contenido de agua en las hojas de las plantas de *Hibiscus rosasinensis* L. (Egilla *et al.* 2005).

Los cambios en la turgencia de las células por efecto del K^+ pueden estar correlacionados con cambios en algunas variables anatómicas como los encontrados en el presente estudio en el espesor de la hoja, número y tamaño de células, ya que a niveles medios de K^+ (5, 12.5 y 17.5 mM) el número de células en un campo de $20,000 \mu^2$ se redujo, lo que sugiere que éstas presentaron mayor tamaño. El mayor tamaño de las células del mesófilo a su vez se manifestó en un mayor espesor de la hoja en plantas con niveles intermedios en comparación con niveles deficientes y excesivos de K^+ (0 y 30 mM). Yi y Ming, (2008) reportaron el incremento en el ancho de las hojas en las plantas de *Guzmania lingulata* Cherry tratadas con la suplementación de K^+ ; resultados similares fueron encontrados por Karimi *et al.* (2009) y Wang (2007), para *Olea europea* L. y *Phalaenopsis* respectivamente.

El incremento en el peso seco de la raíz y del tallo debido a la suplementación de K^+ concuerda con lo reportado por Delwar *et al* (2010) y Saeed *et al* (2007), en plantas de kenaf y girasol respectivamente. Este incremento también fue observado en el número de hojas jóvenes y total de hojas. Sin embargo, estos resultados no concuerdan con lo encontrado por Yi y Ming (2008) en *Guzmania lingulata* Cherry ya que no se reportan diferencias significativas en el peso seco del vástago y de la raíz al aumentar la concentración de K^+ . El menor peso seco registrado para *Lilium* cv Arcachon con la aplicación de 30 mM de K^+ puede ser debido a la toxicidad causada por la alta concentración de este elemento en los tejidos de la planta.

Los cambios registrados a lo largo del ciclo de cultivo en el peso seco de la raíz, bulbo, hojas totales, aéreo, flor y peso seco total en *Lilium* cv Arcachon se presentaron de acuerdo a las relaciones fuente-demanda que se manifestaron entre los diferentes órganos de la planta durante el crecimiento del cultivo. Para el caso de la raíz, este órgano demandó una mayor cantidad de fotosintatos a partir de los 30 días después del trasplante hasta el término del ciclo del cultivo. En el caso del bulbo, este fue órgano fuente en las fases iniciales del cultivo debido a las reservas con que cuenta las cuales fueron traslocadas tanto a la raíz como hacia órganos de la parte aérea durante los primeros 30-50 días después del trasplante. Sin embargo, en los últimos 10 días en la etapa de desarrollo de flores, el bulbo cumplió la función de órgano de demanda para la acumulación de reservas para el siguiente ciclo de crecimiento del cultivo, lo cual coincide con lo encontrado por Ortega-Blu *et al.* (2006) para el cv. Miami.

En cuanto al peso seco de flor este órgano se comportó como órgano de demanda incrementándose el peso seco drásticamente en los últimos 10 días. El peso seco total de hojas y peso seco aéreo se comportaron como órganos de demanda pero al final del ciclo fueron órganos fuente de nutrimentos tanto para el desarrollo de la flor como para la acumulación de reservas en el bulbo. Lo anterior también explica el incremento marcado en el peso seco total de la planta durante los últimos 10 días.

La concentración de clorofila medida mediante el índice SPAD fue más elevada en las hojas jóvenes de plantas suplementadas con 0 mM de K⁺. Esto puede

deberse al efecto de dilución ya que el área foliar de estas hojas fue menor en este tratamiento. El área foliar aumentó con el aumento en la concentración de K^+ , lo que puede ser debido a la contribución del K^+ al alargamiento celular y expansión de la hoja (Shabala, 2003; Shabala *et al.*, 2000; Fricke y Flowers, 1998; Fricke *et al.*, 1994). El número de botones florales fue mayor en las plantas con suplementación de K^+ , lo cual presenta cierta relación con lo reportado por Suvra *et al* (2007) quien reportó que en plantas madre de *Solanum tuberosum* L. el incremento de la concentración de K^+ incrementó el número de inflorescencias y de flores por inflorescencia. El diámetro basal y apical del tallo fueron mayores bajo la aplicación de K^+ , lo cual puede estar también relacionado con el efecto de extensión celular del K^+ (Marschner, 1995).

Las altas concentraciones de K^+ afectaron de manera positiva el diámetro de la flor, esto pudiera relacionarse con el efecto sinérgico del K^+ con el NO_3^- y lo que a su vez favorece la formación de compuestos esenciales que incrementan la biomasa, la cual puede ser destinada a aumentar el tamaño de la flor. La relación entre el K^+ y el NO_3^- se detectó en las hojas jóvenes pues en estas se observa que la concentración de N aumentó cuando la concentración de K^+ en la solución nutritiva fue mayor de 7.5 mM hasta 22.5 mM. El efecto sinérgico del K^+ con el NO_3^- también se manifestó en la concentración del N en los diferentes órganos de la planta ya que una baja o muy elevada concentración de K^+ en la solución externa aumentaron la concentración de N tanto en la raíz como en el bulbo disminuyendo el transporte del N hacia las hojas, lo cual indica que las

concentraciones óptimas de K^+ favorecen el transporte de NO_3^- hacia la parte aérea. En las hojas jóvenes se registró la mayor concentración de N, lo cual puede estar relacionado con la función del K^+ como ion acompañante del NO_3^- en el transporte de la raíz hacia la parte aérea de la planta. Esto ocurre gracias a que el K^+ es un elemento móvil que puede ser translocado de las hojas maduras hacia las hojas jóvenes de la planta. Esto podría a su vez explicar el por qué las plantas de *Lilium* tratadas con las concentraciones bajas de K^+ presentaron quemaduras en las hojas inferiores por deficiencia de este elemento.

La traslocación del K^+ y el NO_3^- podría explicar también en las plantas tratadas con altos niveles de K^+ , tanto la concentración de clorofila como la concentración de K^+ y N registrada en las hojas jóvenes sean mayores que en las hojas maduras. Esto concuerda con el incremento en el contenido de clorofila reportado en plantas de *Guzmania lingulata* Cherry por Yi y Ming (2008). Sin embargo, en el presente estudio, la tasa de fotosíntesis neta fue menor en las hojas jóvenes que en las maduras. Lo anterior puede estar relacionado con una mayor tasa de respiración ya que el mayor índice de clorofila registrado fue en las hojas jóvenes. La conductancia estomática también fue mayor en las hojas maduras lo que sugiere que existe una mayor difusión de gases en estas hojas y por lo tanto una mayor tasa fotosintética.

Dado que el K^+ es un elemento que interviene en los cambios de turgencia en las células guarda este influye en el movimiento estomatal, encontrándose que

un incremento en la concentración de K^+ en estas células aumenta su potencial osmótico por lo cual incrementa la turgencia de estas, resultando en la apertura de los estomas. Los resultados encontrados en el presente experimento concuerdan con lo explicado anteriormente ya que al incrementar la concentración de K^+ indujo en los estomas de las hojas una mayor resistencia estomática y en consecuencia una menor conductancia estomática, lo que indica que el K^+ favoreció la regulación de la apertura y cierre de los estomas. Esto también fue reportado por Yan *et al.* (2006), quien señala que una nutrición óptima con K^+ resulta en un mayor control en la apertura y cierre de los estomas. En el presente estudio, una mayor resistencia estomática y una menor conductancia estomática también se reflejó en una reducción en la tasa de fotosíntesis neta con niveles tóxicos de K^+ (30 mM). Sin embargo, Delwar *et al.* (2010), Kanai *et al.* (2007), Raja y Zhao (2005) en plantas de kenaf, tomate y algodón encontraron la misma respuesta pero a niveles bajos de K^+ . Por su parte Egilla *et al.* (2005) y Bednarz y Oosterhuis (1999) reportaron una mayor tasa fotosintética y la mayor y menor conductancia estomática respectivamente en plantas de *Hibiscus rosa-sinensis* L. y algodón tratadas con K^+ . La reducción de la conductancia estomática aumenta la resistencia del mesófilo disminuyendo así la actividad de la Ribulosa-bifosfato-carboxilasa (Zhao *et al.*; 2001; Cakmak y Engels, 1999; Peoples y Koch, 1979) pero además el K^+ también es requerido para la síntesis de esta proteína (Valmorbidia y Fernandes, 2007) lo cual pudiera explicar que se encontrara mayor concentración interna de CO_2 en plantas deficientes de K^+ (0 mM). El

incremento a niveles tóxicos en la concentración de K^+ (30 mM) también disminuyó el número y la longitud de los estomas en el envés de la hoja lo cual explicaría el aumento en la resistencia estomática y en la fotosíntesis neta, mientras que el nivel de deficiencia de K^+ (0 mM) aumentó el número pero disminuyó la longitud de estos.

Además del efecto sinérgico con el NO_3^- , el K^+ también presenta un efecto sinérgico con el P (Das, 1999), tal como se detectó en el presente experimento con el incremento de la concentración de P en órganos tales como raíz, tallo y hojas maduras de las plantas tratadas con altas concentraciones de K^+ . Sin embargo, en hojas jóvenes altas concentraciones externas de K^+ en la solución nutritiva estuvieron asociadas con bajos niveles de P en los tejidos, lo cual puede explicarse por un efecto de dilución del P al haber mayor biomasa de estas hojas con altos niveles de K^+ externo.

Otra de las funciones del K^+ es la activación de la bomba de protones ATPasa de la membrana (Anthon y Spanswick, 1986), sin embargo el incremento en la concentración de K^+ en el tejido de los diferentes órganos de la planta al aumentar la concentración externa de este catión puede estar asociado a un transporte pasivo debido al gradiente de concentración muy marcado entre la solución externa y los tejidos vegetales. Además se presentó una disminución de la concentración de Mg^{++} al incrementarse la concentración del K^+ lo que puede ser atribuido a un efecto de antagonismo entre estos dos elementos, debido a que el alto contenido de K^+ inhibe la absorción del Mg^{++} , lo cual está

relacionado con el balance iónico (Rus *et al.*, 2004; Qi y Spalding, 2004; Spalding *et al.*, 1999; citados por Ashley *et al.*, 2005).

El mayor ψ_h observado en las hojas tanto jóvenes como maduras con los niveles más altos de K^+ (22.5 y 30 mM) puede ser debido al efecto de este ion en la absorción, transporte y compartimentación de agua y solutos (Marschner, 1995). Sin embargo esto no se reflejó en un mayor peso fresco en las hojas a estos niveles de K^+ . Lo anterior indica que la aplicación de concentraciones muy altas de K^+ no necesariamente se refleja en mayor peso fresco de hojas quizás debido a un efecto de toxicidad de este elemento en la planta, por lo que niveles intermedios de K^+ son más favorables para las variables anteriormente mencionadas.

Para definir los niveles de aplicación del K^+ en la solución nutritiva para *Lilium* cv Arcachon cultivado en sustratos como perlita y peat moss es importante considerar que de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente trabajo, estas dependerán del interés específico en alguna de las variables aquí estudiadas. En cuanto a la altura total de la planta el nivel óptimo de K^+ para alcanzar la máxima altura fue de 3.41mM, mientras que el nivel de toxicidad se presenta al rebasar esta concentración y hasta 30 mM. El máximo peso fresco total de la planta se logra con la aplicación de 4.53 mM de K^+ , el nivel de consumo de lujo se encuentra desde 4.53 a 22.5 mM, mientras que el nivel de toxicidad se presenta a partir de 22.5 hasta 30 mM de K^+ . La aplicación de 4.24 mM de K^+ es el nivel óptimo para el peso seco total de la planta, de 4.24 a 22.5

mM se presenta el consumo de lujo mientras que con 22.5 hasta 30 mM se alcanza el nivel de toxicidad. La aplicación de 2.5 mM de K^+ permite lograr el máximo peso seco total de hojas mientras que a partir de 2.5 mM se presenta el nivel de toxicidad para esta variable; mientras que con 3.14 mM de K^+ se logra la máxima área foliar total y 3.14 a 22.5 mM representan el nivel de consumo de lujo, en tanto que el nivel de toxicidad se presenta al aplicar desde 22.5 hasta 30 mM. En el área foliar de hojas jóvenes la aplicación de 4.39 mM de K^+ corresponde al nivel óptimo mientras que el nivel de consumo de lujo se encuentra desde 4.39 hasta 22.5 mM y finalmente el nivel de toxicidad desde 22.5 hasta 30 mM. Para obtener el máximo diámetro de flor el nivel óptimo corresponde a 6.68 mM de K^+ mientras que el consumo de lujo se encuentra desde 6.68 hasta 17.5 mM y el nivel de toxicidad desde 17.5 hasta 30 mM de K^+ . La aplicación de 6.13 mM de K^+ representa el nivel óptimo para el máximo peso seco de la flor mientras que 6.13 a 22.5 mM el nivel de consumo de lujo y 22.5 hasta 30 mM el nivel de toxicidad. Evidentemente en flores para corte el tamaño de estas es una variable de primordial importancia para floricultores y consumidores. Si se considera esta variable para definir el nivel óptimo de K^+ entonces se recomienda que *Lilium* deberá ser nutrido con una solución conteniendo 6.68 mM aunque otras variables de importancia como la altura de planta se reduzcan.

4.2. Efecto de la concentración de K^+ en la solución nutritiva en el consumo de agua y algunos parámetros de crecimiento y fisiológicos en *Lilium cv Arcachon* cultivado en peat moss

En el caso de *Lilium* cultivado en peat moss la aplicación de niveles óptimos de K^+ (5 mM) incrementó la altura del tallo y de la inflorescencia y por lo tanto se registró un incremento en la altura total de la planta, tal como lo reportado por Delwar *et al.* (2010) y Ali *et al.* (2007) en plantas de kenaf y garbanzo. Niveles excesivos de K^+ (20 mM) causaron una reducción en la altura de las plantas lo cual coincide con lo encontrado en el experimento en el cual *Lilium* se cultivó en perlita. Del mismo modo, Varshney (2001) reportó una menor altura de las plantas de *Lilium* asiático debido a los efectos de toxicidad provocados por la alta concentración de K^+ .

La mayor área foliar y peso fresco de las hojas jóvenes alcanzada con los tratamientos de concentraciones medias de K^+ (5 y 10 mM) puede ser debido al efecto del K^+ sobre el alargamiento celular debido a su función de regulador osmótico en las células (Shabala, 2003; Shabala *et al.*, 2000; Fricke y Flowers, 1998; Fricke *et al.*, 1994). Wang 2007, reportó que *Phalaenopsis* produjo hojas más anchas al incrementar la concentración de K^+ en la solución nutritiva. El mayor diámetro de la flor alcanzado con la aplicación de 5 mM de K^+ pudiera relacionarse no sólo con el efecto del K^+ en el incremento de agua en la flor lo cual se reflejó en un mayor peso fresco, sino que además debido al efecto sinérgico del K^+ con el NO_3^- , lo que a su vez favorece la formación de compuestos esenciales (proteínas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, polisacáridos ,

entre otros) que incrementan la biomasa, que también puede reflejarse en un aumento en el tamaño de la flor.

La deficiencia de K^+ (0 mM) propició el mayor peso fresco y seco en raíz y bulbo comparado con los órganos de la parte aérea de la planta. Esto pudo deberse a que la falta de K^+ inhibió el transporte de agua y nutrientes hacia la parte aérea y en consecuencia también disminuyó el peso fresco y seco total de la planta en comparación con las plantas tratadas con 5 mM de K^+ , esto último coincide con el experimento efectuado en perlita.

La concentración de K^+ en la solución nutritiva causó un aumento en la concentración interna de K^+ en todos los órganos de la planta, resultado que coincide con los datos observados en el experimento realizado en perlita.

La tasa fotosintética fue más alta en las hojas maduras de la planta, lo cual coincide con los resultados obtenidos en plantas crecidas en perlita. Asimismo esta respuesta está relacionada con una mayor conductancia estomática en las hojas maduras. La mayor fotosíntesis neta registrada en las hojas jóvenes se presentó con la suplementación de 20 mM de K^+ y estuvo relacionada con una menor conductancia estomática y una alta resistencia estomática contrario a lo obtenido por Egilla *et al.* (2005) quienes reportaron un incremento tanto en la tasa fotosintética como en la conductancia estomática en plantas de *Hibiscus rosa-sinensis* L. tratadas con K^+ . Sin embargo esta alta tasa fotosintética pudo estar acompañada de una alta tasa de respiración lo cual podría explicar el

hecho de que las plantas tratadas bajo esta concentración de K^+ (20 mM) no mostraran un mayor crecimiento a diferencia de las plantas tratadas con 5 mM.

Un mayor control en la apertura y cierre de estomas con una nutrición óptima de K^+ resulta en una mayor eficiencia en el uso del agua (Yan *et al.*, 2006). La aplicación de altas concentraciones de K^+ mejoró el uso eficiente del agua, sin embargo, las plantas tratadas con 5 mM de K^+ presentaron el mayor consumo diario y acumulado por planta y la menor eficiencia en el uso del agua, lo cual puede ser debido a la menor resistencia estomática y mayor conductancia estomática, lo que probablemente conlleva a una mayor tasa de transpiración.

En el experimento en peat moss el nivel óptimo de K^+ para lograr el máximo peso seco total de la planta fue de 1.87 mM de K^+ mientras que el nivel de toxicidad se presenta desde 1.87 hasta 20 mM. En el experimento en perlita la aplicación de 4.24 mM fue el óptimo para esta variable lo que puede ser debido a la mayor capacidad de retención y carga inicial de nutrientes por parte del peat moss. Esto podría además explicar la ausencia de quemadura en las hojas maduras de las plantas del experimento en peat moss independientemente del nivel de K^+ aplicado.

La aplicación de 5 mM es el nivel óptimo para la máxima altura total de la planta y al rebasar esta concentración y hasta 20 mM se encuentra el nivel de toxicidad. Una concentración de 3.41 mM de K^+ fue el óptimo para esta misma variable en el experimento en perlita. El diámetro de la flor se logra con la aplicación óptima de 7.73 mM y desde esta hasta 20 mM el nivel de toxicidad;

en el experimento en perlita con una concentración similar (6.68 mM) se alcanza el máximo diámetro de flor.

En el área foliar total el nivel óptimo es de 10 mM de K^+ y al rebasar este nivel y hasta 20 mM se encuentra el nivel de toxicidad, mientras que en el experimento en perlita con 3.14 mM se alcanza la máxima área foliar. El nivel óptimo para el número total de hojas corresponde a 5 mM después de esta concentración y hasta 20 mM se encuentra el nivel de toxicidad. En el peso fresco total de hojas el nivel óptimo lo representa la aplicación de 4.02 mM de K^+ y de 5 hasta 20 mM el nivel de toxicidad. En el peso seco total de hojas el nivel óptimo es 3.7 mM y el de toxicidad desde 5 hasta 20 mM, en el experimento en perlita el máximo peso seco total de hojas se logra con la aplicación de 2.5 mM de K^+ .

En el experimento en peat moss, el máximo consumo de agua acumulado por planta se presentó con la aplicación de 1.87 mM, pero al incrementar la concentración de K^+ disminuye el consumo acumulado de agua en las plantas. Con la aplicación después de 2.4 mM de K^+ en adelante se incrementa la eficiencia en el uso del agua. Lo anterior podría explicar los resultados obtenidos en ambos experimentos ya que a concentraciones bajas y medias de K^+ se encontraron las mejores respuestas en las variables de crecimiento y a las más altas concentraciones se presentó el efecto de toxicidad. Sin embargo, la diferencia encontrada en el efecto de ciertas concentraciones de K^+ entre algunas variables de ambos experimentos podría ser un efecto de las diferencias entre las propiedades físico-químicas (CIC, retención de humedad,

oxigenación, densidad) de los sustratos empleados en ambos experimentos. Tal es el caso de la fotosíntesis neta que a pesar de ser menor en las hojas jóvenes y mayor en las hojas maduras en ambos experimentos, la conductancia estomática fue mayor en el experimento en peat moss tanto para hojas jóvenes como maduras mientras que la resistencia estomática en el experimento en perlita fue mayor para hojas tanto jóvenes como maduras.

V. CONCLUSIONES

El K^+ es un elemento móvil y de gran importancia en la producción de *Lilium cv Arcachon* ya que una deficiencia o excesiva concentración de este elemento en la solución nutritiva puede tener efectos a nivel anatómico, fisiológico y nutricional, lo cual puede a su vez traducirse en un efecto detrimental de las variables tanto de crecimiento como de calidad de las plantas. Sin embargo, con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo, la concentración de K^+ a aplicar dependerá de la variable de crecimiento o de calidad que interese mejorar.

El incremento de K^+ indujo una disminución en la concentración interna de Mg^{++} y favoreció el incremento en la concentración de N en las hojas jóvenes.

La fotosíntesis neta estuvo influenciada por la concentración interna de K^+ , Mg^{++} y N.

El potencial hídrico aumentó con altos niveles de K^+ en la solución externa, sin embargo esto no se reflejó en un mayor crecimiento en las plantas, quizás debido a que induce una deficiencia de Mg^{++} .

A concentraciones óptimas de K^+ se presentó un menor consumo de agua y una mayor eficiencia en el uso del agua.

En la producción de *Lilium* cv Arcachon para flor de corte bajo sistema hidropónico al emplear perlita como sustrato, la aplicación de 6.68 mM de K^+ puede ser suficiente para obtener el mayor diámetro de la flor. Mientras que si el interés radica en obtener la mayor altura de la planta la aplicación de 3.41 mM de K^+ puede ser la recomendada. Sin embargo, es importante considerar que con la aplicación de 9.57 mM de K^+ se logra reducir el riesgo de la incidencia de quemadura en las hojas maduras por deficiencia de K^+ .

Para la producción en maceta la aplicación de 7.73 mM de K^+ podría ser recomendada para lograr plantas con mayor diámetro de flor, mientras que para obtener el mayor diámetro de flor independientemente del interés en otras variables recomendaría aplicar 7.73 mM de K^+ . La producción de *Lilium* cv Arcachon en maceta presenta una cierta ventaja en cuanto al menor riesgo de incidencia de quemadura por deficiencia de K^+ en hojas maduras posiblemente debido a la carga inicial de nutrimentos del peat moss.

LITERATURA CITADA

- Ali A., Nadeem M.A., Tanveer A. and Hussain M. (2007). **Effect of different potash levels on the growth, yield and protein contents of chickpea (*Cicer arietinum* L.).** *Pakistan Journal of Botany* 39: 523-527.
- Alcántar G.G. y Sandoval V. (1999). **Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal.** Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México. 156 p.
- Álvarez M.E., Maldonado R., García R., Almaguer G., Rupit J. and Zavala F. (2008). **Calcium supply in the development and nutrition of Asiatic *Lilium*.** *Agrociencia*. 42: 881-889.
- Anthon G. E. y Spanswick R. M. (1986). **Purification and properties of the H⁺-translocating ATPase from the plasma membrane of tomato roots.** *Plant physiology*. 81: 1080-1085.
- Ashley M.K., Grant M. and Grabov A. (2005). **Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins.** *Journal of Experimental Botany*. 57: 425–436.
- Bednarz C.W. and Oosterhuis D.M. (1999). **Physiological changes associated with potassium deficiency in cotton.** *Journal of Plant Nutrition*. 22: 303–313.

- Bhandal I.S. and Malik C.P. (1988). **Potassium estimation, uptake, and its role in the physiology and metabolism of flowering plants.** *Intern. Review of Cytology*. 110: 205–254.
- Boertje G.A., (1978). **Substrates and the nutrition of *Anthurium andreanum*.** *Acta Horticulturae*. 82: 159–164.
- Bohra J.S. and Doerffling K. (1993). **Potassium nutrition of rice (*Oryza sativa* L.) varieties under NaCl salinity.** *Plant and Soil*. 152: 299-303.
- Britto D. and Kronzucker H. (2008). **Cellular mechanisms of potassium transport in plants.** *Physiologia Plantarum*. 31:1-14.
- Cakmak I. (2005). **The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants.** *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168: 521–530.
- Cakmak I. and Engels C. (1999): **Role of mineral nutrients in photosynthesis and yield formation, in: Rengel, Z.:** Mineral Nutrition of Crops: Mechanisms and Implications. The Haworth Press, New York, USA: 141–168.
- Carvajal J. F. (1985). **Potassium nutrition of coffee.** In Potassium in Agriculture. Ed. By R.D. Munson. Madison, Wi., ASA.: 955-975.

Chapman, H.D. y Pratt P.E. (1973). **Métodos de Análisis para suelos, plantas y aguas**. Trad. del Inglés por A. Contin. Editorial Trillas. México, D. F. 195 pp.

Chow W.S., Ball M.C. and Anderson J.M. (1990). **Growth and photosynthetic responses of spinach to salinity: implication of K nutrition for salt tolerance**. *Aust. Journal of Plant Physiology*. 17: 563-578.

Cuin T.A., Miller A.J., Laurie S.A. and Leigh R.A. (2003). **Potassium activities in cell compartments of salt-grown barley leaves**. *Journal of Experimental Botany*. 54: 657–661.

Das P.C. (1999). Plant Nutrients. *In: Manures and Fertilizers*. 2nd Edition. Kalyani Publishers, New Dehli, India: 5-10.

De Hertogh A. and Le Nard M., (1993). **The Physiology of Flower Bulbs**. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Holanda. 812 p.

Delwar Md., Hanafi M., Talib J. and Jol H. (2010). **Effects of Nitrogen, Phosphorus and Potassium levels on kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) growth and photosynthesis under nutrient solution**. *Journal of Agricultural Science*. 2: 49-57.

- Dibb D.W. and Thompson W.R. Jr. (1985). **Interaction of potassium with other nutrients.** (Chap. 22). *In: Potassium in Agriculture.* (Edit: Munson, R.D.) *American Society Agronomy.* Madison, Wisc. USA : 515-533.
- Dufour L. and Clairon M., (1997). **Advances in fertilization of Anthurium hybrid in Guadeloupe (F.W.I.).** *Acta Horticulturae.* 450: 433–437.
- Dufour L. and Guérin V., (2005). **Nutrient solution effects on the development and yield of *Anthurium andreanum* Lind. in tropical soilless conditions.** *HortScience.* 105: 269–282.
- Egilla J.N., Davies F.T. and Boutton T.W. (2005). **Drought stress influences leaf water content, photosynthesis, and water-use efficiency of *Hibiscus rosa-sinensis* at three potassium concentrations.** *Photosynthetica.* 43: 135-140.
- E. M., Abdrabbo M. A., Farag A.A. y Medany M.A. (2006). **Hydroponics for food production: comparison of open and closed systems on yield and consumption of water and nutrient.** The second international conference on water resources and arid environment: 1-9.
- Epstein E. and Bloom AJ. (2005) **Mineral nutrition of plants:** Principles and Perspectives, 2nd Edn. Sinauer Associates Inc., Sunderland MA, pp. 225-227.

European Commission. **Working document of the commission staff on the situation of the flowers and ornamental plant Sector 2007.**

<http://ec.europa.eu/agriculture/markets/fruitveg/flowers/analysis.pdf>.

Consultado el 12 de junio de 2010.

Facchinetti C. and Marinangeli P. (2008). **Avances en la producción nacional de bulbos de *Lilium*.** *AgroUNS*. Año 5:1-28.

Feigin A., Pressman E., Imas P. and Milta O. (1991). **Combined effects of KNO_3 and salinity on yield and chemical composition of lettuce and Chinese cabbage.** *Irrigation Science*. 12: 223-230.

Fricke W., Leigh R.A. and Tomos A.D. (1994). **Concentrations of inorganic and organic solutes in extracts from individual epidermal, mesophyll and bundle-sheath cells of barley leaves.** *Planta*. 192:310–316.

Fricke W. and Flowers T.J. (1998). **Control of leaf cell elongation in barley. Generation rates of osmotic pressure and turgor, and growth-associated water potential gradients.** *Planta*. 206:53–65.

Halevy J. and Bazelet M. (1992). **Fertilización del algodón para rendimientos altos.** Boletín No. 2, edición revisada, publicada por el Instituto Internacional de la Potasa (IPI), Schneidergasse 27, CH – 4051 .Basel.

- Higaki T., Imamura J.S. and Paull R.E., (1992). **N, P, and K rates and leaf tissue standards for optimum Anthurium andreaum flower production.** *HortScience*. 27: 909–912.
- Higaki T., Rasmussen H.P. and Carpenter W.J. (1980). **Color breakdown in Anthurium (*Anthurium andreaum* Lind.) spathes caused by calcium deficiency.** *Journal of American Society for Horticulatural Science*. 105: 441–444.
- Hoagland D.R. and Arnon D. I., (1950). **The water-culture method for growing plants without soil.** Circular No. 347, California Agricultural Experiment Station, The College of Agriculture University of California - Berkeley. 31 p.
- Kanai S., Ohkura K., Adu J.J., Mohapatra P. K., Nguyen N. T., Saneoka H. and Fujita K. (2007). **Depression of sink activity precedes the inhibition of biomass production in tomato plants subjected to potassium deficiency stress.** *Journal of Experimental Botany*. 149:1-12.
- Karimi E., Abdolzadeh A. and Sadeghipour H.R. (2009). **Increasing salt tolerance in Olive, *Olea europaea* L. plants by supplemental potassium nutrition involves changes in ion accumulation and anatomical attributes.** *International Journal of Plant Production*. 3: 49-60.

Kaya C., Kirnak H. and Higgs D. (2001a). **Effects of supplementary potassium and phosphorus on physiological development and mineral nutrition of cucumber and pepper cultivars grown at high salinity (NaCl).** *Journal of Plant Nutrition.* 24: 1457-1471.

Kaya C., Kirnak H. and Higgs D. (2001b). **Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus on tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity.** *Journal of Plant Nutrition.* 24: 357-367.

Kaya C., Erol B. and Higgs D. (2003). **Response of salt-stressed strawberry plants to supplementary calcium nitrate and-or potassium.** *Journal of Plant Nutrition.* 26: 543-560.

Khayyat M., Reza M., Rajaei S. and Jamalian S.(2009). **Potassium effect on ion leakage, water usage, fruit yield and biomass production by strawberry plants grown under NaCl stress.** *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research.* 17: 79-88.

Mandujano M. (2010). **Efecto del cobalto y calcio en soluciones preservantes sobre la vida postcosecha de *Lilium* híbrido oriental 'Star fighter' y 'Star gazer'.** Tesis Doctoral. Universidad Autónoma Chapingo. Instituto de Horticultura. Chapingo, Estado de México, pp. 1-137.

- Maathuis F.J.M. and Amtmann A. (1999). **K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: the basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios.** *Annals of Botany*. 84:123–133.
- Marschner H. (1995). **Mineral Nutrition of Higher Plants.** Academic Press. Limited, London. Second edition, pp. 299-312.
- Mengel K. and Kirkby E.A. (2001). **Principles of plant nutrition.** Kluwer Academic Publishers. 5th Edition, pp. 481-509.
- Ortega-Blu R., Correa M. and Olate E. (2006). **Determination of nutrient accumulation curves in three cultivars of *Lilium* spp. for cut flower.** *Agrociencia*. 40: 77-88.
- Pardo J.M., Cubero B., Leidi E.O. and Quintero F.J. (2006). **Alkali cation exchangers: roles in cellular homeostasis and stress tolerance.** *Journal of Experimental Botany*. 57: 1181–1199.
- Peoples T.R. and Koch D.W. (1979). **Role of potassium in carbon dioxide assimilation in *Medicago sativa* L.** *Plant Physiology*. 63: 878–881.
- Pérez N., Zapata M. and Beaver J. (1992). **Patogenicidad y fisiología de *Xanthomonas campestris* pv. *Dieffenbachiae* y efecto de fertilizantes en el desarrollo del tizón bacteriano del anturio.** In: Proceedings of the 30th CFCS meeting, Santo Domingo: 55–69.

Qi Z. and Spalding E.P. (2004). **Protection of plasma membrane K⁺ transport by the salt overly sensitive1 Na⁺-H⁺ antiporter during salinity stress.** *Plant Physiology*. 136: 2548–2555.

Raja K. and Zhao D. (2005). **Interactive effects of elevated CO₂ and potassium deficiency on photosynthesis, growth, and biomass partitioning of cotton.** *Field Crops Research*. 94:201–213.

Rus A., Lee B., Muñoz-Mayor A., Sharkhuu A., Miura K., Zhu J.K., Bressan R.A. and Hasegawa P.M. (2004). **AtHKT1 facilitates Na⁺ homeostasis and K⁺ nutrition in planta.** *Plant Physiology*. 136: 2500–2511.

Sakaï, D.S., (1990). **The effect of nitrate and ammonium fertilizer on the content of Anthurium guttation fluid.** In: Proceedings of the Third Anthurium Blight Conference, University of Hawaii at Hilo, 22–24 May 1990: 18–21.

Saeed M., Rehman H. and Ashraf M. (2007). **Improving growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) by foliar application of potassium hydroxide (KOH) under salt stress.** *Pakistan Journal of Botany*. 39: 769-776.

SAGARPA 2003. **Diagnóstico Sistema Producto Ornamentales Estado de Jalisco.** Validado por Comité Estatal Sistema Producto Ornamentales. 20 de Mayo del 2005. Pág. 1-29.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2008. **Proyecto de Ejecución Nacional Agricultura Protegida. Subsecretaria de Agricultura SAGARPA Febrero de 2009.**
Fuente: Delegaciones SAGARPA 2008.
<http://amci.org.mx/Descargar/Presentacion-Agricultura-Protegida.pdf>.
Consultado 12 de diciembre de 2009.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2010 a. **Suficiente disponibilidad de flores para cubrir la demanda por el Día de San Valentín. Comunicado 062, Ciudad de México.**<http://www.presidencia.gob.mx/prensa/sagarpa/?contenido=52881>
. Consultado el 12 de junio del 2010.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2010 b. **Aumenta producción de flores y plantas de ornato. Boletín NUM.201/10.Tenancingo, Edomex., 6 de mayo de 2010.**<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines/Lists/Boletines%202010/Attachments/593/B201.pdf>. Consultado el 12 de junio Del 2010.

Satti S.M.E. and Lopez M. (1994). **Effect of increasing potassium levels for alleviating sodium chloride stress on the growth and yield of tomato.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25: 2807-2823.

Satti S.M.E. and Al-Yahyai, R.A. (1995). **Salinity tolerance in tomato: implications of potassium, calcium and phosphorus.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 26:2749-2760.

- Shabala S., Babourina O. and Newman I. (2000). **Ion-specific mechanisms of osmoregulation in bean mesophyll cell.** *Journal of Experimental Botany.* 51:1243–1253.
- Shabala S. (2003). **Regulation of potassium transport in leaves: from molecular to tissue level.** *Annals of Botany.* 92: 627–634.
- Sonneveld C., Voogt W., (1993). **The concentration of nutrients for growing *Anthurium andreanum* in substrate.** *Acta Horticulturae.* 342: 61–67.
- Spalding E., Hirsch R.E., Lewis D.R., Qi Z., Sussman M.R. and Lewis B.D. (1999). **Potassium uptake supporting plant growth in the absence of AKT1 channel activity: inhibition by ammonium and stimulation by sodium.** *Journal of General Physiology.* 113: 909-918.
- Suvra T., Nishizawa T and Hazrat M. (2007). **Flower, berry and true potato seed production mother plants (*Solanum tuberosum* L.). 2. effects of nitrogen and potassium fertilizers.** *Journal of Agronomy.* 6: 88-93.
- Szczerba M.W., Britto D.T. and Kronzucker H.J. (2006a). **Rapid, futile K⁺ cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley.** *Plant Physiology.* 141:1494–1507.
- Taiz L. and Zeiger E (2002): **Plant Physiology.** 3rd ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts, pp 612.
- Tester M. and Davenport R. (2003). **Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants.** *Annals of Botany.* 91: 503–527.

- Valmorbida J. and Fernandes, C.S. (2007). **Growth and development of *Mentha piperita* L. in nutrient solution as affected by rates of potassium.** *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 50: 379-384.
- Van Os E.A. (1999). **Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch, greenhouse horticulture.** *Water Science and Technology*. 39:105-112.
- Varshney A., Srivastava P. S. and Dhawan V. (2001). **Effect of doses of nitrogen, phosphorus and potassium on the performance of *in vitro* propagated bulblets of *Lilium* sp. (Asiatic hybrids).** *Current Science*. 81:1296-1298.
- Walker N.A., Sanders D. and Maathuis F.J.M. (1996). **High-affinity potassium uptake in plants.** *Science*. 273: 977–978.
- Wang, Y.T. 2007. **Potassium nutrition affects growth and flowering of *Phalaenopsis* grown in a bark mix or sphagnum moss substrate.** *HortScience*. 42: 1563-1567.
- Yan Liu H., Ning Sun W., Ai Su W. and Cheng Tang Z. (2006). **Co-regulation of water channels and potassium channels in rice.** *Physiologia Plantarum*. 128: 58–69.
- Yi Lin C. and Ming Yeh D. (2008). **Potassium nutrition affects leaf growth, anatomy, and macroelements of *Guzmania*.** *HortScience*. 43:146-148.

Yurtseven E., Kesmez G.D. and Nlukara A.U. (2005). **The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central Anatolian tomato species (*Lycopersicon esculantum*)**. *Agricultural Water Management*. 78: 128-135.

Zhao D. L., Oosterhuis D. M. and Bednarz C. W. (2001): **Influences of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants**. *Photosynthetica* 39: 103–199.

Zubair M., Ayub G., Khan F., Khan M. and Mahmood Z. (2006). **Effect of potassium on preflowering growth of gladiolus cultivars**. *Journal of Agricultural and Biological Science*.1:36-46.