



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOMAS DE ZAMORA**

**MAESTRIA EN FLORICULTURA**



**“Regulación del crecimiento de *Pelargonium x hortorum* mediante el uso de déficit de riego”**

**Tesis presentada por Fasce Alejandra Malvina  
para optar por el título de Magister en Floricultura**

**Octubre de 2015**





**Ing. Agr. Diego Alejandro Mata**

**Magister Scientiae UBA**

**Coordinador de Proyecto Específico - PNHFA-1106093**

**“Desarrollo y ajuste de tecnologías para una producción florícola  
sustentable y de calidad”**

**Instituto de Floricultura (INTA)**

**Hace constar: Que la tesis titulada “Regulación del crecimiento de  
*Pelargonium x hortorum* mediante el uso de déficit de  
riego” que presenta Fasce Alejandra Malvina para aspirar  
al título de Magister Scientiae ha sido realizada bajo su  
dirección y autoriza su presentación.**

**y para que conste expide la presente en la ciudad de Hurlingham a un día del  
mes de octubre de dos mil quince.**

**Ing. Agr. (MSc) Diego Alejandro Mata**



**Dedicada a la memoria  
de Mario Mizuno**

## **Agradecimientos**

Desde estas líneas quiero agradecer a todas aquellas personas que de una forma u otra han hecho posible la realización de este trabajo.

A Diego Mata, director de mi tesis, por sus sugerencias para realizar los ensayos, los conocimientos traspasados, su paciencia y su confianza.

A Laura Bullrich y Diego Mata por su cortesía en dejarme utilizar las instalaciones del laboratorio e invernadero del Instituto de Floricultura para la realización de este trabajo.

Al grupo de Manejo y Gestión de la Producción del Instituto de Floricultura y en especial a Rubén por su ayuda desinteresada y su paciencia durante los trabajos de laboratorio realizados.

A cultivos Hirose por la gentileza de brindarme el material de estudio para los ensayos.

A Fedra Albarracín por su ayuda en la búsqueda de material bibliográfico.

A mis compañeros de trabajo de INTA - AER Ushuaia por sus palabras constante de aliento.

A mis amigas por estar ahí en todo momento.

Por último, y no menos importante, a mi familia y en especial, a mi hijo Joaquín.

¡Muchísimas Gracias!

Malvina

## INDICE GENERAL

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice general.....	vii
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras.....	xiii
Abreviaturas y Símbolos.....	17
Resumen.....	21
Abstract.....	22
<b>Capítulo 1:</b> Introducción.....	23
1.1 Características generales de la producción florícola.....	25
1.2 El geranio como planta ornamental.....	26
1.3 Generalidades del cultivo de <i>Pelargonium</i> en la Región Metropolitana de Buenos Aires .....	27
1.4 Control del crecimiento de plantas de geranio zonal: uso de reguladores químicos.....	28
1.5 Los factores ambientales que afectan el crecimiento de las plantas.....	31
1.6 Adaptaciones morfológicas de las plantas al déficit hídrico.....	33
1.7 Estrategias de riego para controlar el crecimiento en plantas ornamentales.....	34
1.8 Uso de riego deficitario y déficit de riego controlado en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> .....	38
Hipótesis.....	41
Objetivos.....	41
<b>Capítulo 2:</b> Efecto de distintos niveles de déficit de riego en el crecimiento vegetativo y en la floración de <i>Pelargonium x hortorum</i> .....	42

---

2.1	Materiales y Métodos.....	44
2.1.1	Material vegetal y condiciones de cultivo.....	44
2.1.2	Tratamientos y diseño experimental.....	46
2.1.3	Determinación del contenido hídrico del sustrato.....	47
2.1.4	Registro de datos.....	48
2.1.5	Análisis estadístico.....	51
2.2	Resultados y Discusión.....	52
2.2.1	Efecto de los niveles de déficit de riego y reguladores de crecimiento sobre la arquitectura de la planta.....	55
2.2.2	Efecto de los niveles de déficit de riego y reguladores de crecimiento sobre la floración.....	66
2.2.3	Efecto de los niveles de déficit de riego y reguladores de crecimiento sobre los parámetros de color.....	69
<b>Capítulo 3: Efecto del momento de aplicación de los distintos niveles de déficit de riego en el crecimiento vegetativo y en la floración de <i>Pelargonium x hortorum</i>.....</b>		
3.1	Materiales y Métodos.....	75
3.1.1	Material vegetal y condiciones experimentales.....	75
3.1.2	Tratamientos y diseño experimental.....	76
3.1.3	Registro de datos.....	77
3.1.4	Análisis estadístico.....	78
2.2	Resultados y Discusión.....	78
2.2.1	Efecto del nivel y el momento de aplicación del déficit de riego sobre la arquitectura de la planta.....	81
2.2.2	Efecto del nivel y el momento de aplicación del déficit de riego sobre la floración.....	93
2.2.3	Efecto del nivel y el momento de aplicación del déficit de riego sobre los parámetros de color.....	99



<b>Capítulo 4: Conclusiones generales.....</b>	<b>105</b>
Bibliografía.....	111
Anexo A.....	131

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Categorías del tamaño de la hoja de <i>Pelargonium x hortorum</i> determinadas por el área de la hoja, el ancho y el largo de las mismas.....	50
Tabla 2.2. Altura final del tallo principal, número de nudos, largo promedio de entrenudo, largo de peciolo y diámetro del tallo en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	59
Tabla 2.3. Número de tallos laterales y largo de tallos laterales en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	60
Tabla 2.4. Área foliar, área foliar promedio y número de hojas total de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	62
Tabla 2.5. Número de inflorescencia por planta y número de flores por inflorescencia en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de succión en el sustrato y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	68
Tabla 2.6. Diámetro de inflorescencia, largo de inflorescencia, largo del pedúnculo, diámetro de la flor y largo del pedicelo en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	69
Tabla 2.7. Valores de Croma ( $C^*$ ) y ángulo Hue ( $h^\circ$ ) del color de las flores, la zona exterior de las hojas y el centro del haz de las hojas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	70
Tabla 3.1. Altura final del tallo principal, número de nudos, largo promedio de entrenudo, largo de peciolo y diámetro del tallo en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna	

---

representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	86
Tabla 3.2. Número de tallos laterales y largo de tallos laterales en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	88
Tabla 3.3. Área foliar, área foliar promedio y número de hojas total de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	89
Tabla 3.4. Número de inflorescencia por planta en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	95
Tabla 3.5. Diámetro de inflorescencia, número de flores por inflorescencia y diámetro de la floren plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	97
Tabla 3.6. Largo de inflorescencia, largo del pedúnculo y largo del pedicelo en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	99
Tabla 3.7. Parámetros de color Cromo ( $C^*$ ) y ángulo Hue ( $h^\circ$ ) de la flor en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	100
Tabla 3.8. Parámetros de color Cromo ( $C^*$ ) y ángulo Hue ( $h^\circ$ ) de la zona exterior y centro del haz de la hoja en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan	

diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ )..... 102

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Planta de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivada en maceta.....	27
Figura 1.2. Vista general de esqueje enraizados en turba (A) y plantas en macetas (B) de geranio zonal dentro de un invernadero productivo en la ciudad de Escobar.....	28
Figura 2.1. Esquejes de <i>Pelargonium x hortorum</i> , cultivar 'fisvulk', enraizados en turba con 3-4 hojas y con una altura promedio de 6 cm.....	45
Figura 2.2. Vista general de las plantas de geranio dentro de un invernáculo convencional de polietileno, durante el periodo experimental.....	45
Figura 2.3. Vista lateral (izquierda) y vista superior (derecha) de la posición del tensiómetro en la maceta.....	47
Figura 2.4. Esquema de la medida de altura total de planta (A, izquierda), altura del follaje (B, izquierda) y largo del tallo principal (C, derecha).....	49
Figura 2.5. Esquema de la medida de largo de pedicelo (A, línea entera), largo del pedúnculo (B, línea entera) y longitud de inflorescencia (C, línea punteada).....	49
Figura 2.6. Sectores de la hoja de <i>Pelargonium x hortorum</i> : Centro del haz (CH) y zona exterior (ZE).....	51
Figura 2.7. Variación del contenido de agua en el sustrato en macetas de 1200 ml de capacidad, en relación a diferentes niveles de presión de succión. Letras distintas representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).....	52
Figura 2.8. Agua total aportada con el riego a lo largo del período experimental en los distintos tratamientos de déficit de riego en plantas en macetas de <i>Pelargonium x hortorum</i> .....	53
Figura 2.9. Contenido relativo de agua (CRA) en hojas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	54
Figura 2.10. Altura total de planta y altura del follaje al final del experimento de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de cada color indican diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P < 0.05$ ). Las líneas punteadas de color rojo indican el límite máximo y mínimo de la altura de la planta deseable. Las líneas punteadas de color negro indican el límite máximo y mínimo de la altura del follaje deseable.....	56

Figura 2.11. Efecto de los tratamientos de riego deficitario y aplicación de RC en la altura total de planta y altura del follaje de <i>Pelargonium x hortorum</i> al final del ensayo. Planta con aplicación de RC (Treg), planta testigo (T100) y plantas con riego deficitario (T200, T300 y T400).....	58
Figura 2.12. Evolución de la altura del follaje de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Las flechas de color negro indican los días de aplicación de etefón y las flechas de color rojo los días de aplicación de cloromequat.....	58
Figura 2.13. Número de hojas separadas por tamaño en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de cada categoría indican diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	63
Figura 2.14. Diámetro de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	64
Figura 2.15. Índices de compactibilidad definido como la relación entre el área foliar por unidad de altura total de planta (A) y la relación de peso seco por unidad de altura total de planta (B) para plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	65
Figura 2.16. Días a floración de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	66
Figura 2.17. Aspecto del color de las hojas de <i>Pelargonium x hortorum</i> de plantas testigos (A), con déficit de riego (B) y con aplicación de reguladores de crecimiento (C), al final del experimento.....	71
Figura 3.1. Botones florales visibles de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> .....	77
Figura 3.2. Cantidad de agua aportada a lo largo del período experimental en los distintos tratamientos en plantas en macetas de <i>Pelargonium x hortorum</i> , al final del experimento.....	79
Figura 3.3. Cambios en el contenido relativo de agua (CRA) en hojas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F)	

durante la etapa experimental. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	80
Figura 3.4. Evolución de la altura total y altura de follaje de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas sin déficit de riego (testigo) durante la etapa experimental. Las flechas de color negro indican los momentos de inicio de aplicación de los distintos tratamientos de déficit de riego.....	81
Figura 3.5. Altura total de planta y altura del follaje al final del experimento de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de cada color indican diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P < 0.05$ ). Las líneas punteadas de color rojo indican el límite máximo y mínimo de la altura de la planta deseable. Las líneas punteadas de color negro indican el límite máximo y mínimo de la altura del follaje deseable.....	83
Figura 3.6. Efecto de los tratamientos de riego deficitario en la altura total de planta y altura del follaje en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> al final del ensayo. Planta del tratamiento de déficit de riego de 200 mbar (A, T200), 300 mbar (B, T300) y 400 mbar (C, T400) aplicados a partir del inicio (I), semana 4 (M) y semana 7 (F) de comenzado el experimento.....	84
Figura 3.7. Evolución de la altura del follaje de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental.....	85
Figura 3.8. Número de hojas separadas por tamaño en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de cada categoría indican diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	90
Figura 3.9. Diámetro de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	91
Figura 3.10. Índices de compactibilidad definido como la relación entre el área foliar por unidad de altura de la planta (A) y la relación de peso seco por unidad de altura total de planta (B) para plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego (A) aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) (B), durante la etapa experimental. Barras con letras distintas dentro de cada gráfico representan	

---

diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	93
Figura 3.11. Días a floración de plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas sobre las barras representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).....	94
Figura 3.12. Efecto de los tratamientos de déficit de riego de 200 (A), 300 (B) y 400 mbar (C) en el número de inflorescencia en plantas de <i>Pelargonium x hortorum</i> aplicados a partir del inicio (I, fila superior), semana 4 (M, fila central) y semana 7 (F, fila inferior) de comenzado el experimento.....	96
Figura 3.13. Aspecto del color del centro del haz de las hojas de <i>Pelargonium x hortorum</i> del tratamiento 200M y 200F (a) y de los tratamientos 200I, 300I, 300M, 300F, 400I, 400M y 400F (b), al final del experimento.....	103



## Abreviaturas y símbolos

ABA	Acido abscisión
ANVA	Análisis de variancia
CE	Conductividad eléctrica
CIE	Comission Internationale de L'Eclairage
CH	Centro del haz de la hoja
Cm	Centímetro
Cm <sup>2</sup>	Centímetros cuadrados
Co <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CRA	Contenido relativo de agua
C*	Croma
DCA	Diseño completamente aleatorio
DIF	Diferencia entre la temperatura del día y la noche
DRC	Déficit de riego controlado
DT	Temperatura diurna
e.g	Por ejemplo
ETp	Evapotranspiración potencial
g	Gramos
GA	Giberelinas
ha	Hectárea
hPa	Hectopascal
h°	Angulo Hue
i.e	Es decir
kPa	Kilopascal
K <sup>+</sup>	Ion potasio

L*, a* y b*	Valores triestímulo del color
mbar	Milibar
ml	Mililitros
MPa	Megapascal
mS	Milisiemens
N	Nitrógeno
NPK	Nitrógeno - Fosforo - Potasio
P	Probabilidad estadística
pH	Potencial hidrogeno
PH	Sustrato húmedo
PF	Peso fresco
ppm	Partes por millón
PS	Peso seco
PT	Peso túrgido
RC	Regulador de crecimiento
RD	Riego deficitario
R/RL	Relación entre luz roja y roja lejana
TN	Temperatura nocturna
Treg	Tratamiento con aplicación de reguladores de crecimiento
T100	Tratamiento Control
T200	Tratamiento de déficit de riego de 200 milibar
T200I	Tratamiento de déficit de riego de 200 milibar aplicado desde el inicio del experimento.
T200M	Tratamiento de déficit de riego de 200 milibar aplicado a partir de la semana 4 (inicio de floración).

T200F	Tratamiento de déficit de riego de 200 milibar aplicado a partir de la semana 7 (floración avanzada).
T300	Tratamiento de déficit de riego de 300 milibar
T300I	Tratamiento de déficit de riego de 300 milibar aplicado desde el inicio del experimento.
T300M	Tratamiento de déficit de riego de 300 milibar aplicado a partir de la semana 4 (inicio de floración).
T300F	Tratamiento de déficit de riego de 400 milibar aplicado a partir de la semana 7 (floración avanzada).
T400	Tratamiento de déficit de riego de 400 milibar
T400I	Tratamiento de déficit de riego de 400 milibar aplicado desde el inicio del experimento.
T400M	Tratamiento de déficit de riego de 400 milibar aplicado a partir de la semana 4 (inicio de floración).
T400F	Tratamiento de déficit de riego de 400 milibar aplicado a partir de la semana 7 (floración avanzada).
V/V	Relación volumen - volumen
ZE	Zona exterior de la hoja
°C	Grados centígrados
>	Mayor que
<	Menor que
%	Porcentaje

## **Resumen y Abstract**

## Resumen

Los productores locales utilizan reguladores de crecimiento (RC) químicos para mantener la arquitectura de la planta proporcional al tamaño de la maceta. Debido a que su uso está siendo restringido a nivel mundial por los posibles daños al medio ambiente y a la salud de los trabajadores, se están estudiando alternativas para reemplazar su uso por herramientas más amigables como la modificación del ambiente ya que las plantas ajustan su crecimiento y desarrollo a distintos estímulos de este. El déficit hídrico, por ejemplo, influye en distintos aspectos de la morfología de las plantas. El objetivo de esta tesis fue evaluar el déficit de riego (DR) como una herramienta alternativa para controlar el crecimiento de las plantas de *Pelargonium x hortorum* en las condiciones de manejo de los alrededores de Buenos Aires. Se llevaron a cabo dos experimentos para evaluar el efecto del uso de distintos niveles de DR en distintos estados fenológicos (inicio del cultivo, inicio de la floración y final del cultivo). Los resultados mostraron que déficits de riego para generar 200 mbar de tensión en el sustrato no controlaron la altura total dentro de los parámetros deseados. Niveles de tensión de 300 mbar controlaron la altura de la planta en niveles comparables a los obtenidos con aplicación de RC pero con efectos negativos en algunos parámetros de calidad como el diámetro de la planta y el número de inflorescencias, especialmente cuando el déficit se aplica desde el inicio del cultivo. Tensiones de 400 mbar afectaron fuertemente todos los parámetros de calidad. Esta tesis demuestra que el déficit de riego puede controlar el crecimiento de *Pelargonium x hortorum*, sin embargo, nuevos experimentos deberían ser diseñados para evaluar su combinación con otras estrategias de manejo para evitar afectar otros parámetros de calidad.

Palabras clave: arquitectura de la planta, floración, regulador de crecimiento, déficit de riego, *Pelargonium x hortorum*.

## Abstract

Local growers use growth retardants to keep plant architecture in a proportional size according to the pot used. Due to the fact that their use is being questioned around the world because of the possible negative impacts to the environment and to worker's health, new alternatives are under study to replace their use with more friendly techniques such as the manipulation of environmental factors, as plants adjust their growth to their stimuli. Water stress, for example, interferes in different aspects of plant morphology. The objective of this thesis was to evaluate the irrigation deficit (ID) as an alternative tool to control *Pelargonium x hortorum* growth under crop culture practices in the Buenos Aires area. Two experiments were executed to evaluate the effects of different ID levels at different phenological states (first week of culture, at flower initiation and at the end of crop culture). Results showed that ID that generated 200 mbar tension pressures in the substrate did not control plant height into the target parameters. Tension levels of 300 mbar however, controlled plant height to similar values of plants treated with growth retardants but negative effects in other quality parameters like plant diameter and number of inflorescences were also observed, especially when applied at the beginning of the growing culture. Tensions of 400 mbar strongly affected all quality parameters. This thesis demonstrates that ID can control *Pelargonium x hortorum* growth; however, new experiments should be conducted to evaluate its combination with other strategies in order to avoid negative impacts on quality parameters.

Key words: plant architecture, flowering, growth retardant, irrigation deficit, *Pelargonium x hortorum*.

## **CAPÍTULO 1**

### **Introducción**





## **CAPÍTULO 1**

### **Introducción**

#### **1.1 Características generales de la producción florícola**

La producción de flores de corte y de plantas en macetas en Argentina comenzó en los alrededores de la ciudad de Buenos Aires convirtiéndose hoy en día en la principal área productiva y comercial de la floricultura nacional (Fernández, 2007). Este desarrollo obedece fundamentalmente a la proximidad con la Capital Federal, principal centro de consumo de productos florícolas.

La floricultura argentina cuenta con una superficie de 2.500 ha dedicadas al cultivo de flores y plantas ornamentales implicando a 1.300 productores (Morisigue & Villareal, 2003). Según el Censo Horti-florícola 2005 del Ministerio de Asuntos Agrarios (CHFBA 2005), en la provincia de Buenos Aires se contabilizan 1.453 ha con 922 empresas, de las cuales 788 se ubican en la Región Metropolitana de Buenos Aires.

La información disponible sobre los precios de los diferentes tipos de cultivos y el valor bruto del sector florícola a nivel nacional y provincial, es escasa y solamente se cuenta con datos a nivel nacional para el año 2002, provenientes del relevamiento del INTEA-INTA-JICA realizado durante el 2003, constituido en uno de los pocos estudios sobre la caracterización de la producción florícola en la Argentina. Según este estudio, el valor bruto de las ventas mayoristas del sector suma un total de \$ 444,21 millones, correspondiendo \$ 311,51 millones al subsector de plantas en maceta.

Las exportaciones no han alcanzado volúmenes considerables a lo largo de los años. Históricamente el mercado interno ha sido el principal destino de las flores y plantas en macetas, teniendo como destino principal el conglomerado urbano de Buenos Aires, aunque también abastece a las principales ciudades del interior (Mascarini & Tissera, 2010).

El sector florícola nacional cuenta con un gran potencial productivo y a pesar de tener casi un siglo de producción comercial, la misma se encuentra

escasamente diversificada (Morisigue *et al.*, 2012) y con una baja calidad final (INTEA, 2003).

## 1.2 El geranio como planta ornamental

Los geranios (*Pelargonium* sp.) son plantas ornamentales que se pueden encontrar en todo el mundo adornando jardines, fachadas y balcones (Abo El-Nil, 1990).

Dentro del género *Pelargonium*, el geranio zonal o común (*Pelargonium x hortorum* LH Bailey) es el cultivo más popular en Europa y en el norte de América (Alonso-Gómez, 2002). En Argentina, es la especie de *Pelargonium* de mayor importancia comercial de la producción florícola de la provincia de Buenos Aires (INTEA, 2003), concentrándose en el área metropolitana (AMBA) de la misma (Figura 1.1). Hasta la actualidad, no existen registros de los volúmenes de producción a nivel nacional ni provincial.

A través de estos años, los cambios y las mejoras genéticas han contribuido a la popularidad actual de *Pelargonium x hortorum* sobre todo en Europa y norte de América (Laughner, 1993). Esta popularidad se debe a su abundante floración con una gran diversidad de colores, a sus diferentes patrones de hojas y a su facilidad de cultivo pudiendo sobrevivir en condiciones áridas, adaptándose fácilmente a diferentes condiciones ambientales (Abo El-Nil, 1990).

A pesar de que la gama de colores ha aumentado en gran medida en los últimos años, el rojo sigue siendo el color tradicional, aunque existe una tendencia de los consumidores a adquirir colores diferentes como el salmón, rosa y blanco (Hirose, A., Vivero Hirose, comunicación personal).



Figura 1.1. Planta de *Pelargonium x hortorum* cultivada en maceta.

### 1.3 Generalidades del cultivo de *Pelargonium* en la Región Metropolitana de Buenos Aires

Comercialmente el geranio zonal (*Pelargonium x hortorum*) se reproduce tradicionalmente mediante esquejes. La mayoría de los geranios zonales son clones de híbridos y la multiplicación vegetativa permite mantener las características ornamentales de interés, como la presencia de flores dobles. Los productores de geranio de los alrededores de Buenos Aires adquieren el material vegetal de empresas especializadas en la propagación de plantas de sanidad controlada.

El método de cultivo en maceta varía en función de cada productor. De manera general, los esquejes se ponen a enraizar bajo invernaderos en una variedad de medios como espuma, lana de roca o turba. Los mismos se mantienen entre una temperatura de 20 a 21 °C (Figura 1.2. A). Se utiliza riego por aspersión para mantener una humedad relativa alta y evitar de esta manera, la desecación de los esquejes. La utilización de hormonas de enraizamiento y reguladores de crecimiento no son necesarios en esta etapa de producción. Dependiendo del híbrido y las condiciones ambientales, esta etapa dura aproximadamente 4 semanas.

Posteriormente, los esquejes enraizados se trasplantan a macetas de 1.200 ml con un sustrato bien aireado y se llevan a una zona de cultivo con riego por

goteo (Figura 1.2. B). Las temperaturas se elevan hasta llegar a 22-25 °C y se comienzan a fertilizar con 100 a 200 ppm de nitrógeno por semana. En los híbridos de tipo zonal los productores buscan, además, de una planta con un crecimiento compatible con el tamaño de la maceta, una buena ramificación con entrenudos cortos, de manera que finalmente la planta presente un porte redondo. Por lo que se refiere a las características florales, se buscan inflorescencias de gran tamaño y abundantes, con flores de pétalos grandes y con un pedúnculo relativamente corto. Por consiguiente, durante esta etapa de producción es común la utilización de reguladores de crecimiento. De esta manera, reducen el crecimiento y obtienen una planta con una arquitectura acorde a la maceta, atendiendo a las exigencias del mercado. La planta está terminada para la venta entre 10 a 12 semanas posteriores al trasplante.



Figura 1.2. Vista general de esquejes enraizados en turba (A) y plantas en macetas (B) de *Pelargonium* dentro de un invernadero productor en la ciudad de Escobar.

#### 1.4 Control del crecimiento de plantas de geranio zonal: uso de reguladores químicos

A nivel mundial, en la industria de producción de geranio zonal en contenedor bajo invernadero se utilizan frecuentemente reguladores de crecimiento antigiberélicos, llamados retardantes del crecimiento, que se aplican para restringir la elongación del tallo y mantener la altura de la planta, en función del tamaño de la maceta (Barrett & Holcomb, 1993; Latimer, 2001). Estos

reguladores actúan afectando la biosíntesis del ácido giberélico o bien su traslocación o degradación (Rademacher, 1989; Andersen & Andersen, 2000; Rademacher, 2000) principal responsable de la elongación celular. Por lo tanto, sus efectos se observan principalmente en los tejidos de los tallos, pecíolos y tallos de las flores o inflorescencias. Se observan menores efectos en la reducción del tamaño de las hojas, lo que resulta en hojas más gruesas de color verde más oscuro (Latimer, 2001).

Según Hamrick (2003) y Whipker *et al.* (2006), el regulador químico más comúnmente utilizado en el cultivo de geranio a nivel mundial es el cicocel (cloromequat), a una dosis de 1.500 ppm. Además de ser ampliamente recomendado para la reducción de la altura de las plantas, también es recomendado por la promoción de ramificaciones laterales (Carpenter & Carlson, 1970; White, 1970; Armitage *et al.*, 1978; Latimer, 2001); característica ornamental muy importante en plantas de geranio. Sin embargo, varios estudios han reportado un adelanto en la floración cuando se aplican en las primeras semanas después de la plantación (Miranda & Carlson, 1980; White & Warrington, 1984; Quatchak *et al.*, 1986; Armitage, 1986). Este posible adelanto de la floración es un factor que debe ser tenido en cuenta en el momento de definir los programas de producción. Por otro lado, Tayama & Carver (1990) informan que, además del cicocel, el Florel (etefón) también es uno de los reguladores de crecimiento más a menudo recomendados y utilizados en la producción comercial de plantas de geranio. Si bien no es un regulador antigiberélico, es una opción para controlar la altura de geranio debido a que induce la formación de tallos más cortos y gruesos al promover el crecimiento radial de las células (Matto & Suttle, 1991). Además del control de la elongación del tallo, se ha visto que promueve la ramificación lateral (Carpenter & Carlson, 1970; Semeniuk & Taylor, 1970; Carpenter & Carlson, 1972; Tayama & Zrebiec, 1987; Bailey & Whipker, 1998). Cuando el empleo de este regulador químico es muy frecuente, comúnmente se produce un retraso de la floración de hasta 4-6 semanas después de la aplicación (Carpenter & Carlson, 1970; Semeniuk & Taylor, 1970; Reed, 1975; Tayama & Zrebiec, 1987). Otro efecto que suele observarse en estas condiciones es la reducción del tamaño de

las hojas en comparación con los controles sin aplicación de reguladores de crecimiento (Barret & Holcomb, 1993).

Asimismo, el B-nine (daminoide), el Bonzi o piccolo (paclobutrazol), el A-Rest (ancymidol) y el Sumagic (uniconazole), han sido utilizados a nivel mundial como reguladores de crecimiento en la producción de geranio, posibilitando la obtención de plantas de porte reducido al restringir el crecimiento en altura (Fisher, 2005; Barrett & Holcomb, 1993; Bailey & Whipker, 1998; Bañon *et al.*, 2009). Sin embargo se ha observado que el geranio es muy sensible al uso de Bonzi y Sumagic ya que una alta concentración puede causar un retraso extremo en el crecimiento de la planta (Barrett & Holcomb, 1993) y causar una reducción en el tamaño de las hojas (Tinoco *et al.*, 2001; Cox & Keever, 1988). Asimismo, afectan los procesos de floración de geranio aunque la incidencia varía entre los cultivares.

En Argentina, aunque existen híbridos poco vigorosos de *Pelargonium x hortorum*, el uso de reguladores de crecimiento es una práctica común entre los productores. Actualmente el cicocel en una dosis de 1.000 ppm y el etefon en dosis de 350 ppm, son utilizados por la mayoría de los productores de cultivos de geranio en maceta. De esta manera, aumentan la calidad de la planta en maceta con ejemplares bajos y compactos, estéticamente más agradables para los consumidores.

El correcto empleo de estos productos requiere un amplio conocimiento de las distintas respuestas del cultivo de acuerdo al híbrido utilizado, al momento fenológico del ciclo de la planta en que es aplicado, a la concentración empleada, la formulación activa absorbida y su persistencia, la frecuencia y forma de aplicación, las condiciones ambientales, el tamaño de la maceta utilizada en el cultivo y la situación particular de cada producción (Mejias & Ruano, 1990; Francescangeli, 2008), entre otras. Además algunos de ellos tienen efectos residuales y persisten en el sustrato por varios meses, mientras que a otros como el daminoide, se les atribuyen efectos nocivos sobre la salud humana (Bailey & Whipker, 1998; Andersen & Andersen, 2000). A nivel mundial, las tendencias actuales están orientadas a limitar el uso de productos químicos debido

fundamentalmente a los riegos de contaminación del medio ambiente y a potenciales daños a la salud de los trabajadores involucrados (Kambalapally & Rajapakse, 1998; Tatineti *et al.*, 2000). Actualmente, en Argentina, el cicocel es el único producto registrado y autorizado en el SENASA como fitoregulador para uso en cultivos ornamentales.

### **1.5 Los factores ambientales que afectan el crecimiento de las plantas**

El empleo excesivo de productos químicos (e.g. fertilizantes, plaguicidas, reguladores de crecimiento) así como del riego excesivo, dieron lugar a restaurar una idea de producciones de cultivos más respetuosas con el medio ambiente (Rubio, 2012). Por este motivo, en los últimos años se han incrementado las investigaciones en métodos alternativos al uso de reguladores de crecimiento químicos basados en la manipulación de los factores ambientales que afectan la altura y arquitectura de las plantas ornamentales.

La temperatura es uno de los factores que ejerce una fuerte influencia en la morfología de las plantas ornamentales (Gagnon & Dansereau, 1992). La gestión de las temperaturas diurnas (TD) y nocturnas (TN) ha sido utilizada por numerosos autores en el control de la elongación del tallo (Erwin *et al.*, 1989; Erwin & Heins, 1990; Erwin *et al.*, 1991). Se ha observado que la longitud del tallo aumenta a medida que aumenta la TD y la TN disminuye (Smith & Langhans, 1961; Tageras, 1979). Investigaciones más recientes, han demostrado que el desarrollo morfológico de muchas plantas está altamente correlacionado con la diferencia de temperatura del día y la noche (DIF), en lugar de la temperatura actual TD/TN. El DIF se calcula como la temperatura del día (TD) menos la temperatura de la noche (TN) (Fisher *et al.*, 1996; Erwin & Heins, 1995; Bailey & Whipker, 1998). Las plantas que crecen con un DIF negativo (temperaturas de la noche superiores a las temperaturas del día) son más compactas en la madurez que las plantas cultivadas con un DIF positivo (temperaturas del día superiores a las temperaturas de la noche) como es el caso de *Lilium longiflorum* (Erwin & Heins, 1990), *Fuchsia x hybrida* (Erwin *et al.*, 1991) y *Campánula isophylla* (Moe *et al.*, 1991) entre otras. Algunas evidencias sugieren que los efectos de la temperatura en la elongación

del tallo están determinados por la participación de las giberelinas (GA). Sin embargo, otros factores tales como la turgencia, la extensibilidad de la pared celular y los fitocromos, parecen interactuar con el DIF, para afectar la elongación del tallo (Erwin & Heins, 1995). La implementación de esta estrategia requiere de sistemas de enfriamiento y calentamientos con altos costos energéticos para elevar las temperaturas nocturnas y/o bajar las temperaturas diurnas.

La irradiancia (cantidad de luz), el fotoperíodo (duración de horas de luz durante el día) y la calidad (composición de longitudes de onda), son diferentes aspectos de la luz que perciben las plantas y producen una serie de respuestas que modifican la morfogénesis y la arquitectura de las mismas (Mata, 2010). Se ha observado que una mayor intensidad de la luz o irradiancia tiende a reducir el alargamiento de la planta y por lo general, son más compactas (Bailey & Whipker, 1998). Cuando las plantas se cultivan en condiciones de baja intensidad de luz aumenta la elongación de los brotes y las hojas se desarrollan con deficiencia. Estos cambios morfológicos ante variaciones en las condiciones lumínicas constituyen un mecanismo de adaptación de las plantas (Erwin & Ok, 2001; Albayrak & Camas, 2007). El fotoperíodo no es un factor generalmente usado en el control de la altura de plantas ornamentales (Bailey & Whipker, 1998) pero es utilizado para regular múltiples procesos durante el ciclo de vida de las plantas. Por ejemplo, para el mantenimiento de las plantas en estado vegetativo o la estimulación de la floración, como es habitual en muchos cultivos florícolas (Cox, 2009). La modificación de la calidad de la luz, incrementando la relación R/RL del ambiente, puede ser eficaz en la reducción de la elongación de los entrenudos, resultando así en plantas más cortas (Whipker *et al.*, 2006). La luz de los invernaderos puede ser modificada usando filtros fotoselectivos (Kambalapally & Rajapakse, 1998; Mata & Botto, 2009), mallas de sombreo coloreadas (Stamps, 2009) o utilización de sistemas lumínicos. Existen numerosas experiencias del uso de filtros fotoselectivos en plantas ornamentales, sin embargo, no ha sido efectivo en todos los cultivos estudiados (Kambalapally & Rajapakse, 1998).

La aplicación de déficit de riego ha sido una práctica utilizada efectivamente a lo largo de los años para reducir el crecimiento vegetativo de las plantas, debido



fundamentalmente a la amplia variedad de modificaciones morfológicas que el déficit hídrico ocasiona en las mismas. Hay antecedentes que afirman que el déficit de riego produce cambios significativos en la altura y arquitectura de la planta y hay experiencias exitosas en plantas ornamentales como: *Euphorbia pulcherrima*, *Dendranthema hybrida*, *Cotinus coggygria*, *Forsythia x intermedia* y *Tagetes erecta* (Mata *et al.*, 2006; Cameron *et al.*, 2004; Van Iersel & Nemali, 2004).

Tanto el manejo de la luz y como de la temperatura, si bien son estrategias efectivas, son de dificultosa implementación, en especial en las condiciones de cultivo de nuestro país debido a las sofisticadas condiciones que requieren y a los elevados costos energéticos que demandan. Sin embargo, el manejo del riego y, en particular, el riego deficitario, resulta una técnica mucho más sencilla y de fácil aplicación que podría tener un gran potencial de uso en los productores locales de plantas ornamentales.

### **1.6 Adaptaciones morfológicas de las plantas al déficit hídrico**

Se ha demostrado en numerosas especies que el déficit hídrico es un factor importante que limita el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Röber & Horn, 1993; Sharp, 1996; Arndt *et al.*, 2001). El déficit hídrico en las plantas provoca una amplia variedad de adaptaciones morfológicas, que en general varían con su severidad y su duración (Kozlowski *et al.*, 1991; Shao *et al.*, 2008). Además, los efectos reportados difieren en función de la especie y de la fase de desarrollo en la que se aplica (Seyed *et al.*, 2012).

La longitud del tallo y el crecimiento de brotes laterales son afectados de manera significativa en las plantas sometidas a situaciones de déficit hídrico (Lieth & Burger, 1989; Sharp, 1996; Morel, 2001; Cameron *et al.*, 2004; Mata *et al.*, 2006; Silber *et al.*, 2007; Sharp *et al.*, 2009; Álvarez, 2011). Esta respuesta se asocia con la disminución de la expansión de las células en la que el agua cumple un rol fundamental (Shao *et al.*, 2008).

También se ha observado que el déficit hídrico reduce el número de hojas por planta, el tamaño de las hojas individuales y la longevidad de la hoja

(Arndt *et al.*, 2001; Shao *et al.*, 2005). En casos de déficit severos se observa la pérdida de hojas que constituye una estrategia de adaptación morfológica para reducir la pérdida de agua y favorecer la redistribución de los recursos ante esta situación de estrés (Kozlowski *et al.*, 1991; Arndt *et al.*, 2001; Sánchez y Blanco *et al.*, 2002).

El déficit hídrico prolongado en las plantas también es perjudicial para el desarrollo de las flores, afectando tanto la cantidad como la calidad. Se ha observado que puede ser causante de una reducción de la longitud del tallo y del peso fresco, así como del número de pétalos bien formados, de los botones florales y pimpollos (Chimonidou-Pavlidou, 1996; Kozlowski & Pallardy, 2002). Además, el déficit hídrico en las plantas puede afectar otros parámetros de la floración como el diámetro de la inflorescencia, el largo de la inflorescencia, el diámetro de la flor y largo del pedicelo (Gilbertz *et al.*, 1984; Lieth & Burger, 1989; Kiehl *et al.*, 1992). Otros autores sugieren en cambio que un déficit moderado podría mejorar la formación de botones florales (Silber *et al.*, 2007; Sharp, 2009), aunque el efecto del déficit hídrico en la floración y en el crecimiento de las partes florales será dependiente del momento en el que se produce el mismo (Chimonidou-Pavlidou, 1999).

### **1.7 Estrategias de riego para controlar el crecimiento vegetativo en plantas ornamentales**

Las adaptaciones bio-morfológicas de las plantas bajo déficit hídrico pueden ser manipuladas mediante el manejo de los aportes de agua (De Lucía, 2009) para mejorar la calidad de los cultivos a través de la regulación del crecimiento de los brotes, resultando en plantas más compactas (Cameron *et al.*, 2006). Existen varias técnicas de riego que limitan los aportes de agua y tienen el potencial para controlar el crecimiento vegetativo.

El riego por desecación parcial del sistema radicular (DPR), es una técnica de riego donde una parte del sistema radicular se deja en proceso de desecación mediante la alternancia del riego entre ambas mitades del sistema radicular cada cierto período de tiempo (Dry *et al.*, 1996; Du Toit, 2004; Cameron *et al.*, 2004;

Tortosa, 2008). En muchas especies, se ha comprobado que cuando una parte del sistema radicular se expone a desecación se induce el cierre estomático independientemente del estado hídrico de la hoja. Por lo tanto, se deduce que se pone en marcha un mecanismo de señales químicas raíz-brote que es capaz de inducir un cierre parcial estomático (Cameron *et al.*, 2004). Al mismo tiempo, la parte del sistema radicular adecuadamente regada se encargaría de mantener un estado hídrico favorable en la parte aérea de la planta (Dry & Loveys, 1999). Existen pocos estudios realizados en especies ornamentales cultivadas en contenedores y ha sido efectivo para regular el crecimiento y reducir el consumo de agua de las plantas (Cameron *et al.*, 2004; Cameron *et al.*, 2006; Cameron *et al.*, 2008; Sharp *et al.*, 2009). Sin embargo varios estudios han demostrado que la disminución del crecimiento de las plantas fue menos pronunciada en comparación con otras técnicas de riego (Riego Deficitario y Déficit de Riego Controlado).

El riego deficitario (RD), es otra estrategia de riego que modifica la cantidad de agua aplicada durante todo el ciclo del cultivo de las plantas. Las reducciones en las dosis de agua producen un déficit hídrico suficiente para reducir el crecimiento vegetativo excesivo en numerosas especies ornamentales cultivadas en macetas (Morel, 2001; Cameron *et al.*, 2008) y permite controlar de manera efectiva la altura de las plantas (Brown *et al.*, 1992; Van Iersel & Nemali, 2004; Röber *et al.*, 1995; Cameron *et al.*, 2008). El manejo del riego, mediante una reducción del mismo también economiza el empleo de agua, factor a tener en cuenta en zonas de recursos hídricos limitados (Sach *et al.*, 1992). Otras ventajas que promueve el RD son la disminución del riesgo de enfermedades fúngicas al descender la humedad ambiental que envuelve al cultivo (Pérez-Pastor *et al.*, 2007), la reducción de pérdidas de nutrientes por percolación (Kiehl *et al.*, 1992; Grant, 2013) y el adelanto de la fecha de floración (Cameron *et al.*, 1999; Silber *et al.*, 2007; Sharp *et al.*, 2009). Sin embargo, también presenta algunas limitaciones que pueden condicionar su éxito, como requerir de un conocimiento preciso de la respuesta del cultivo a los distintos niveles de déficit de riego aplicado (Chyliński *et al.*, 2007). Así, un nivel aceptable de riego deficitario puede producir efectos

beneficiosos como plantas más compactas (Cameron *et al.*, 2006), pero, si la restricción de agua es demasiado severa los efectos pueden ser negativos, provocando una disminución importante del valor ornamental debido por ejemplo a una producción de hojas más pequeñas, entrenudos muy cortos y reducciones del número de flores (Sánchez-Blanco *et al.*, 2002; Cameron *et al.*, 1999).

El RD se puede aplicar mediante distintas técnicas de riego que limitan los aportes de agua y pueden ser basadas en las medidas de las características del estado hídrico del sustrato (e.g. contenido de humedad, potencial hídrico, balance hídrico), el estado hídrico del cultivo (e.g. temperatura de la hoja, potencial hídrico foliar) o en la evapotranspiración potencial (Tortosa, 2008). Existen varios trabajos donde la aplicación de riego deficitario se basó en métodos tradicionales como el potencial hídrico del sustrato. Lieth & Burger (1989) en ensayos realizados en *Chrysanthemum*, reportaron que el déficit de riego causó una disminución significativa en la altura de planta con el aumento de la tensión de humedad en el sustrato de 7.5 a 15 kPa, pero se disminuyó el tamaño de las inflorescencias, mientras que Kiehl *et al.* (1992) no observó una disminución significativa en la altura de la planta e informó que el crecimiento y desarrollo de las flores fueron afectados en los tratamientos de tensión de humedad de 8 a 16 kPa. Halluard *et al.* (1993), trabajando con plantas de *Begonia x elatior* también reportaron una disminución significativa de la altura de planta, pero utilizando tensiones mucho mayores (250 hPa y 500 hPa), donde se vio afectada la floración. Por lo tanto, ha sido muy difícil señalar con precisión los rangos de tensión de humedad del sustrato óptimos para el crecimiento de los cultivos de plantas ornamentales en macetas donde no se vea afectada la calidad de la floración (de Boodt *et al.*, 1974; Röber & Hafez, 1981), y además se observó que es muy dependiente de la especie (Chyliński *et al.*, 2007). En estudios más recientes, distintos grupos de investigación han llevado a cabo trabajos de riego deficitario basado en el contenido de humedad del sustrato. En ellos se observan diferentes respuestas morfológicas de las plantas frente al déficit hídrico en función de los tratamientos de riego aplicados. Chyliński *et al.* (2007) observaron que solo una disminución del 70% del contenido de agua del sustrato a capacidad de contenedor, redujo

ligeramente la altura de la planta de *Impatiens walleriana*, pero disminuyó significativamente el número de flores por planta. Por otro lado, Álvarez *et al.* (2009) en *Dianthus caryophyllus* informaron que solo una reducción del 35% del contenido de agua del sustrato fue suficiente para regular la altura de la planta y mantener la calidad ornamental del cultivo. Asimismo, hay estudios muy escasos donde los tratamientos de riego deficitario se han basado en las medidas del estado fisiológico del cultivo, como el potencial hídrico foliar (Gilbertz *et al.*, 1984). Sin embargo, es un método que requiere de mediciones e instrumentos muy precisos (Álvarez, 2011). Incluso, hay estudios donde los tratamientos de riego deficitario se basaron en aplicar un porcentaje de la evapotranspiración. Por ejemplo, Cameron *et al.* (1999) demostraron que solo una sequía severa basada en el 25% de la ETp, puede ser usada como un medio para reducir el crecimiento y mejorar la calidad de *Rhododendron* en el punto de venta y De Lucía (2009) informó que con valores de 50% de ETp sería suficiente para regular la altura de las plantas de *Eremophila glabra* y *Eremophila nivea*.

El déficit de riego controlado (DRC) es una estrategia de riego desarrollada durante los años 1973 a 1978 en el cultivo del duraznero, por el equipo del Profesor David J. Chalmers (Chalmers *et al.*, 1981; Mitchell & Chalmers, 1982) y fundamentada en el uso del déficit hídrico para controlar el crecimiento vegetativo sin reducir el tamaño del fruto (Tortosa, 2008). El DRC tiene un enfoque más fisiológico que el riego deficitario (RD) ya que contempla tanto la fenología del cultivo como su capacidad para resistir situaciones de déficit hídrico (Domingo *et al.*, 2005). El principio más importante de la técnica de DRC se basa en que la sensibilidad de la planta al déficit hídrico no es constante durante todo el período de crecimiento, y que el déficit hídrico aplicado en períodos específicos puede ser beneficioso en términos de ahorro de agua (Torrecillas *et al.*, 1996; Girona *et al.*, 2005). En las últimas décadas, el DRC se ha utilizado en un elevado número de especies no ornamentales como el damasco, almendro, avellano, limonero, mandarino, mango, manzano, durazno, naranjo, níspero, nogal, olivo, pistacho y vid (Chalmers *et al.*, 1981; Naor *et al.*, 1995; Domingo *et al.*, 1996; Marsal *et al.*, 1997; Moriana & Fereres, 2002; Girona *et al.*, 2005; Pérez-Pastor *et al.*, 2007;

Cooley *et al.*, 2008; Tortosa, 2008; Rubio, 2012). En el transcurso de la última década, se ha informado que el DRC tiene potencial comercial para reducir el crecimiento excesivo en especies ornamentales (Cameron *et al.*, 2006; Sharp *et al.*, 2009). Sin embargo, su aplicación hasta el momento ha recibido una atención limitada y los trabajos sobre déficit de riego controlado en plantas ornamentales en macetas son escasos (Álvarez, 2011). Algunos autores (e.g. Cameron *et al.*, 2006) hablan sobre el DRC pero realmente el cambio de fase no se realiza con algún criterio basado en el estado fisiológico de la planta (Álvarez 2011). Por el contrario, Álvarez *et al.* (2009) realizaron un trabajo en *Dianthus caryophyllus* en el que estudiaron los efectos del riego deficitario impuesto en diferentes fases del ciclo del cultivo, reportando que solo el déficit de agua aplicado durante la fase vegetativa disminuyó la altura y no tuvo efectos perjudiciales sobre la calidad de la flor.

### **1.8 Uso del riego deficitario y déficit de riego controlado en plantas de *Pelargonium x hortorum***

Como se ha informado, en las plantas ornamentales en maceta se puede aplicar distintas técnicas de riego que limitan los aportes de agua y mejoran la calidad de las plantas. La técnica más utilizada en plantas en macetas de *Pelargonium x hortorum* es el riego deficitario (RD), mediante la aplicación de restricciones de agua durante todo el ciclo del cultivo, se observaron diferentes respuestas de crecimiento y floración en función de la intensidad en que se aplica el déficit de riego. Dentro del RD se encuentran los ensayos llevados a cabo por Röber *et al.* (1986) donde evaluaron la influencia de diferentes niveles de suministro de agua en plantas de la variedad 'Schöne von Grenchen' y observaron que solo el suministro ajustado de forma continua (a través de tensiómetros) en la presión de succión de 30 hPa, disminuyeron el crecimiento y mejoraron la calidad de las plantas. En investigaciones posteriores, Andersson (2001) aplicó distintos tratamientos de riego basados en la disminución en el peso de la maceta con y sin compensación por aumento en el crecimiento de las plantas de la variedad 'Maverick'. Observo que la altura de la planta, el número de hojas, el área foliar y

el peso fresco y seco fueron influenciados significativamente por el régimen de riego. En este trabajo no se evaluó la etapa reproductiva de las plantas de *Pelargonium x hortorum* que constituye una parte importante de la calidad comercial. En una investigación realizada años más tarde, por Chyliński *et al.* (2007) con la variedad 'Deep Red', los tratamientos de riego deficitario se basaron en el contenido de humedad del sustrato y no se encontró diferencias significativas en la altura de las plantas y el número de flores por inflorescencia en los distintos tratamientos de riego deficitario (estrés moderado y estrés severo, 60 y 30% del contenido de agua total del sustrato, respectivamente). Entre estos ensayos de RD, el experimento más relevante fue el realizado por Álvarez (2011) en el que las plantas se sometieron a tres tratamientos de riego: Capacidad de contenedor (control); 60% del control (déficit de riego moderado, MDI) y 40% del control (riego deficitario grave, SDI). El riego deficitario indujo una disminución del peso seco, área foliar y un aumento en la relación raíz/tallo. La altura y el diámetro de la planta se inhibieron significativamente por el tratamiento SDI, mientras que los parámetros de color de la flor no se vieron afectados. Los resultados obtenidos pusieron en manifiesto que un riego deficitario moderado en *Pelargonium x hortorum* reduce el consumo de agua, mientras que se mantiene una buena calidad general de las plantas.

Álvarez (2011) aplicó una estrategia de riego diferente al RD, utilizó el déficit de riego controlado (DRC) como técnica de aplicación del déficit hídrico. Las plantas fueron sometidas a cuatro tratamientos de riego: un control, regado hasta alcanzar el 100% del peso de la maceta en base a su peso a capacidad de campo durante todo el ensayo; y uno de riego deficitario continuo, RD, regado al 70% del control; otro de riego deficitario controlado, RDCI, regado al 70% del control hasta alcanzar la fase de floración y al 100% desde la fase de floración hasta finalizar el ensayo; Y un cuarto tratamiento de riego deficitario controlado, RDCII, regado al 100% durante todo el ensayo excepto durante fase de floración donde se regó al 70% del control. Independientemente del momento de aplicación del riego deficitario, se observó una disminución del peso seco aéreo, número de hojas, área foliar y se produjo un aumento del cociente peso seco raíz/peso seco aéreo

de las plantas de geranio. Sin embargo, la altura, el diámetro de la planta y la intensidad de la floración fueron menor en el tratamiento RDC II. Por lo tanto, la reducción de estos parámetros no solo dependen de la cantidad de agua aplicada a la planta, sino también del momento en el que se aplique la reducción del riego.

Aunque existen trabajos sobre riego deficitario en *Pelargonium x hortorum* como una alternativa viable para controlar la altura de las plantas y regular el crecimiento en otras partes del mundo, las metodologías empleadas en la aplicación del riego deficitario basadas en métodos como el balance hídrico de la maceta o el cálculo de la evapotranspiración potencial empleadas en estos trabajos, son de dificultosa implementación en producciones comerciales. Asimismo, la información generada sobre el efecto de la aplicación del déficit de riego en distintos momentos y/o fases del desarrollo de la planta de *Pelargonium* sobre la calidad final, son escasas. Por tanto es esencial conocer los momentos y/o fases más críticas al déficit de riego para el cultivo, en los que una reducción de agua podría condicionar la calidad de la planta. Poder disponer de esta información permitirá elaborar propuestas de manejo del cultivo de *Pelargonium x hortorum* utilizando el déficit de riego como una alternativa al uso de reguladores de crecimiento químico.



## **HIPOTESIS**

La aplicación del déficit de riego puede ser utilizado para controlar el crecimiento de *Pelargonium x hortorum* para reemplazar o disminuir el uso de reguladores de crecimiento químicos.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto del déficit de riego en plantas de *Pelargonium x hortorum* como una alternativa al uso de reguladores de crecimiento en la industria de producción de plantas ornamentales bajo invernadero en los alrededores de Buenos Aires.

### **Objetivos específicos**

- Estudiar la respuesta en el crecimiento y desarrollo de plantas en macetas de *Pelargonium x hortorum* en condiciones de invernáculo expuestas a diferentes niveles de déficit de riego.
- Estudiar y comparar el efecto de diferentes niveles de déficit de riego y el uso de reguladores de crecimiento sobre la arquitectura de las plantas, la floración y otros parámetros de calidad ornamental de *Pelargonium x hortorum*.
- Evaluar el efecto de la aplicación de diferentes niveles de déficit de riego en diferentes momentos del cultivo, durante el crecimiento y desarrollo de plantas en macetas de *Pelargonium x hortorum*.
- Determinar el nivel y el momento óptimo de aplicación del déficit de riego para la producción de plantas de *Pelargonium x hortorum* de calidad.
- Generar información para la elaboración de futuras estrategias de riegos deficitarios que permitan variar la cantidad de agua conforme a las necesidades de cada etapa fenológica de *Pelargonium x hortorum*, bajo las condiciones de cultivo de los alrededores de Buenos Aires, con el fin de controlar el crecimiento y obtener plantas más compactas y de mayor calidad.

## **CAPÍTULO 2**

**Efectos de distintos niveles de déficit de riego en el  
crecimiento vegetativo y en la floración de  
*Pelargonium x hortorum***



## CAPÍTULO 2

### **Efecto de distintos niveles de déficit de riego en el crecimiento vegetativo y en la floración de *Pelargonium x hortorum***

Se ha demostrado en distintas especies que el déficit de riego es una herramienta eficaz para controlar el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Röber & Horn, 1993). Sin embargo, la utilización de esta herramienta requiere de un adecuado conocimiento del efecto que distintos niveles de déficit de riego pueden ocasionar en cada caso particular para evitar que parámetros ornamentales sean afectados de manera negativa (Chyliński *et al.*, 2007). En este experimento se diseñaron diferentes tratamientos de déficit de riego variando la cantidad de agua aportada durante todo el ciclo del cultivo, con el objetivo de analizar la respuesta morfológica de las plantas de *Pelargonium x hortorum* e identificar los cambios producidos en los distintos parámetros de calidad comercial.

Se espera que a partir de los resultados de este experimento se pueda obtener información de importancia para elaborar estrategias de uso del déficit de riego sin afectar negativamente la calidad ornamental de la planta.

#### **2.1 Materiales y Métodos**

##### 2.1.1 Material vegetal y condiciones experimentales

Los ensayos se implantaron el 5 de julio de 2012 en el Instituto de Floricultura ubicado en Hurlingham (34° 36' latitud, 58° 40' longitud). Se utilizaron esquejes enraizados de *Pelargonium x hortorum*, cultivar 'fisvulk' (Lazzeri Agricultural Group) con una altura promedio de 6 cm y con 3-4 hojas (Figura 2.1), obtenidos del Vivero Hirose (Escobar, Provincia de Buenos Aires).



Figura 2.1. Esquejes de *Pelargonium x hortorum*, cultivar 'fisvulk', enraizados en turba con 3-4 hojas y con una altura promedio de 6 cm.

Los esquejes enraizados fueron trasplantados a maceta de 1.200 ml (14 cm de diámetro y 10 cm de altura) con un sustrato compuesto por resaca de río y corteza de pino 1:1 (v/v), desinfectado con vapor. Las características físicas y químicas del sustrato se muestran en el anexo A.

Las plantas fueron cultivadas durante 10 semanas bajo condiciones de invernáculo con una densidad inicial de 49 plantas/m<sup>2</sup>. A las 5 semanas del trasplante se espaciaron a una densidad de 22 plantas/m<sup>2</sup> y finalmente se espaciaron a una densidad de 14 plantas/m<sup>2</sup> a las 8 semanas (Figura 2.2).



Figura 2.2. Vista general de las plantas de geranio dentro de un invernáculo convencional de polietileno durante el periodo experimental.

Se fertilizaron con 100 ml de una solución de 200 ppm de N de nitrato de calcio y 180 ppm de N de un fertilizante NPK 18-18-18 (Hakaphos rojo, Combo) cada 14 días.

Las temperaturas en el invernadero, durante el cultivo fueron registradas diariamente con un termómetro de mercurio de máxima y mínima ubicado aproximadamente a la altura de las plantas y estuvieron entre 12.87 y 27.50 °C.

### 2.1.2 Tratamientos y diseño experimental

Luego de un periodo de aclimatación de dos semanas desde el trasplante, se establecieron 5 tratamientos de déficit de riego para generar 5 niveles de tensión de succión del agua de la maceta:

- T100 (control), regado cuando la tensión de succión en el sustrato llegaba a 100 mbar;
- T200, regado cuando la tensión de succión en el sustrato llegaba a 200 mbar;
- T300, regado cuando la tensión de succión en el sustrato llegaba a 300 mbar;
- T400, regado cuando la tensión de succión en el sustrato llegaba a los 400 mbar;
- Treg, regado junto con las plantas del T100 pero con aplicación de reguladores de crecimiento.

La tensión de succión del agua en las macetas se midió utilizando tensiómetros digitales *Blumat Digital*<sup>®</sup> (Tensio-Technik, Alemania). Estos consistían de un tubo semirrígido de 22 cm de largo y una punta porosa de cerámica que se colocó a una profundidad de 5,5 cm por debajo de la superficie del sustrato, a la mitad de distancia entre la planta y la pared de la maceta (Figura 2.3). Cada tensiómetro estuvo asociado a un grupo de 6 macetas (unidad experimental).

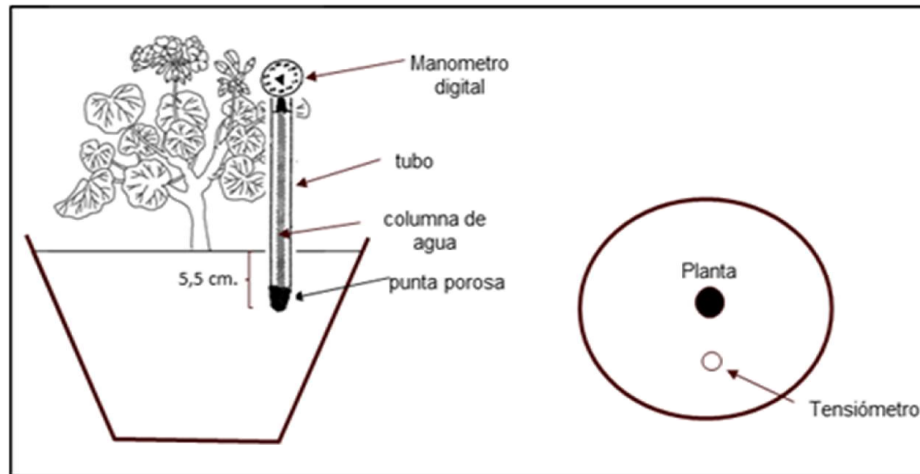


Figura 2.3. Vista lateral (izquierda) y vista superior (derecha) de la posición del tensiómetro en la maceta.

Los niveles de succión medidos por los tensiómetros se controlaron diariamente. Los riegos se realizaban en forma manual en cada maceta de cada tratamiento con 100 ml de agua (cantidad suficiente para llegar a bajar la tensión de succión a 0 mbar), cada vez que el tensiómetro llegaba al valor máximo que se había establecido como límite para el tratamiento. El agua utilizada en los riegos tenía un valor de conductancia de 0.854 mS/cm y un valor de pH de 7.50.

Para la aplicación de reguladores de crecimiento en el tratamiento Treg, se utilizaron prácticas de manejo similares a las usadas por los productores de geranio de los alrededores de Buenos Aires, y consistió en dos pulverizaciones de 350 ppm de Florel (etefón) en el día 1 y 15 de iniciado el ensayo, y 2 aplicaciones de 1.000 ppm de Cicocel (cloromequat) en los días 37 y 44 de iniciado el experimento. Para ello se utilizó un atomizador manual y se pulverizó planta por planta hasta alcanzar el punto de goteo en el follaje.

Los tratamientos fueron asignados utilizando un diseño completamente aleatorizado (DCA), con 3 repeticiones.

### 2.1.3 Determinación del contenido hídrico del sustrato

El contenido de agua del sustrato de las macetas de los distintos tratamientos de déficit de riego se midió previamente al comienzo del experimento.

Para ello se pesó el sustrato húmedo (PH) de 5 macetas por tratamiento y se secó en estufa a 105 °C por 48 horas para determinar su peso seco (PS). El contenido de agua del sustrato fue calculado como:  $PH-PS \times d_a$ , siendo  $d_a$  la densidad del agua (Kämpf *et al.*, 2006).

### 2.1.4 Registro de datos

Desde el comienzo de las restricciones hídricas se registró quincenalmente la altura del follaje (medida desde la base de la maceta hasta la hoja más alta) y largo del tallo principal (medido desde la base del tallo hasta el ápice) (Figura 2.4). Se registraron los días a floración teniendo en cuenta el momento de apertura de la primera flor de la inflorescencia por planta.

Los ensayos se dieron por finalizados 10 semanas posteriores al trasplante (este lapso de tiempo incluyó el ciclo biológico completo de *Pelargonium x hortorum*), momento en el cual, aproximadamente el 80% de las plantas de cada tratamiento finalizó el primer período de floración. El período de finalización de cada pulso de floración en *Pelargonium x hortorum* (que dura entre 4 y 5 semanas) ocurre cuando se comienzan a secar las inflorescencias (Álvarez, 2011). En ese momento, se registró la altura total de la planta (cm, medida desde la base de la maceta hasta la inflorescencia más alta) (Figura 2.4). Además, en cada una de las plantas se observó: número de nudos del tallo principal, diámetro de la base del tallo principal (cm, media de dos dimensiones perpendiculares), diámetro de la planta (cm, media de dos dimensiones perpendiculares), número y longitud de brotes axilares (cm), longitud de pecíolo (cm, medido en 20 pecíolos por planta). La longitud promedio de los entrenudos se calculó dividiendo la altura de tallo principal por el número de nudos. Se registraron parámetros relacionados con la floración como: número de inflorescencias por planta, diámetro de inflorescencia (cm), número de botones florales por inflorescencia (suma de flores abiertas y pimpollos cerrados), diámetros de flores abiertas (cm, medido en 5 flores por planta), largo de pedicelo por planta (cm, medido en 10 pedicelos por planta), largo del pedúnculo por planta (cm) y longitud de inflorescencia por planta (cm, Figura 2.5).



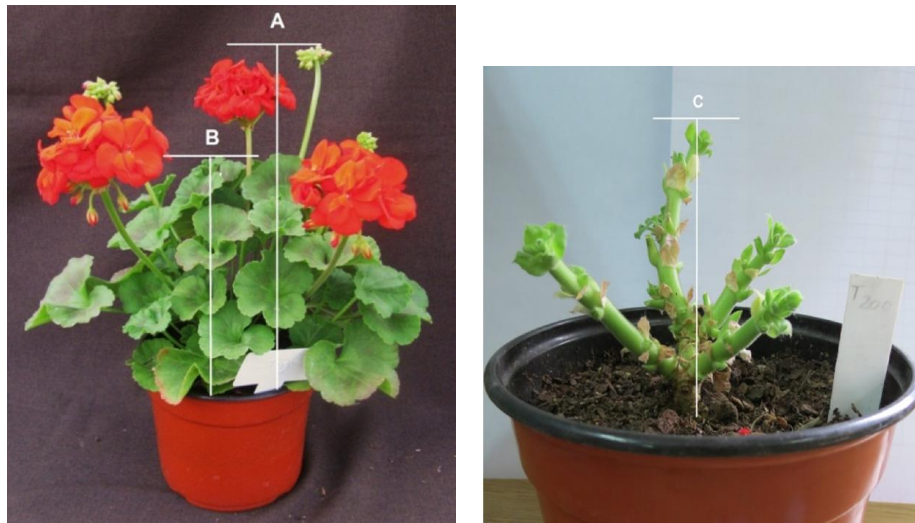


Figura 2.4. Esquema de la medida de altura total de planta (A, izquierda), altura del follaje (B, izquierda) y largo del tallo principal (C, derecha).

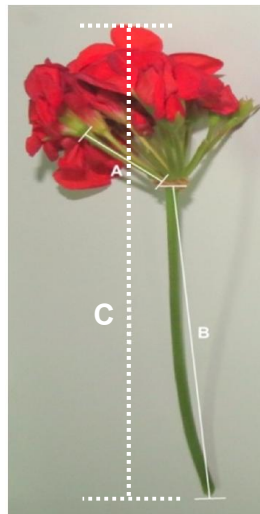


Figura 2.5. Esquema de la medida de largo de pedicelo (A, línea entera), largo del pedúnculo (B, línea entera) y longitud de inflorescencia (C, línea punteada).

Se contabilizó el número total de hojas por planta. Para caracterizar el tamaño de las hojas, se midió el área de la hoja ( $\text{cm}^2$ ) con un medidor de área foliar (Green Leaf Area Meter modelo GA-5, Japón), el ancho de hoja (cm) tomado en la zona más amplia del limbo y el largo de hoja (cm) medida desde la base del peciolo hasta el borde superior de la misma (Tabla 2.1). Con estos datos se

determinaron 3 categorías (Tabla 2.1) y se cuantificó la cantidad de hojas dentro de cada categoría.

Tabla 2.1. Categorías del tamaño de la hoja de *Pelargonium x hortorum* determinadas por el área de la hoja, el ancho y el largo de las mismas.

	Categoría		
	Chica	Mediana	Grande
Área hoja (cm <sup>2</sup> )	< 12,2	12,2-31,8	> 31,8
Ancho hoja (cm)	< 4,5	4,5-7	>7
Largo hoja (cm)	< 2,8	2,8-4,2	> 4,2

Se midió el peso seco de la parte aérea (tallos, hojas, inflorescencia) y raíces. Para ello, el material vegetal se secó en estufa a 80 °C por 48 horas en bolsas de papel y luego se pesaron utilizando una balanza analítica Minolta. Se calculó la biomasa total, obtenida de la suma de los pesos secos de tallo, hoja, flor y raíz (expresada en gramos de peso seco por planta).

Se utilizó el incremento en área foliar y/o en peso seco por unidad de altura como indicador de la compactibilidad de las plantas. Valores altos indican una planta más compacta (es decir, más masa seca o área foliar por unidad de altura) (Van Iersel & Nemali, 2004).

Las determinaciones analíticas del color de hoja y flor se realizaron utilizando un cromámetro Minolta CR300 preparado para brindar informes en el sistema CIE 1976 (L\* a\* b\*). Con los valores L\* a\* b\* se calculó el Croma (C\*) como  $(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$  y el ángulo Hue (h°), calculado como el arcotangente de b\*/a\*. La determinación del color de las flores y las hojas se realizó al final del experimento en 3 flores abiertas y 3 hojas por planta obtenidas del sexto y séptimo nudo y 6 plantas por tratamiento. Las hojas de *Pelargonium x hortorum* presentan una 'zona' característica en el centro del haz y paralela al borde de la hoja, debida a la presencia de antocianinas y puede ser de color negro, castaño, rojo, bronce o carmín (Nessmann, 1998). De esta manera, las mediciones en las hojas se realizaron en dos sectores: centro del haz (CH) y zona exterior (ZE) (Figura 2.6).

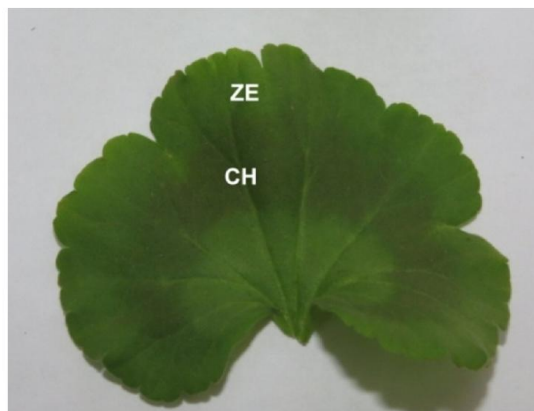


Figura 2.6. Sectores de la hoja de *Pelargonium x hortorum*: Centro del haz (CH) y zona exterior (ZE).

Para evaluar el efecto de los tratamientos de déficit de riego en el contenido hídrico de las plantas, se calculó el contenido relativo de agua (CRA) de los tejidos adaptando la metodología utilizada en *Elaeis guineensis* por Villalobos *et al.* (1990). Para las determinaciones de CRA se utilizaron tres hojas obtenidas del quinto y sexto nudo de 6 plantas por tratamiento. Las hojas se cortaron cerca de las 12.00 horas a nivel del peciolo y se introdujeron en bolsas herméticas a las que se les extrajo el aire antes de ponerlas dentro de una conservadora con hielo. Inmediatamente fueron llevadas al laboratorio donde se registró el peso fresco (PF) de cada hoja con una balanza analítica y se sumergieron en agua destilada por 2 horas. De acuerdo a determinaciones previas, se comprobó que es un tiempo suficiente para que las hojas alcancen la máxima hidratación. Posteriormente las hojas se secaron con papel absorbente y se registró el peso túrgido (PT) de cada una y finalmente se llevaron a estufa por 48 horas a 80 °C para registrar el peso seco (PS). El CRA se calculó de acuerdo a Kramer & Boyer (1995) mediante la fórmula:  $CRA = (PF - PS / PT - PS) \times 100$ .

#### 2.1.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico de los resultados se efectuó mediante el programa estadístico infostat 2008. Los registros se sometieron al análisis de variancia (ANOVA) y se utilizó la prueba de Tukey para evaluar diferencias entre las medias de los tratamientos, con un nivel de significancia del 5%.

## 2.2 Resultados y Discusión

Se utilizaron tensiómetros de maceta para establecer límites en el valor de la tensión de succión de cada tratamiento. Midiendo el contenido de agua del sustrato para cada tratamiento se observó que podían asociarse a un contenido de agua mínimo en el medio de cultivo (Figura 2.7). A medida que el contenido de agua del sustrato disminuyó con los tratamientos de riego, la tensión de succión aumento debido a que el agua fue retenida más fuertemente en los poros más pequeños y por ello el agua disponible para las plantas fue menor (Vence, 2008).

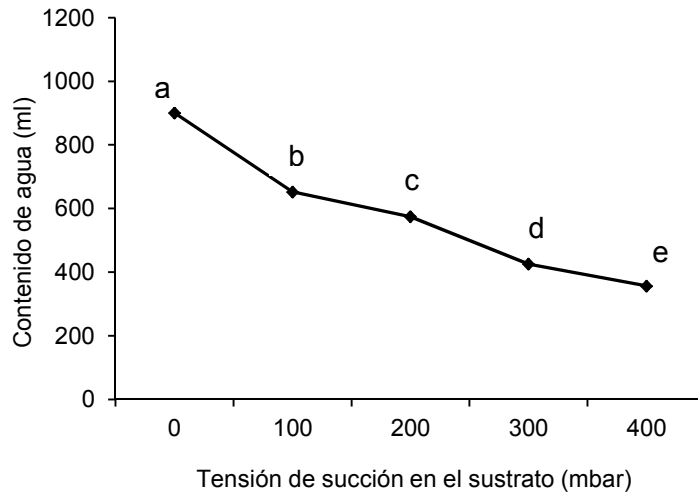


Figura 2.7. Variación del contenido de agua en el sustrato en macetas de 1200 ml de capacidad, en relación a diferentes niveles de tensión de succión. Letras distintas representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

En este experimento se utilizaron macetas de 1.2 litros con un sustrato de 89% de porosidad total. A capacidad de contenedor (0 mbar de tensión) el sustrato tuvo un contenido de agua de 900.87 ml, descendiendo a 652.23 ml, 574.29 ml, 425.59 ml y 356.45 ml a los 100, 200, 300 y 400 mbar de tensión respectivamente.

El diseño de los tratamientos hizo que, a lo largo del ciclo de cultivo, las plantas recibieran distintas cantidades de agua total, siendo de 4200 ml por maceta en los tratamientos T100 (control) y Treg (con aplicación de reguladores de crecimiento), descendiendo a 2000, 1500 y 1000 ml por maceta en los tratamientos de déficit de riego T200, T300 y T400, respectivamente (Figura 2.8).

De esta manera, los valores totales de agua aportada, se redujeron significativamente ( $P < 0.0001$ ) en los tres tratamientos de riego deficitarios T200, T300 y T400 en un 52.38, 65.08 y 74.60%, respectivamente.

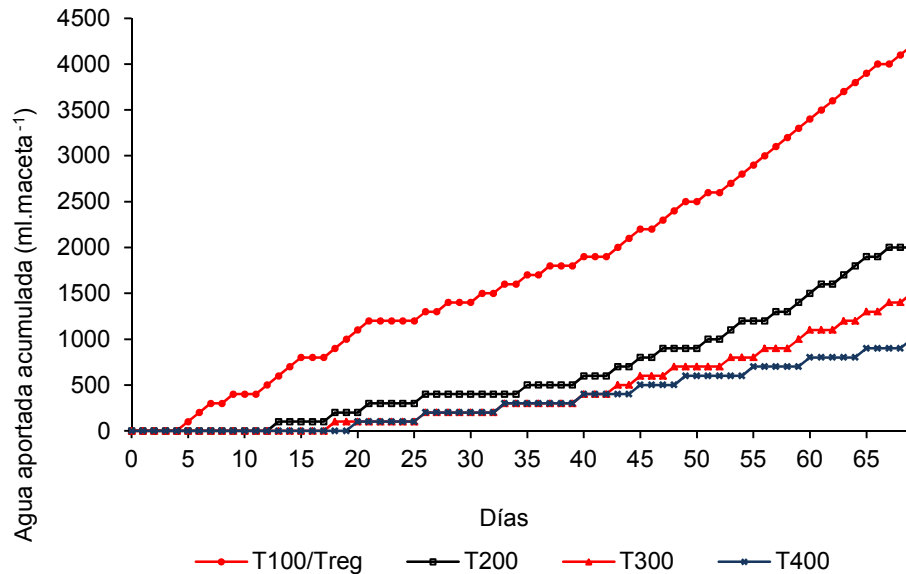


Figura 2.8. Agua total aportada con el riego a lo largo del período experimental en los distintos tratamientos de déficit de riego en plantas en macetas de *Pelargonium x hortorum*.

Debido a los distintos límites de tensión de succión definidos para cada tratamiento de riego, el nivel de humedad del sustrato fue variable. El sustrato disminuyó su contenido de agua entre riegos, pero repuso este contenido en cada irrigación, lo que resultó en ciclos de déficit de riego que variaron en su duración a lo largo del experimento debido a las condiciones ambientales (e.g. temperatura e irradiancia) y al estado ontogénico del cultivo.

Para verificar que las tensiones de succión definidas en los tratamientos de riego fueron efectivas para establecer cambios en el estado hídrico de las plantas, se midió el contenido relativo de agua (CRA). Este índice estima la cantidad actual de agua del tejido de la hoja de la muestra en relación al contenido de agua máximo que puede contener en estado de plena turgencia (Barrs & Weatherley, 1962; Villalobos *et al.*, 1990; Yamasaki & Dillenburg, 1999; Medina, 2007), y ha

sido utilizado con buenos resultados como indicador del estado hídrico de numerosas plantas ornamentales (Bargali & Tewari, 2004; Rodríguez *et al.*, 2005; Cameron *et al.*, 2006; Hassanein & Dorion, 2006; Chyliński *et al.*, 2007; González *et al.*, 2009; Álvarez, 2011).

Las plantas de *Pelargonium x hortorum* expuestas a los diferentes niveles de tensión de succión mostraron una disminución significativa en el contenido relativo de agua con respecto a las plantas del tratamiento control (Figura 2.9), confirmando que los tratamientos utilizados fueron efectivos para establecer distintos estados hídricos en las plantas. Las plantas con aplicación de reguladores de crecimiento (RC) que tuvieron el mismo régimen de riego que las plantas del T100 (control), no mostraron diferencias significativas en el CRA con el control.

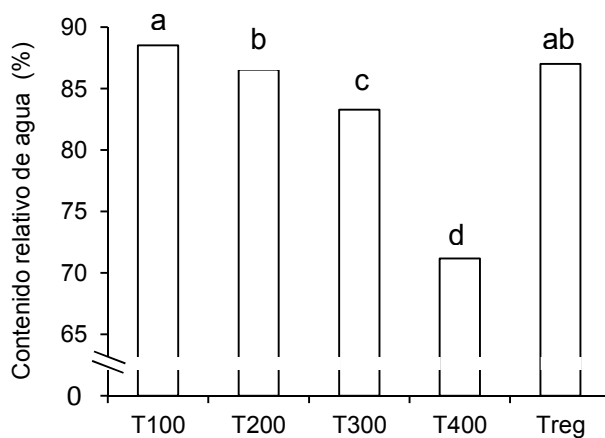


Figura 2.9. Contenido relativo de agua (CRA) en hojas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

Dependiendo del sustrato utilizado, en la mayoría de las especies se reportan síntomas de marchitamiento cuando el CRA medido en las hojas, alcanza valores entre 60 y 70% (Lugojan & Ciulca, 2011). Este valor es similar al medido en las plantas cultivadas con una tensión de 400 mbar en este experimento, que mostraron una disminución muy marcada del valor de CRA y presentaron signos de marchitamiento en los tejidos de las hojas (plegamiento de las hojas, necrosis

en los bordes y cambio de color y brillo). Estos síntomas fueron observados también por Lieth & Buerger (1993) en plantas de geranio en situaciones de déficit de riego severos. La tensión de succión de 400 mbar por lo tanto, podría considerarse bajo estas condiciones como una situación extrema no apta para un cultivo de plantas de *Pelargonium* con fines ornamentales.

### 2.2.1 Efecto de los niveles de déficit de riego y reguladores de crecimiento sobre la arquitectura de la planta

La altura total de la planta de *Pelargonium x hortorum* ha sido definida de diferentes formas a lo largo de los años. Algunos autores han tomado la altura de la planta sólo hasta la parte superior de las hojas (Hamza *et al.*, 1981; Röber *et al.*, 1986; Tayama & Carver, 1990; Cox, 1991; Tayama & Carver, 1992), mientras que otros consideran que la altura de la planta debe incluir la altura de las inflorescencias (Miranda & Carlson, 1980). En esta tesis se quiso distinguir el efecto del déficit de riego en distintos componentes de la calidad de la planta de manera que se tomaron y midieron las dos alturas, por un lado la altura de follaje y por otro lado la altura total que toma en cuenta asimismo a la altura de las inflorescencias.

La altura del follaje se redujo significativamente al final del experimento en todos los tratamientos evaluados con respecto al tratamiento control (Figura 2.10). La aplicación de tensiones de succión de 300 y 400 mbar redujeron la altura del follaje entre un 15.53 a 19.14% y fueron tan efectivos como el uso de reguladores de crecimiento (RC) para reducir la altura, mientras que la aplicación de 200 mbar provocó una reducción menos pronunciada (7.83%). La aplicación de una tensión de succión de 200 mbar no disminuyó la altura total con respecto al tratamiento control al final del experimento (Figura 2.10). Por el contrario, la altura total disminuyó en un 11.71 y 25.85% en los tratamientos donde se aplicaron 300 y 400 mbar de tensión. En este contexto, la menor altura total de la planta se observó con la aplicación de 400 mbar de tensión y fue similar a las plantas con aplicación de RC.

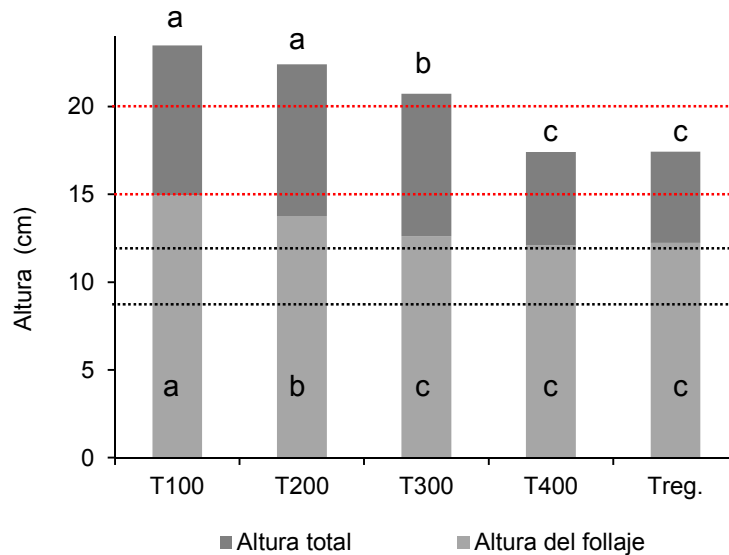


Figura 2.10. Altura total de planta y altura del follaje al final del experimento de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de cada color indican diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P < 0.05$ ). Las líneas punteadas de color rojo indican el límite máximo y mínimo de la altura de la planta deseable. Las líneas punteadas de color negro indican el límite máximo y mínimo de la altura del follaje deseable.

Reportes previos muestran resultados variables del efecto de la aplicación de déficit de riego en el cultivo de *Pelargonium x hortorum*. Por ejemplo, Álvarez (2011) reportó una reducción de la altura de 16.86 y 27.16% cultivando plantas con contenidos de agua en el sustrato equivalentes al 60 y 40% de capacidad de contenedor respectivamente, mientras que Chyliński *et al.* (2007) no encontró diferencias significativas en la altura de las plantas cultivadas hasta con un 30% de capacidad de contenedor de agua en el sustrato. Sin embargo debe mencionarse que estos resultados no son estrictamente comparables con los datos de esta tesis debido a que las diferentes variedades utilizadas en estos experimentos pueden contribuir a esta variabilidad de resultados (Henson *et al.*, 2006; Chyliński *et al.*, 2007) así como también las condiciones ambientales de temperatura y humedad ambiental registradas durante los mismos, la longitud y diseño de los experimentos (Röber *et al.*, 1986; Röber & Horn, 1993; Andersson, 2011). Además, las características propias del sustrato hacen que un mismo contenido hídrico expresado en porcentaje de la capacidad de contenedor se



traduzca en una mayor o menor tensión dependiendo de las características físicas del sustrato (Röber & Horn, 1993). La medición de la tensión de succión es una forma más concreta de medir un tratamiento de déficit de riego ya que expresa la tensión con que está retenida el agua y que debe superar la planta para tenerla disponible (Kiehl *et al.*, 1992; Tortosa, 2008).

La reducción de la altura de la planta debido al déficit de riego también se ha informado para otras especies de plantas ornamentales como: *Euphorbia pulcherrima* (Mata *et al.*, 2006), *Cyclamen persicum* (Röber *et al.*, 1986), *Tagetes erecta* (Brown *et al.*, 1992), *Begonia x elatior* (Halluard *et al.*, 1993), *Dendranthema x grandiflorum* (Röber *et al.*, 1995), *Impatiens hawkeri* (Morel, 1997; Latimer & Oetting. 1998), *Dianthus caryophyllus* (Álvarez *et al.*, 2009), *Eremophila glabra* y *E. nivea* (De Lucía, 2009), entre otras. No obstante, Kiehl *et al.* (1992) no observaron un efecto significativo del déficit de riego en la altura de *Chrysanthemum* y Andersson (2011) en *Impatiens walleriana* y *Petunia x hybrid*.

Diversos autores mencionan que la altura óptima de una planta de *Pelargonium x hortorum* de buena calidad comercial debería ser entre 1.5 a 2 veces la altura de la maceta utilizada (Sachs *et al.*, 1976; Pérez-López *et al.*, 2005), y se menciona que es deseable que la altura del follaje no supere el 60% de la altura total de la planta (Christensen & Friis, 1987). Siguiendo estos lineamientos se definió un rango de altura total de 15 cm a 20 cm para las plantas cultivadas en este experimento, con una altura de follaje entre 9 a 12 cm. Solo las plantas cultivadas con 300 y 400 mbar de tensión de succión y las que fueron cultivadas con aplicación de RC estuvieron dentro de este rango de altura total y de altura de follaje deseable (Figura 2.10 y 2.11).



Figura 2.11. Efecto de los tratamientos de riego deficitario y aplicación de RC en la altura total de planta y altura del follaje de *Pelargonium x hortorum* al final del ensayo. Planta con aplicación de RC (Treg), planta testigo (T100) y plantas con riego deficitario (T200, T300 y T400).

Las disminuciones en la altura del follaje de las plantas de los tratamientos de 300 y 400 mbar de tensión y de las plantas con aplicación de RC se observaron a partir del día 29 de iniciado el experimento ( $P < 0.0001$ , Figura 2.12). Sin embargo las plantas cultivadas con 200 mbar de tensión disminuyeron la altura del follaje recién a los 57 días ( $P < 0.0001$ ).

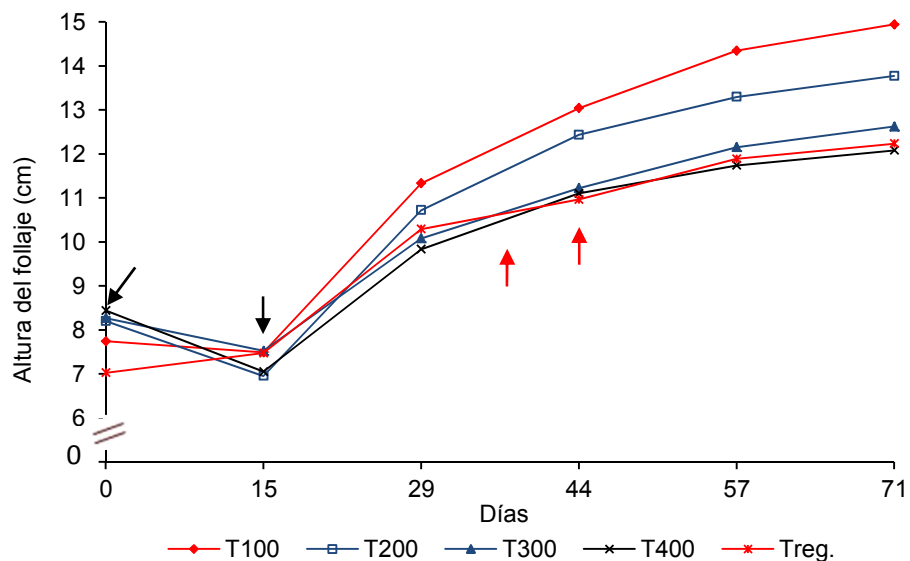


Figura 2.12. Evolución de la altura del follaje de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Las flechas de color negro indican los días de aplicación de etefón y las flechas de color rojo los días de aplicación de cloromequat.

La altura del follaje está definida por la altura del tallo y de los pecíolos de las hojas. A su vez, la altura del tallo está determinada por la cantidad de nudos y el largo de los entrenudos. Para evaluar cuál fue el efecto de los tratamientos en estos componentes de la altura del follaje se los midió por separado al final del experimento.

La altura del tallo tuvo el mismo comportamiento que la altura del follaje, siendo menor en los tratamientos T300, T400 y Treg con respecto al tratamiento control (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Altura final del tallo principal, número de nudos, largo promedio de entrenudo, largo de pecíolos y diámetro del tallo en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Altura del tallo (cm)	Número de nudos	Largo de entrenudos (cm)	Largo de pecíolos (cm)	Diámetro del tallo (cm)
T100	8.66 a	14.93 a	0.58 a	5.05 a	1.00 a
T200	8.33 ab	13.38 b	0.58 a	4.67 b	1.03 a
T300	7.29 bc	12.31 bc	0.55 ab	4.53 b	0.91 ab
T400	6.75 c	11.85 c	0.51 ab	4.04 c	0.82 b
Treg	6.65 c	14.92 a	0.47 b	4.36 bc	0.85 b

La disminución en el crecimiento del tallo solía ser considerado como el resultado de la pérdida de turgencia de las células, necesaria para la elongación de éstas en el proceso de crecimiento (Sharp, 1996; 2002) y ha sido reportado en otras plantas ornamentales cultivadas con déficit de riego (Morel, 2001; Mata *et al.*, 2006; Silber *et al.*, 2007; Sharp *et al.*, 2009). Sin embargo, diversos estudios han demostrado que el crecimiento puede ser inhibido a potenciales de agua bajos a pesar del completo mantenimiento de la turgencia (e.g. Michelena & Boyer, 1982). Esta relación sugiere que la inhibición del crecimiento puede ser regulado a través de mensajeros químicos sintetizados en las raíces, como el ácido abscísico (ABA) que se transporta a los brotes a través de los vasos del xilema (Sharp *et al.*, 1996; Sharp *et al.*, 2000). Este aumento de la concentración de ABA en el xilema se ha sugerido que puede controlar la actividad de las enzimas de la pared celular

y por lo tanto la determinación de la tasa de expansión de los brotes en condiciones de déficit hídrico (Robertson *et al.*, 1990; Saab *et al.*, 1990; Zhang & Davies, 1990; Sharp *et al.*, 1994; Bacón *et al.*, 1998).

Sólo las plantas cultivadas bajo los diferentes niveles de déficit de riego tuvieron un menor número de nudos por tallo respecto de las plantas del tratamiento control, mientras que el largo promedio de los entrenudos solo fue menor en las plantas cultivadas con RC (Tabla 2.2). Todos los tratamientos redujeron de manera similar el largo del pecíolo de las hojas por lo que puede decirse que la disminución de la altura del follaje de las plantas se debió principalmente a una reducción en el número de nudos en plantas cultivadas con riegos deficitarios, y a reducción en el largo de entrenudos en plantas a las que se les aplicó RC. El diámetro del tallo solo se redujo en las plantas del tratamiento T400 y con RC (Tabla 2.2). Las condiciones de las plantas de estos tratamientos (i.e. menor altura con mayor diámetro del tallo) podrían ser beneficiosas disminuyendo el riesgo de quiebre de talos durante el manipuleo y transporte de las plantas (Latimer & Oetting, 1998).

El déficit de riego disminuyó no solo el número de tallos laterales, sino también el largo de los mismos con respecto al control (Tabla 2.3), coincidiendo con lo observado en otras variedades de *Pelargonium x hortorum* (Röber *et al.*, 1986).

Tabla 2.3. Número de tallos laterales y largo de tallos laterales en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Número de tallos laterales	Largo de tallos laterales (cm)
T100	5.00 b	5.55 a
T200	3.75 c	4.21 b
T300	2.92 d	3.46 c
T400	2.46 d	2.46 d
Treg	7.00 a	4.05 bc

En el tratamiento Treg, la aplicación de RC aumentó las ramificaciones laterales en comparación con el control (Tabla 2.3), efecto asociado a la aplicación de cloromequat (Tinoco *et al.*, 2011) y etefón (Bailey & Whipker, 1998) que suprimen la dominancia apical mediante la reducción de la proporción de auxina a citoquinina o etileno, mejorando así la ramificación (Srivastava, 2002). No obstante, el largo de los tallos se redujo significativamente como resultado del efecto del cloromequat en la disminución de los niveles endógenos de giberelina (Rademacher, 1989) y por el efecto generador de etileno endógeno del etefón (Christopher & Erwin, 2012). No se conoce con exactitud la razón por la cual el etileno provoca la reducción de la longitud de los tallos, asimismo varios autores (Weaver, 1976; Lieberman, 1979; Koch & Moore, 1990) indican que regula el crecimiento ya sea mediante la inhibición de la translocación o afectando el metabolismo de la auxina, de alguna manera. Investigaciones más recientes postulan que reorienta los microtúbulos de las células longitudinalmente, junto con las fibras de celulosa que siguen esta misma orientación y promueve de esta manera el crecimiento radial de las células (Matto & Suttle, 1991, citado por Pérez-López *et al.*, 2005). Le *et al.* (2004) postulan que la inhibición de la elongación de la célula parece tener lugar antes de la finalización del proceso de reorientación de los microtúbulos, lo que sugiere que la reorientación podría no ser la causa principal del crecimiento alterado. En las plantas de los tratamientos de déficit de riego, el menor número de tallos laterales, sumado al menor crecimiento de los mismos, provocó un crecimiento más ralo de las plantas, mientras que la aplicación de RC dio como resultado plantas más densas por un incremento en el número de tallos laterales.

El área foliar de las plantas disminuyó en todos los tratamientos respecto al control. La reducción fue del 31.36, 51.12, 71.73 y 31.79% para los tratamientos T200, T300, T400 y Treg, respectivamente (Tabla 2.4). En el tratamiento con tensión de succión de 200 mbar, esta disminución se debió únicamente a una reducción en el número de hojas, sin embargo, en el resto de los tratamientos además se registró una disminución del área foliar promedio de las hojas.

Tabla 2.4. Área foliar, área foliar promedio y número de hojas total de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Área foliar promedio (cm <sup>2</sup> )	Número de hojas total
T100	972.59 a	15.55 a	62.80 b
T200	667.53 b	13.85 ab	49.31 c
T300	475.42 c	12.34 b	39.77 d
T400	274.95 d	8.15 c	34.23 d
Treg	665.40 b	8.98 c	73.62 a

En este experimento, un pequeño aumento de la tensión de succión fue suficiente para reducir el número de hojas coincidiendo con Hassanei & Dorion (2006) que indican que la producción de hojas es uno de los parámetros que primero se reduce cuando desciende la disponibilidad de agua para el cultivo. Sin embargo, Álvarez (2011) sólo observó este efecto en *Pelargonium* ante situaciones severas de déficit de riego, lo que pone de manifiesto posibles diferencias varietales a esta respuesta.

Las plantas de los tratamientos de déficit de riego, presentaron menor número de hojas en las tres categorías definidas con respecto a las plantas testigo (Figura 2.13). El uso de RC provocó un aumento del número de hojas del tamaño más chico y disminuyó el número de hojas grandes. De igual manera, Barret & Holcomb (1993) observaron una disminución del tamaño de las hojas en plantas de *Pelargonium* debido al empleo de etefón. El efecto preciso del etefón sobre la disminución de la expansión celular en las hojas hasta la fecha, sigue siendo incierto (Tholen *et al.*, 2004) y se cree que actúa modificando la extensibilidad de la pared celular a través de la interacción con otras hormonas incluyendo el ácido abscísico (ABA), ácido giberélico (GA) y la auxina (Pierik *et al.*, 2006).

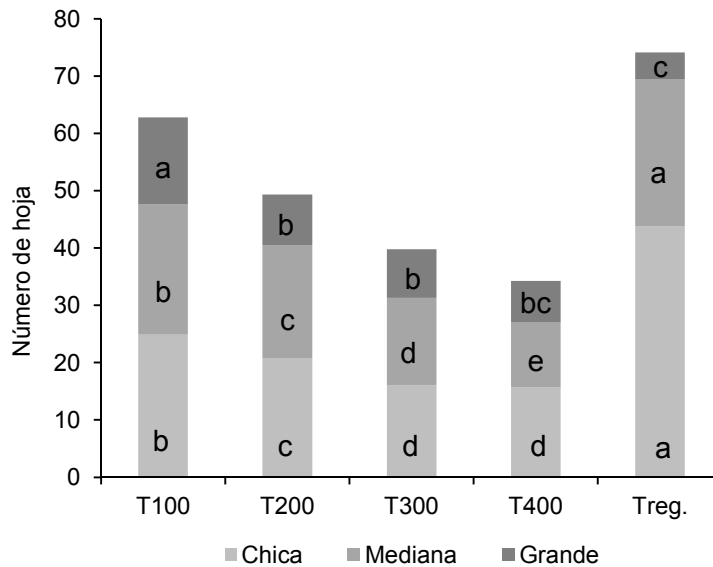


Figura 2.13. Número de hojas separadas por tamaño en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de cada categoría indican diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

Según Larson (1993), el tamaño de las hojas es un parámetro de calidad en plantas de geranio, pero no hay reportes sobre valores que puedan usarse como referencia. En los tratamientos de mayor intensidad de déficit de riego este parámetro de calidad se vio más afectado disminuyendo la calidad ornamental de las plantas de *Pelargonium x hortorum* debido a la reducción del número de hojas de tamaño más grande y mediano. Las plantas con aplicación de reguladores de crecimiento presentaron mayor número de hojas totales que el control, pero estas fueron en mayor proporción de la categoría más chica, lo que ocasionó una disminución de la calidad ornamental.

La reducción del área foliar también ha sido reportado en plantas de *Pelargonium* ante situaciones de déficit de riego (Sánchez-Blanco *et al.*, 2009). Esto respondería a una estrategia importante para las plantas bajo déficit de riego, para reducir las pérdidas de agua cuando los estomas están cerrados (Nowak & Strojny, 1998; Sánchez-Blanco *et al.*, 2002). Las plantas del tratamiento Treg a pesar de tener mayor número de hojas con respecto al tratamiento control, estas fueron en promedio de menor tamaño lo que ocasionó una disminución del área foliar total (Tabla 2.4).

El diámetro de la planta es otro componente de calidad importante en la producción de plantas ornamentales en maceta (Röber & Hass, 1996). Christensen & Friis (1987), sugieren que una planta en maceta con características comercialmente deseables debe presentar un diámetro de planta entre 1.5 a 2 veces el diámetro de la maceta. Por lo tanto, en macetas de 14 cm de diámetro usadas en éste experimento, debería estar entre 21 y 28 cm. Sólo las plantas cultivadas con una tensión de 200 mbar o con aplicación de reguladores de crecimiento estuvieron dentro de este rango definido (Figura 2.14). Plantas cultivadas con tensiones mayores tuvieron una reducción importante en el diámetro de la planta por debajo del límite definido como de calidad para el tamaño de maceta empleado.

Se ha observado una disminución del diámetro de la planta en una amplia variedad de plantas ornamentales cuando son cultivadas con distintos niveles de déficit de riego (Röber *et al.*, 1986; Halluard *et al.*, 1993; Röber & Hass, 1996; Álvarez *et al.*, 2009; Álvarez, 2011). Al ser un componente de calidad importante en la producción de plantas en maceta, debe prestarse atención cuando se utiliza cualquier alternativa que regule el crecimiento de la planta de manera de afectar lo mínimo posible este parámetro.

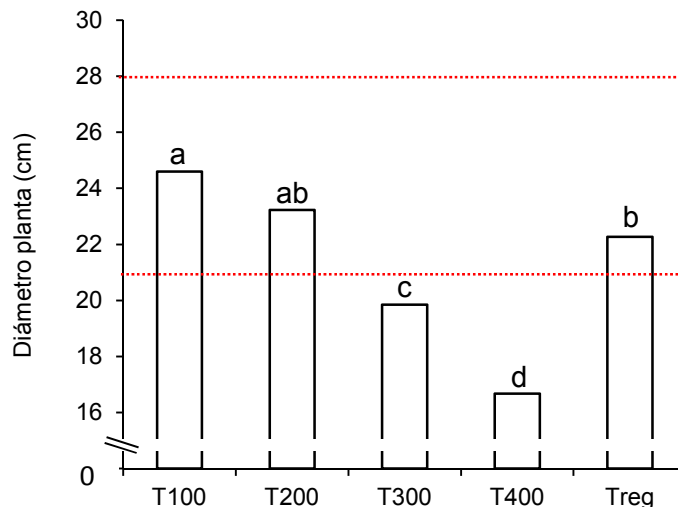


Figura 2.14. Diámetro de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).



La compactibilidad es un parámetro de calidad de la planta, y se puede medir a partir de distintos índices de crecimiento. En general se considera la relación entre la altura y diámetro de la planta (Álvarez, 2011). Sin embargo, muchas veces estos parámetro no expresan lo mismo (Van Iersel & Nemali, 2004). Por ello, se utilizaron como índices de compactibilidad el aumento en área de la hoja y peso seco por unidad de altura, en lugar de sólo una reducción en la altura de las plantas (Van Iersel & Nemali, 2004). El área foliar y el peso seco por unidad de altura de la planta disminuyó linealmente con la disminución del contenido de humedad en el sustrato (Figura 2.15). Esto indica que el déficit de riego no resultó en plantas más compactas sino en plantas más pequeñas. La aplicación de RC produjo plantas más compactas sólo teniendo en cuenta el incremento en peso seco por unidad de altura (Figura 2.15). No se observó en este caso mayor compactibilidad respecto a la relación del área foliar por unidad de altura debido a que como se mencionara más arriba, ambos componentes de este índice disminuyeron respecto a las plantas del tratamiento control.

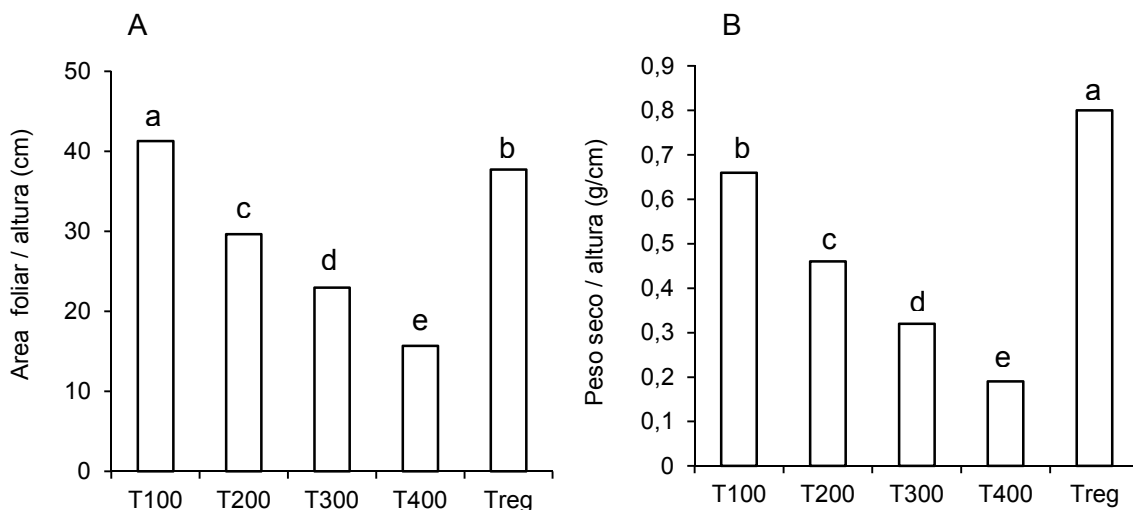


Figura 2.15. Índices de compactibilidad definido como la relación entre el área foliar por unidad de altura total de planta (A) y la relación de peso seco por unidad de altura total de planta (B) para plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 2.2.2 Efecto de los niveles de déficit de riego y reguladores de crecimiento sobre la floración

Se observó un adelantamiento de cuatro días en el tiempo a floración de las plantas cultivadas con mayores niveles de déficit de riego (300 y 400 mbar) con respecto al tratamiento control (Figura 2.16). Con 200 mbar de tensión de succión el tiempo a floración no fue afectado. Este tipo de respuesta también ha sido observado en otras especies, sin embargo, distintos reportes indican que el tiempo a floración puede ser retrasado, adelantado o bien no variar dependiendo de la especie, el cultivar y el nivel de déficit de riego aplicado (Ebell, 1967; Gilbertz *et al.*, 1984; Southwick & Davenport, 1986; Crisosto *et al.*, 1992; Cameron *et al.*, 1999; Silber *et al.*, 2007; Sharp *et al.*, 2009).

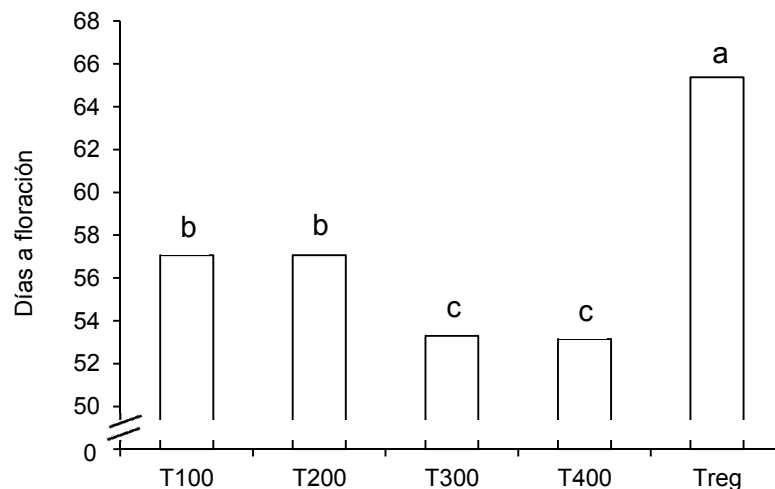


Figura 2.16. Días a floración de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

Numerosos autores han sugerido que el adelantamiento de la floración puede estar relacionado al nivel de intensidad del déficit de agua percibido en la hoja (Kozlowski & Pallardy, 2002). Sin embargo, investigaciones donde sólo una parte del sistema de las raíces se sometió a secado del suelo indicaron que un nivel crítico de déficit hídrico en la hoja no es necesario para estimular la floración

(Munns & King, 1988). Por ello, actualmente se relaciona a la detección de la disminución de la humedad del suelo por las raíces con la síntesis de mensajeros químicos o cambios en el transporte de estos (Crisosto *et al.*, 1992). El mensajero químico más estudiado es el ácido abscísico (ABA) que se acumula a altas concentraciones en las hojas y los tallos de las plantas en respuesta al déficit hídrico (Sharp, 2002) y ha sido demostrado que promueve la iniciación floral en *Pharbitis nil* (Maeda *et al.*, 2000). En otras especies sin embargo, se ha observado que la mayor concentración de ABA en respuesta a situaciones de déficit hídrico provocó el efecto contrario inhibiendo la floración (King & Evans, 1977). Los efectos del ABA en la inducción floral por lo tanto permanecen ambiguos y son muy específicos de la especie estudiada (Sharp *et al.*, 2009). De igual modo, otras fitohormonas como las citoquininas y giberelinas (GA) han sido reportadas en concentraciones fisiológicamente significativas en extracciones de la savia del xilema de la raíz en las plantas bajo déficit hídrico (Browning, 1973a; 1973b) y son promotoras de la floración (Bernier *et al.*, 1993; Jacobsen & Olszewski, 1993), por lo que el efecto sobre este parámetro podría estar determinado por un balance de distintas fitohormonas más que responder específicamente a una sola (Bernier *et al.*, 1993; Bernier, 1988).

Las plantas con aplicación RC retrasaron la floración en 8 días con respecto a las plantas del tratamiento control (Figura 2.16). El retraso en la floración está típicamente asociado con el etefón (Carpenter & Carlson, 1970; Reed, 1975; Tayama & Carver, 1990; Barret & Holcomb, 1993; Hayashi *et al.*, 2001) y se ha demostrado que causa un retraso en los geranios zonales (Semeniuk & Taylor, 1970; Tayama & Zrebiec, 1987).

El uso de RC incrementó de manera significativa el número de inflorescencias por planta (76.78%, Tabla 2.5), posiblemente asociado al mayor número de tallos laterales (Semeniuk & Taylor, 1970). También se observó que un leve déficit de riego como el del tratamiento T200 produjo un aumento significativo en el número de inflorescencias por planta aunque de menor magnitud (16.33%). Algo similar se observó para el número de flores que se incrementó significativamente cuando se utilizaron RC (Tabla 2.5).

Un déficit de riego moderado podría influir en la intensidad de la floración (cantidad de flores e inflorescencias) mediante una inhibición del crecimiento vegetativo o a través de modificaciones en el balance hormonal (Silber *et al.*, 2007; Sharp *et al.*, 2009; Koshita & Takahara, 2004). Un estímulo a la floración ante aplicaciones de déficit de riegos moderados podrían estar asociados a una respuesta de supervivencia de la planta que percibe cambios desfavorables en el ambiente, pero esta respuesta debería ser confirmada con estudios complementarios ya que el límite del déficit hídrico generado es difícil de determinar y puede tener un efecto contrario cuando el déficit es más intenso (Kozlowski & Pallardy, 2002). Es así que el número de inflorescencias por planta y de flores por inflorescencia disminuyó en plantas sometidas al mayor nivel de tensión de succión (400 mbar, Tabla 2.5). Esta reducción fue del 39.7 y del 47.7% respectivamente, comparado con las plantas del tratamiento control.

Tabla 2.5. Número de inflorescencia por planta y número de flores por inflorescencia en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de succión en el sustrato y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Número de Inflorescencia	Número de flores /inflorescencia
T100	7.53 c	20.92 b
T200	8.76 b	20.88 b
T300	6.00 cd	17.37 b
T400	4.54 d	10.94 c
Treg	13.31 a	27.12 a

En concordancia con nuestros resultados, Sánchez-Blanco *et al.* (2009) observaron en plantas de *Pelargonium x hortorum* una disminución en la intensidad de la floración en tratamientos de déficit de riego severo a causa de una reducción en el número de inflorescencias. Por el contrario, Chyliński *et al.* (2007) no encontraron diferencias significativas en la intensidad de la floración en los diferentes tratamientos de déficit de riego, resaltando una vez más la diversidad de las respuestas dependiendo de las variedades.

El diámetro de la inflorescencia no varió significativamente entre los diferentes tratamientos (Tabla 2.6). Sin embargo, todos los tratamientos redujeron el largo de la inflorescencia, el diámetro de la flor y el largo del pedicelo. La disminución en la longitud del pedúnculo observada en los tratamientos T300, T400 y Treg explica en parte la disminución de la altura total de la planta mencionada previamente (Figura 2.10).

Tabla 2.6. Diámetro de inflorescencia, largo de inflorescencia, largo del pedúnculo, diámetro de la flor y largo del pedicelo en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Diámetro de inflorescencia (cm)	Largo de inflorescencia (cm)	Largo de pedúnculo (cm)	Diámetro de flor (cm)	Largo de pedicelo (cm)
T100	5.52 ab	18.99 a	12.24 b	4.04 a	2.79 a
T200	5.45 ab	16.60 b	13.31 a	3.72 b	2.41 b
T300	6.31 a	15.13 c	11.90 b	3.65 b	2.04 cd
T400	4.94 b	11.73 d	8.94 c	3.13 c	1.88 d
Treg	6.00 ab	12.68 d	8.84 c	3.72 b	2.13 c

### 2.2.3 Efecto de los niveles de déficit de riego y reguladores de crecimiento sobre los parámetros de color

El estudio del color de la flor y la hoja es un parámetro importante de calidad en la producción de plantas de geranio (Larson, 1993). Por ello se hicieron determinaciones de este parámetro en las plantas cultivadas en los distintos tratamientos utilizando el sistema CIE (Comission Internationale de L'Eclairage) que es propuesto para la especificación del color y el más difundido mundialmente. En este sistema el color es caracterizado por tres variables: L, a y b, conocidas como los valores tri-estímulo. El valor de "L" varía desde +100 para blanco, hasta 0 para negro; "a" varía desde +60 para los tonos rojos hasta -60 para los verdes y "b", desde + 60 para los amarillos hasta -60 para los azules. Los valores L, a y b se utilizan para calcular el Cromo ( $C^*$ ) y el ángulo Hue ( $h^\circ$ ). El Cromo marca la saturación del color o intensidad (valores bajos indican colores

mates mientras que los valores altos colores vivos e intensos) y el ángulo Hue marca el color en sí (Mc Guire, 1992).

Los parámetros de color de las flores  $C^*$  y  $h^\circ$  disminuyeron significativamente en el tratamiento T400 y las flores fueron de color rojo más oscuro y opacas; el tratamiento T300 solo disminuyó el parámetro  $C^*$  y las flores mostraron una tonalidad similar pero más opacas, con respecto al tratamiento control. La aplicación de reguladores de crecimiento (RC) no modificó el color de la flor. Una tendencia similar se observó en plantas de *Dianthus* (Álvarez *et al.*, 2009). Sin embargo, Sánchez-Blanco *et al.* (2009) y Álvarez (2011) en plantas de *Pelargonium*, no observaron diferencias en los parámetros  $C^*$  y  $h^\circ$  de la flor por efecto de los tratamientos de déficit de riego.

El incremento de la intensidad de los tratamientos de déficit de riego y el uso de RC redujo el valor de  $C^*$ , disminuyendo de esta manera la intensidad del color de la zona exterior de las hojas. Solo el uso de RC provocó un aumento significativo de  $h^\circ$  dando como resultado un color verde más oscuro de esta zona (Tabla 2.7 y Figura 2.17).

Tabla 2.7. Valores de Cromo ( $C^*$ ) y ángulo Hue ( $h^\circ$ ) del color de las flores, la zona exterior de las hojas y el centro del haz de las hojas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego y aplicación de reguladores de crecimiento. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Flor		Zona Exterior de la hoja		Centro del Haz de la hoja	
	$C^*$	$h^\circ$	$C^*$	$h^\circ$	$C^*$	$h^\circ$
T100	92.47 a	41.01 a	34.53 a	119.04 c	19.61 c	108.51 c
T200	91.59 ab	40.67 a	31.8 bc	119.54 bc	27.52 ab	118.34 a
T300	90.45 b	40.62 a	32.32 b	120.59 b	28.09 a	119.1 a
T400	86.07 c	39.23 b	30.22 c	119.70 bc	25.73 b	119.02 a
Treg	92.47 a	40.76 a	28.01 d	122.98 a	18.11 c	113.75 b

Las hojas de geranio zonal (*Pelargonium x hortorum*) suelen tener una 'zona' característica en el centro del haz y paralela al borde de las hojas de una coloración verde oscuro, negro, castaño o violácea, dependiendo del cultivar (Nessmann, 1998). A esta característica el geranio le debe su nombre (Alonso-

Gómez, 2002). Los tratamientos con déficit de riego provocaron un aumento de los valores de  $C^*$  y  $h^\circ$  de la zona central de las hojas y resultaron ser de color verde oscuro y con mayor intensidad en comparación con las hojas de las plantas control (Tabla 2.7 y Figura 2.17). El uso de RC solo aumento significativamente el valor de  $h^\circ$  y la zona fue de color verde más oscuro. Resultados similares (igual color, menor brillo) fueron observados por Álvarez (2011) en *Pelargonium x hortorum*. Sin embargo en ensayos posteriores en plantas de *Callistemon citrinus* (Álvarez *et al.*, 2013b) encontró diferencias significativas en ambos parámetros.

El color de las hojas y las flores se atribuye a varios pigmentos, incluyendo las clorofilas, carotenoides, flavonoides y betalaínas (Lightbourn *et al.*, 2008), que son afectados por numerosos factores como el pH del medio de crecimiento, las condiciones ambientales (intensidad luminosa, temperatura), presencia de patógenos (Asen, 1976; González *et al.*, 1999), y son muy específicos de la especie estudiada y el cultivar (Shoji *et al.*, 2007). Este comportamiento explicaría las variaciones en los parámetros de color de las flores y las hojas de las diferentes especies y cultivares de *Pelargonium* de las diversas investigaciones, ante un déficit de riego.

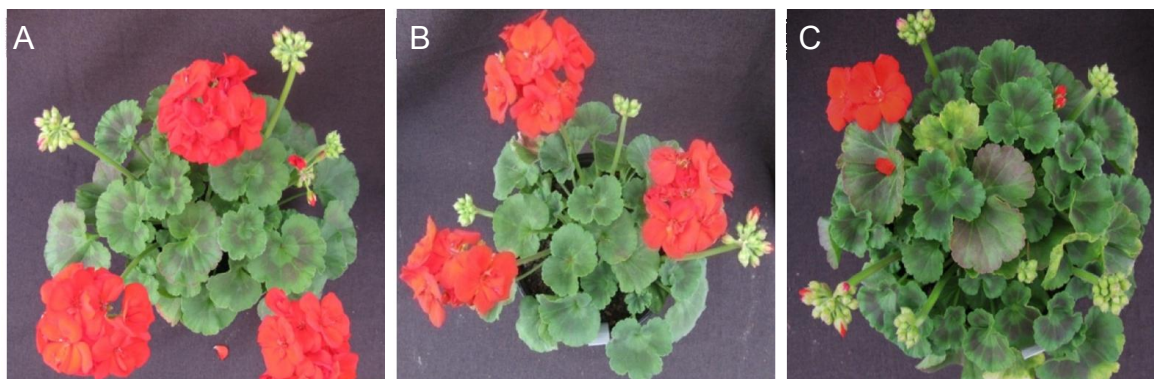


Figura 2.17. Aspecto del color de las hojas de *Pelargonium x hortorum* de plantas testigos (A), con déficit de riego (B) y con aplicación de reguladores de crecimiento (C), al final del experimento.

En resumen, los resultados obtenidos en este experimento sugieren que el déficit hídrico provocado por la aplicación de niveles de déficit de riego resultó ser un factor decisivo para el crecimiento y desarrollo de plantas de *Pelargonium x*

*hortorum* cultivadas en maceta. La reducción general del crecimiento de las plantas fue proporcional al nivel de déficit de riego aplicado, sin embargo no se observaron diferencias significativas en todos los parámetros estudiados. Los resultados obtenidos en este experimento, en concordancia con los obtenidos por Van Iersel & Nemali (2004), indican que la elongación del tallo principal, y por lo tanto la altura de la planta, son menos sensibles al déficit de riego que por ejemplo, la expansión de la hoja. Al parecer, en condiciones de déficit de riego, las tasas de crecimiento en el tallo principal y partes estrechamente asociadas con el vástago son mayores en comparación con aquellas partes más alejadas del tallo (e.g. los tallos laterales) (Van Iersel & Nemali, 2004). Sin embargo, valores de tensión de succión en el sustrato de 300 mbar serían suficientes para controlar la altura total de planta y altura del follaje, en valores comparables a los obtenidos con la aplicación de reguladores de crecimiento (RC), y por lo tanto mejorar estos parámetros de calidad ornamental. Sin embargo se observó la existencia de un efecto negativo en otros parámetros de la calidad como el diámetro de la planta, la compactibilidad y el número de hojas que hacen a la arquitectura de la planta y por ello deben ser tenidos en cuenta. Asimismo, el adelanto en la floración debe ser considerado en el momento de definir los programas de producción y en este caso sería una característica ventajosa económicamente porque reduciría los tiempos de producción y consecuentemente los costos. El tratamiento de riego deficitario basado en la tensión de succión de 400 mbar redujo tanto la altura total de planta como la altura del follaje con efectos negativos en el valor ornamental de las plantas debido a una disminución de todos los parámetros de calidad (e.g. diámetro de la planta, número de tallos laterales, área foliar, número de inflorescencias) por lo que no sería un valor aceptable para utilizarlo como herramienta de regulación del crecimiento. Tensiones de succión en el sustrato de 200 mbar no fueron suficientes para controlar la altura total de planta y la altura del follaje dentro de los parámetros definidos (según el tamaño de maceta utilizado) aunque mejoró otros parámetros de calidad como por ejemplo, la intensidad de la floración.



## **CAPÍTULO 3**

**Efecto del momento de aplicación de los distintos niveles de déficit de riego en el crecimiento vegetativo y en la floración de *Pelargonium x hortorum***



## CAPÍTULO 3

### **Efecto del momento de aplicación de los distintos niveles de déficit de riego en el crecimiento vegetativo y en la floración de *Pelargonium x hortorum***

Los tratamientos de riego deficitario en el estudio anterior se aplicaron en forma continua durante todo el ciclo del cultivo. Los resultados obtenidos indicaron que el uso del déficit de riego fue efectivo para disminuir la altura de la planta. Sin embargo, dependiendo de la intensidad del déficit de riego empleado se observaron en algunos casos, efectos negativos en otros parámetros de calidad ornamental de la planta. A fin de contar con mayor información respecto al uso de esta herramienta y para poder estudiar alternativas que permitan su uso y aplicación minimizando los efectos negativos en los distintos componentes de la calidad, se plantea la necesidad de estudiar el efecto de estos niveles de déficit de riego cuando son aplicados en distintos momentos del ciclo del cultivo.

#### **3.1 Materiales y Métodos**

##### 3.1.1 Material vegetal y condiciones experimentales

Se emplearon 135 esquejes enraizados de *Pelargonium x hortorum* cultivar 'fisvulk' (Lazzeri Agricultural Group) con las características iniciales similares a las plantas descritas en el capítulo 2. Las plantas se trasplantaron el 18 de julio de 2012 bajo las mismas condiciones y en el mismo invernáculo descrito en el apartado 2.1.1.

Las temperaturas en el invernadero durante el cultivo fueron registradas con la misma metodología que el ensayo anterior, y se encontraron entre 13.50 y 27.15 C°.

### 3.1.2 Tratamientos y diseño experimental

Luego de un periodo de aclimatación de dos semanas desde el trasplante, se evaluaron tres niveles de déficit de riego determinados por la tensión de succión en el sustrato: 200, 300 y 400 mbar. Los mismos se aplicaron en tres momentos diferentes durante el ciclo de cultivo: inicio (I, semana 1), mitad de ciclo (M, semana 4 que coincidió con el inicio de la fase de floración), y avanzado (F, semana 7, estado de floración avanzada). De esta manera se establecieron 9 tratamientos combinando nivel de déficit de riego y momento de aplicación: 3 de riego deficitario continuo aplicados desde el inicio de los ensayos (T200I, T300I y T400I, 3 de riego deficitario controlado aplicados desde la semana 4 de iniciado el experimento, T200M, T300M T400M y 3 de riego deficitario controlado aplicados a partir de la semana 7, T200F, T300Fy T400F.

La tensión de succión del agua en las macetas se midió con tensiómetros digitales *Blumat Digital*<sup>®</sup> utilizando la misma metodología descrita en el apartado 2.1.2. Cada tensiómetro estuvo asociado a un grupo de 5 macetas con una planta cada una. Se controlaron los niveles de succión medidos por los tensiómetros diariamente y se regó en forma manual cada maceta de cada tratamiento con 100 ml de agua (cantidad suficiente para llegar a bajar la tensión de succión a 0 mbar), cada vez que el tensiómetro llegaba al valor máximo que se había establecido como límite para el tratamiento. El agua utilizada para los riegos tenía un valor de CE de 0.854 mS/cm y un valor de pH de 7.50.

Se consideró fase de floración cuando el 80% de las plantas que se encontraban con el riego ajustado a 100 mbar de tensión de succión retenida en la maceta, presentaron botones florales visibles, esto sucedió a las 4 semanas de iniciar el experimento (Figura 3.1).



Figura 3.1. Botones florales visibles de plantas de *Pelargonium x hortorum*.

Los tratamientos se asignaron utilizando un arreglo factorial, considerando como factores los niveles de déficit de riego determinados por la presión de succión en el sustrato (200, 300 y 400 mbar) y los momentos de comienzo de aplicación del déficit de riego (inicio del ensayo, semana 4 y semana 7), en un diseño completamente aleatorizado (DCA), con 3 repeticiones. Cada repetición consistió en un grupo de 5 macetas con una planta cada una.

### 3.1.3 Registro de datos

Desde el inicio de los tratamientos y cada dos semanas se midió la altura del follaje (cm) y largo del tallo principal (cm), desde el comienzo de las restricciones hídricas. Al finalizar los ensayos se registró la altura total de la planta (cm, apartado 2.1.4).

Se registraron los días a floración (apartado 2.1.4). Se dio por finalizado los ensayos a las 10 semanas, en base a los criterios mencionados en el apartado 2.1.4. En ese momento, en cada una de las plantas, se registró: número de nudos del tallo principal, diámetro de la base del tallo principal (cm), número y longitud de brotes axilares (cm), longitud de peciolo (cm, medido en 10 peciolos por planta), longitud promedio de los entrenudos. Además, se registraron parámetros relacionados con la floración como número de inflorescencias por planta, diámetro de inflorescencia (cm), número de flores por inflorescencia (suma de flores abiertas y pimpollos cerrados), diámetros de flores abiertas (cm, medido

en 5 flores por planta), largo de pedicelo (cm, medido en 10 pedicelos por planta), largo del pedúnculo (cm) y longitud de inflorescencia por planta (cm). Las mediciones se realizaron según lo descrito en el apartado 2.1.4.

Se contabilizó el número total de hojas por planta, se las clasificó en 3 categorías según los tamaños establecidos en el apartado 2.1.4 y se cuantificó la cantidad de hojas en cada categoría.

Se midió el área foliar por planta (LA) con la ayuda de un medidor de área foliar (Green Leaf Área Meter modelo GA-5).

Se evaluó el crecimiento en biomasa seca de los distintos órganos de la planta (tallo, hojas, raíces e inflorescencias) al final del ensayo en 5 plantas por tratamiento utilizando la metodología descrita en el apartado 2.1.4.

Al final del ensayo se determinaron los parámetros relacionados con el color de hoja y flor, en 3 flores abiertas y 3 hojas por planta obtenidas del sexto y séptimo nudo en 5 plantas por tratamiento. La descripción de las coordenadas de color y la metodología utilizada se explican detalladamente en el apartado 2.1.4.

Se utilizó el incremento en área foliar y/o en peso seco por unidad de altura como indicador de la compactibilidad de las plantas (Van Iersel & Nemali, 2004).

La determinación del contenido relativo de agua de los tejidos se realizó de acuerdo al apartado 2.1.4 en tres hojas por planta obtenidas del quinto y sexto nudo, de 5 plantas por tratamiento.

#### 2.1.4 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la diferencia entre las medias de los tratamientos se comparó mediante la prueba de Tukey para un nivel de significancia del 5% (Infostat, 2008).

### 3.2 Resultados y Discusión

Las plantas cultivadas con una tensión de 200 mbar aplicada a partir de la semana 7 de iniciado el experimento recibieron las mayores cantidades de agua, siendo de 3.400 ml por maceta (Figura 3.2). El consumo de agua del resto de los tratamientos fue menor y dependió del nivel de déficit de riego y el momento

a partir del cual se comenzó aplicar. El diseño de los tratamientos hizo que en algunos casos si bien la cantidad de agua total aportada con el riego fue similar (e.g. 200M con 400F) el nivel de déficit de riego y el momento a partir del cual se comenzaron a aplicar, fue diferente.

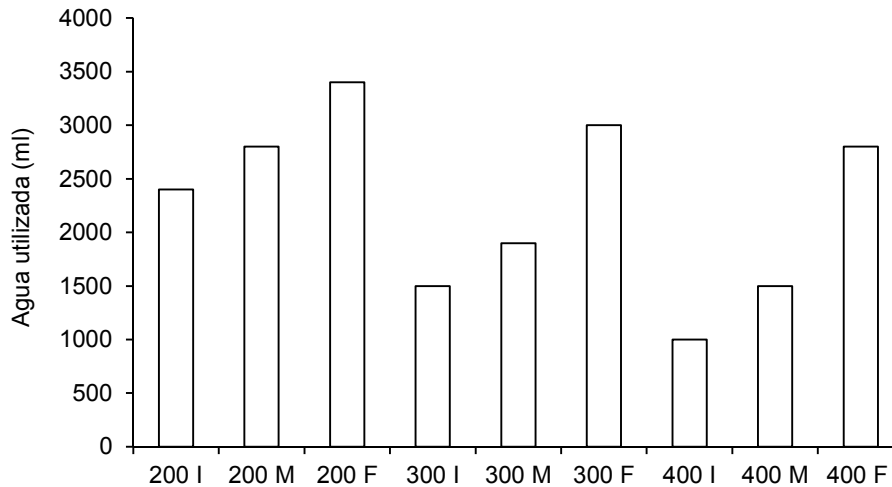


Figura 3.2. Cantidad de agua aportada a lo largo del período experimental en los distintos tratamientos en plantas en macetas de *Pelargonium x hortorum*, al final del experimento.

En los diferentes tratamientos de riego realizados en este experimento, se midió el contenido relativo de agua (CRA) de las hojas para evaluar si los niveles de déficit de riego utilizados fueron efectivos para establecer cambios en el estado hídrico de las plantas (Schonfeld *et al.*, 1988; Villalobos *et al.*, 1992).

Las plantas cultivadas con 200 mbar de tensión aplicada en los tres momentos diferentes, tuvieron similar valor de CRA, alrededor del 85% (Figura 3.3). Las plantas con una tensión de 300 y 400 mbar aplicada desde el inicio de los ensayos y a partir de la semana 7, presentaron valores de CRA similares y cercanos al 83%. Sin embargo, la aplicación de estos niveles a partir de la semana 4 (inicio de la fase de floración) produjo una disminución marcada del valor de CRA de las plantas.

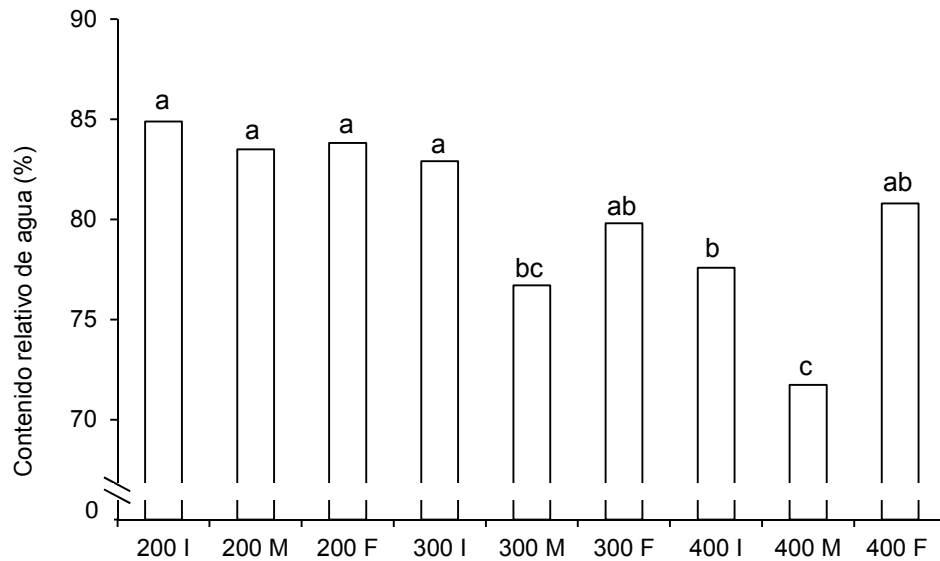


Figura 3.3. Cambios en el contenido relativo de agua (CRA) en hojas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

Álvarez (2011) estudiando otra variedad de *Pelargonium*, encontró un comportamiento similar donde las plantas sometidas a riego deficitario sostenido desde el inicio del experimento tenían mayor CRA que las plantas sometidas a riego deficitario durante la fase de floración. Esto puede atribuirse a que el historial hídrico de las plantas condicionaría el comportamiento en cuanto a la retención de agua por los tejidos foliares debido a cambios en su estructura morfológica y anatómica, favoreciendo la adaptación de las plantas a condiciones hídricas desfavorables y así evitar o minimizar pérdidas de agua (Álvarez, 2011; Chyliński *et al.*, 2007). En distintas especies ornamentales se han observado diversos cambios morfológicos y anatómicos en respuesta a condiciones de déficit de riego como: plegamientos de hojas, aumento de la pilosidad, aumento de la flexibilidad de las paredes, incremento del espesor de las capas de la pared celular externa, entre otras (Dinakar *et al.*, 2012).



### 3.2.1 Efecto del nivel y el momento de aplicación del déficit de riego sobre la arquitectura de la planta

A intervalos regulares de tiempo se registró el crecimiento en altura de plantas de *Pelargonium* cultivadas sin restricción del riego (testigo) y con estos datos se graficó una curva de crecimiento sobre la que se identificaron los momentos en donde se comenzaron a aplicar los tratamientos de déficit de riego (Figura 3.4).

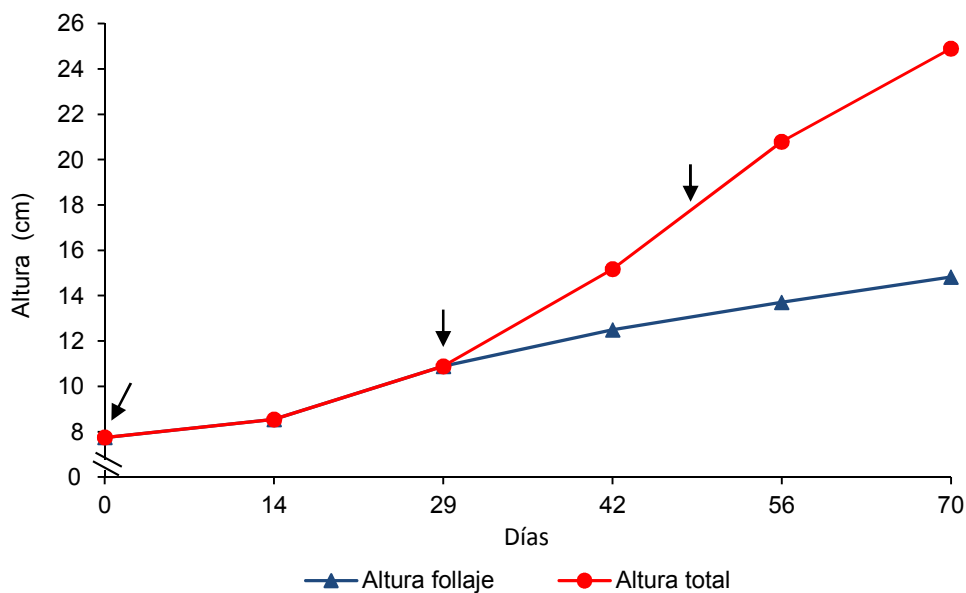


Figura 3.4. Evolución de la altura total y altura de follaje de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas sin déficit de riego (testigo) durante la etapa experimental. Las flechas de color negro indican los momentos de inicio de aplicación de los distintos tratamientos de déficit de riego.

Se puede observar que la semana 4 coincide con el momento en que la altura del follaje está al 50% de su altura final y con el momento de inicio del crecimiento de las inflorescencias. La semana 7 de inicio de los tratamientos se da cuando las inflorescencias están en un crecimiento exponencial y la altura del follaje está prácticamente en su altura final.

Para las plantas de este experimento se definió un rango óptimo de altura de planta entre 15 y 20 cm y una altura de follaje entre 9 y 12 cm, en base a lo definido en el capítulo 2 (página 55). La altura total y la altura del follaje en las

plantas cultivadas con una tensión de 200 mbar aplicado en los tres momentos diferentes (inicio, semana 4 y semana 7 de iniciado el experimento) no variaron significativamente entre sí y fueron en promedio un 12.65 y 13% superior con respecto a la altura total y altura del follaje máxima óptima (Figura 3.5 y 3.6), coincidiendo con los resultados obtenidos en el experimento 1. La tensión de 300 mbar disminuyó la altura total de la planta por debajo del límite máximo óptimo cuando se aplicó desde el inicio del experimento y a partir de la semana 4 pero no fue suficiente para conseguir una altura dentro del rango óptimo cuando el nivel de déficit se aplicó a partir de la semana 7. Algo similar se observó con la altura del follaje para este tratamiento. La tensión de 400 mbar disminuyó la altura total de la planta por debajo del límite máximo en los tres momentos de aplicación pero en este caso, cuando se aplicó desde el inicio la altura final estuvo por debajo del límite mínimo óptimo. Esta observación difiere con los datos del experimento anterior donde las plantas cultivadas con una tensión de 400 mbar aplicada desde el inicio del experimento tuvieron una altura de planta dentro del rango óptimo. Esta diferencia podría deberse a que durante el experimento 2, las plantas estuvieron expuestas a mayores niveles de radiación debido a la época en la que se llevó a cabo, provocando un mayor acortamiento de los tallos. La intensidad de luz puede modificar la arquitectura de las plantas y hay numerosos reportes de disminuciones de la altura de la planta con mayores niveles de radiación durante el cultivo (Bailey & Whipker, 1998; Erwin & Ok, 2001; Mata & Botto, 2011). Es posible pensar en un efecto aditivo del déficit de riego y de la radiación en la altura de las plantas pero deberían realizarse otras experiencias para confirmarlo.

La aplicación de 400 mbar de tensión desde el inicio y a partir de la semana 4 disminuyó la altura del follaje dentro del rango óptimo pero no tuvo el mismo efecto cuando fue aplicado hacia el final del ciclo de cultivo (Figura 3.5 y 3.6).

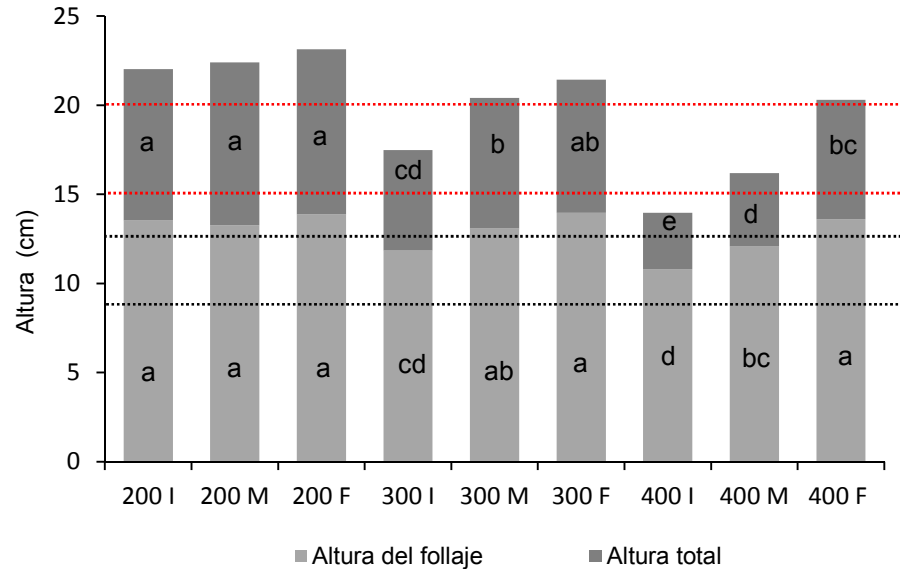


Figura 3.5. Altura total de planta y altura del follaje al final del experimento de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de cada color indican diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P < 0.05$ ). Las líneas punteadas de color rojo indican el límite máximo y mínimo de la altura de la planta deseable. Las líneas punteadas de color negro indican el límite máximo y mínimo de la altura del follaje deseable.

Estos resultados confirman la capacidad del déficit de riego para reducir la altura de planta y de follaje en *Pelargonium x hortorum* como fuera observado en el experimento 1 y en coincidencia con otros autores, especialmente cuando es aplicado en estadios tempranos del ciclo de cultivo. Un comportamiento similar reportaron Gilbertz *et al.* (1982; 1984) en plantas de *Euphorbia pulcherrima*, donde la aplicación de un déficit de riego desde el inicio del experimento redujo la altura de la planta en mayor proporción que la aplicación a partir del momento de inicio de coloración de las brácteas. Sin embargo, Álvarez (2011) observó una reducción muy significativa de la altura total de la planta en el tratamiento de déficit de riego sostenido desde el inicio del experimento y una disminución más acentuada de la altura en las plantas a las que se redujo el aporte hídrico a partir de la fase de floración.

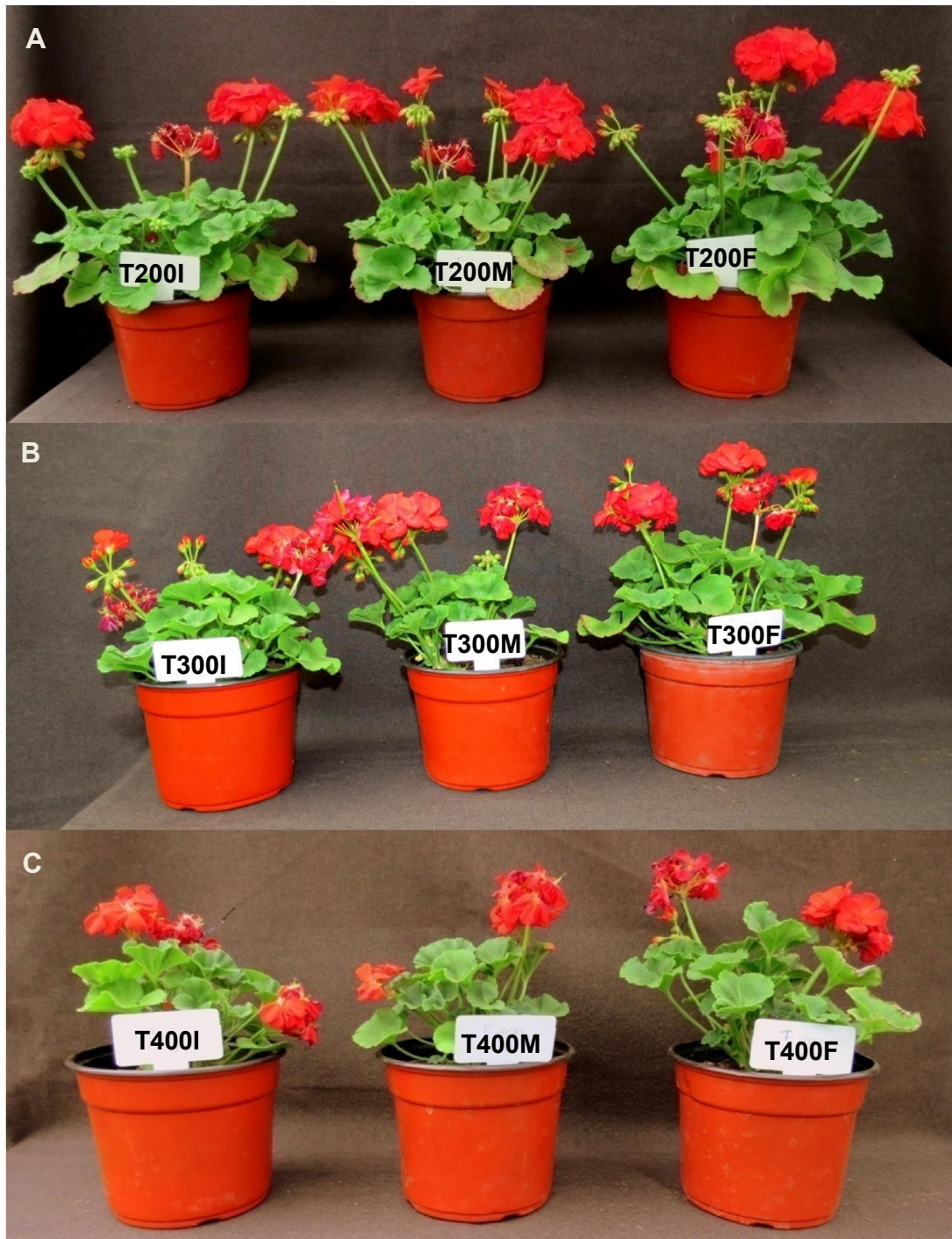


Figura 3.6. Efecto de los tratamientos de riego deficitario en la altura total de planta y altura del follaje en plantas de *Pelargonium x hortorum* al final del ensayo. Planta del tratamiento de déficit de riego de 200 mbar (A, T200), 300 mbar (B, T300) y 400 mbar (C, T400) aplicados a partir del inicio (I), semana 4 (M) y semana 7 (F) de comenzado el experimento.

La disminución en la altura del follaje entre los distintos tratamientos de déficit de riego se detectaron a partir del día 29 de iniciado el experimento ( $P = 0.0022$ , Figura 3.7); los valores más bajos se observaron en las plantas cultivadas con una tensión de 300 y 400 mbar aplicada desde el inicio del experimento. A partir del día 42 se observó una disminución de la altura del follaje de las plantas cultivadas con tensión de riego de 400 mbar aplicada a partir de la semana 4. Las diferencias entre los tratamientos se fueron incrementando hasta el día 56. Luego se mantuvieron constantes hasta el final del experimento a pesar que las plantas continuaron creciendo.

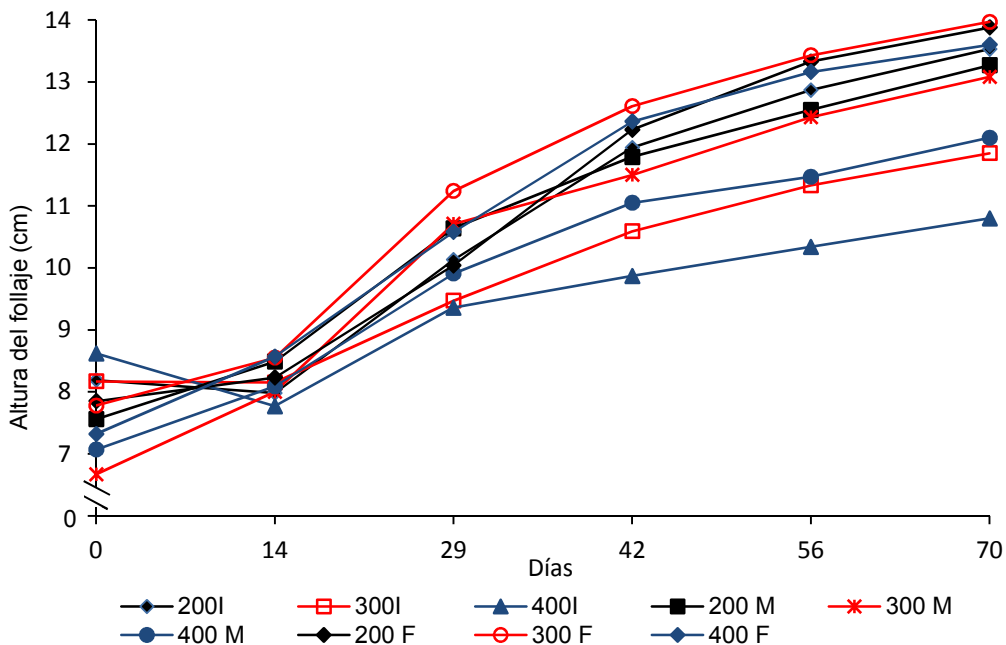


Figura 3.7. Evolución de la altura del follaje de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental.

En *Pelargonium*, la altura del follaje está definida por la altura del tallo y de los pecíolos de las hojas. A su vez, la altura del tallo está determinada por la cantidad de nudos y el largo de los entrenudos. Para evaluar cuál fue el efecto de los diferentes momentos de aplicación de déficit de riego en estos componentes de la altura del follaje se los midió por separado al final del experimento.

La altura final del tallo varió significativamente entre los diferentes tratamientos de intensidad de déficit de riego pero el efecto del momento de aplicación no fue igual en todos los casos (Tabla 3.1). Las plantas cultivadas con el nivel de menor intensidad de déficit de riego (200 mbar) aplicado en los tres momentos diferentes, tuvieron una altura similar del tallo al final del experimento. En los niveles de déficit de riego de 300 y 400 mbar solo hubo diferencias significativas cuando se aplicaron desde el inicio del experimento y con la aplicación a partir de la semana 7. No hubo diferencias significativas cuando se aplicaron desde el inicio con la aplicación a partir de la semana 4. Por lo tanto, la reducción de la longitud del tallo dependió de la intensidad y el momento del ciclo del cultivo en el que se aplicó el déficit de riego, y ha sido reportado un comportamiento similar en otras plantas ornamentales donde los regímenes más severos en déficit de riego dieron lugar a un menor crecimiento del tallo, sobre todo cuando se aplican durante los primeros periodos de crecimiento de la planta (Cameron *et al.*, 2004; Cameron *et al.*, 2006).

Tabla 3.1. Altura final del tallo principal, número de nudos, largo promedio de entrenudo, largo de peciolo y diámetro del tallo en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Altura final del tallo (cm)	Número de Nudos	Largo de entrenudos (cm)	Largo de Peciolo (cm)	Diámetro del tallo (cm)
200 I	8.03 ab	14.80 a	0.54 ab	4.65 ab	1.11 a
200 M	8.01 a b	14.00 ab	0.58 a	4.78 ab	1.11 a
200 F	8.31 a	13.73 abc	0.61 a	5.26 a	1.06 ab
300 I	6.4 bcd	12.33 cd	0.52 ab	3.95 cd	0.87 c
300 M	7.57 abc	12.60 bcd	0.60 a	4.26 bc	0.84 c
300 F	8.26 a	14.00 ab	0.59 a	4.74 ab	0.99 b
400 I	5.11 d	12.00 d	0.43 b	3.53 d	0.80 c
400 M	6.27 cd	11.67 d	0.54 ab	3.83 cd	0.83 c
400 F	7.55 abc	12.86 bcd	0.63 a	4.56 b	1.03 ab

Las plantas cultivadas con una tensión de 200 mbar aplicada en los tres momentos diferentes no variaron significativamente entre sí el número de nudos (Tabla 3.1). En las plantas cultivadas con una tensión de 300 y 400 mbar solo hubo diferencias significativas cuando se aplicaron desde el inicio del experimento con la aplicación a partir de la semana 7. Todos los tratamientos redujeron de manera similar el largo promedio de los entrenudos por lo que las diferencias en la altura final del tallo observadas entre los distintos tratamientos se pueden atribuir al menor número de nudos. El largo de los peciolo siguió un comportamiento similar al número de nudos, por tanto, ambos parámetros fueron los responsables de las diferencias observadas en la altura del follaje en los diferentes tratamientos de riego.

No se encontró diferencias significativas en el diámetro del tallo entre los tres momentos de aplicación dentro del nivel de 200 mbar (Tabla 3.1). En los niveles de 300 y 400 mbar solo se encontró diferencias significativas entre la aplicación desde el inicio y la aplicación a partir de la semana 7. El mayor crecimiento del diámetro del tallo observado en las plantas cultivadas bajo el nivel de 200 mbar en los tres momentos de aplicación y bajo los niveles de 300 y 400 mbar aplicados a partir de la semana 7, podría ser beneficio para tolerar las tensiones durante el transporte y manipuleo de las plantas en la comercialización (Latimer & Oetting, 1998).

Las plantas de *P. x hortorum* produjeron un número variable de ramificaciones laterales dependiendo de los niveles de déficit de riego aplicado y el momento a partir del cual se comenzaron a aplicar (Tabla 3.2). El déficit de riego menos severo (200 mbar) no modificó el número de tallos en los tres momentos de aplicación. Por el contrario, los déficit de riego moderado (300 mbar) y severo (400 mbar) aplicado al inicio del experimento y a partir de la semana 4 produjeron menor número de tallos laterales con respecto a la aplicación a partir de la semana 7.

Las plantas cultivadas con una tensión de 200 y 300 mbar produjeron similares tamaños de tallos laterales en los tres momentos de aplicación mientras

que las plantas cultivadas con 400 mbar de tensión produjeron tallos laterales más largos cuando se aplicó hacia el final del experimento (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Número de tallos laterales y largo de tallos laterales en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Número de tallos laterales	Largo de tallos laterales (cm)
200 I	3.80 bcd	3.69 ab
200 M	4.33 abc	4.30 ab
200 F	4.47 ab	4.48 a
300 I	2.20 e	2.81 cd
300 M	3.27 d	2.80 cd
300 F	4.33 abc	3.58 abc
400 I	2.07 e	1.97 d
400 M	3.47 cd	2.08 d
400 F	4.79 a	3.40 bc

La sensibilidad al déficit de riego de las ramas en relación con la fase de crecimiento, también ha sido reportado en *Leucadendron* cv. Safari Sunset, donde la escasez de agua durante la etapa de crecimiento vegetativo (antes del desarrollo de la cabeza) afectó el número y la longitud de las ramas en comparación con la escasez de agua a partir del desarrollo de la cabeza (Silber *et al.*, 2007).

El área foliar de las plantas disminuyó con el aumento de la intensidad del déficit de riego aplicado a las plantas (Tabla 3.3), en concordancia con los resultados observados en el experimento anterior (capítulo 2, página 62). Sin embargo, los diferentes momentos a partir del cual se comenzaron a aplicar tuvieron un efecto variable dentro de cada tensión evaluada. Las plantas cultivadas con una tensión de 200 y 300 mbar aplicada hacia el final del experimento (semana 7), produjeron mayor área foliar con respecto a la aplicación desde el inicio del experimento y a partir de la semana 4. Las plantas cultivadas



con una tensión de 400 mbar disminuyeron el área foliar a medida que aumentaron el tiempo de exposición al déficit de riego. En los tratamientos con tensión de 200 y 300 mbar, la disminución observada entre los diferentes momentos de aplicación se debió únicamente a una reducción en el número de hojas, sin embargo en los tratamientos con tensión de 400 mbar se debió, además, a una disminución del área foliar promedio de las hojas.

Tabla 3.3. Área foliar, área foliar promedio y número de hojas total de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Área foliar promedio (cm <sup>2</sup> )	Número de hojas total
200 I	680.67 bc	15.09 a	45.20 b
200 M	719.81 b	15.12 a	47.93 b
200 F	830.73 a	14.40 ab	57.60 a
300 I	380.55 de	12.37 bc	31.00 d
300 M	412.18 d	12.67 bc	32.60 cd
300 F	589.86 c	13.31 ab	44.60 b
400 I	202.27 f	8.75 d	23.27 e
400 M	310.95 e	10.54 cd	29.73 d
400 F	444.41 d	12.12 bc	36.79 c

En este experimento, se observó claramente que un pequeño aumento de la tensión de succión y un pequeño aumento del tiempo de exposición de las plantas al déficit de riego fue suficiente para reducir el área foliar, el área foliar promedio y el número de hojas, coincidiendo con Álvarez *et al.* (2013a) que indican que las plantas cultivadas con déficit de riego desde el inicio del experimento tuvieron un menor número de hojas, determinado por una menor producción y un mayor porcentaje de pérdida de las mismas, que las plantas expuestas desde el inicio de la floración, lo que ocasionó una menor área foliar por planta.

La reducción del área foliar hace que las plantas se adapten morfológicamente al déficit hídrico, a fin de evitar la situación de estrés por sequía,

lo que les permite una reducción de las pérdidas de agua por transpiración e inducir un menor consumo cuando los estomas están cerrados (Stanhill & Albers, 1974; Sánchez-Blanco *et al.*, 2002; Rodríguez *et al.*, 2005; Seyed *et al.*, 2012).

Las plantas de los tratamientos de nivel de déficit de riego de 200 mbar presentaron similares números de hojas en las tres categorías de tamaño definidas en los tres momentos de aplicación (Figura 3.8). Sin embargo, en las plantas cultivadas con tensiones de 300 y 400 mbar los diferentes momentos de aplicación del déficit de riego provocaron diferencias en el número de hojas en las tres categorías.

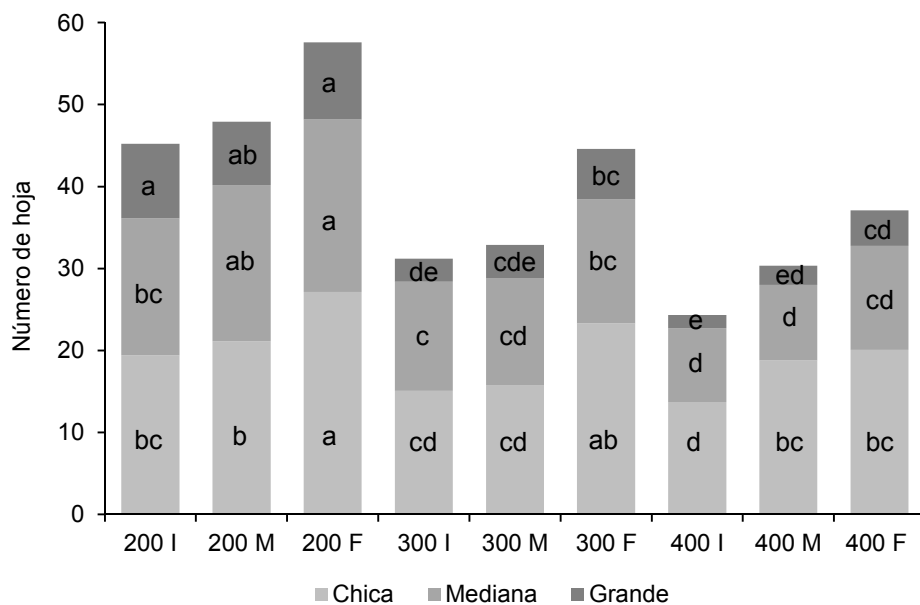


Figura 3.8. Número de hojas separadas por tamaño en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de cada categoría indican diferencias significativas entre tratamientos según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

Según Larson (1993), el tamaño adecuado de las hojas es un parámetro de evaluación de la calidad de plantas de geranio, sin embargo no hay reportes sobre valores que puedan usarse como referencia. El riego deficitario moderado y severo (300 y 400 mbar) aplicados a partir del inicio del experimento y a partir del inicio de la floración (semana 4) disminuyeron en mayor medida, la calidad

ornamental de las plantas de *Pelargonium* debido a la reducción del número de hojas de tamaño grande y mediana.

El diámetro de la planta es un factor de calidad importante y resulta conveniente, en la cadena productiva, obtener plantas de diámetro bajo que ocupen menor espacio durante la producción y el transporte (Hayashi *et al.*, 2001). Pero si la disminución es demasiado severa, los efectos pueden ser negativos, provocando una reducción importante en el valor ornamental y económico de la planta (Cameron *et al.*, 2004). Por tal motivo para las plantas de este experimento se definió un rango óptimo de diámetro de planta entre 21 y 28 cm en base a lo definido en el capítulo 2 (página 64).

Solo las plantas cultivadas con tensión de 200 mbar aplicada en los tres momentos diferentes y las plantas cultivadas con tensión de 300 mbar aplicada a partir de la semana 7, produjeron un diámetro de planta dentro del rango óptimo deseado (Figura 3.9). Los valores obtenidos para el resto de los tratamientos fueron menores que 21 cm, valor mínimo óptimo propuesto

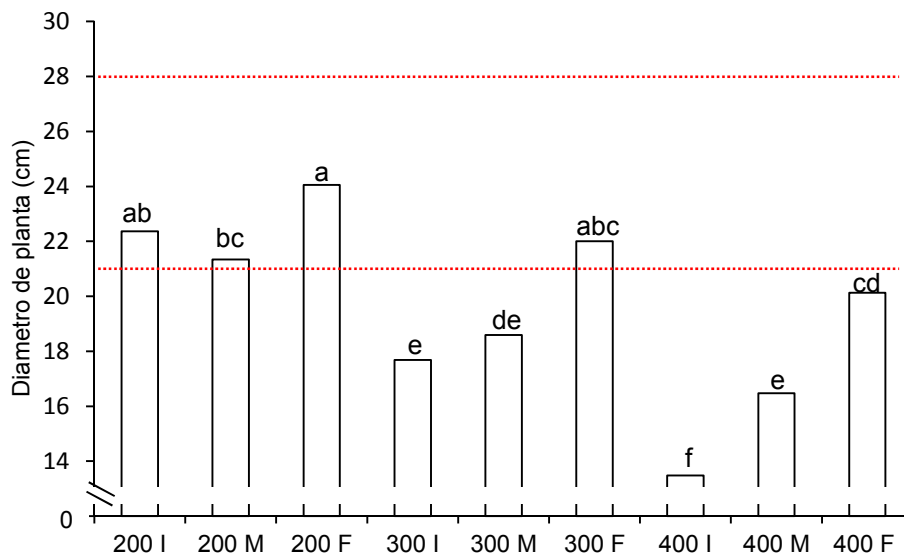


Figura 3.9. Diámetro de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Barras con letras distintas representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

El diámetro de la planta de *Pelargonium* está determinado en gran parte por el tamaño de las hojas y el largo de los pecíolos. La disminución observada en estos parámetros con los tratamientos aplicados en este experimento, provocó una disminución en el diámetro de la planta como fuera observado también en otras especies ornamentales (e.g. Mata *et al.*, 2006). Los resultados anteriores confirman la capacidad de los tres niveles de déficit de riego estudiados en este experimento aplicado en los diferentes momentos del ciclo del cultivo, para reducir el diámetro de la planta de *P. x hortorum*. Sin embargo, al ser un componente de calidad importante en la producción de plantas en maceta, debe prestarse atención cuando se utiliza un déficit de riego moderado y severo (300 y 400 mbar) de manera de afectar lo mínimo posible este parámetro.

La compactibilidad es un parámetro de calidad de la planta y se puede medir a partir de distintos índices de crecimiento. Se utilizaron como índices de compactibilidad el aumento en área de la hoja y peso seco total por unidad de altura de planta (Van Iersel & Nemali, 2004).

El área foliar y peso seco total por unidad de altura de la planta disminuyó con el aumento del nivel de déficit de riego aplicado a las plantas como fuera observado en el experimento anterior (Figura 3.10. A y B). Sin embargo, los diferentes momentos a partir del cual se comenzaron a aplicar el déficit de riego tuvieron un efecto variable dentro de cada tensión evaluada. Las plantas cultivadas bajo la tensión de 200 mbar en los tres momentos diferentes de aplicación, tuvieron un índice de compactibilidad similar. Por el contrario las plantas cultivadas con tensiones de 300 y 400 mbar disminuyeron la compactibilidad cuando se aplicaron desde el inicio del experimento y semana 4 con respecto a la aplicación a partir de la semana 7; esto indica que el índice de compactibilidad fue mayor en las plantas sometidas a déficit de riego a partir de la semana 7.

Claramente se observa que si bien al incrementar el nivel de déficit de riego la compactibilidad es menor, si este se aplica hacia el final del experimento (semana 7), la reducción es menos pronunciada.

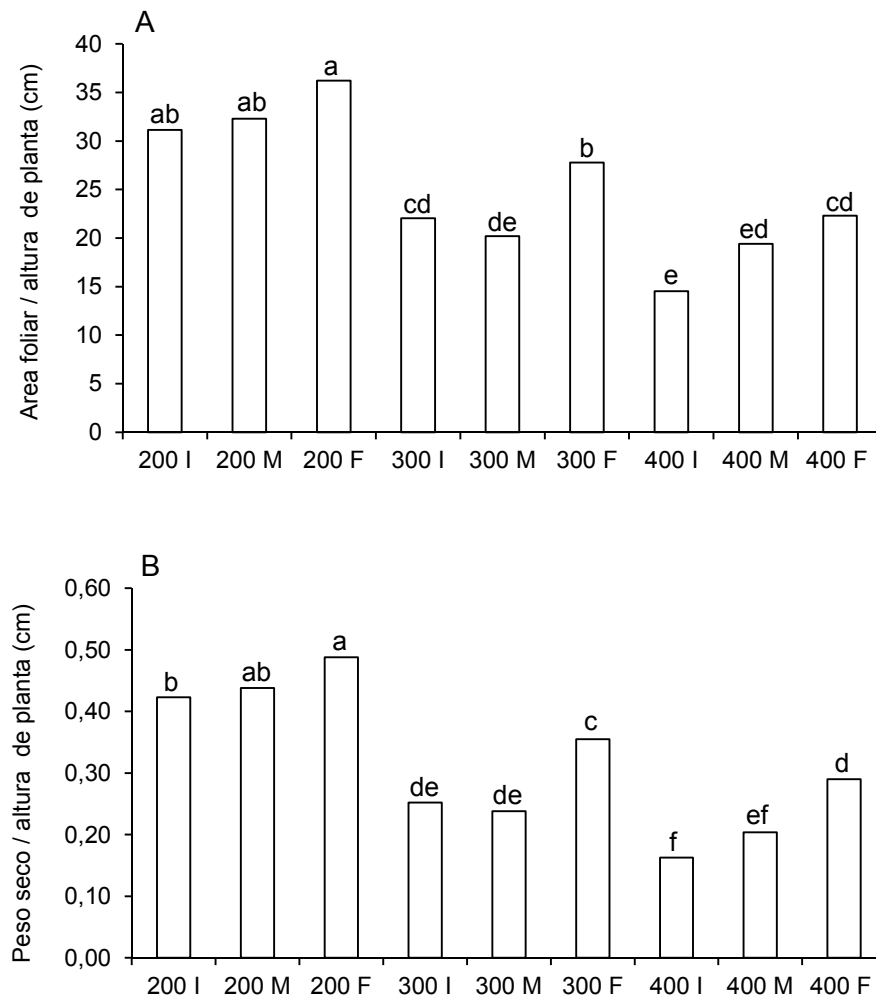


Figura 3.10. Índices de compactibilidad definido como la relación entre el área foliar por unidad de altura de la planta (A) y la relación de peso seco por unidad de altura total de planta (B) para plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego (A) aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) (B), durante la etapa experimental. Barras con letras distintas dentro de cada gráfico representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

### 3.2.2 Efecto del nivel y el momento de aplicación del déficit de riego sobre la floración

Las plantas cultivadas bajo las tensiones de 300 y 400 mbar aplicadas a partir del inicio del experimento ocasionaron un adelantamiento de la floración de aproximadamente 5 días con respecto a las plantas cultivadas con una tensión de 200 mbar aplicada en los tres momentos diferentes y respecto a la aplicación de

estas tensiones a partir de la semana 4 (inicio de la floración) y semana 7 (floración avanzada) (Figura 3.11). Este tipo de respuesta también ha sido observada en el experimento anterior, donde las plantas cultivadas con tensiones de 300 y 400 mbar desde el inicio del experimento adelantaron la floración en 4 días.

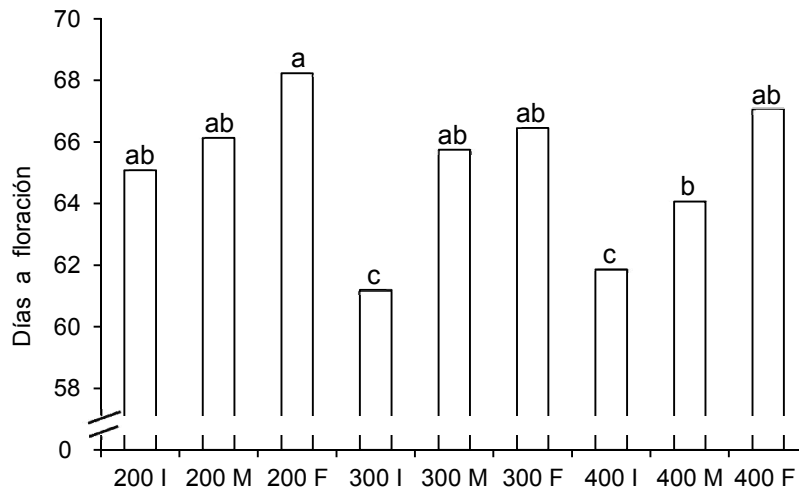


Figura 3.11. Días a floración de plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas sobre las barras representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

A pesar de su importancia, el proceso de floración en *Pelargonium x hortorum* ha sido poco estudiado y se conoce muy poco a cerca de las etapas involucradas en el proceso (Loehrlein & Craig, 2000). Loehrlein & Craig (2004) afirman que después de la inducción, el proceso de floración en *P. x hortorum* puede dividirse en dos fases: iniciación floral y desarrollo floral. Cada una de estas fases es afectada por factores exógenos y endógenos particulares que determinan diferentes patrones de crecimiento y desarrollo de los órganos florales de acuerdo a la variedad y a las condiciones ambientales predominantes (Camayo-Vélez *et al.*, 2003) e involucra un mecanismo hormonal en el que el ácido abscísico (ABA) y el ácido giberélico (GA) juegan un papel fundamental (Sharp, 2002). Álvarez (2011) y Álvarez *et al.* (2013a) afirman que un déficit

hídrico además de concentrar la floración en *Pelargonium*, tiende a acelerar la etapa final del desarrollo de los botones florales, y por consiguiente, la antesis. Un comportamiento similar fueron observados por Sharp *et al.* (2009) en plantas de *Rhododendron* cv. hatsugiri donde un déficit de riego aplicado durante la etapa de iniciación floral, provocó una disminución del tiempo de esta etapa y por lo tanto, un adelantamiento de la floración.

Las plantas cultivadas con una tensión de 200 mbar aplicada desde la semana 4 (inicio de la floración) y semana 7 (floración avanzada) presentaron en promedio 3 florescencias por planta más con respecto a la aplicación desde el inicio del experimento (Tabla 3.4 y Figura 3.12). Asimismo, fueron las que produjeron el mayor número de inflorescencias por planta de todos los tratamientos de riegos evaluados. Las plantas cultivadas con una tensión de 300 mbar no variaron significativamente el número de inflorescencias en los tres momentos de aplicación. Dentro de las plantas cultivadas con 400 mbar de tensión, la aplicación a partir de la semana 7 produjo 3 inflorescencias más con respecto a la aplicación desde el inicio y semana 4, donde se observaron los valores más bajos.

Tabla 3.4. Número de inflorescencia por planta en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Número de inflorescencia
200 I	7.53 b
200 M	10.27 a
200F	10.79 a
300 I	6.33 bc
300 M	6.33 bc
300F	7.93 b
400 I	3.93 d
400 M	4.53 cd
400 F	6.93 b

Esto indica que la cantidad de inflorescencias por planta no sólo depende de la cantidad de agua aplicada, sino también del momento en que se aplica la restricción hídrica (Figura 3.12). Al respecto, es importante considerar que el número de inflorescencias es una función del número de nudos producidos en las ramas y del número de ramas producidas, algo que sucede meses atrás a la floración, por lo tanto, un déficit de riego aplicado desde el inicio del experimento influye en el crecimiento vegetativo y se relaciona indirectamente con el número de inflorescencias. Asimismo, a medida que aumenta el nivel de déficit de riego aplicado, mayor es el efecto sobre el crecimiento vegetativo y por consiguiente, en el número de inflorescencias.

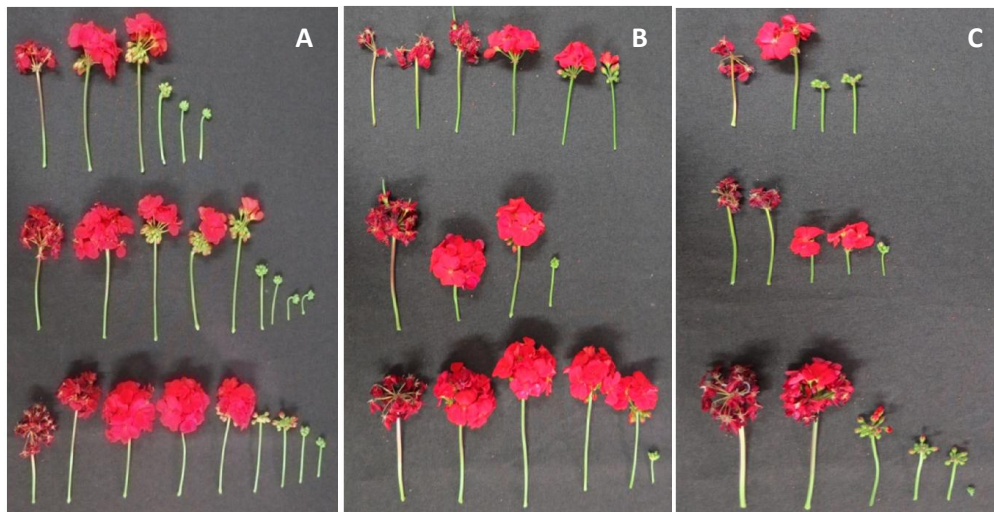


Figura 3.12. Efecto de los tratamientos de déficit de riego de 200 (A), 300 (B) y 400 mbar (C) en el número de inflorescencia en plantas de *Pelargonium x hortorum* aplicados a partir del inicio (I, fila superior), semana 4 (M, fila central) y semana 7 (F, fila inferior) de comenzado el experimento.

En concordancia con nuestros resultados, Álvarez *et al.* (2008) observaron en plantas de *Pelargonium x hortorum* una disminución en el número de inflorescencias dependiendo del momento a partir del cual se aplica el déficit de riego; la aplicación de déficit de riego desde el inicio del experimento y a partir del inicio de la floración presentaron los valores más bajos. Asimismo, Álvarez *et al.* (2009) trabajando con plantas de *Dianthus caryophyllus* encontraron diferencias significativas en el número de flores en los diferentes momentos de aplicación de



los tratamientos de riego deficitario. Este efecto también fue descrito por Cameron *et al.* (1999), quienes informaron que los déficit de agua mejoraron la formación de botones florales en *Rhododendron*, pero la promoción sólo ocurrió cuando los tratamientos se aplicaron después de la iniciación floral.

En esta tesis se quiso distinguir el efecto del déficit de riego en los distintos componentes del tamaño de la inflorescencia de manera que se tomaron y midieron el diámetro de la inflorescencia, el número de flores por inflorescencia, diámetro de las flores, largo de la inflorescencia, largo del pedúnculo y largo de pedicelo. Los diferentes momentos a partir del cual se comenzaron a aplicar las tensiones no tuvieron efecto sobre el diámetro de la inflorescencia y el número de flores por inflorescencia (Tabla 3.5). Sin embargo el diámetro y el número de flores por inflorescencia variaron entre los diferentes tratamientos de intensidad de déficit de riego. En forma general, las plantas cultivadas con una tensión de 200 mbar produjeron las inflorescencias con mayor diámetro y mayor número de flores, la tensión de 400 mbar las de menor y la tensión de 300 mbar produjo un diámetro de inflorescencia y número de flores, intermedio.

Tabla 3.5. Diámetro de inflorescencia, número de flores por inflorescencia y diámetro de la flor en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Diámetro de inflorescencia (cm)	Número de flores / inflorescencia	Diámetro de la flor (cm)
200 I	6.67 a	24.62 a	4.17 a
200 M	6.59 a	21.99 abc	4.20 a
200 F	6.59 a	22.13 ab	4.24 a
300 I	6.03 ab	15.61 de	3.82 bc
300 M	5.95 ab	16.90 cd	3.88 b
300 F	5.85 ab	17.36 bcd	3.83 bc
400 I	5.51 b	10.99 ef	3.39 d
400 M	5.27 b	9.63 f	3.49 d
400 F	5.56 b	13.66 def	3.74 c

El diámetro de la flor varió significativamente entre los diferentes tratamientos de intensidad de déficit de riego, pero el efecto del momento de aplicación no fue igual en todos los casos (Tabla 3.5). Dentro de las plantas cultivadas con una tensión de 200 y 300 mbar no varió el diámetro de la flor en los tres momentos de aplicación, solo en las plantas cultivadas con tensión de 400 mbar se observaron diferencias entre la aplicación a partir de la semana 7 con las aplicaciones a partir del inicio y semana 4.

Según Starman *et al.* (1994) el diámetro de la inflorescencia está determinado por el número de flores por inflorescencia y el diámetro de las mismas. Por tanto, las disminuciones observadas, fueron debidas a una reducción de estos factores (Tabla 3.5) y fueron más afectados por el nivel de déficit de riego que por el momento de aplicación. Por el contrario, Gilbertz *et al.* (1982; 1984) señalaron que el diámetro de la inflorescencia en *Euphorbia pulcherrima* depende del momento de aplicación del déficit de riego en el ciclo del cultivo; aplicaciones antes de la coloración de las brácteas no modifico el diámetro de la inflorescencia, pero se redujo al máximo por la aplicación después de la coloración de las mismas.

El largo de la inflorescencia y largo del pedúnculo de las plantas del nivel de déficit de riego de 200 y 300 mbar no variaron significativamente en los tres momentos de aplicación (Tabla 3.6). Dentro del nivel del 400 mbar solo se observaron diferencias estadísticas entre la aplicación a partir de la semana 7 con las aplicaciones a partir del inicio y semana 4. El largo del pedicelo presento un comportamiento diferente; dentro de las tensiones de 300 y 400 mbar se observaron diferencias entre la aplicación a partir de la semana 7 con la aplicación desde el inicio y semana 4 y en la tensión de 200 mbar entre la semana 4 con el inicio y semana 9.

Tabla 3.6. Largo de inflorescencia, largo del pedúnculo y largo del pedicelo en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Largo de inflorescencia (cm)	Largo de pedúnculo (cm)	Largo de pedicelo (cm)
200 I	17.07 a	13.23 a	2.52 a
200 M	16.70 a	12.74 ab	2.35 b
200F	16.67 a	14.08 a	2.54 a
300 I	13.17 b	9.85 cd	2.24 cd
300 M	13.84 b	10.17 c	2.20 d
300F	14.50 b	11.02 bc	2.46 a
400 I	11.07 c	7.79 d	1.87 e
400 M	11.33 c	7.80 d	1.87 e
400 F	13.37 b	10.06 c	2.30 bc

En las plantas cultivadas con una tensión de 400 mbar aplicado desde el inicio del experimento y a partir de la floración, se observó una disminución muy marcada de todos los parámetros del tamaño de la flor evaluados provocando efectos negativos en el valor ornamental de las plantas de *Pelargonium x hortorum*. Por otro lado, el mayor tamaño de estos parámetros se observó en las plantas cultivadas con una tensión de 200 mbar en los tres momentos de aplicación. En síntesis, el tamaño de las inflorescencias fue determinado principalmente por los diferentes niveles de reducción del riego y en menor medida por el momento a partir del cual se comenzaron aplicar.

### 3.2.3 Efecto del nivel y el momento de aplicación del déficit de riego sobre los parámetros de color

El color de la flor y la hoja fue estudiado a través de los parámetros de color Cromo ( $C^*$ ) y el ángulo Hue ( $h^\circ$ ) en base a lo descrito en el capítulo 2 (página 69). El  $C^*$  marca la saturación del color o intensidad y el ángulo  $h^\circ$  marca el color en sí (Mc Guire, 1992).

En las plantas cultivadas con una tensión de 200 y 300 mbar los diferentes momentos de aplicación del déficit de riego dentro de cada nivel, no modifico los valores de  $C^*$  y  $h^\circ$  (Tabla 3.7). Dentro de las plantas cultivadas con una tensión de 400 mbar el efecto de los diferentes momentos a partir del cual se comenzaron aplicar el déficit de riego, fueron variables; la aplicación a partir del inicio de la floración (semana 4) provoco los mayores valores de  $C^*$  y la aplicación a partir de la floración avanzada (semana 7) los de  $h^\circ$ . Los mayores valores de los parámetros de color de las flores se observaron en el nivel de déficit de 200 mbar aplicado en los tres momentos diferentes y fueron de color más claro pero más intenso que las flores de las plantas cultivadas con tensión de 300 y 400 mbar en los tres momentos de aplicación.

Tabla 3.7. Parámetros de color Cromo ( $C^*$ ) y ángulo Hue ( $h^\circ$ ) de la flor en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Flor	
	$C^*$	$h^\circ$
200 I	91.50 ab	40.65 bc
200 M	92.78 a	41.18 ab
200 F	91.81 ab	41.67 a
300 I	90.13 bcd	40.10 cd
300 M	91.48 ab	40.27 c
300 F	91.20 abc	40.53 bc
400 I	88.68 d	39.34 d
400 M	91.37 ab	40.26 c
400 F	89.53 cd	40.55 bc

Resultados similares fueron reportados por Álvarez *et al.* (2009) en plantas de *Dianthus*, donde observaron que las flores sometidas a déficit de riego desde el inicio del experimento mostraron los valores más bajos de los parámetros  $C^*$  y  $h^\circ$ , dando flores más oscuras con colores menos intensos. En cambio, en ensayos posteriores, Álvarez *et al.* (2013a) en plantas de *Pelargonium* observaron que los

valores más bajos de los parámetros de color  $C^*$  y  $h^\circ$  se observaron en las plantas sometidas a déficit de riego desde el inicio de la floración, resultando en flores de color rojo más oscuro y opacas.

Las zona exterior de las hojas de las plantas cultivadas con una tensión de 200 y 300 mbar presentaron mayor valor de  $C^*$  y el menor valor de  $h^\circ$  cuando se aplicaron a partir del inicio del experimento con respecto a la aplicación a partir de la semana 4 y 7, y las hojas fueron de color verde más claro y presentaron mayor brillo (Tabla 3.8). En la tensión de 400 mbar no hubo diferencias significativas entre los tres momentos de aplicación en los valor de  $C^*$  y  $h^\circ$ . Numerosas investigaciones en plantas no ornamentales como *Gossypium hirsutum* L. (Bondada *et al.*, 1996), *Pisum sativum* (Sánchez *et al.*, 2001), *Avena sativa* L. (Bengtson *et al.*, 1978) y en plantas ornamentales en maceta como *rosa* sp. (Jenks *et al.*, 2001) han demostrado que las hojas bajo condiciones de déficit de riego incrementan la concentración de cera. Por consiguiente, la radiación incidente se refleja de manera más eficiente con el aumento de la carga de cera, lo que conduce al alivio de estrés por calor (Pasillo & Jones, 1961). Por lo tanto, el mayor valor de  $C^*$  (i.e. mayor brillo) observado en las hojas de los tratamientos de 200 y 300 mbar aplicados desde el inicio del experimento, pudo ser debido a un mayor incremento de la concentración de cera con respecto a las hojas de los tratamientos aplicados desde la semana 4 y 7.

Tabla 3.8. Parámetros de color Croma ( $C^*$ ) y ángulo Hue ( $h^\circ$ ) de la zona exterior y centro del haz de la hoja en plantas de *Pelargonium x hortorum* cultivadas bajo diferentes niveles de déficit de riego aplicados desde el inicio (I), desde la semana 4 (M) y desde la semana 7 (F) durante la etapa experimental. Letras distintas dentro de una misma columna representan diferencias significativas según test de Tukey ( $P < 0.05$ ).

	Zona exterior de la hoja		Centro del haz de la hoja	
	$C^*$	$h^\circ$	$C^*$	$h^\circ$
200 I	29.68 a	122.04 c	19.27 c	110.41 c
200 M	27.75 b	120.87 d	21.16 bc	115.59 b
200 F	26.61 bc	123.54 ab	21.80 ab	122.15 a
300 I	27.03 b	122.59 ab	23.30 ab	119.17 ab
300 M	25.56 cde	124.04 a	22.36 ab	120.76 a
300 F	25.68 cd	123.59 ab	21.68 ab	122.84 a
400 I	24.34 e	123.92 a	23.49 a	123.47 a
400 M	24.77 de	124.02 a	19.26 c	119.77 ab
400 F	25.42 cde	123.79 a	21.43 abc	122.84 a

Las hojas de geranio zonal (*Pelargonium x hortorum*) suelen tener una 'zona' característica en el centro del haz y paralela al borde de la hoja (Nessmann, 1998). A esta característica, el geranio, le debe su nombre (Alonso-Gómez, 2002). La zona central de las hojas cultivadas con una tensión de 200 mbar aplicada desde el inicio y semana 4, presentaron los valores más bajos de  $C^*$  y  $h^\circ$  que el resto de los tratamientos y la zonificación fue de color verde más claro y más opaca (Tabla 3.8 y Figura 3.13). El resto de los tratamientos de déficit de riego presentaron valores similares de ambos parámetros. Las diferencias en los parámetros de color en la zona central de la hoja bajo diferentes tratamientos de déficit de riego aplicados en diferentes momentos, no fueron observadas en plantas de *Pelargonium x hortorum* por Álvarez (2011) al final del experimento, solo fueron observadas en momentos muy puntuales (e.g. finalización de los periodos de floración).

Las diferencias de color entre las dos zonas de las hojas se mantuvieron en todos los tratamientos; sin embargo, la zonificación fue más marcada en las

hojas del tratamiento de tensión de 200 mbar aplicado a partir de la semana 4 y semana 7 (Figura 3.13).

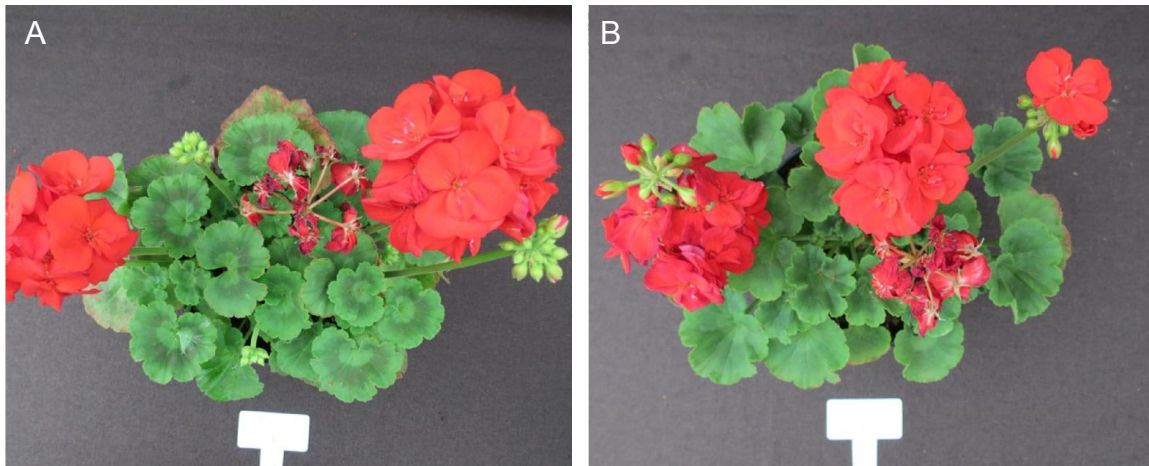


Figura 3.13. Aspecto del color del centro del haz de las hojas de *Pelargonium x hortorum* del tratamiento 200I y 200M (a) y de los tratamientos 200F, 300I, 300M, 300F, 400I, 400M y 400F (b), al final del experimento.

En resumen, los diferentes tratamiento de riego realizados en el marco de este experimento demostraron que tanto la intensidad como la aplicación en diferentes etapas del ciclo del cultivo del déficit de riego afectaron el crecimiento y desarrollo de *Pelargonium x hortorum* cultivadas en macetas. Valores de tensión de succión en el sustrato de 200 mbar aplicados en los tres momentos diferentes del ciclo del cultivo, no redujeron la altura de la planta y el follaje dentro de los parámetros definidos. Tensiones de succión de 300 mbar aplicadas durante todo el ciclo del cultivo o a partir del inicio de la floración (semana 4) fueron una alternativa viable para controlar la altura de la planta dentro de los rangos óptimos establecidos. Sin embargo, se vieron afectados algunos de los parámetros más importantes desde el punto de vista ornamental como es el diámetro de la planta, el área foliar y el número de inflorescencia. Por el contrario, el periodo tan corto de déficit de riego que sucede en la aplicación a partir de la semana 7 no tuvo efecto sobre la disminución de la altura de la planta dentro de los valores óptimos. Los tratamientos de riego deficitario más severo (400 mbar) redujeron la altura de la planta por debajo del límite máximo óptimo en los tres momentos diferentes de aplicación. Aunque, el déficit tuvo mayor influencia en el control de la altura

cuando se aplicó desde el inicio del experimento, lo que ocasionó una disminución de este parámetro por debajo del límite mínimo establecido como óptimo y por lo tanto fue indeseable. A pesar de la mejoría observada en las plantas cultivadas bajo déficit de riego a partir de la semana 4 y 7, se vio deteriorada la calidad ornamental de estas plantas a través de cambios desfavorables en el área foliar, diámetro de la planta, número de inflorescencia, tamaño de las inflorescencia, entre otros.



## **CAPÍTULO 4**

### **Conclusiones generales**



## CAPÍTULO 4

### Conclusiones generales

En esta tesis se evaluaron distintos niveles de déficit de riego para generar distintas intensidades de déficit hídrico en plantas de *Pelargonium x hortorum* en condiciones de cultivo similares a las utilizadas por los productores de plantas ornamentales de los alrededores de Buenos Aires. Los niveles de déficit de riego utilizados permitieron reducir el crecimiento en altura de las plantas a través de una disminución en el crecimiento del tallo (cantidad de nudos y largo de entrenudos), cuya magnitud dependió del nivel de tensión de succión generada en el sustrato de la maceta y del momento del ciclo de cultivo en que se aplicó dicha tensión. Sin embargo, otros caracteres que conforman la calidad ornamental de estas plantas también fueron afectados en distinta magnitud. Por ejemplo, se observó que la elongación del tallo fue reducida en menor medida que el área foliar: a un mismo nivel de déficit de riego, la expansión de la hoja se detuvo antes que la elongación del tallo debido a una menor resistencia al movimiento del agua en el tejido del xilema de los tallos en comparación con el movimiento del agua hacia las hojas (Steudle, 2000). Igualmente los resultados de los experimentos llevados a cabo en el marco de esta tesis confirmaron la capacidad del déficit de riego para reducir la altura de planta en *Pelargonium x hortorum* en las condiciones de producción de los alrededores de Buenos Aires.

El nivel de déficit de riego más leve utilizado permitió generar un valor de tensión de succión en el sustrato de 200 mbar. Este nivel de tensión pudo controlar el crecimiento en altura del tallo de las plantas pero no fue suficiente para controlar la altura total dentro del rango máximo establecido de acuerdo al tamaño de maceta empleado. Por ello este nivel de déficit de riego no sería suficiente para alcanzar el efecto del uso de RC, aunque debería evaluarse la posibilidad de utilizarlo en un sistema combinado con el tradicional ya que podría permitir una reducción de la cantidad de uso de RC en cada ciclo de cultivo.

Una tensión de succión del sustrato de 300 mbar aplicada desde el inicio del ciclo del cultivo redujo la altura de la planta dentro de los parámetros

establecidos como óptimos y fueron comparables a los obtenidos con aplicación de reguladores de crecimiento (RC). Sin embargo, se observó una disminución muy marcada del área foliar, del número de ramificaciones laterales, del diámetro de la planta, de la compactibilidad y del número de inflorescencias por planta en comparación a las plantas con aplicación de RC. La aplicación de este nivel de déficit de riego en la mitad del ciclo del cultivo (coincidiendo con el inicio de la fase de floración) y hacia el final del ciclo, no mejoraron significativamente estos componentes de calidad, y fueron menos efectivos para controlar la altura de la planta. Nuevos experimentos deberían ser diseñados para evaluar la aplicación de un déficit de riego de esta intensidad al inicio del cultivo y suspenderlo al inicio de la floración a fin de controlar la altura y minimizar efectos negativos en otros componentes de calidad como el área foliar.

La tensión de 400 mbar aplicada desde el inicio del ciclo del cultivo permitió controlar la altura total de la planta dentro de los límites fijados y fueron comparables a los resultados obtenidos con la aplicación de RC. Sin embargo, este nivel de tensión de succión afectó fuertemente todos los otros parámetros de calidad medidos. La aplicación de este nivel de succión en el sustrato a partir de la semana 4 y 7 mostró una disminución de la altura de la planta con una mejoría notable en todos los parámetros de calidad ornamental. Aun así, este nivel de déficit de riego debería considerarse como una situación extrema y no apta para ser usada como herramienta para regular el crecimiento de plantas de *Pelargonium* en sistemas de producción comercial. Se observó un posible efecto aditivo del déficit de riego y del incremento de la radiación del ambiente en la reducción de la altura de la planta. Sin embargo, nuevos experimentos deberían diseñarse en ambientes con distintos niveles de intensidad de luz para tener un mayor conocimiento acerca de la interacción del déficit de riego con la radiación incidente en la regulación de la altura y otros parámetros de calidad ornamental de plantas de *Pelargonium x hortorum*.

Se observó que a partir del uso de tensiones de succión en el sustrato de 300 mbar, se produjo un adelantamiento en la floración, efecto que debería ser considerado al momento de definir programas de producción para esta especie.

Este efecto podría ser económicamente ventajoso porque reduciría los tiempos y los costos de producción respecto al sistema tradicional con aplicación de RC. Será necesario tener un mejor entendimiento de los procesos fisiológicos y bioquímicos de la floración de las plantas de *Pelargonium x hortorum* bajo déficit hídrico y bajo la interacción con otros factores ambientales, ya que el conocimiento del comportamiento de la floración es importante para establecer de manera más certera el tiempo de producción y para la implementación de técnicas de manejo que promuevan una floración sincronizada en los periodos de mayor demanda.

Los resultados de esta tesis ponen en evidencia la complejidad del manejo de distintos aspectos de la arquitectura de la planta por la existencia de numerosas interacciones entre los distintos factores que modifican el ambiente. También contribuyen al conocimiento sobre las respuestas morfométricas de *Pelargonium x hortorum* asociadas con las estrategias de riego deficitario y déficit de riego controlado bajo las condiciones de cultivo de los alrededores de Buenos Aires, una temática prácticamente inexplorada en Argentina. Si bien pudo demostrarse la efectividad de esta herramienta para controlar la altura de las plantas, es evidente también la necesidad de diseñar nuevos experimentos para evaluar cómo la combinación del déficit de riego con otras estrategias de manejo respetuosas con el medio ambiente (e.g. modificación de la intensidad de la luz, pinzado del tallo principal) podrían mejorar la respuesta de los diferentes parámetros de calidad ornamental. Se requieren estudios adicionales para evaluar el uso conjunto de RC y el riego deficitario y poder comprender las interacciones entre estas prácticas de manejo, iniciando un camino hacia la reducción del uso de RC y disminuir así los efectos negativos al medio ambiente.

Por otro lado, esta tesis demostró que el uso de tensiómetro digital *Blumat Digital*<sup>®</sup> para manejar los aportes de agua e indicar la cantidad a aplicar en cada riego, ha sido efectivo para regular el crecimiento de plantas de *P. x hortorum*, bajo las condiciones climáticas de invernaderos estándar de la zona metropolitana de Buenos Aires. Asimismo, el uso de este instrumento para monitorear el estado hídrico del medio del cultivo de las plantas ha sido muy sencillo y práctico, sin embargo, se refuerza la importancia de explorar con mayor

profundidad esta herramienta como estrategia para controlar la altura de las plantas antes de poder ser utilizada con fines productivos.

## **Bibliografía**

---

## Bibliografía

- ABO EL-NIL, M. M. 1990. Geranium (*Pelargonium*). En: Handbook of Plant Cell Culture Vol. 5: Ornamental species. 439-460 pp. P. V. Ammirato; D. A. Davies; W. R. Sharp & Y. P. S. Bajaj (Eds). Ed. Philip V. McGrawHill, New York. USA.
- ALBAYRAK, S. & CAMAS, N. 2007. Effects of temperature and light intensity on growth of fodder beet (*Beta vulgaris* L. var. *crassa* Mansf.). *Bangladesh Journal of Botany*. 36(1): 1-12.
- ALONSO-GOMEZ, M. 2002. Biotecnología aplicada a la mejora de *Pelargonium*. Memoria presentada para optar al Grado de Doctor Europeo en el departamento de Genética de la Universidad Complutense de Madrid. 136 pp.
- ÁLVAREZ, S.; NAVARRO, A.; BAÑÓN, S. & SANCHEZ-BLANCO, M. J. 2008. Crecimiento, floración y estado hídrico de plantas de geranio regadas en condiciones deficitarias en distintos momentos fenológicos. VI Congreso Ibérico, XII Nacional de Ciencias Hortícolas. Logroño. España. 768-773.
- ÁLVAREZ, S.; NAVARRO, A.; BAÑÓN, S. & SANCHEZ-BLANCO, M. J. 2009. Regulated deficit irrigation in potted *dianthus* plants: effects of severe and moderate water stress on growth and physiological responses. *Scientia Horticulturae*. 122: 579-585.
- ÁLVAREZ, S. 2011. Riego deficitario en distintas etapas del desarrollo de plantas ornamentales cultivadas en maceta. Memoria presentada para optar al Grado de Doctor en Ciencias Básicas en el Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Cartagena. 238 pp.
- ÁLVAREZ, S.; BAÑÓN, S. & SANCHEZ-BLANCO, M. J. 2013a. Regulated deficit irrigation in different phenological stages of potted geranium plants: water consumption, water relations and ornamental quality. *Acta Physiologiae Plantarum*. 35(4): 1257-1267.
- ÁLVAREZ, S.; BAÑÓN, S. & SANCHEZ-BLANCO, M. J. 2013b. Efecto del riego deficitario moderado y severo en la tasa de crecimiento, morfología radical,



- transpiración y relaciones hídricas en plantas de *Callistemon citrinus*. VII Congreso Ibérico de Agro ingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid. España. 267-272.
- ANDERSEN, A. & ANDERSEN, L. 2000. Growth regulation as a necessary prerequisite for introduction of new plants. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 541: 183-192.
- ANDERSSON, N. E. 2001. Weight controlled irrigation of potted plants. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 559: 371-375.
- ANDERSSON, N. E. 2011. The influence of water stress and air velocity on growth of *Impatiens walleriana* and *Petunia* × *hybrid*. *Scientia Horticulturae*. 128(2): 146-151.
- ARMITAGE, A. M.; TSUJITA, M. J. & HARNEY, P. M. 1978. Effects of cycocel and high intensity lighting on flowering seed propaget geranium. *Journal Horticultural Science*. 53: 147-149.
- ARMITAGE, A. M. 1986. Chlormequat-induced early flowering of hybrid geranium: The influence of gibberellic acid. *Acta HortScience (ISHS)*. 21(1): 116-118.
- ARNDT, S. K.; CLIFFORD, S. C.; WANEK, W.; JONES, H. G. & POPP, M. 2001. Physiological and morphological adaptations of the fruit tree *Ziziphus rotundifolia* in response to progressive drought stress. *Tree Physiology*. 21(11): 705-715.
- ASEN, S. 1976. Known factors responsible for the infinite flower color variations. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 63:217–223.
- BACON, M. A.; THOMPSON, D. S. & DAVIES, W. J. 1997. Can cell wall peroxidase activity explain the leaf growth response of *Lolium temulentum* L. during drought?. *Journal of Experimental Botany*. 48(12): 2075-2085.
- BACON, M. A.; WILKINSON, S. & DAVIES, W. J. 1998. pH regulated cell expansion in abscisic acid dependent. *Plant Physiology*. 118: 1507-1515.
- BAILEY, D. B. & WHIPKER, B. E. 1998. Height control of commercial greenhouse flowers. Horticulture information leaflets. NC State University, Dept. of Horticultural Science. 528: 17 pp.

- BAÑON, S.; MIRALLES, J.; NAVARRO, A. & SANCHEZ-BLANCO, M. J. 2009. Influence of paclobutrazol and substrate on daily evapotranspiration of potted geranium. *Scientia Horticulturae*. 122: 572-578.
- BARGALI, K. & TEWARI, A. 2004. Growth and water relation parameters in drought-stressed *Coriaria nepalensis* seedlings. *Journal of Arid Environments*. 58(4): 505-512.
- BARRET, J. E. & HOLCOMB, E. J. 1993. Growth regulating chemicals. En: Geraniums IV; The Grower's Manual. pp. 65-73. J. W. White (Ed). 4 ed. Ball Publishing. Geneva, Illinois. USA.
- BARRS, H. D. & WEATHERLEY P. E. 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*. 15(3): 413-428.
- BERNIER, G. 1988. The control of floral evocation and morphogenesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 39: 175-219.
- BERNIER, G.; HAVELANDE, A.; HOUSSA, C.; PETITJEAN, A. & LEJEUNE, P. 1993. Physiological Signals That Induce Flowering. *The Plant Cell*. 5: 1147-1155.
- BONDADA, B. R.; OOSTERHUIS, D. M.; MURPHY, J. B. & KIM, K. S. 1996. Effect of water stress on the epicuticular wax composition and ultrastructure of cotton (*Gossypium hirsutum*) leaf, bract, and boll. *Environmental and Experimental Botany*. 36: 61-69.
- BROWN, D. R.; EAKES, J. D.; BEHE, B. K & GULLIAM, C. H. 1992. Moisture Stress: An Alternative Method of Height Control to B-nine (daminozide). *Journal of Environmental Horticulture*. 10: 232-232.
- BROWNING, G. 1973a. Flower bud dormancy in *Coffea arabica* L. I. Studies of gibberellin in flower buds and xylem sap and of abscisic acid in flower buds in relation to dormancy release. *Journal of Horticultural Sciences*. 48: 29-41.
- BROWNING, G. 1973b. Flower Bud Dormancy in *Coffea Arabica* L. 2. Relation of Cytokinins in Xylem Sap and Flower Buds to Dormancy-Release. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 48(3): 297-310.

- CAMAYO-VELEZ, G. C.; CHAVES-CORDOBA, B.; ARCILA-PULGARIN, J. & JARAMILLO-ROBLEDO, A. 2003. Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná-Caldas. *Cenicafé*. 54(1): 35-49.
- CAMERON, R.W.F.; HARRISON-MURRAY, R.S. & SCOTT, M.A. 1999. The use of controlled water stress to manipulate growth of container-grown *Rhododendron* cv. Hoppy. *Journal of Horticultural Science y Biotechnology*. 74 (2): 161-169.
- CAMERON, R. W. F.; WILKINSON, S.; DAVIES, W. J.; HARRINSON-MURRAY, R. S.; DUNSTAN, D. & BURGESS, C. 2004. Regulation of plant growth in container-grown ornamentals through the use of controlled irrigation. XXVI International Horticultural Congress: Nursery Crops; Development, Evaluation, Production and Use. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 630: 305-312.
- CAMERON, R. W. F.; HARRINSON-MURRAY, R. S.; ATKINSON, C. J. & JUDD, H. L. 2006. Regulated deficit irrigation: a means to control growth in woody ornamentals. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 81(3): 435-443.
- CAMERON, R.; HARRINSON-MURRAY, R. S.; FORDHAM, M.; WILKINSON, S.; DAVIES, W.; ATKINSON, C. & ELSE, M. 2008. Regulated irrigation of woody ornamentals to improve plant quality and precondition against drought stress *Annals of Applied Biology*. 153: 49–61.
- CARPENTER, W.J. & CARLSON, W. H. 1970. The influence of growth regulators and temperature on flowering of seed propagated geraniums. *HortScience*. 5: 183-184.
- CARPENTER, W.J. & CARLSON, W. H. 1972. Improving geranium branching with growth regulator sprays. *HortScience*. 7(3): 291-292.
- CHALMERS, D. J.; MITCHELLI, P. D. & VAN HEEK, L. A. G. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 106: 307-312.
- CHFBA - Censo Hortiflorícola de la Provincia de Buenos Aires. 2005. Ministerio de Asuntos Agrarios. 115 pp.

- CHIMONIDOU-PAVLIDOU, D. 1996. Effect of water stress at different stages of rose development. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 424: 45-52.
- CHIMONIDOU-PAVLIDOU, D. 1999. Irrigation and sensitive stage of rose development. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 481: 393-402.
- CHRISTENSEN, O.V. & FRIIS, K. 1987. Research and development of unknown pot plants. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 205: 33-37.
- CHRISTOPHER, J. C. & Erwin, J. E. 2012. Foliar applications of plant growth regulators affect stem elongation and branching of 11 kalanchoe species. *HortTechnology*. 22(3): 338-344.
- CHYLINSKI, W. K.; ŁUKASZEWSKA, A. J. & KUTNIK, K. 2007. Drought response of two bedding plants. *Acta Physiologiae Plantarum*. 29(5): 399-406.
- COOLEY, N. M.; CLINGELEFFER, P. R.; WALKER, R. R. & GLENN, D. M. 2008. The effects of water deficit and particle film technology interactions on Cabernet Sauvignon grape composition. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 792: 193-200.
- COX, D. A. & KEEVER, G.J. 1988. Paclobutrazol inhibits growth of zinnia and geranium. *HortScience*. 23: 1029–1030.
- COX, D. A. 1991. Gibberellic Acid Reverses Effects of Excess Paclobutrazol on Geranium. *HortScience*. 26(1): 39-40.
- COX, D. 2009. Photoperiod and bedding plants. *Flor Notes Newsl*. 22(1): 2-4.
- CRISOSTO, C. H.; GRANTZ, D. A. & MEINZER, E. C. 1992. Effects of water deficit on flower opening in coffee (*Coffea arabica* L.). *Tree Physiology*. 10: 127-139.
- DE BOODT, M.; VERDONCK, O. & CAPPAERT, I. 1974. Determination and study of the water availability of substrates for ornamental plant growing. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 35:51-58.
- DE LUCIA, B. 2009. Response of potted Australian ornamental plants to different soil water conditions. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 807(1): 277-282.
- DINAKAR, C.; DJILIANOV, D., & BARTELS, D. 2012. Photosynthesis in desiccation tolerant plants: Energy metabolism and antioxidative stress defense. *Plant Science*. 182: 29-41.

- DOMINGO, R. 1994. Respuesta del limonero Fino al riego deficitario controlado. Aspectos fisiológicos. Memoria presentada para optar al Grado de Doctor en de la Universidad de Murcia. 237 pp.
- DOMINGO, R.; RUIZ-SANCHEZ, M. C.; SANCHEZ-BLANCO, M. J. & TORRECILLAS, A. 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrigation Science*. 16: 115-123.
- DOMINGO, R.; NORTES, P. A.; EGEA, G.; TORRES, R. & PEREZ-PASTOR, A. 2005. Utilización de sensores en planta para la programación del riego y uso eficiente del agua en la agricultura. *Vida Rural*. 217: 42-46.
- DRY, P. R.; LOVEYS, B. R.; DURING, H. & BOTTING, D. G. 1996. Effects of partial root zone drying on grapevine vigour, yield compositions of fruit and use of water. Proceedings of the 9th Australian Wine Industry Technical Conference. 126-131.
- DRY, P. R. & LOVEYS, B. R. 1999. Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. *Vitis-Geilweilerhof*. 38(4): 151-156.
- DU TOIT, P. 2004. Partial rootzone drying (PRD): irrigation technique for sustainable viticulture and premium quality grapes. *Wineland*. 84-87.
- EBELL, L. F. 1967. Bimonthly Research Note 23. Canadian Department Forestry and Rural Development, Ottawa. 26-27.
- ERWIN, J. E.; HEINS, R. D. & KARLSSON, M. G. 1989. Thermomorphogenesis in *Lilium longiflorum*. *American Journal of Botany*. 76(1): 47-52.
- ERWIN, J. E. & HEINS, R. D. 1990. Temperature effects on lily development rate and morphology from the visible bud stage until anthesis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 115: 644-646.
- ERWIN, J. E.; HEINS, R. D. & MOE, R. 1991. Temperature and photoperiod effects on *Fuchsia X hybrida* morphology. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 116: 955-960.
- ERWIN, J. E. & HEINS, R. D. 1995. Thermomorphogenic responses in stem and leaf development. *HortScience*. 30: 940-949.

- ERWIN, E. H. & OK, C. H. 2001. Influence of plant growth regulators on suppression and quality of 'Meyer' zoysiagrass. *J. Environ. Hort.* 19(2): 57-60.
- FERNÁNDEZ, R. 2007. Perspectiva y oportunidades de la floricultura argentina. *Horticultura Internacional*. 56: 32-37.
- FISHER, P. R.; LIETH, J. H. & HEINS, R. D. 1996. Modeling flower bud elongation in Easter lily (*Lilium longiflorum* Thunb.) in response to temperature. *HortScience*. 31(3): 349-352.
- FISHER. 2005. Producing high quality geraniums. Fischer's 2005-2006 - Cultural Guide. 20 pp.
- FRANCESANGELI, N. 2008. Evaluación de la aplicación de paclobutrazol y cicocel en geranio (*Pelargonium x hortorum*). Buenos Aires, Ed. INTA. <http://www.inta.gov.ar/documentos/evaluación-de-la-aplicación-de-paclobutrazol-y-cicocel-en-geranio-pelargonium-geranium/> visitado 21/09/2014.
- GAGNON, S. & DANSEREAU, B. 1992. Temperature and duration of pretreatment effects on growth and development of geraniums. *HortScience*. 27(3): 216-217.
- GILBERTZ, A. D.; BARRETT, E. J. & NELL, A. T. 1982. Effects of water stress on flowering in poinsettia. *HortScience*. 17: 516-(Abstr.).
- GILBERTZ, A. D.; BARRETT, E. J. & NELL, A. T. 1984. Development of drought stressed poinsettias. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 109: 854-857.
- GIRONA, J.; MATA, M. & MARSAL, J. 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*. 75: 152-167.
- GONZALEZ, J. A.; GALLARDO, M.; HILAL, M.; ROSA, M. & PRADO, F. E. 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies*. 50(1): 35-42.

- GONZALEZ, A., PORRAS, I., OCHOA, J., BAÑÓN, S., & FERNANDEZ, J. A. 1999. Caracterización colorimétrica de diversos cultivares de gerbera (*Gerbera jamesonii*) para flor cortada. *Investigación Agraria Producción y Protección de Vegetales*. 14: 217-225.
- GRANT, O. 2013. Measuring evapotranspiration of hardy ornamental nursery stock: a hurdle for irrigation management. En: *Evapotranspiration: processes, sources and environmental implications*. pp. 49-72. S. Er-Raki (eds.). Publisher: Nova, Editors. Kildare, Ireland.
- HALLUARD, N.; FRENS, F. W.; VIDALIE, H. & RÖBER, R. 1993. Influence du stress hydrique sur *Begonia x elatior* 'Azotus'. *Horticulteurs*. 328: 35-37.
- HAMRICK, D. 2003. Ball Redbook. Volume 2. Crop Production. pp. 547-560. 17 ed. Ball Publishing. Batavia, Illinois. USA.
- HASSANEIN, A. & DORION, N. 2006. Determining morphological and physiological parameters for the selection of drought-tolerant geraniums (*Pelargonium x hortorum* LH Bailey). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 81(4): 707-713.
- HAYASHI, T.; HEINS, R. D.; CAMERON, A. C. & CARLSON, W. H. 2001. Ethephon influences flowering, height, and branching of several herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae*. 91: 305-323.
- HENSON, D. Y.; NEWMAN, S. E. & HARTLEY, D. E. 2006. Performance of selected herbaceous annual ornamentals grown at decreasing levels of irrigation. *HortScience*. 41(6): 1481-1486.
- INFOSTAT. 2008. InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- INTEA-INTA-JICA. 2003. Estudio sobre la Caracterización de la producción florícola en la República Argentina. MIMEO.
- JACOBSEN, S. E., & OLSZEWSKI, N. E. 1993. Mutations at the SPINDLY locus of *Arabidopsis* alter gibberellin signal transduction. *The Plant Cell*. 5(8): 887-896.
- JENKS, M. A.; ANDERSEN, L.; TEUSINK, R. S. & WILLIAMS, M. H. 2001. Leaf cuticular waxes of potted rose cultivars as affected by plant development,

- drought and paclobutrazol treatments. *Physiologia Plantarum*. 112(1): 62-70.
- KAMBALAPALLY, V. & RAJAPAKSE, N. 1998. Spectral filters affect growth, flowering, and postharvest quality of Easter lilies. *HortScience*. 33: 1028-1029.
- KÄMPF, A. N., TAKANE, R. J. & SIQUEIRA, P. T. V. 2006. II Avaliar a qualidade de um substrato. En: Floricultura. Técnicas de preparo de substratos. pp. 13-60. LK Editora e comunicação. Brasília. Brasil.
- KIEHL, P. A., LIETH, J. H., & BURGER, D. W. 1992. Growth response of chrysanthemum to various container medium moisture tension levels. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 117(2): 224-229.
- KING, R. W. & EVANS, L. T. 1977. Inhibition of flowering in *Lolium temulentum* by water stress a role for abscisic acid. *Australian Journal of Plant Physiology*. 4: 225-233.
- KOCH, B. L., & MOORE, T. C. 1990. On ethylene and stem elongation in green pea seedlings. *Plant physiology*. 93(4): 1663-1664.
- KOSHITA, Y. & TAKAHARA, T. 2004. Effect of water stress on flower-bud formation and plant hormone content of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Scientia horticultrae*. 99(3): 301-307.
- KOZLOWSKI, T. T.; KRAMER, P. J. & PALLARDY, S. G. 1991. The physiological ecology of woody plants. Academic Press. San Diego. 657 p.
- KOZLOWSKI, T. T. & PALLARDY, S. G. 2002. Acclimation and adaptative response of woody plants to environmental stresses. *Botanical Review*. 68: 270-334.
- KRAMER, P. J. & BOYER, J. S. 1995. Water relations of plants and soils. Academic press. California. 495 pp.
- LARSON, R. A. 1993. Quality Production. En: Geraniums IV; The Grower's Manual. pp. 141-143. J. W. White (Ed). 4 ed. Ball Publishing. Geneva, Illinois. USA.



- LATIMER, J. G. & OETTING, R. D. 1998. Greenhouse Conditioning Affects Landscape Performance of Bedding Plants. *Journal of Environmental Horticulture*. 16(3): 138-142.
- LATIMER J. G. 2001. Selecting and Using Plant Growth Regulators on Floricultural Crops. University of Virginia State. Virginia Cooperative Extension. Publication 430-102. 21 pp.
- LAUGHNER, L. J. 1993. History. En: Geraniums IV; The Grower's Manual. pp. 363-371. J. W. White (Ed). 4 ed. Geneva, Illinois.USA, Ball Publishing.
- LE, J.; VANDENBUSSCHE, F.; VAN DER STRAETEN, D., & VERBELEN, J. P. 2004. Position and cell type-dependent microtubule reorientation characterizes the early response of the Arabidopsis root epidermis to ethylene. *Physiologia Plantarum*. 121(3): 513-519.
- LIEBERMAN, M. 1979. Biosynthesis and action of ethylene. *Annual Review of Plant Physiology*. 30: 533-591.
- LIETH, J. H. & BURGER, D. W. 1989. Growth of chrysanthemum using an irrigation system controlled by soil moisture tension. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 114: 387-392.
- LIETH, H. J. & BUERGER, D. W. 1993. Irrigation. En: Geraniums IV; The Grower's Manual. pp. 65-73. J. W. White (Ed). 4 ed. Ball Publishing. Geneva, Illinois. USA.
- LIGHTBOURN, G. J., GRIESBACH, R. J., NOVOTNY, J. A., CLEVIDENCE, B. A., RAO, D. D., & STOMMEL, J. R. 2008. Effects of anthocyanin and carotenoid combinations on foliage and immature fruit color of *Capsicum annuum* L. *Journal of heredity*. 99(2): 105-111.
- LOEHRLEIN, M. M. & CRAIG, R. 2000. Floral ontogeny of *Pelargonium x domesticum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 125(1): 36-40.
- LOEHRLEIN, M. M. & CRAIG, R. 2004. The effect of daily light integral on floral initiation of *Pelargonium x domesticum* LH Bailey. *HortScience*. 39(3), 529-532.

- LUGOJAN, C. & CIULCA, S. 2011. Evaluation of relative water content in winter wheat. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 15(2): 173-7.
- MAEDA, T. ; ASAMI, T.; YOSHIDA, S. & TAKENO, K. 2000. The processes inhibited and promoted by abscisic acid in photoperiodic flowering of *Pharbitis nil*. *Journal of plant physiology*. 157(4): 421-427.
- MARSAL, J.; GIRONA, J. & MATA, M. 1997. Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 122: 582-587.
- MASCARINI, L. & TISSERA, F. 2010. Caracterización del Sector Florícola. Informe Final Preliminar. Instituto Nacional de Educación Tecnológica (Inet).
- MATA, D. A.; ADAM, C.; WICKY, A.; KARLANIAN, M.; PAPONE, M. & MORISIGUE, D. 2006. Estudios preliminares para el uso del déficit de riego controlado como alternativa para regular la altura en la producción de plantas en maceta. III Congreso Argentino de Floricultura. 8vas. Jornadas Nacionales de Floricultura. La Plata, Argentina. 77- 80.
- MATA, D. A. & BOTTO, J. F. 2009. Manipulation of light environment to produce high-quality poinsettia plants. *HortScience*. 44(3): 702-706.
- MATA, D. A. 2010. Manejo de la calidad de la luz como alternativa para el control del crecimiento en la producción de plantas ornamentales en maceta en los alrededores de Buenos Aires. Memoria presentada para optar al grado de Magister of Science del Área de Producción vegetal de la Universidad de Buenos Aires. 60 pp.
- MATTO, A. & SUTTLE, J. 1991. The Plant Hormone Ethylene. CRC Press. Boca Ratón Florida. USA. pp: 316-326.
- Mc GUIRE, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*. 27(12): 1254-1255.
- MEDINA, M. E. 2007. Variaciones en el contenido relativo de agua y la concentración de prolina en *Capsicum annum* L. inducido por NaCl. *Arnaldoa*. 14(2): 251- 258.
- MEJIAS, R. & RUANO, M. C. 1990. El cultivo industrial de plantas en maceta. Ediciones de Horticultura, Barcelona. 664 pp.

- MICHELENA, V. A. & BOYER, J. S. 1982. Complete turgor maintenance at low water potentials in the elongation region of maize leaves. *Plant Physiology*. 69: 1145–1149.
- MIRANDA, R. M. & CARLSON, W. H. 1980. Effect of timing and number of applications of chlormequat and ancymidol on the growth and flowering of seed geraniums. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 105: 273-277.
- MITCHELL, P. D., JERIE, P. H. & CHALMERS, D. J. 1984. The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth, and yield. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 109(5): 604-606.
- MOE, R., HEINS, R. D. & ERWIN, J. E. 1991. Effect of day and night temperature alterations, and plant growth regulators on stem elongation and flowering of the long-day plant *Campanula isophylla* Morettii. *Scientia Horticulturae*. 48: 141–151.
- MOREL, P. 1997. Dossier irrigation. Substrat, irrigation et qualite des plantes en pot. *PHM Revue Horticole*. 380: 25-28.
- MOREL, P. 2001. Growth control of *Hydrangea macrophylla* through water restriction. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 548: 51-58.
- MORIANA, A. & FERERES, E. 2002. Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrigation Science*. 21: 83-90.
- MORISIGUE, D. E.; MATA, D. A.; FACCIUTO, G & BULLRICH, L. 2012. Floricultura. Pasado y presente de la floricultura Argentina. Ed. INTA. Buenos Aires. 36 pp.
- MORISIGUE, D. E. & VILLARREAL, F. 2003. Situación de la producción de flores y plantas ornamentales de la Argentina. V Jornadas Nacionales de Floricultura. San Miguel de Tucumán.
- MUNNS, R. & KING, R. W. 1988. Abscisic acid is not the only stomatal inhibitor in the transpiration stream of wheat plants. *Plant Physiol*. 88: 703-708.

- NAOR, A.; KLEIN, I. & DORON, I. 1995. Stem water potential and apple fruit size. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 120: 577-582.
- NESSMANN, P. 1998. Los geranios. Jardinería práctica. Ed. Susaeta ediciones S.A. Madrid. 69 pp.
- NOWAK, J. S. & STROJNY, Z. 1998. Effect of soil water potential on poinsettia. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 458: 273-278.
- PEREZ-LOPEZ, A.; CARRILLO-SALAZAR, J. A.; COLINAS-LEON, M. T. & SANDOVAL-VILLA, M. 2005. Growth regulation of Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima* Willd ex. Klotzsch) with ethephon. *Agrociencia*. 39(6): 639-646.
- PEREZ-PASTOR, A.; RUIZ-SANCHEZ, M. C.; MARTINEZ, J. A.; NORTES, P. A.; ARTES, F. & DOMINGO, R. 2007. Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality at harvest and during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 87: 2409–2415.
- PIERIK, R., THOLEN, D., POORTER, H., VISSER, E. J., & VOESENEK, L. A. 2006. The Janus face of ethylene: growth inhibition and stimulation. *Trends in plant science*. 11(4): 176-183.
- QUATCHAK, D. J., WHITE, J. W. & HOLCOMB, E. J. 1986. Temperature, supplemental lighting, and chlonequat chloride effects on flowering of geranium seedlings. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 111(3): 376-379.
- RADEMACHER, W. 1989. Gibberellins: metabolic pathways and inhibitor of biosynthesis. En: Target sites of herbicide actions. pp. 128-146. P. Böger y G. Sandmann. Boca Raton, Florida, USA, CRC Press.
- RADEMACHER, W. 2000. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 51: 501-531.
- REED, D. D. 1975. Greenhouse studies on the effect of dusk to dawn low intensity lighting and florel on geranium stock plants. MS Thesis, The Ohio State University, Columbus. 253 pp.

- ROBERTSON, J. M.; HUBICK, K. T.; YEUNG, E. C. & REID, D. M. 1990. Developmental responses to drought and abscisic acid in sunflower roots. I. Root growth, apical anatomy, and osmotic adjustment. *Journal of Experimental Botany*. 41(3): 325–337.
- RÖBER, R. & HAFEZ, M. 1981. The influence of different water supply upon the growth of *chrysanthemums*. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 125: 69-78.
- RÖBER, R.; FRENZ, F. W. & BRAUNE, W. 1986. The influence of different water supply upon growth and flowering of cyclamen and pelargonium. *Gartenbauwissenschaft*. 51(1): 32-36.
- RÖBER, R. & HORN, W. 1993. Effects of different amounts of water on growth, quality and proline contents of *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch. *Gartenbauwissenschaft*. 58(1): 15-20.
- RÖBER, R.; KOLB, D. & OHMAYER, G. 1995. Influence of drought stress, DIF, and growth retardant on yield and quality of *Dendranthema X grandiflorum*. *Acta Horticulturae (ISHS)*. 378: 139-148.
- RÖBER, R. & HASS, H. 1996. Plant quality and growth of *Hydrangea x hybrida* as influenced by temperature and water quantity (refereed). *Acta Horticulturae (ISHS)* 450: 425-432.
- RODRIGUEZ, P.; TORRECILLAS, A.; MORALES, M. A.; ORTUNO, M. F., & SANCHEZ-BLANCO, M. J. 2005. Effects of NaCl salinity and water stress on growth and leaf water relations of *Asteriscus maritimus* plants. *Environmental and Experimental Botany*. 53(2): 113-123.
- RUBIO, E. P. 2012. Uso de Indicadores del Estado Hídrico de la Planta para la Optimización del Riego en Cultivos Leñosos. Memoria presentada para optar al Grado de Doctor en Ingeniería y Arquitectura en el Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Cartagena. 185 pp.
- SAAB, I. N.; SHARP, R. E.; PRITCHARD, J. & VOETBERG, G. S. 1990. Increased endogenous abscisic acid maintains primary root growth and inhibits shoot growth of maize seedlings at low water potentials. *Plant Physiology*. 93(4): 1329-1336.

- SACHS, R. M.; KOFRANEK, A. M. & HACKETT, W. P. 1976. Evaluating new pot plant species. *Florists Rev.* 159(4116): 80–84.
- SACHS, R. M.; EVANS, R. Y. & SHAW, D. A. 1992. Reduced water consumption by acclimatized landscapes. *Journal of Arboriculture.* 19: 99-105.
- SANCHEZ, F. J.; MANZANARES, M.; De ANDRES, E. F.; TENORIO, J. L. & AYERBE, L. 2001. Residual transpiration rate, epicuticular wax load and leaf colour of pea plants in drought conditions. Influence on harvest index and canopy temperature. *European Journal of Agronomy.* 15(1): 57-70.
- SANCHEZ-BLANCO, M. J.; RODRIGUEZ, P.; MORALES, M. A.; ORTUÑO, M. F. & TORRECILLAS, A. 2002. Comparative growth and water relation of *Cistus albidus* and *Cistus monspeliensis* plants during water deficit conditions and recovery. *Plant Science.* 162: 107-113.
- SANCHEZ-BLANCO, M. J.; ÁLVAREZ, S.; NAVARRO, A. & BAÑÓN, S. 2009. Changes in leaf water relations, gas exchange, growth and flowering quality in potted geranium plants irrigated with different water regimes. *Journal of plant physiology.* 166(5): 467-476.
- SCHONFELD, M. A.; JOHNSON, R. C.; CARVER, B. F. & MORNHINWEG, D. W. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science.* 28: 526-531.
- SEMENIUK, P. & TAYLOR, R. 1970. Effects of growth retardants on growth of geranium seedlings and flowering. *HortSciencer.* 5: 393-394.
- SEYED, Y. S. L.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M. & RAHMAN, I. M. M. 2012. Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses. En: Water Stress. Rafman, I. M. M. y Hasegawa, H. (Eds). 1-14 pp. InTech, Chapters published. Rijeka, Croatia.
- SHAO, H. B.; LIANG, Z. S. & SHAO, M. A. 2005. Changes of anti-oxidative enzymes and MDA content under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at maturation stage. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 45(1): 7-13.

- SHAO, H. B., CHU, L. Y.; JALEEL, C. A. & ZHAO, C. X. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes rendus biologies*. 331(3): 215-225.
- SHARP, R. E.; WU Y.; VOETBERG, G. S.; SAAB, I. N. & LENOBLE, M. E. 1994. Confirmation that abscisic acid accumulation is required for maize primary root elongation at low water potentials. *Journal of Experimental Botany*. 45: 1743-1751.
- SHARP, R. E. 1996. Regulation of plant growth responses to low soil water potentials. *HortScience*. 31: 36-39.
- SHARP, R. E.; LENOBLE, M. E.; ELSE, M. A.; THOME, E. T. & GHERARDI, F. 2000. Endogenous ABA maintains shoot growth in tomato independently of effects on plant water balance: evidence for an interaction with ethylene. *Journal of Experimental Botany*. 51(350): 1575-1584.
- SHARP, R. E. 2002. Interaction with ethylene: changing views on the role of abscisic acid in root and shoot growth responses to water stress. *Plant, Cell and Environment*. 25: 211-222.
- SHARP, R. G.; ELSE, M. A.; CAMERON, R. W. & DAVIES, W. J. 2009. Water deficits promote flowering in *Rhododendron* via regulation of pre and post initiation development. *Scientia Horticulturae*. 120: 511-517.
- SHOJI, K., MIKI, N., NAKAJIMA, N., MOMONOI, K., KATO, C., & YOSHIDA, K. 2007. Perianth bottom-specific blue color development in tulip (*Tulipa gesneriana*) cv. Murasakizuisho requires ferric ions. *Plant and Cell Physiology (Japan)*. 48(2): 243-251.
- SILBER, A.; LEVI, M.; COHEN, M.; DAVID, N.; SHTAYNMETZ, Y. & ASSOULINE, S. 2007. Response of *Leucadendron* 'Safari Sunset' to regulated deficit irrigation: Effects of stress timing on growth and yield quality. *Agricultural Water Management*. 87: 162-170.
- SMITH, D. R. & LANGHANS, R. W. 1961. The influence of day and night temperatures on the growth and flowering of the Easter lily (*Lilium longiflorum* Thunb. var. Croft). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 80: 593-598.

- SOUTHWICK, S. M. & DAVENPORT, T. L. 1986. Characterization of Water Stress and Low Temperature Effects on Flower Induction in Citrus. *Plant Physiol.* 81: 26-29.
- SRIVASTAVA, L. M. 2002. Plant growth and development. Hormones and the environment. Oxford: Academic Press. 772 p.
- STAMPS, R. H. 2009. Use of colored shade netting in horticulture. *HortScience.* 44(2): 239-241.
- STANHILL, G. & ALBERS, J. S. 1974. Solar radiation and water loss from glasshouse roses. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 99(2): 107–110.
- STARMAN, T. W.; CERNY, T. A. & GRINDSTAFF, T. L. 1994. Seed geranium growth and flowering responses to uniconazole. *HortScience.* 29(8): 865-867.
- STEUDLE, E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany.* 51: 1531-1542.
- TAGERAS, H. 1979. Modifying effects of ancymidol and gibberellins on temperature induced elongation in *Fuchsia hybrida*. *Acta Hort.* 91: 411-417.
- TAYAMA, H. K. & CARVER. S. A. 1990. Zonal geranium growth and flowering responses to six growth regulators. *HortScience.* 25: 82-83.
- TAYAMA, H. K. & CARVER. S. A. 1992. Concentration response of zonal geranium and potted chrysanthemum to uniconazole. *HortScience.* 27: 126–128.
- TAYAMA, H. K. & ZREBIEC, V. 1987. Growth regulator chart. Ohio Flor. *Association Bul.* 687: 26.
- TATINETI, A.; RAJAPAKSE, N. C.; FERNANDEZ, R. T. & RIECK, J. R. 2000. Effectiveness of plant growth regulators under photoselective greenhouse covers. *Journal of the American Society for Horticultural Science.* 125: 673-678.
- TINOCO, S. A.; GROSSI, J. A. S.; AZEVEDO, A. A.; BARBOSA, J. G. & SANTOS, N. T. 2011. Produção e qualidade de plantas de gerânio zonal (*Pelargonium × hortorum* L. H. Bailey) em resposta à aplicação de clomequat, daminozide



- e paclobutrazol via foliar. *Revista brasileira de horticultura ornamental*. 17(2): 149-157.
- THOLEN, D., VOESENEK, L. A., & POORTER, H. 2004. Ethylene insensitivity does not increase leaf area or relative growth rate in *Arabidopsis*, *Nicotiana tabacum*, and *Petunia x hybrida*. *Plant physiology*. 134(4): 1803-1812.
- TORRECILLAS, A.; ALARCON, J. J.; DOMINGO, R.; PLANES, J. & SANCHEZ-BLANCO, M. J. 1996. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. *Plant Science*. 118: 135-143.
- TORTOSA, P. A. N. 2008. Respuesta Agronómica y Fisiológica del Almendro al Riego Deficitario. Indicadores de Estrés Hídrico. Memoria presentada para optar al grado de Doctor en el Departamento de Producción Vegetal de la Universidad Politécnica de Cartagena. 194 pp.
- VAN IERSEL, M. & NEMALI, K. 2004. Drought stress can produce small but not compact marigolds. *HortScience*. 39(6): 1298-1301.
- VENCE, L. B. 2008. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. *Cl. SUELO (ARGENTINA)*. 26(2): 105-114.
- VILLALOBOS, E; UMAÑA, C. H. & STERLING, F. 1990. Determinación del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), durante la época seca en Quepos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 14(1): 73-78.
- VILLALOBOS, E.; UMAÑA, H. & CHINCHILLA, C. 1992. Estado de hidratación de la palma de aceite, en respuesta a la sequía en Costa Rica. *Oléagineux*. 47(5): 217-222.
- WEAVER, R. J. 1976. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Ed. Trillas. D. F., México. pp. 45-96.
- WHITE, J. W. 1970. Effects of cycocel, moisture stress and pinching on growth and flowering of F1 hybrid geraniums (*Pelargonium X hortorum* Bailey). *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 95(5): 546-550.

- WHITE, J. W. & WARRINGTON I. J. 1984. Effects of split night temperatures, light and chlormequat on growth and carbohydrate status of *Pelargonium x hortorum*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 109: 458-463.
- WHIPKER, B. E.; GIBSON, J. L. & CERVENY, C. B. 2006. Rooting hormones and plant growth regulators. En: Cutting Propagation. A guide to propagating and producing floriculture crops. pp. 89-99. J. M. Dole y J. I. Gibson. Ball Publishing. Batavia, Illinois.
- YAMASAKI, S. & DILLENBURG, L. R. 1999. Measurements of leaf relative water content in *Araucaria angustifolia*. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*. 11(2): 69-75.
- ZHANG, J. & DAVIES, W. J. 1990. Does ABA in the xylem control the rate of leaf growth in soil-dried maize and sunflower plants?. *Journal of Experimental Botany*. 41(9): 1125-1132.

**Anexo**

**Anexo A**

Características físicas y químicas del sustrato compuesto por resaca de río y corteza de pino 1:1 (v/v), utilizado en los experimentos.

	Unidad	Valor	
pH		4,63	
Conductividad Eléctrica	(mS/cm)	0,77	
Densidad de sustrato	(g/cm <sup>3</sup> )	0,4	
Densidad aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	0,2	
Humedad	(%)	54	
Materia orgánica	(%)	65	
Porosidad de aire	(%)	48	
Porosidad de agua	(%)	41	
Espacio poroso total	(%)	89	
Capacidad de retención de agua	(%)	40	
Granulometría o tamaño de partículas	(% en peso)	> 5,56	3
		5,56-4,75	3
		4,75-3,35	9
		3,35-2	17
		2-1,4	12
		1,4-1	11
		1-0,5	17
		< 0,5	28

Nota: Los análisis físicos y químicos se realizaron en el Laboratorio de Sustrato y Agua del Instituto de Floricultura del INTA.