

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

**Diego Alejandro Mata
Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía,
Universidad de Buenos Aires, 1999**

**Magister de la Universidad de Buenos Aires
Área: Producción vegetal**

**Escuela para Graduados Alberto Soriano
Convenio Facultad de Agronomía – UBA
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)**

COMITÉ CONSEJERO

CONSEJERO PRINCIPAL

Dr. Javier Francisco Botto
Investigador Adjunto CONICET
Profesor Adjunto – Cátedra de Fisiología Vegetal (FAUBA)

CONSEJERO

Prof. Dr. Rolf Röber
Senior Research Scientist
University of Applied Sciences Weihenstephan (Alemania)

CONSEJERO

Ing. Agr. Laura Bullrich
Magister Scientiae UBA
Directora Instituto de Floricultura (INTA)

JURADO DE TESIS

PRESIDENTE

Javier Francisco Botto
Investigador Adjunto CONICET
Profesor Adjunto – Cátedra de Fisiología Vegetal (FAUBA)

MIEMBRO

Dra. María Cecilia Rousseaux
Investigadora adjunta de CONICET
CRILAR-CONICET

MIEMBRO

Dr. Gustavo Ángel Maddonni
Coordinador Adjunto Programa M. Sc. en Producción Vegetal (EPG-FAUBA)
Profesor e Investigador (CONICET)
Cátedra de Cerealicultura Fac. Agronomía. UBA

Fecha de aprobación de la tesis: 29 de Marzo de 2010

Agradecimientos

A Javier F. Botto por su entera dedicación y disposición, por sus consejos y comentarios que con mucha objetividad guiaron mi trabajo.

A Laura Bullrich y a Daniel Morisigue por su constante apoyo y confianza.

Al Dr. Rolf Röber por sus oportunos consejos y por su permanente colaboración.

Al grupo de Manejo de Cultivos del Instituto de Floricultura, Alejandra Wicky, Mónica Karlanián, Mirta Papone y Lorena Barbaro por colaborar en las mediciones durante los ensayos.

Al personal de campo por su gran ayuda en el cuidado de las plantas y de los invernáculos los 365 días del año.

A Nené Pien y a Gonzalo Iglesias por su ayuda con todas las tareas administrativas.

A todo el personal del IF por su compañerismo, por su aliento y por crear un cálido ambiente de trabajo.

A mis padres, por su apoyo incondicional.

INDICE GENERAL

Agradecimientos.....	IV
Índice general.....	V
Índice de Tablas.....	VII
Índice de Figuras.....	VIII
Índice de Fotos.....	X
Declaración.....	XI
Trabajos publicados derivados de la tesis.....	XII
Resumen.....	XIII
Capítulo 1: Introducción general.....	1
1.1 La floricultura Argentina.....	1
1.2 Factores que afectan la calidad de las plantas ornamentales: los reguladores de crecimiento.....	1
1.3 Los factores ambientales afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas.....	3
1.4 El ambiente lumínico.....	4
1.5 Estructura y propiedades de los fitocromos.....	5
1.6 Funciones fisiológicas y ecológicas de los fitocromos.....	7
1.7 Algunas consideraciones acerca de la acción molecular de los fitocromos.....	9
1.8 Manipulación artificial del ambiente lumínico en cultivos ornamentales.....	9
Hipótesis.....	11
Objetivos.....	11
Capítulo 2: Manipulación del ambiente lumínico para producir plantas de Poinsetia de alta calidad.....	12
2.1 Introducción.....	12
2.2 Materiales y Métodos.....	14
2.2.1 Material vegetal y cultivo.....	14
2.2.2 Condiciones lumínicas y diseño experimental.....	16
2.2.3 Registro de datos y análisis estadístico.....	16
2.2.4 Experimento de luz al final del día (EOD: del inglés, End-Of-Day).....	18
2.3 Resultados y Discusión.....	18
Capítulo 3: Efecto de la luz y de la temperatura en la floración y en la arquitectura de <i>Salvia exserta</i>	28
3.1 Introducción.....	28
3.2 Materiales y Métodos.....	29
3.2.1 Material vegetal y cultivo.....	29
3.2.2 Experimentos de temperatura, fotoperíodo e irradiancia.....	29
3.2.3 Ensayos de reguladores de crecimiento (RC) y calidad de luz.....	31
3.3 Resultados.....	33
3.3.1 Efectos de la temperatura, el fotoperíodo y la irradiancia en la floración.....	33
3.3.2 Efectos del fotoperíodo, la irradiancia y la temperatura en la arquitectura de la planta.....	35

3.3.3 Efectos de los reguladores de crecimiento (RC) y de la calidad de luz en la arquitectura de la planta y en la floración.....	40
3.4 Discusión.....	45
Capítulo 4: Conclusiones generales.....	48
Bibliografía.....	51
Anexo A.....	58
Anexo B.....	60

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Temperatura media diaria, PAR (400-700 nm), luz R (645-675 nm), RL (715-745 nm), A (430-470 nm), y relación R/RL bajo un filtro transparente (T) y bajo uno fotoselectivo (S).....	18
Tabla 2.2. Número de nudos, largo de entrenudos promedio, diámetro del tallo, diámetro de la planta, número de brotes laterales en plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente (T), transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), fotoselectivo (S), y fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC).....	23
Tabla 2.3. Peso seco (g) de tallo, hojas y brácteas y área (cm ²) de hojas y brácteas de plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente (T), transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), fotoselectivo (S), y fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC).....	24
Tabla 3.1. PAR (radiación fotosintéticamente activa, 400-700 nm), luz R (roja, 645-675 nm), RL (rojo lejano, 715-745), relación R/RL y temperatura media diaria dentro de carpas cubiertas con polietileno transparente y fotoselectivo en los experimentos 1 y 2.....	32
Tabla 3.2. Largo del pecíolo, tamaño de la hoja (largo y ancho), número de tallos laterales y número de verticilos por inflorescencia en plantas de <i>S. exserta</i> cultivadas bajo diferentes ambientes de irradiancia.....	36
Tabla 3.3. Altura de la planta, largo de la inflorescencia y altura total en el momento de floración de plantas de <i>S. exserta</i> cultivadas bajo un polietileno transparente (T), polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), polietileno fotoselectivo (S) y polietileno fotoselectivo con aplicación de RC (S+RC) en dos experimentos.....	42
Tabla 3.4. Peso seco de la parte aérea, compacidad, número de verticilos por inflorescencia y largo de la flor de plantas de <i>S. exserta</i> cultivadas con un polietileno transparente (T), polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), polietileno fotoselectivo (S) y polietileno fotoselectivo con aplicación de RC (S+RC) en dos experimentos.....	42

Índice de Figuras

Figura 1.1. Esquema simplificado de los pasos de la biosíntesis de giberelinas, y puntos de inhibición de distintos reguladores de crecimiento.....	2
Figura 1.2. Espectro de la luz del día a campo abierto y dentro de un canopeo...4	
Figura 1.3. Diagrama esquemático de los dominios del fitocromo B (phyB).....6	
Figura 1.4. Estructura del fitocromo y fotoconversión isomérica en presencia de luz roja (R) y luz rojo lejana (RL).....6	
Figura 1.5. Espectro de absorción de las formas Pr y Pfr del fitocromo.....7	
Figura 2.1. Altura de la planta relativa al tratamiento control (T: polietileno transparente) de plantas cultivadas bajo un polietileno fotoselectivo (S) en experimentos conducidos en época estival en los años 2007 y 2008 (Experimentos 1 y 2 respectivamente).....19	
Figura 2.2. Evolución de la altura de la planta relativa al tratamiento control (T) para plantas cultivadas bajo un polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), bajo un polietileno fotoselectivo (S) y bajo un polietileno fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC).....19	
Figura 2.3. Curvas de crecimiento de plantas de poinsetia (líneas llenas) cultivadas bajo un polietileno transparente, polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), polietileno fotoselectivo (S), y polietileno fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC).....22	
Figura 2.4. Días a floración de plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente (T), transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), fotoselectivo (S), y fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC).....25	
Figura 2.5. Índices de compactibilidad expresados como área por unidad de altura de la planta (a) y peso seco por unidad de altura de la planta (b) para plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente, polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), polietileno fotoselectivo (S), y polietileno fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC).....25	
Figura 2.6. Altura de plantas de poinsetia expuestas a pulsos de una hora al final del día con luz R y RL (EOD-R y EOD-RL respectivamente). Las plantas control fueron cultivadas sin exposición de un pulso de luz al final del día (C).....26	
Figura 3.1. Transmitancia de los polietilenos transparente (línea llena) y fotoselectivo (línea punteada).....32	

- Figura 3.2. Tiempo a floración (A) y tasa de desarrollo a floración (B) definida como la inversa de días a floración, para plantas de *S. exserta* cultivadas en diferentes épocas a distintas temperaturas promedio.....34
- Figura 3.3. Efectos del fotoperíodo (A) y de la irradiancia (B) en el tiempo a floración de *S. exserta*, definido para dos eventos: pimpollo visible (PV) y primera flor de la inflorescencia abierta (F).....35
- Figura 3.4. Altura de la planta a pimpollo visible (VB, círculos blancos) y a primer flor de la inflorescencia abierta (F, círculos negros), y número final de nudos (barras verticales) de plantas de *S. exserta* cultivadas a distintos fotoperíodos (A), irradiancias (B) y temperaturas promedio (C).....37
- Figura 3.5. Número de tallos laterales al momento de floración (apertura de la primera flor de la inflorescencia) de plantas de *S. exserta* cultivadas a distintos fotoperíodos (A), irradiancias (B) y temperaturas promedio (C).....39
- Figura 3.6. Efectos de distintas dosis de daminozide (RC) en la altura de la planta (A) y en el tiempo a floración (B). El RC fue aplicado en aspersión foliar cuando las plantas tuvieron el tercer par de hojas totalmente expandidas.....40
- Figura 3.7. Efectos de la calidad de luz y de la aplicación de regulador de crecimiento (RC) en la altura de la planta (A), número de nudos (B) y longitud de entrenudos (C). T: polietileno transparente, T+PGR: polietileno transparente y RC, S: polietileno fotoselectivo, S+PGR: polietileno fotoselectivo y RC. Las flechas indican el día de aplicación del RC.....41
- Figura 3.8. Efectos de la calidad de luz y del regulador del crecimiento (RC) en el número de tallos laterales a floración (A) y en el tiempo a floración (B). T: polietileno transparente, T+PGR: polietileno transparente y RC, S: polietileno fotoselectivo, S+PGR: polietileno fotoselectivo y RC.....43
- Figura 3.9. Altura de la planta a floración (A) y tiempo a floración (B) de plantas de *S. exserta* expuestas a un pulso de luz R al final del día (EOD-R) y plantas control sin tratamiento al final del día.....44

Índice de Fotos

Foto 2.1. Planta de poinsetia a una semana del pinzado apical y distribución de las plantas dentro de una carpa experimental con filtro fotoselectivo.....	14
Foto 2.2. Distribución de las carpas experimentales con polietileno transparente y fotoselectivo (Solatrol) dentro de un invernáculo convencional.....	15
Foto 2.3. Fuentes lumínicas para administrar los tratamientos de luz R y RL al final del día.....	17
Foto 2.4. Plantas de poinsetia cultivadas bajo un filtro fotoselectivo y bajo un filtro transparente a los 43, 56 y 85 días de iniciado el experimento.....	20
Foto 2.5. Plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente (T), transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), fotoselectivo (S), y fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC) en el día 64 desde el inicio del experimento.....	21
Foto 2.6. Plantas de poinsetia expuestas a pulsos de una hora al final del día con luz R y RL a los 50 y 85 días desde el inicio del experimento.....	27
Foto 3.1. Inflorescencia de <i>Salvia exserta</i>	28
Foto 3.2. Siembra, germinación y transplanta de <i>S. exserta</i>	29
Foto 3.3. Plantas de <i>S. exserta</i> en pimpollo visible (PV) y en floración (F, apertura de la primera flor de la inflorescencia).....	30
Foto 3.4. Tratamiento de EOD-R.....	33
Foto 3.5. Plantas de <i>S. exserta</i> cultivadas con fotoperíodo de 10 y 14 horas.....	36
Foto 3.6. Brotación lateral en plantas de <i>S. exserta</i> cultivadas con dos niveles de irradiancia.....	38
Foto 3.7. Plantas de <i>S. exserta</i> cultivadas sin pulso de luz al final del día o con un pulso de luz R al final del día.....	44

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original, producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Ing. Agr. Diego A. Mata

Trabajos publicados derivados de la tesis

Mata DA, Botto JF (2009) Manipulation of light environment to produce high-quality plants of Poinsettia. Hortscience 44, 702-706.

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

Resumen

La arquitectura de las plantas, es un aspecto importante a tener en cuenta en la producción de plantas ornamentales de buena calidad. El uso de reguladores de crecimiento (RC) es una práctica de manejo habitual para controlar la arquitectura de las plantas. A nivel mundial hay una fuerte restricción para su uso debido a los riesgos de contaminación y a potenciales daños a la salud de los trabajadores. Las plantas ajustan su crecimiento y desarrollo a distintos estímulos del ambiente. Entre ellos, la luz es percibida por distintos fotorreceptores, como los fitocromos que detectan eficientemente cambios espectrales de luz roja (R) y rojo-lejana (RL). El objetivo de esta tesis fue evaluar si la manipulación del ambiente lumínico es una herramienta alternativa al uso de RC para controlar la arquitectura de las plantas ornamentales en condiciones agro-ecológicas y prácticas de manejo utilizadas en las producciones comerciales de los alrededores de Buenos Aires. Los experimentos se llevaron a cabo con plantas de *Euphorbia pulcherrima*, cuyo esquema productivo a nivel mundial está bien definido, y de *Salvia exserta*, una especie nativa con alto potencial ornamental. Se diseñaron experimentos incrementando la relación R/RL mediante filtros fotoselectivos o tratamientos lumínicos adicionando luz R, en combinación con o sin la aplicación de RC. El incremento de la relación R/RL mejoró la calidad de las plantas de ambas especies a través de un efecto sobre los distintos componentes de calidad ornamental en niveles comparables a los obtenidos con la aplicación de RC. El incremento de R/RL y el uso de RC tuvieron efectos aditivos lo que permitió obtener plantas más compactas combinando ambas estrategias de manejo. En conjunto, los resultados de esta tesis demuestran que la manipulación del ambiente lumínico constituye una herramienta efectiva y no contaminante para controlar la arquitectura de plantas ornamentales.

Palabras clave: arquitectura de la planta, regulador de crecimiento, ambiente lumínico, fitocromo, relación R/RL, *Euphorbia pulcherrima*, *Salvia exserta*.

Light quality manipulation as an alternative to the growth control in the production of ornamental pot-plants in the surroundings of Buenos Aires

Abstract

Plant architecture is an important aspect to take into account when cultivating good quality ornamental plants. Plant growth retardants (PGRs) have been the most common and rapid way of controlling plant architecture. However, the contamination risks and potential hazard to human health have been the principal cause for the increase of limitations on its usage around the world. Plants respond to many environmental factors adjusting its growth and development. Among them, light is perceived by different photoreceptors, like the phytochromes which specifically detect spectral changes associated with red (R) and far red (FR) light. The objective of this thesis was to evaluate whether light quality manipulation of the environment could be used as an alternative to PGRs for controlling plant architecture of ornamental plants under the agro-ecological conditions and culture practices used in commercial production systems around

Buenos Aires. The experiments were performed with plants of *Euphorbia pulcherrima*, which has a production scheme very well defined, and with plants of *Salvia exserta*, a native species with high ornamental potential. Different experiments were designed increasing the R/FR ratio with a photosensitive filter or with R light treatments, in combination with or without PGRs application. The increase in the R/FR of the environment improved final plant quality in both species affecting different plant quality components in a similar way as observed with the application of PGRs. The increase in the R/FR ratio and the PGR application had additive effects resulting in more compact plants when both alternatives were combined. Together, the results of this thesis demonstrate that the manipulation of the light environment is an effective and non pollutant tool for controlling ornamental plant architecture.

Key words: plant architecture, plant growth retardant, light environment, phytochrome, R/FR ratio, *Euphorbia pulcherrima*, *Salvia exserta*.

CAPÍTULO 1

Introducción general

1.1 La floricultura Argentina

La floricultura argentina ha cobrado gran importancia durante los últimos años; cuenta con una superficie de 2500 hectáreas (650 bajo cubierta) e involucra a unos 1300 productores, concentrándose el 51% en los alrededores de Buenos Aires (Morisigue y Villarreal, 2003). Según un estudio del INTEA-INTA-JICA realizado en el año 2003, el valor bruto del sector en el ámbito nacional, calculado sobre la base de precios al productor, ascendió en el año 2002 a un total de US\$ 158.6 millones, correspondiéndole US\$ 111.25 millones al subsector de plantas en maceta y US\$ 47.38 al de flores de corte. Informes más recientes como el Censo Hortiflorícola de la Provincia de Buenos Aires del año 2005 y el Anuario Estadístico 2007 de la Provincia de Corrientes, indican que el sector florícola se encuentra en expansión (Anexo A). Argentina cuenta con un gran potencial productivo debido a la diversidad agroecológica de su territorio. Sin embargo, se caracteriza por presentar una oferta limitada de productos, y por una baja calidad de los mismos (INTEA, 2003).

1.2 Factores que afectan la calidad de las plantas ornamentales: los reguladores de crecimiento.

En la producción de plantas ornamentales, la calidad final del producto (definida por la morfología de la planta, por la sanidad y por la durabilidad), determina su aceptación por parte del consumidor. Dentro de los componentes de calidad, la altura es un aspecto muy importante en la mayoría de los cultivos en maceta (Kambalapally y Rajapakse, 1998; Vogelezang, 2000; Franklin y Whitelam, 2006). Para controlar la elongación del tallo y lograr así una adecuada altura de planta, el uso de reguladores de crecimiento (RC) es una práctica común (Erwin y Heins, 1995; Hamid y Williams, 1997; Wilson y Rajapakse, 2001a). Entre los más utilizados a nivel mundial se encuentran los triazoles (paclobutrazol y uniconazol), el cloromequat y el daminozide (Ilias y Rajapakse, 2005). Actúan en distintas etapas de la biosíntesis de las giberelinas (GA) que tienen un papel central en la elongación celular y por ende en el crecimiento (Figura 1.1). El cloromequat y el paclobutrazol actúan en las etapas iniciales de la ruta metabólica de las GA, mientras que el daminozide en los pasos finales de la activación de la GA (Rademacher, 2000).

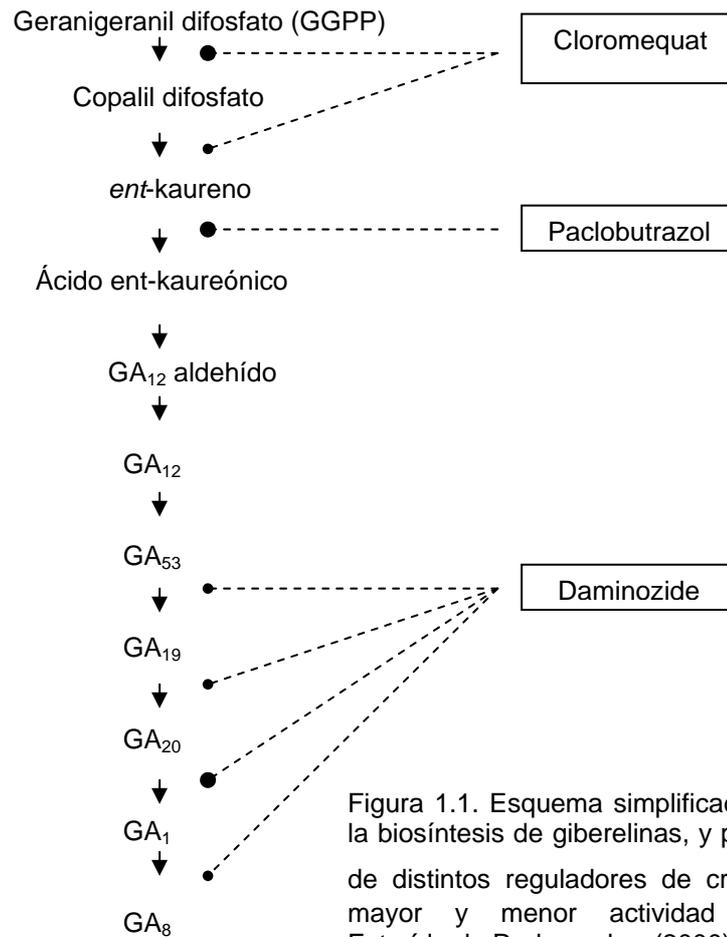


Figura 1.1. Esquema simplificado de los pasos de la biosíntesis de giberelinas, y puntos de inhibición de distintos reguladores de crecimiento (●, ◐ = mayor y menor actividad respectivamente). Extraído de Rademacher (2000).

La aplicación de este tipo de compuestos requiere de personal entrenado, pues su efectividad depende del momento de aplicación, de la temperatura, del estado del cultivo, de la forma de aplicación (aspersión foliar o riego), de la dosis, etc., así como de variables que son dependientes de cada especie (Starman y Williams, 2000; Kuehny *et al.* 2001; Wilson y Rajapakse, 2001a). En algunos cultivos, dependiendo del tipo de regulador y de la dosis utilizada, se han observado efectos fitotóxicos como clorosis, deformidades en las hojas y daños en las flores (Gent, 1997; Starman y Williams, 2000).

A pesar de su amplia difusión en la agricultura intensiva, en el mundo hay cada vez una mayor restricción para el uso de RC debido fundamentalmente a los riesgos de contaminación y a potenciales daños a la salud de los trabajadores (Kambalapally y Rajapakse, 1998; Rajapakse y Li, 2004). Los triazoles como el paclobutrazol, tienen efectos residuales y persisten en el sustrato o en el suelo por varios meses o incluso años (Gent, 1997; Adriansen y Odgaard, 1997). A otros, como el daminozide, se les atribuyen efectos nocivos sobre la salud humana, razón por la cual algunos productos han sido prohibidos en cultivos destinados a la producción de alimentos en Estados Unidos y Europa (Erwin y Heins, 1995; Ilias y Rajapakse, 2005). En la Argentina, la inscripción de productos con daminozide ha sido suspendida desde el año 1990 y recientemente, el producto comercial fue dado de baja por parte de la empresa registrante por lo que ya no cuenta con el registro correspondiente para su

comercialización en nuestro país (Carla Serafino, SENASA, comunicación personal).

1.3 Los factores ambientales afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Las plantas han desarrollado la capacidad de ajustar su crecimiento y desarrollo para adaptarse a las condiciones del ambiente que las rodea. Esta plasticidad adaptativa es llevada a cabo a través de la integración de múltiples estímulos ambientales como la temperatura, la luz y la disponibilidad hídrica entre otros (Sharp, 1996; Franklin, 2009).

La temperatura puede actuar como un estímulo para controlar la duración de las transiciones durante el desarrollo y se ha demostrado que ejerce una fuerte influencia en la morfología de muchas plantas ornamentales (Moe y Mortensen, 1992; Erwin y Heins, 1995; Bielenin y Joustra, 2000). Para controlar un aspecto importante de la morfología de las plantas como es la altura, en ciertos cultivos ornamentales es frecuente manipular las temperaturas nocturnas (Moe y Mortensen, 1992; Hendriks y Ueber, 1995). En muchos casos, el empleo de temperaturas nocturnas superiores a temperaturas diurnas (DIF negativo) produce fenotipos compactos mientras que plantas cultivadas con DIF positivos (temperaturas diurnas superiores a las temperaturas nocturnas) crecen con entrenudos largos como es el caso de *Begonia x tuberhybrida*, *Impatiens*, *Pelargonium* y *Petunia* (Moe y Mortensen, 1992). Evidencias experimentales han demostrado que los efectos de las alternancias de la temperatura en la elongación del tallo están determinados por la activación o desactivación del metabolismo de las giberelinas en los tratamientos de DIF positivos y negativos, respectivamente (GA; i.e. Grindal *et al.*, 1998). En nuestro país el uso de DIF negativos es una estrategia de difícil implementación debido a que en gran parte del año hay escasa oportunidad de reducir la temperatura diurna y además estos tratamientos tienen elevados costos energéticos.

El estrés hídrico es postulado por muchos investigadores como una herramienta para regular el crecimiento debido a que la expansión celular es dependiente del potencial hídrico en los tejidos de las plantas, al igual que muchos otros procesos ligados al crecimiento. Muchos trabajos se han enfocado en la inhibición del crecimiento del tallo ante restricciones hídricas (Sharp, 1996), y existen numerosas experiencias en plantas ornamentales (Röber y Horn, 1993; Röber, 1997; Morel, 2001). Sin embargo se han observado efectos negativos de esta práctica en la floración y en otros aspectos de la calidad final de la planta (Röber y Horn, 1993; Liptay 1998).

La luz provee a las plantas de información espacial, temporal y estacional. La existencia de fotorreceptores especializados permite a las plantas medir la cantidad, la calidad y la dirección del estímulo lumínico, así como también la duración (fotoperíodo), utilizando esta información para regular múltiples procesos durante su ciclo de vida. El fotoperíodo por ejemplo, interviene en la transición del estado vegetativo al reproductivo en muchas especies (Armitage y Tsujita, 1979; Mattson y Erwin, 2005). Recientes investigaciones sugieren además la existencia de componentes de señalización comunes en la integración de estímulos lumínicos y térmicos (Franklin, 2009) por lo que muchas respuestas fotomorfogénicas estarían mediadas por ambos factores simultáneamente.

1.4 El ambiente lumínico

Si bien la luz es principalmente fuente de energía que utilizan las plantas para la producción de fotoasimilados, también constituye una señal ambiental para que estas adquieran información muy precisa acerca del ambiente en que están creciendo y ajusten su crecimiento y desarrollo en un ambiente cambiante. En las plantas, las señales lumínicas son percibidas por al menos tres familias de fotorreceptores: los fitocromos, los criptocromos y las fototropinas. Así, los fitocromos absorben eficientemente la luz roja (R) y rojo lejano (RL), mientras que los criptocromos y las fototropinas lo hacen en la región de la luz azul (A) y UV-A del espectro (Sharrock y Quail, 1989; Cashmore *et al.*, 1999; Briggs y Huala, 1999). Recientes evidencias postulan además la existencia de fotorreceptores de luz UV-B pero su naturaleza y caracterización molecular son aún desconocidas (Boccalandro *et al.*, 2001, Ballaré *et al.*, 2006).

Hay distintos aspectos del ambiente lumínico que sufren cambios sustanciales en el tiempo y en el espacio y cuya detección puede ser de utilidad para las plantas:

- 1) La duración del estímulo lumínico o fotoperíodo (cantidad de horas de luz durante el día). Este parámetro varía a lo largo del año (estaciones) y también en función de la latitud.
- 2) La irradiancia (la cantidad de luz por unidad de tiempo y superficie). Este aspecto varía a lo largo del día y del año con la posición del sol respecto a la superficie, con factores climáticos, y con factores culturales como el sombreado por el uso de coberturas neutras.
- 3) La dirección del estímulo lumínico. Varía a la largo del día y del año (excepto en zonas ecuatoriales). También se observan diferencias en los claros de luz que se producen dentro de un canopeo vegetal o debajo de la hojarasca generando gradientes de luz
- 4) La composición espectral o calidad de luz (asociado a la composición de longitudes de onda). Este parámetro varía principalmente ante la presencia de plantas que absorben, reflejan y transmiten diferencialmente la luz azul, verde, rojo y rojo lejano (Figura 1.2). También varía en menor proporción según el momento del día (amanecer y atardecer).

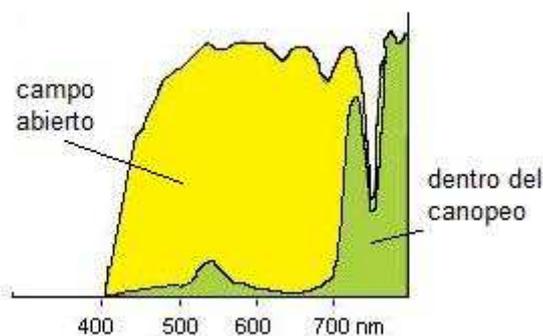


Figura 1.2. Espectro de la luz del día a campo abierto y dentro de un canopeo. Extraído y adaptado de Smith, 2000.

Los cambios en las características del ambiente lumínico se asocian a situaciones ecológicas variadas como la proximidad de las semillas y plántulas a la superficie del suelo durante los procesos de germinación y de emergencia respectivamente, a la apertura de claros de vegetación que pueden promover la germinación de semillas o el direccionamiento del crecimiento vegetativo hacia zonas de menor competencia por el recurso energético, y a la proximidad de plantas vecinas que promueven los procesos de elongación anticipándose a relaciones de competencia entre plantas vecinas o adelantando la inducción floral (Casal *et al.*, 1990; Ballaré *et al.*, 1990; Ballaré, 1999; Ballaré y Casal, 2000).

La luz natural contiene aproximadamente iguales proporciones de luz R y RL, estableciendo una relación R/RL cercana a 1,2 y cambia muy poco con las condiciones climáticas o con la época del año (Holmes y Smith, 1977). Sin embargo, cambios en la relación R/RL ocurren al amanecer y al atardecer reduciendo esta relación por el incremento relativo de RL. Además, cambios en la relación R/RL ocurren en comunidades de plantas debido a que la luz que llega a las hojas es fuertemente absorbida en las longitudes de onda del R, y el RL es reflejada o transmitida por los tejidos vegetales.

Si bien en la naturaleza no se encuentran ambientes con relaciones R/RL mayores a la de la luz solar, estas situaciones especiales pueden ser generadas artificialmente mediante el uso de lámparas con mayor contenido de luz R, o bien mediante filtros que selectivamente permiten el paso de la luz R y retienen en mayor o menor medida a la RL.

1.5 Estructura y propiedades de los fitocromos

De la familia de los fotorreceptores mencionados anteriormente, los fitocromos son el grupo que se encuentra mejor caracterizado tanto a nivel bioquímico como fisiológico. Los fitocromos son codificados por una pequeña familia multigénica. Por ejemplo en *Arabidopsis thaliana* se conocen 5 genes distintos que codifican para estos fotorreceptores denominados fitocromos A, B, C, D y E (PHYA-E) (Sharrock y Quail, 1989; Casal *et al.*, 2003). Los fitocromos están constituidos por una apoproteína que tiene dos dominios. Un dominio N-terminal de percepción de la señal lumínica que tiene un cromóforo unido covalentemente, y otro dominio C-terminal de transducción de la señal (Nagatani, 2005; Paul y Khurana, 2008; Figura 1.3). El cromóforo consiste en un tetrapirrol de cadena abierta el cual absorbe luz R y RL, modificando su conformación (Figura 1.4). La excitación del cromóforo modifica la configuración de la proteína alterando la capacidad de acción biológica. Por otro lado, el dominio C-terminal contiene dominios que regulan la dimerización, la localización nuclear y la interacción proteína-proteína de los fitocromos con sus componentes aguas abajo (Han *et al.*, 2007).

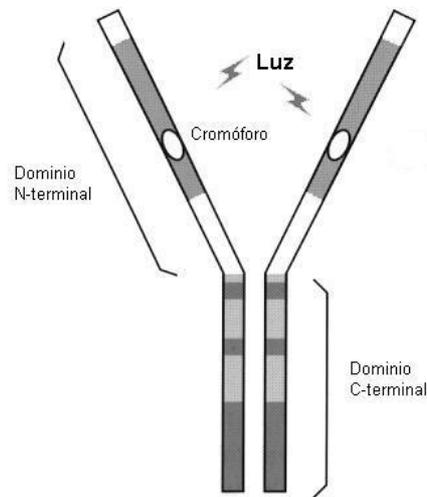


Figura 1.3. Diagrama esquemático de los dominios del fitocromo B (phyB), extraído de Nagatani (2005).

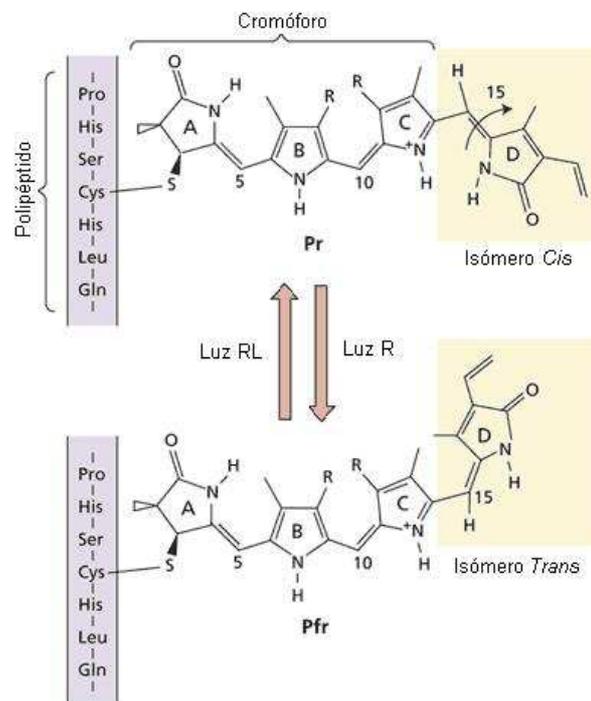


Figura 1.4. Estructura del fitocromo y fotoconversión isomérica en presencia de luz roja (R) y luz roja lejana (RL). Extraído de Taiz y Zeiger (2002).

El dogma central de la acción de los fitocromos es su fotoconversión. La forma Pr cambia su configuración a la forma Pfr cuando absorbe fotones de luz R (660 nm) mientras que, la forma Pfr, que es considerada la forma activa de los fitocromos, vuelve a la conformación Pr cuando absorbe fotones de luz RL (Figura 1.4). Un aspecto notable es el solapamiento de los espectros de absorción de la forma Pr y Pfr (Figura 1.5), que implica que cuando un tejido vegetal es expuesto a la luz, la fotoconversión entre ambas formas ocurre en ambos sentidos estableciéndose una determinada relación de Pfr/fitocromo total (Pfr/P).

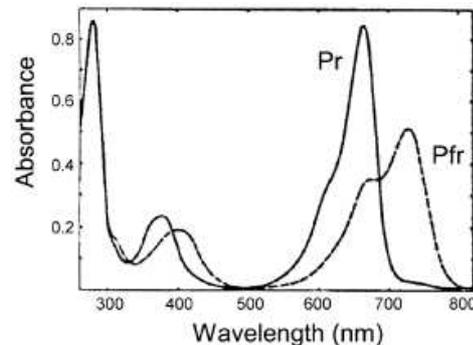


Figura 1.5. Espectro de absorción de las formas Pr y Pfr del fitocromo. Extraído de Taiz y Zeiger (2002).

La acción de los fitocromos es por lo tanto, una función de las cantidades relativas de las formas Pr y Pfr establecidas en los tejidos de las plantas, y se correlaciona positivamente con la relación R/RL en un amplio rango de condiciones lumínicas (Smith, 1981). El fotoequilibrio establecido en los tejidos determina en muchos casos el tipo y la magnitud de la respuesta fotomorfogénica y es utilizado para sincronizar el desarrollo de la planta con las condiciones lumínicas del ambiente (Smith, 2000), modulando diversos procesos desde la germinación y el establecimiento de las plántulas, hasta la arquitectura de la planta y el desarrollo reproductivo (Franklin y Whitelam, 2006).

1.6 Funciones fisiológicas y ecológicas de los fitocromos

El crecimiento y el desarrollo de las plantas son fuertemente afectados por las condiciones lumínicas del ambiente durante todo su ciclo de vida. La germinación, la des-etiolación, la arquitectura y la floración son algunos de los procesos fisiológicos que responden a la composición espectral de la luz permitiendo a las plantas ajustarse a las condiciones ambientales para aumentar las posibilidades de capturar recursos limitantes (Fankhauser y Chory, 1997).

Las semillas de muchas especies requieren luz para germinar. Algunas son capaces de distinguir entre oscuridad total y exposiciones de milisegundos a la luz, mientras que otras pueden distinguir entre plena luz y reducciones en la relación R/RL (Ballaré y Casal, 2000). Estas respuestas se denominan VLFR (very low fluence response) y LFR (low fluence response), respectivamente. Las VLFR están mediadas por el phyA y se inducen con flujos de luz muy bajos del orden de los 10^{-9} mol.m⁻². Se saturan con concentraciones muy bajas de Pfr y no presentan fotorreversibilidad. Las semillas de muchas malezas exhiben este tipo de respuestas por lo que su germinación es inducida con exposiciones de sólo

milisegundos a la luz. Las respuestas LFR son respuestas R/RL reversibles mediadas por los fitocromos estables en la forma Pfr (phyB-phyE). Requieren flujos lumínicos de entre 0,1 y 100 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y son respuestas inducidas en ambientes en donde se forman claros de vegetación como consecuencia de la ocurrencia de algún disturbio (Insausti *et al.*, 1995, Deregibus *et al.*, 1994). En ciertas circunstancias, las semillas pueden estar expuestas a altas irradiancias de luz RL, estas respuestas son conocidas como HIR (high irradiance response) y están mediadas por el phyA (Casal y Sánchez, 1998).

Una vez que la semilla germina, el eje vascular de la plántula etiolada crece hacia la superficie. Los fotones que absorbe la plántula al emerger del suelo re-direccionan su desarrollo hacia la des-etiolación que permite ajustar la maquinaria fotosintética, inducir la inhibición del crecimiento del hipocótilo, y promover la apertura de los cotiledones entre otros. Estos procesos son finamente modulados por los fitocromos a través de las respuestas VLFR, LFR y HIR y por los criptocromos.

Luego de la emergencia, el sombreado mutuo y la competencia por la luz se intensifican a medida que el canopeo empieza a cerrarse. La reflexión de luz RL por los tejidos vegetales disminuye la relación R/RL del ambiente lumínico. El largo de los entrenudos, la disposición de las hojas, el balance entre el tallo principal y los tallos laterales, el ángulo de inserción de los pecíolos y la expansión foliar son sensibles a la composición del ambiente lumínico. Así, estos cambios en la relación R/RL son percibidas por los tejidos de las plantas y constituyen señales unívocas asociadas a la percepción de plantas vecinas que determinan dramáticas respuestas fisiológicas como alargamiento de tallos y pecíolos, refuerzo de la dominancia apical, o la aceleración del tiempo a floración (Ballaré *et al.*, 1995; Smith y Whitelam, 1997), comúnmente agrupadas bajo el término 'síndrome de escape al sombreado' (traducido del inglés: shade-avoidance syndrome).

Por otro lado, se ha observado un efecto contrario en plantas cultivadas en ambientes de elevada R/RL. Este tipo de ambientes genera un aumento en la proporción del fitocromo en la forma activa (Pfr), y se ha demostrado que tiene un impacto directo en la inhibición de la concentración de hormonas como la GA, produciendo cambios morfológicos opuestos al síndrome de escape al sombreado. En especial se ha demostrado que las GA son la llave para la regulación del crecimiento, al menos a través de la elongación del tallo (Kurepin *et al.*, 2006 y 2007).

En muchas especies, la composición del espectro lumínico es una importante señal que controla la inducción floral (Fankhauser y Chory, 1997; Cerdan y Chory, 2003). La luz RL por ejemplo, es la más efectiva para acelerar la floración de plantas de día largo en experimentos de extensión del día y tiene un rol directo en la activación del integrador floral *FT* (*FLOWERING TIME*) a través de *CO* (*CONSTANS*) (Halliday *et al.*, 2003; Yanovsky y Kay, 2003). El retraso de la floración en mutantes *phyA* de *Arabidopsis* (planta de día largo) demostró que el *phyA* funciona como un promotor de la floración (Franklin *et al.*, 2005). La aceleración de la floración en respuesta a ambientes de baja R/RL se interpreta como una estrategia para asegurar la producción de semillas antes de que la competencia por recursos sea limitante. Por otro lado, la luz percibida por fitocromos estables (i.e. *phyB*) reprime la expresión de *FT* a través de *CO* actuando como inhibidor de la floración (Izawa *et al.*, 2002).

1.7 Algunas consideraciones acerca de la acción molecular de los fitocromos

Luego de la fotoconversión de la forma inactiva Pr a la forma activa Pfr, los fitocromos son translocados al núcleo donde se unen directamente a una familia de factores de transcripción denominados PIF (PHYTOCHROME INTERACTING FACTOR) regulando así la transcripción de diversos genes. Análisis de micro-arreglos han indicado que la expresión de miles de genes cambian en su respuesta a la luz R o RL, lo que constituye un 10% del total del genoma de *Arabidopsis* (Han *et al.*, 2007). El estudio de plantas mutantes con niveles alterados de PIF4 y de PIF5 revelaron un rol significativo de estas proteínas en las respuestas de escape al sombreado, promoviendo la expresión de genes que regulan la elongación (Lorrain *et al.*, 2008). Estos estudios además demostraron que la estabilidad de PIF4 y PIF5 es rápidamente incrementada cuando se transfieren plantas desetiadas a bajas R/RL. La observación de respuestas de escape al sombreado en dobles mutantes *pif4pif5* pone en evidencia la existencia de múltiples mecanismos de regulación (Lorrain *et al.*, 2008). En tal sentido, otras investigaciones reportan que la relación R/RL opera al menos en parte, a través de la degradación de reguladores transcripcionales, mecanismo ya establecido en la señalización de las auxinas y de las giberelinas (Bauer *et al.*, 2004; Huq *et al.*, 2006).

Recientes estudios indican que las vías de las GA y de los fitocromos convergen en la regulación del crecimiento a través del control de la abundancia de las proteínas DELLA, que actúan en la elongación de hipocótilos de *Arabidopsis* (Feng *et al.*, 2008; de Lucas *et al.*, 2008). Las proteínas DELLA funcionan como represoras del crecimiento mediado por GA, inhibiendo la expresión génica regulada por GA. En un experimento reciente, de Lucas *et al.* (2008) demuestran que los PIF tienen un rol central en el control de genes mediadores del alargamiento celular y muestran que estos factores son negativamente regulados por el phyB y por DELLA. PIF4 es desestabilizado por phyB en la luz, y las DELLA bloquean la actividad transcripcional de PIF4. Las GA promueven la desestabilización de DELLA causando la acumulación de PIF4 libre en el núcleo. La desestabilización de este factor mediada por phyB, junto con la activación de las DELLA, explican la integración de las señales de la luz y de las GA para optimizar el crecimiento y el desarrollo en respuesta a cambios en el ambiente (de Lucas *et al.*, 2008; Achard *et al.*, 2007).

1.8 Manipulación artificial del ambiente lumínico en cultivos ornamentales

Las respuestas fotomorfogénicas de los cultivos pueden ser manipuladas modificando el ambiente lumínico (Ballaré y Casal, 2000). En cultivos extensivos esto puede lograrse modificando la distancia entre plantas, pero en cultivos intensivos bajo cubierta las posibilidades para modificar el ambiente lumínico son mayores. El control del fotoperíodo es habitual en muchos cultivos florícolas como clavel, crisantemo y poinsetia (Larson, 1996) para regular la floración o para mantener plantas madre en estado vegetativo. En la producción bajo invernadero de países nórdicos suele utilizarse luz suplementaria para aumentar la radiación incidente en el cultivo ya que es insuficiente en gran parte del año.

La calidad de la luz puede modificarse usando distintos tipos de luz suplementaria (lámparas incandescentes o fluorescentes), o bien utilizando coberturas o mallas de sombreado fotoselectivas (Oren-Shamir *et al.*, 2001; Cerny *et al.*, 2003). El uso de filtros fotoselectivos que incrementan la relación R/RL del

ambiente permite controlar de manera efectiva la altura en numerosas especies de plantas florales y en especies para plantín (McMahon y Kelly, 1990; Rajapakse y Kelly, 1992; Kambalapally y Rajapakse, 1998; Oyaert *et al.*, 1999; Runkle y Heins, 2002; Cerny *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2003; Clifford *et al.*, 2004;). Sin embargo, muchas veces la respuesta es dependiente de la variedad y de la época del año en que se lleva a cabo el cultivo (Rajapakse y Kelly, 1995; Kambalapally y Rajapakse, 1998; Runkle y Heins, 2001; Wilson y Rakapakse, 2001a; Cerny *et al.*, 2003). Por ello, para optimizar el uso de cualquier tipo de filtros espectrales es necesario tener un profundo conocimiento de las respuestas morfológicas y fisiológicas de cada especie ante cambios en el ambiente lumínico. Además debe tenerse en cuenta cualquier efecto que la luz pudiera tener sobre la planificación del cultivo y sobre la calidad del producto final (Cerny *et al.*, 2003; Khattak y Pearson, 2006).

La principal desventaja o limitación del uso de filtros es la reducción en la transmitancia de la radiación fotosintéticamente activa (PAR, del inglés: photosynthetically active radiation) (Runkle y Heins, 2002; Rajapakse y Li, 2004). Esto afecta de manera importante la calidad de las flores y de la planta en general a través de una disminución en la producción de materia seca (Rajapakse y Kelly, 1992; Li *et al.*, 2000). Se ha observado que muchas veces el cultivo continuo bajo filtros viene acompañado de una disminución en el número de hojas, de ramificaciones laterales y del área foliar (Mortensen y Stromme, 1987; Oyaert *et al.*, 1999). También, en algunas especies se observó un retraso en la floración o en la aparición de brácteas coloreadas (Rajapakse y Kelly, 1995; Runkle y Heins, 2002; Runkle y Heins, 2001; Cerny *et al.*, 2003; Clifford *et al.*, 2004).

Si bien no existen experiencias locales del uso de filtros fotoselectivos en cultivos comerciales, los resultados observados en países del hemisferio norte sugieren que podría ser una alternativa de manejo atractiva para el sector productivo local. Será importante sin embargo, contar con información respecto a los efectos que la manipulación del ambiente lumínico pueda tener en la calidad del producto final, y en la planificación de cada cultivo en particular para adecuar los actuales programas de cultivo al uso de esta nueva tecnología.

HIPÓTESIS

El incremento de la relación R/RL del ambiente lumínico que rodea a la planta induciría cambios en su arquitectura similares a los obtenidos mediante el uso de reguladores de crecimiento.

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar el efecto de la manipulación de la calidad de luz como alternativa de manejo a los RC en dos producciones de plantas ornamentales: *Euphorbia pulcherrima* y *Salvia exserta*.

Objetivos específicos

- Estudiar el crecimiento y desarrollo de plantas de *Euphorbia pulcherrima* y de *Salvia exserta* en condiciones de invernáculo con ambientes lumínicos con distintas relaciones de luz R/RL.
- Evaluar y comparar el efecto del aumento de la relación R/RL, el uso de reguladores de crecimiento y su interacción, en la determinación de la arquitectura de las plantas y en los componentes de la calidad de las mismas.
- Evaluar la efectividad de manipular la calidad de luz en la producción de plantas de *E. pulcherrima* siguiendo las prácticas de manejo que se utilizan a escala comercial en las condiciones agroclimáticas de los alrededores de Buenos Aires.
- Generar información acerca de los requerimientos lumínicos (fotoperíodo, cantidad y calidad de luz) y térmicos que regulan el crecimiento y el desarrollo de *Salvia exserta*.

CAPÍTULO 2

Manipulación del ambiente lumínico para producir plantas de Poinsetia de alta calidad

2.1 Introducción

La poinsetia o estrella federal (*Euphorbia pulcherrima* Willd.), es una especie ornamental de gran importancia a nivel mundial, especialmente demandada en la época navideña por la coloración rojiza de sus brácteas que contrastan con su follaje verde intenso (Snipen *et al.*, 1999; Clifford *et al.* 2004). En la Argentina, su consumo no tiene una marcada estacionalidad y se distribuye a lo largo del año (Daniel Morisigue, comunicación personal). No existen registros de los volúmenes de producción a nivel nacional, pero su cultivo se concentra en el área metropolitana de Buenos Aires (AMBA). Se trata de una especie de bajos requerimientos de irradiancia y presenta una respuesta fotoperiódica de días cortos con un fotoperíodo crítico de aproximadamente 12,5h con variaciones según la variedad y la temperatura ambiental (Stromme, 1994; Ecke *et al.*, 2004).

El control de la altura de la planta es un aspecto muy importante a tener en cuenta a la hora de producir plantas de poinsetia con alto valor comercial. Para su control, es común el uso de reguladores de crecimiento químicos (RC) como el chloromequat, el daminozide y el paclobutrazol, especialmente en las épocas de primavera y verano, en las que las altas temperaturas promueven un acelerado crecimiento de este cultivo. Sin embargo, el uso de RC ha causado en muchas oportunidades efectos secundarios indeseables como la reducción del tamaño y/o enrollamiento de las brácteas, amarillamiento de las hojas, quemado del margen de las hojas y retraso en la floración, lo cual dificulta la comercialización y en algunos casos condiciona la venta del producto (Niu *et al.*, 2002; Ecke *et al.*, 2004). Por otro lado, los crecientes costos de los RC, las restricciones existentes para la comercialización de algunos productos y la creciente demanda del sector consumidor para la disminución del uso de contaminantes químicos en la producción agrícola son buenas razones para estimular la exploración e investigación de nuevas alternativas sustentables (Berghage y Heins, 1991; Li *et al.*, 2000; Runkle y Heins, 2002; Clifford *et al.*, 2004).

La altura de las plantas puede ser afectada a través de la manipulación de la calidad de la luz, y muchas experiencias exitosas han sido reportadas para diferentes cultivos ornamentales (Mortensen y Stromme, 1987; Rajapakse y Kelly, 1992; Kambalapally y Rajapakse, 1998; Li *et al.* 2000; Runkle y Heins, 2001). Trabajos previos demuestran que las plantas de poinsetia responden a la manipulación del ambiente lumínico reduciendo la altura de las plantas bajo elevadas relaciones R/RL (McMahon y Kelly, 1990; Clifford *et al.*, 2004). Sin embargo, estos trabajos fueron conducidos en meses invernales y el uso de filtros fotoselectivos acentuó la disminución estacional de la irradiancia disponible para el cultivo, ocasionando una pérdida de calidad en las plantas (Clifford *et al.*, 2004). Además, no fueron cuantificados parámetros de calidad de plantas terminadas con brácteas coloreadas debido a que las mismas fueron cultivadas en condiciones no inductivas de días largos. Consecuentemente se han obtenido limitadas recomendaciones prácticas de estos trabajos.

En general se ha reportado que el uso de filtros fotoselectivos reduce entre un 25 y un 30% la radiación incidente, por lo que se sugiere que su uso tendría mayores beneficios en épocas estivales con mayores niveles de radiación, y/o en zonas templadas de menor latitud ya que a mayores latitudes los niveles de radiación serían apropiados en un corto período de tiempo (Cerny *et al.*, 2003; Clifford *et al.*, 2004). Se ha sugerido el uso de filtros fotoselectivos en breves momentos del día, cuando los valores de radiación son máximos, como alternativa al uso continuo de los filtros y así poder maximizar la cantidad de radiación captada por el cultivo y minimizar cualquier reducción en la calidad. Experiencias previas demuestran que pulsos de luz rojo lejano (RL) al final del día (EOD-RL) son suficientes para simular el ambiente lumínico detectado bajo densos canopeos induciendo respuestas de escape al sombreado (del inglés, shade avoidance; Smith y Whitelam, 1997). Por otro lado, pulsos de luz roja (R) al final del fotoperíodo (EOD-R) permitieron reducir el largo del tallo en plantas de petunia (Ilas y Rajapakse, 2005).

En este capítulo se evalúa la manipulación de la calidad de luz para la producción de poinsetia de buena calidad ornamental. En particular se estudian distintos componentes de la calidad de plantas de poinsetia variedad 'Freedom Red' cultivadas con radiación natural en época estival bajo diferentes valores de R/RL, en combinación con o sin aplicación de RC, utilizando prácticas de manejo similares a las usadas por los productores de los alrededores del AMBA.

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Material vegetal y cultivo

Estacas enraizadas de poinsetia var. 'Freedom Red', provistas por un productor comercial (Cultivos Kogiso, Garin, Pcia. de Buenos Aires), fueron plantadas en macetas de 13 cm de diámetro con un sustrato compuesto por hoja de pino compostada, resaca y tierra (2:1:1 v/v), desinfectado con vapor. Dos semanas después fueron pinzadas al 6º nudo contando de la base, y se ubicaron dentro de carpas experimentales a una densidad inicial de 30 plantas/m² (Foto 2.1).



Foto 2.1. Planta de poinsetia a una semana del pinzado apical (izquierda) y distribución de las plantas dentro de una carpa experimental con filtro fotoselectivo Solatrol (derecha).

Durante las primeras cuatro semanas de cultivo, las plantas se mantuvieron en condiciones de día largo (14 h de luz + 10 h de oscuridad) para favorecer el crecimiento vegetativo. Luego, el fotoperíodo se ajustó a condiciones de día corto (10 h de luz + 14 h de oscuridad) para inducir la floración. Se utilizó un sistema pantallas de oscurecimiento móviles en los laterales y por encima de las carpas experimentales que garantizan ambientes sin luz (CiberAgro, Argentina). Al comenzar el tratamiento de fotoperíodo corto, las plantas fueron transplantadas a la maceta final de 15 cm de diámetro con el mismo sustrato y se espaciaron a una densidad de 10 plantas/m². Todas las plantas fueron regadas en forma manual utilizando una solución compuesta por 150 mg/l N de un fertilizante 18:18:18 (Hakaphos Rojo, Compo Argentina) y por 50 mg/l N de nitrato de calcio.

2.2.2 Condiciones lumínicas y diseño experimental

Dentro de un invernáculo convencional se construyeron carpas experimentales (3 x 0.9 x 0.9 m) utilizando uno de dos tipos de polietileno: transparente (control) o fotoselectivo (Solatrol, BPI Agri, Stockton-on-Tees, Reino Unido, Anexo B) obteniéndose dos ambientes lumínicos que solo se diferenciaban por la calidad de luz R/RL establecida debajo de los filtros. Con cada polietileno se construyeron 3 carpas (Foto 2.2).



Foto 2.2. Distribución de las carpas experimentales con polietileno transparente y fotoselectivo (Solatrol) dentro de un invernáculo convencional de polietileno.

Debido a que la transmisión de radiación fotosintéticamente activa (PAR) del filtro fotoselectivo es un 25-30% menor respecto al transparente, se colocó una malla de media sombra neutra del 30% por encima del filtro transparente para igualar los valores de radiación fotosintéticamente activa (PAR) dentro de ambos tipos de carpas. Se midió la radiación de los espectros Rojo (R: 645-675 nm), Rojo lejano (RL: 715-745 nm) Azul (A: 430-470 nm) y PAR (400-700 nm) utilizando un sensor de 4 canales SKR 1850A (Skye Instruments Ltd., Reino Unido) conectado a un registrador de datos LI-1400 (LI-COR Inc., Lincoln, USA). La relación R/RL dentro de cada carpa se calculó utilizando estos datos. Se registró la temperatura ambiente dentro de las carpas a intervalos de una hora utilizando registradores de datos miniatura (Thermochron, i-Button, USA).

El experimento se repitió en dos veranos correspondientes a dos años consecutivos: 2007 y 2008 (experimentos 1 y 2 respectivamente). En el experimento 1 se utilizó un diseño completamente aleatorizado y los tratamientos se denominaron T (polietileno transparente) y S (polietileno fotoselectivo). En el experimento 2 se utilizó un diseño en parcelas divididas, con el tipo de polietileno como factor principal y la aplicación de regulador de crecimiento (RC) como factor secundario. De esta manera, cuatro fueron los tratamientos establecidos: T (control: polietileno transparente); T+RC (polietileno transparente con aplicación de RC); S (polietileno fotoselectivo) y S+RC (polietileno fotoselectivo con aplicación de RC). El factor RC consistió en la aplicación de una mezcla compuesta por 1500ppm de daminozide (B-9, Uniroyal Chemical) y 1000ppm cloromecuato (Cycocel), dos semanas después de iniciado el fotoperíodo inductivo, utilizando un atomizador manual. Una aplicación similar con agua se hizo a las plantas de los tratamientos T y S como control del RC.

2.2.3 Registro de datos y análisis estadístico

Semanalmente se registraron la altura de la planta y el número de nudos con hojas totalmente expandidas desde el momento en que las plantas se colocaron en las carpas experimentales. Se utilizó un software desarrollado para el cultivo de poinsetia (UNH Flora Track) que permite definir la necesidad y el momento de aplicación del RC según el ajuste de la curva de crecimiento del cultivo respecto a un rango de altura objetivo (Fisher 2005). Siguiendo las prácticas de manejo de este cultivo, la altura máxima objetivo se definió a los 25 cm del nivel del sustrato, calculando 2.5 veces el diámetro de la maceta⁽¹⁾, y restando a este valor la altura de la maceta (12,5 cm).

Se calculó la longitud promedio de los entrenudos dividiendo la altura de la planta por el número de nudos. Las plantas fueron cosechadas en antesis (apertura de la primera ciatia) y en ese momento se registraron los días a floración, el área de hojas y de brácteas, y el peso seco de las partes aéreas (tallos + hojas + brácteas). Se utilizó el incremento en área y/o en peso seco por unidad de altura como indicador de la compactibilidad de las plantas (van Iersel y Nemali, 2004).

Cada réplica experimental estaba compuesta por grupos de 8 plantas y un total de tres replicas por tratamiento en cada experimento fueron establecidas. En cada uno de los experimentos, los datos fueron analizados utilizando un análisis de varianza (InfoStat 2008) y las diferencias entre los tratamientos fueron evaluadas con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

2.2.4 Experimento de luz al final del día (EOD: del inglés, End-Of-Day)

Se realizaron dos experimentos de EOD: Noviembre de 2007 y Enero de 2008. Para ello, plantas similares a las utilizadas en el experimento anterior fueron separadas en tres grupos. Dos grupos de plantas fueron irradiadas al final del período lumínico del día con un pulso de luz R o RL de una hora de duración (EOD-R y EOD-RL, respectivamente) manteniendo el tercer grupo de plantas como control sin aplicación de un pulso adicional de luz al final del período lumínico. Todas las plantas recibieron radiación natural durante el fotoperíodo. El tratamiento de luz R al final del día fue obtenido mediante el uso de lámparas fluorescentes colocadas detrás de un paño del mismo polietileno fotoselectivo descrito previamente, generando una relación R/RL de 4,88 (Foto 2.3). El tratamiento de luz RL fue obtenido mediante lámparas incandescentes detrás de placas de acetato rojo y azul que absorbían casi toda la luz R y A, estableciéndose una relación R/RL de 0,03. Entre la fuente lumínica y las placas de acetato se colocó una fila de frascos de vidrio transparente con agua para disipar el calor generado por las lámparas (Foto 2.3). Las fuentes de luz utilizadas en ambos tratamientos se colocaron en la cara sur de las plantas. Se registraron las temperaturas del aire en cada tratamiento a intervalos horarios utilizando registradores de datos miniatura (Thermochron, i-Button, USA), no encontrándose diferencias significativas entre las mismas. Se estableció un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. Cada unidad experimental estaba compuesta por 4 plantas. Semanalmente se registraron la altura de la planta y el número de nudos con hojas totalmente expandidas. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza (InfoStat 2008) y las

⁽¹⁾ Proporción recomendada en los principales países productores para definir la altura apropiada de una planta de poinsetia en maceta.

diferencias entre los valores medios de los tratamientos se evaluaron con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).



Foto 2.3. Fuentes lumínicas para administrar los tratamientos de luz R y RL al final del día (izquierda y arriba respectivamente).

2.3 Resultados y Discusión

No se registraron diferencias significativas en la temperatura media entre los dos tipos de carpas utilizadas en el experimento (Tabla 2.1). El uso del polietileno fotoselectivo redujo en más de 6 veces el flujo de fotones RL con respecto al tratamiento control con plástico transparente, elevando la relación R/RL a 5,7 (Tabla 2.1). Los valores de radiación PAR, A y R bajo las carpas fueron similares entre los tipos de cobertura utilizada (Tabla 2.1). Los valores de la relación R/RL medidos bajo la carpa de polietileno fotoselectivo fueron superiores a los reportados por otros investigadores que utilizaron la radiación solar como única fuente de luz (Mortensen y Stromme, 1987; Li *et al.*, 2000; Fletcher *et al.*, 2005).

Tabla 2.1. Temperatura media diaria, PAR (400-700 nm), luz R (645-675 nm), RL (715-745 nm), A (430-470 nm), y relación R/RL bajo un filtro transparente (T) y bajo uno fotoselectivo (S).

Polietileno	Temperatura media del aire (°C)		PAR ¹	Azul ¹	Rojo ¹	Rojo Lejano ¹	R/FR
	Exp. 1	Exp. 2					
Transparente (T)	24.6	26.0	414.4	44.6	41.7	38.4	1.1
Fotoselectivo (S)	24.7	26.3	393.4	40.7	38.0	6.2	5.7
P^2	0.656	0.264	0.365	0.129	0.068	0.004	0.004

¹ Medido al mediodía de un día despejado y expresado como $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$

² Corresponde a una prueba *t* para dos muestras.

La altura de las plantas disminuyó en un 13 y en un 17% respecto al tratamiento control en los experimentos 1 y 2 respectivamente al final del experimento (Figura 2.1). Estos valores son similares a otros reportados para otras especies ornamentales (Li *et al.*, 2000; Wilson y Rajapakse, 2001a y 2001b; Runkle y Heins, 2001 y 2002; Cerny *et al.*, 2003). Usando plantas de poinsetia var. 'Freedom Red', Clifford y colaboradores (2004) encontraron que una alta relación R/RL (> 1.7) redujo en un 20% la extensión del tallo en plantas cultivadas bajo un filtro fotoselectivo comparado con plantas cultivadas bajo radiación natural y una R/RL = 1.07. Sin embargo debe mencionarse que estos resultados no son estrictamente comparables con nuestros datos porque en esos experimentos, la radiación natural fue suplementada con lámparas de sodio de alta presión que incrementaron la R/RL de 1.7 a 5.73 solo si los valores de PAR caían por debajo de $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el fotoperíodo. Además, Clifford *et al.* (2004) cultivaron las plantas en condiciones no inductivas de fotoperíodo largo (16hs de luz) en donde no pudo evaluarse el efecto de la manipulación del ambiente lumínico en la calidad de plantas terminadas.

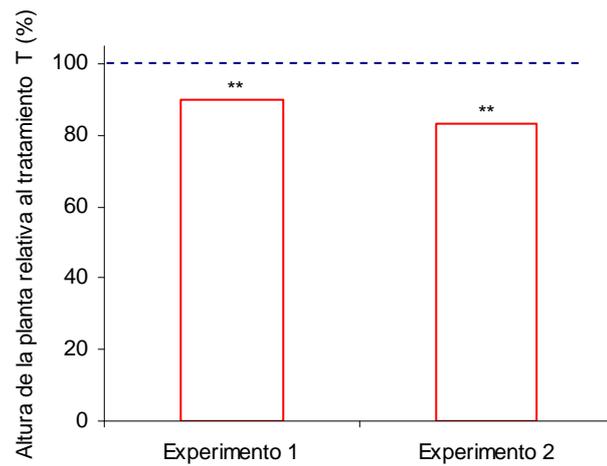


Figura 2.1. Altura de la planta relativa al tratamiento control (T: polietileno transparente) de plantas cultivadas bajo un polietileno foselectivo (S) en experimentos conducidos en época estival en los años 2007 y 2008 (Experimentos 1 y 2 respectivamente). ** indica diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.01$).

Se detectaron reducciones en la altura de la planta en las carpas con polietileno foselectivo a los 7 días de iniciado el experimento ($P < 0.0001$) y las diferencias entre los tratamientos continuaron incrementándose hasta el día 30 (Figura 2.2 y Foto 2.4). Luego la diferencia permaneció estable aunque las plantas continuaron creciendo hasta el día 85.

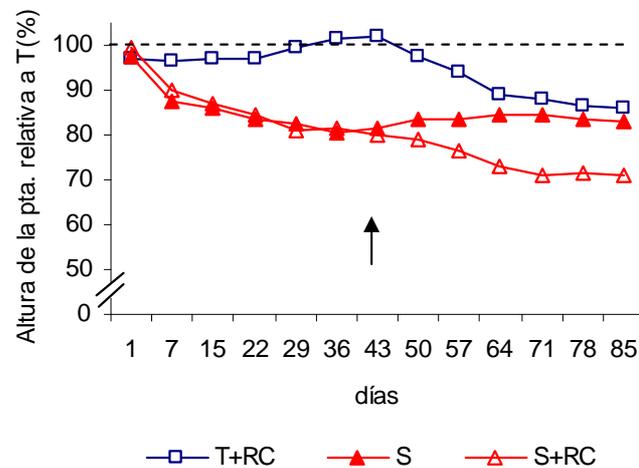


Figura 2.2. Evolución de la altura de la planta relativa al tratamiento control (T) para plantas cultivadas bajo un polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), bajo un polietileno foselectivo (S) y bajo un polietileno foselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC). La flecha indica el día de aplicación del RC.



Foto 2.4. Plantas de poinsetia cultivadas bajo un filtro fotoselectivo (S) y bajo un filtro transparente (T) a los 43, 56 y 85 días de iniciado el experimento (a, b y c respectivamente).

En las condiciones experimentales, el RC se aplicó a los 43 días de iniciado el experimento 2, y redujo la altura del tallo en un 15%. El efecto del RC se detectó 7 días después de su aplicación, alcanzándose el máximo de

diferencias entre plantas tratadas y no tratadas, tres semanas después (Figura 2.2).

Los efectos de la luz y del RC fueron aditivos y no se encontraron interacciones significativas entre estos factores ($P = 0.5849$). La altura final obtenida para las plantas cultivadas bajo el polietileno fotoselectivo fue similar a aquellas cultivadas bajo el polietileno transparente con agregado de RC (Figura 2.2 y Foto 2.5). Estos resultados demuestran que los RC pueden ser reemplazados por opciones más sustentables como la manipulación del ambiente lumínico, al menos en las condiciones experimentales empleadas.



Foto 2.5. Plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente (T), transparente con aplicación de regulador de crecimiento (TR), fotoselectivo (S), y fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (SR) en el día 64 desde el inicio del experimento.

La altura de plantas de poinsetia en el cultivo puede ser monitoreada a través de un programa de seguimiento gráfico que permite definir el momento de aplicación de RC. Este programa se basa en observar si la altura promedio del cultivo se encuentra por debajo, por encima o dentro de un rango óptimo definido por un límite inferior y uno superior. El momento de aplicación de RC se define cuando la curva de crecimiento del cultivo se ubica por encima de la curva superior del rango óptimo. Se utilizaron las curvas de rango óptimo generadas por un software de monitoreo gráfico (UNH Flora Track: Fisher, 2005) para observar cómo las curvas de crecimiento de las plantas de cada uno de los tratamientos se ajustaban a ellas. En las condiciones experimentales, la curva de crecimiento de las plantas control estuvo ligeramente por encima del rango objetivo desde el inicio del experimento y excedió el límite máximo al final del experimento en un 23% (Figura 2.3). Cuando se aplicó RC a las plantas con polietileno transparente, la curva de crecimiento ingresó al rango definido pero al final del período del cultivo la altura excedió levemente el límite superior (Figura 2.3). La curva de crecimiento de plantas cultivadas bajo polietileno fotoselectivo estuvo siempre dentro de los rangos definidos y la aplicación de RC no mostró ningún beneficio adicional (Figura 2.3). Usando esta herramienta gráfica se demuestra que la manipulación de la relación de luz R/RL es suficiente para controlar la altura de las plantas de un cultivo de poinsetia 'Freedom Red'.

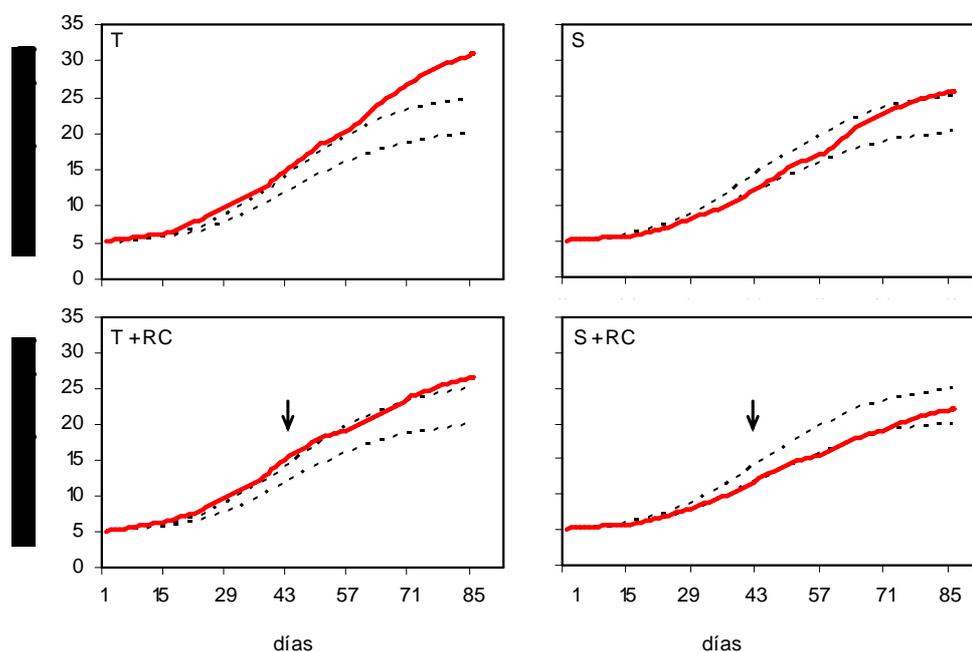


Figura 2.3. Curvas de crecimiento de plantas de poinsetia (líneas llenas) cultivadas bajo un polietileno transparente, polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), polietileno fotoselectivo (S), y polietileno fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC). Líneas punteadas corresponden a intervalo objetivo de crecimiento generado con el programa UNH Flora Track (Fisher, 2005). Flechas indican momento de aplicación del regulador de crecimiento.

El número de nudos de las plantas cultivadas bajo los diferentes ambientes lumínicos y condiciones de RC no mostraron diferencias significativas (Tabla 2.2). Por lo tanto, la reducción en la altura de las plantas se explica por una reducción en el largo de los entrenudos, acompañado con un aumento en el diámetro del tallo. Esto podría ser beneficioso para mejorar el comportamiento del quebrado del tallo que es un punto importante a considerar en plantas de poinsetia pinzadas cuando llegan a madurez (McDaniel *et al.*, 1990; Faust y Heins, 1996; Kuehny y Branch, 2000).

Tabla 2.2. Número de nudos, largo de entrenudos promedio, diámetro del tallo, diámetro de la planta, número de brotes laterales en plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente (T), transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), fotoselectivo (S), y fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC). Letras diferentes dentro de columnas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

	Número de nudos		Largo de entrenudos (cm)		Diámetro del tallo (mm)		Tallos laterales		Diámetro de planta (cm)	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
T	15.0 a	14.6 a	1.9 a	1.7 a	4.5 a	4.3 a	6.0 a	5.3 a	32.5 a	30.6 a
T+RC		15.8 a		1.4 b		4.7 b		4.9 a		29.0 a
S	14.5 a	15.0 a	1.6 b	1.4 b	4.9 b	4.6 b	6.1 a	5.6 a	34 a	29.2 a
S+RC		14.4 a		1.2 b		4.6 b		5.3 a		24.6 b

* Datos correspondientes a experimentos realizados en fechas 1 y 2.

El número de brotes laterales no varió significativamente entre los distintos tratamientos y fue suficiente para alcanzar las especificaciones de mercado para esta especie que requiere al menos 5 brotes laterales en plantas pinzadas (Faust y Heins, 1996). Sin embargo, Clifford *et al.*, (2004) encontraron un incremento en el número de brotes laterales en plantas de poinsetia 'Freedom Red' cultivadas bajo elevadas relaciones R/RL, y una tendencia similar se observó en otras especies ornamentales (Kasperbauer, 1987; Runkle y Heins, 2001).

El peso seco y el área total de las plantas fue similar entre tratamientos a excepción de aquellas plantas cultivadas bajo polietileno fotoselectivo con aplicación de RC (tratamiento S+RC, Tabla 2.3). La calidad de las plantas cultivadas en el tratamiento S+RC se vio reducida con respecto a las plantas de los otros tratamientos como consecuencia de una reducción en el diámetro de las plantas, en el área de la parte aérea total y en el peso seco de las brácteas (Tablas 2.2 y 2.3). Ha sido reportado previamente que tanto la cantidad como la calidad de la luz afectan el peso seco de las plantas, dependiendo de la especie. Por ejemplo, no se observaron diferencias significativas en el peso seco de plantas de poinsetia (Clifford *et al.*, 2004) y lisianthus (Wilson y Rajapakse, 2001a), pero reducciones en este parámetro se observaron en plantas de crisantemo, zinnia, cosmos, conejito y petunia, cultivadas bajo elevadas relaciones R/RL (Li *et al.*, 2000; Cerny *et al.*, 2003).

Tabla 2.3. Peso seco (g) de tallo, hojas y brácteas y área (cm²) de hojas y brácteas de plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente (T), transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), fotoselectivo (S), y fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC). Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

	<i>Peso seco (g)</i>				<i>Area (cm²)</i>		
	Tallo	Hojas	Brácteas	Total	Hojas	Brácteas	Total
T	2.33 a	2.35 a	1.42 a	6.10 a	1032.4 a	911.0 a	1943.4 a
T+RC	2.33 a	2.56 a	1.27 a	6.16 a	1004.2 a	842.9 a	1847.1 ab
S	2.23 a	2.31 a	1.41 a	5.95 a	1015.2 a	891.4 a	1906.6 ab
S+RC	2.28 a	2.15 a	1.06 b	5.49 a	942.6 a	831.8 a	1774.4 b

El tiempo a floración es fuertemente afectado por diversos factores externos y por señales endógenas como fotoperíodo, temperatura, calidad de luz y hormonas (Simpson *et al.*, 1999). Cambios en la relación R/RL del ambiente donde las plantas se cultivan modulan el tiempo a floración y consecuentemente definen el momento de cosecha (Runkle y Heins, 2001, 2003; Cerny *et al.*, 2003). Se observó un leve retraso en la floración de las plantas cultivadas bajo altas relaciones R/RL con respecto a las plantas del tratamiento control, y un comportamiento similar en plantas del tratamiento T+RC (Figura 2.4). También se reportaron retrasos en la floración de otras especies cultivadas bajo altas R/RL comparado con ambientes de baja R/RL, aunque la magnitud de este efecto fue dependiente de la especie y/o del cultivar (Rajapakse y Kelly, 1995; Runkle y Heins, 2002; Cerny *et al.*, 2003; Clifford *et al.*, 2004). Múltiples señales regulan el momento de floración como el fotoperíodo, la calidad de luz y las giberelinas (GA) (Mouradov *et al.*, 2002; Simpson y Dean, 2002). Esta es promovida por la aplicación de GA y por mutaciones que causan una expresión constitutiva de GA (Jacobsen y Olszewski, 1993), mientras que es inhibida en mutantes que bloquean la señalización o la biosíntesis de GA (Wilson *et al.*, 1992). En un grupo importante de especies, la luz RL (730 nm) y azul (440 nm) promueven la floración a través del fitocromo A y de los criptocromos 1 y 2 (phyA, cry1 y cry2, respectivamente) y la luz R (660 nm) inhibe la floración a través de los fitocromos estables (phyB, phyD y phyE) (Aukerman *et al.*, 1997; Childs *et al.*, 1997; Devlin *et al.*, 1998; Weller *et al.*, 2001). Además, el cry2 y el phyA puede regular la vía fotoperiódica de la regulación de la floración actuando en la estabilidad de la proteína CONSTANS (CO) que promueve la floración en plantas de día largo como *Arabidopsis* (Valverde *et al.*, 2004), e inhibe la floración en plantas de día corto como el arroz (Izawa *et al.*, 2002).

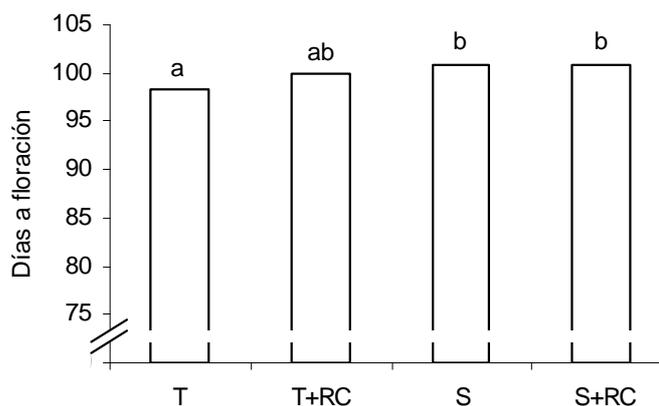


Figura 2.4. Días a floración de plantas de poinsetia cultivadas bajo un polietileno transparente (T), transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), fotoselectivo (S), y fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC). Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

En general se considera a la altura de la planta como sinónimo de compactibilidad, pero muchas veces estos parámetros no expresan lo mismo (van Iersel, 2004). En este trabajo se utilizaron como índices de compactibilidad el incremento en el área total (hoja + bráctea) y el peso seco total por unidad de altura (van Iersel, 2004). Las plantas cultivadas con elevada relación R/RL tuvieron un índice de compactibilidad mayor al de las plantas del tratamiento control, y similar a aquellas plantas cultivadas con filtro transparente y RC (Figura 2.5). El índice correspondiente a las plantas del tratamiento S+RC no fue significativamente diferente al de las plantas cultivadas bajo el mismo filtro sin aplicación de RC (Figura 2.5).

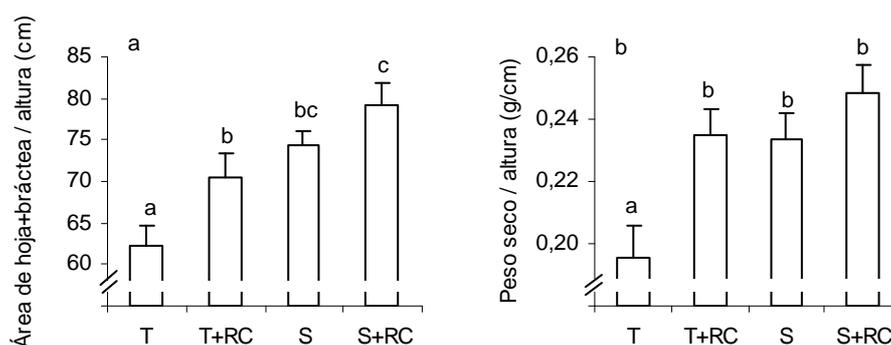


Figura 2.5. Índices de compactibilidad expresados como área por unidad de altura de la planta (a) y peso seco por unidad de altura de la planta (b) para plantas de poinsetia con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), polietileno fotoselectivo (S), y polietileno fotoselectivo con aplicación de regulador de crecimiento (S+RC). Líneas verticales indican intervalo de confianza de 95%. Letras diferentes entre columnas representan diferencias significativas ($P < 0.05$).

En un trabajo previo, el cultivo de plantas de poinsetia bajo filtros fotoselectivos produjo plantas de menor calidad comparadas con las obtenidas con un filtro transparente, debido a la baja irradiancia detectada bajo los filtros fotoselectivos (Clifford *et al.*, 2004). Bajos niveles de radiación pueden ser limitantes para el uso de filtros selectivos en particular durante periodos de baja irradiancia característicos del otoño y el invierno en altas latitudes. Evidencias experimentales previas muestran que un pulso de luz RL al final del día (EOD-RL) es suficiente para simular el ambiente lumínico detectado bajo densos canopeos, induciendo respuestas de escape al sombreado (Smith y Whitelam, 1997). A partir de estos antecedentes, en esta tesis se evaluó si un pulso de luz R al final del día es suficiente para imitar los efectos del tratamiento continuo con filtro fotoselectivo con la idea de limitar el uso de los filtros fotoselectivos durante el fotoperíodo que reducen la radiación total. En estos experimentos, las plantas fueron expuestas a un pulso de luz R o RL al final del día por una hora al final del fotoperíodo (EOD-R y EOD-RL respectivamente). No se observaron diferencias significativas en la altura final de las plantas cultivadas con o sin EOD-R, sin embargo las que recibieron EOD-RL fueron un 18% más altas que las plantas control (Figura 2.6 y Foto 2.6). Estos resultados sugieren que el tratamiento EOD-R no imita los efectos detectados en las plantas de poinsetia cultivadas de manera continua bajo polietileno fotoselectivo, al menos para esta variedad genética y bajo estas condiciones experimentales.

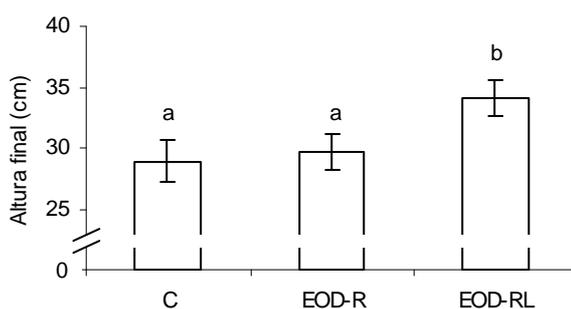


Figura 2.6. Altura de plantas de poinsetia expuestas a pulsos de una hora al final del día con luz R y RL (EOD-R y EOD-RL respectivamente). Las plantas control fueron cultivadas sin exposición de un pulso de luz al final del día (C). Barras verticales indican un intervalo de confianza del 95%. Letras diferentes entre columnas representan diferencias significativas ($P < 0.05$).

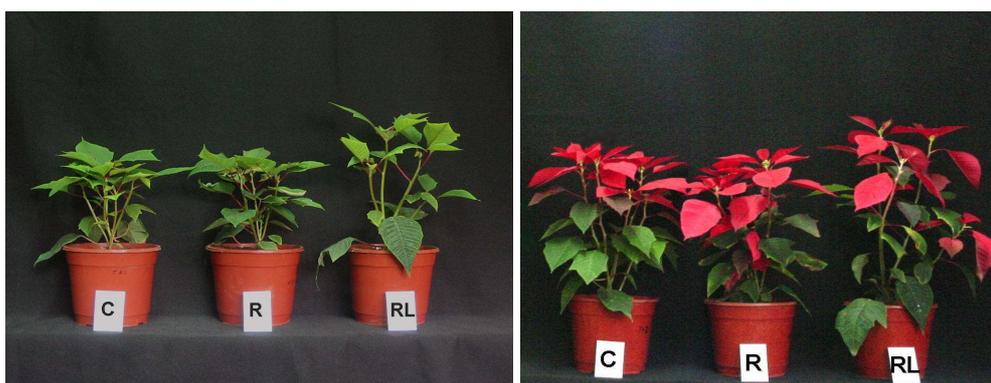


Foto 2.6. Plantas de poinsetia expuestas a pulsos de una hora al final del día con luz R y RL (EOD-R y EOD-RL respectivamente) a los 50 (izquierda) y 85 (derecha) días desde el inicio del experimento. Las plantas control fueron cultivadas sin exposición de un pulso de luz al final del día (C).

En resumen, los resultados demuestran que la manipulación del ambiente lumínico es una alternativa efectiva a la aplicación de RC para el control de la arquitectura de las plantas de poinsetia sin afectar los componentes de calidad bajo radiación natural durante el verano en el AMBA. El uso de filtros fotoselectivos que incrementan la relación R/RL en el ambiente reducen la altura de las plantas de poinsetia, aumentan la compactibilidad y no modifican los otros componentes de calidad evaluados para esta especie. Un tratamiento prolongado con elevadas relaciones R/RL es requerido para mejorar la calidad de las plantas porque un pulso corto de luz R al final del día no es suficiente para obtener los beneficios deseados en la arquitectura de la planta. Un incremento en la relación R/RL junto con el uso de RC (que son inhibidores de giberelinas) tienen efectos aditivos en la inhibición del largo del tallo. Investigaciones recientes han demostrado que las vías de señalización de la luz y de las giberelinas convergen regulando la abundancia de DELLA, una proteína nuclear que actúa controlando la elongación de los hipocótilos en plántulas de *Arabidopsis thaliana* (Feng *et al.*, 2008; de Lucas *et al.*, 2008). Tanto las DELLAs como la forma activa de los fitocromos (Pfr) reprimen o desestabilizan los factores de interacción de los fitocromos (PIF) que son promotores del alargamiento celular (Huq, 2006). Contrariamente, las giberelinas disparan la degradación de DELLA y bajas relaciones R/RL aumentan la cantidad relativa de Pr (forma inactiva de los fitocromos), y ambas, giberelinas y Pr, contribuyen a la estabilización de PIF promoviendo la elongación celular de las estructuras vegetales (Lorrain *et al.*, 2008).

Altas relaciones R/RL e inhibidores de GA usados de manera conjunta pueden reducir la altura y aumentar la compactibilidad de las plantas con efectos negativos en el área total de hojas y brácteas. Experimentos diseñados para evaluar la dosis de RC requerida para producir plantas de poinsetia bajo filtros fotoselectivos sin afectar negativamente parámetros de calidad como el área de brácteas son necesarios antes de recomendar la aplicación combinada de estas dos prácticas de manejo. Además, diferentes variedades de poinsetia deberán ser estudiadas para evaluar la generalidad de las conclusiones de estos resultados y los beneficios económicos de una reducción en el uso de RC en sistemas de producción de poinsetia.

CAPÍTULO 3

Efecto de la luz y de la temperatura en la floración y en la arquitectura de *Salvia exserta*.

3.1 Introducción

La industria de la floricultura está siempre ávida de novedades y compañías en todo el mundo hacen grandes esfuerzos para introducir nuevos productos ornamentales que puedan atraer la atención del consumidor (Armitage *et al.*, 1990; Noordegraaf, 2000; Bañón *et al.*, 2003). Nuevos materiales genéticos a partir de germoplasma recolectado de su hábitat silvestre con alto potencial ornamental puede ser explotado a escala comercial con posibilidades ciertas de éxito (Halevy, 2000; Maloupa, 2000; Bañón, 2003).

Salvia exserta Griseb. es una especie herbácea nativa de la Argentina y de Bolivia que florece en primavera y verano en su ambiente natural (Cabrera, 1993). Tiene potencial ornamental como planta en maceta o como planta para cantero debido a sus vistosas inflorescencias en racimo de color rojo intenso (Foto 3.1) y debido a su relativamente fácil cultivo. Sin embargo, algunos aspectos la arquitectura como su altura deben ser controlados debido a su profuso crecimiento, y potencialmente modificados para cumplir con los estándares de calidad comercial (Andersen y Andersen, 2000). Al momento de iniciar esta tesis, el conocimiento acerca de los aspectos lumínicos (calidad, cantidad y fotoperíodo) y térmicos asociados con el crecimiento y el desarrollo de *S. exserta* era completamente nulo.



Foto 3.1. Inflorescencia de *Salvia exserta*.

Las plantas perciben cambios en el ambiente en el que crecen integrando señales de luz y temperatura, y consecuentemente ajustan su crecimiento y desarrollo a las condiciones ambientales predominantes (Casal *et al.*, 2004; Folta y Childers, 2008). El fotoperíodo es un factor central de la transición del estado vegetativo al reproductivo en muchas especies herbáceas determinando la extensión de la fase vegetativa de los cultivos (Mattson y Erwin, 2005; Runkle y Heins, 2006; Waaseth *et al.*, 2006; Moccaldi y Runkle, 2007). Además, la irradiancia también puede condicionar el momento de la floración en muchas herbáceas ornamentales (Armitage y Tsujita, 1979; Armitage *et al.*, 1981; Zhang

et al., 1996; Erwin y Warner, 2002). Por ejemplo, *lisanthus*, *Salvia farinacea*, algunas especies de *Hibiscus* y de pensamiento cultivados bajo condiciones fotoperiódicas inductivas, aceleraron la floración cuando se incrementa la radiación durante el cultivo (Adams *et al.*, 1997; Mattson y Erwin, 2005; Islam *et al.*, 2005). Además, la temperatura y en algunos casos la irradiancia determinan la tasa de crecimiento y el tiempo de los procesos fisiológicos (Adams *et al.*, 1997, 2001; Trudgill *et al.*, 2005; Moccaldi y Runkle, 2007).

En este capítulo se estudia la respuesta de *S. exserta* en un amplio rango de condiciones ambientales para conocer cómo el fotoperíodo, la radiación y la temperatura afectan su crecimiento y desarrollo. El uso de reguladores de crecimiento de origen químico (RC) ha sido la forma más rápida y común para manipular la altura de las plantas ornamentales (Davis y Andersen, 1989; Hamid y Williams, 1997; Kambalapally y Rajapakse, 1998; Andersen y Andersen, 2000; Hayashi *et al.*, 2001; Runkle y Heins, 2002). En este capítulo se estudia a la manipulación artificial del ambiente lumínico como una herramienta alternativa y eficaz al uso de RC para el control de la arquitectura de plantas en esta especie.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Material vegetal y cultivo

Semillas de *Salvia exserta* fueron sembradas en bandejas de 288 celdas (Foto 3.2) y cuando las plántulas llegaron a un estado de dos hojas completamente expandidas se transplantaron a macetas de 10cm de diámetro con un sustrato comercial a base de turba (Dynamics 3, Buenos Aires, Argentina). Todas las plantas se fertilizaron semanalmente con una solución de 100mg/l N de un fertilizante 18: 18: 18 y se regaron manualmente cada vez que fue necesario.



Foto 3.2. Siembra (izquierda), germinación (centro) y transplante (derecha) de *Salvia exserta*.

Todos los experimentos se realizaron dentro de un invernáculo de polietileno en el que se utilizaron mallas de media sombra neutra para reducir los niveles de radiación solar incidente entre los meses de Septiembre y Abril. Esto permitió mantener niveles constantes de irradiancia dentro del invernáculo durante los experimentos realizados en distintas fechas.

3.2.2 Experimentos de temperatura, fotoperíodo e irradiancia

En el experimento de temperatura, plantas de *S. exserta* fueron cultivadas en cuatro fechas (Octubre 2007, Abril 2008, Junio 2008 y Enero 2009) con 10h de fotoperíodo y con una irradiancia máxima promedio de $400 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (medida al mediodía de un día despejado). La temperatura promedio de

cada tratamiento se calculó como el promedio de temperaturas diarias integrando todo el periodo experimental. De esta manera, se establecieron 4 niveles de temperatura como tratamientos: 17, 18, 20 y 26° C.

En el experimento de fotoperíodo se utilizaron pantallas de oscurecimiento (Ciberagro, Argentina) para cerrar cinco sectores dentro del invernáculo desde las 16h hasta las 8h del día siguiente estableciendo condiciones de fotoperíodo corto de 8h de luz + 16h de oscuridad. Dentro de cada sector se encendieron lámparas incandescentes a las 16h por un período de 0, 2, 4, 6 o 10h para extender el período lumínico y generar de esta manera, 5 tratamientos de fotoperíodo (8, 10, 12, 14 y 18h respectivamente). La irradiancia máxima a nivel de las plantas durante el experimento se fijó en 400 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. La temperatura promedio durante el experimento de fotoperíodo fue de 22 °C.

En el experimento de irradiancia se utilizaron mallas de sombreo neutras de distinta intensidad para establecer cuatro tratamientos de niveles de irradiancia. La irradiancia promedio medida al mediodía de un día despejado en cada tratamiento fue de 250, 400, 870 y 1040 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Adicionalmente, otro grupo de plantas se cultivó fuera del invernáculo con niveles de irradiancia promedios de 1470 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. En los cinco niveles de irradiancia, las plantas estuvieron expuestas a un fotoperíodo de 10h. La temperatura promedio durante el experimento de irradiancia fue de 24.7 °C.

En estos tres experimentos se registraron los días a pimpollo visible (PV) y a floración (F, apertura de la primera flor de la inflorescencia) y se midió la altura de la planta a PV y a F (Foto 3.3). En floración además, se registró el número de nudos, el número de tallos laterales, largo del pecíolo, largo y ancho de la hoja y el número de verticilos por inflorescencia.



Foto 3.3. Plantas de *Salvia exserta* en pimpollo visible (PV) y en floración (F, apertura de la primera flor de la inflorescencia).

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado y cada tratamiento fue aplicado a grupos de 10 plantas, siendo cada grupo la unidad experimental. Se utilizaron dos repeticiones temporales en los experimentos de fotoperíodo e irradiancia, mientras que en el de temperatura, cada tratamiento se replicó tres veces. Los datos se analizaron con un ANOVA de un factor y las medias de los

tratamientos se compararon con la prueba de Tukey para $P \leq 0,05$. En el experimento de temperatura se realizó un análisis de regresión simple para estudiar la relación funcional entre la temperatura y el tiempo a floración. En el experimento de fotoperíodo se hizo un ajuste bi-lineal (Jandel TBL Curve, 1992) para ajustar matemáticamente el valor de fotoperíodo crítico a PV y a F.

3.2.3 Ensayos de reguladores de crecimiento (RC) y calidad de luz

Se hizo un ensayo de dosis de RC para establecer la dosis adecuada para controlar la altura de plantas de *S. exserta*. Estas fueron tratadas con una aplicación foliar de 0, 1000, 2000 o 3000ppm cuando el tercer par de hojas estaba totalmente expandido. Se midió altura final de la planta a floración. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con dos repeticiones por tratamiento. Cada unidad experimental estaba compuesta por diez plantas de *S. exserta*.

Numerosos reportes recomiendan manipular la calidad de luz del ambiente lumínico como una alternativa al uso de RC para prevenir las consecuencias negativas del uso de químicos en el ambiente y en la salud de los trabajadores (Berghage y Heins, 1991; Li *et al.*, 2000; Runkle y Heins, 2002). Se evaluó el uso de un filtro fotoselectivo para incrementar la relación R/RL (Figura 3.1 y Tabla 3.1), una señal que reduce el crecimiento de las estructuras vegetativas. Para ello, se construyeron carpas experimentales (3 x 0,9 x 0,9m) utilizando uno de dos tipos de polietileno como cobertura: transparente o fotoselectivo (Solatrol, BPI Agri, Stockton-on-Tees, UK) para generar dos ambientes lumínicos de distinta relación R/RL. Se utilizó una malla de media sombra negra (30%) para igualar los valores de irradiancia entre los tratamientos. Los espectros de transmisión debajo de cada filtro se midieron utilizando un espectrorradiómetro AvaSpec-2048 (Avanes, Eerbeek, Países Bajos) colocado a 0,9m debajo del filtro. La radiación de los espectros rojo (R: 645-675nm), rojo lejano (RL: 715-745nm) y PAR (400-700nm) se midieron al mediodía de un día despejado utilizando un sensor de cuatro canales SKR 1850A (Skye Instruments, Ltd., UK), conectado a un registrador de datos LI-1400 (LI-COR Inc., Lincoln, USA). Se utilizaron registradores de datos miniatura (Maxim Integrated Products Inc., Sunnyvale, USA) para medir la temperatura ambiente dentro de las carpas. Se utilizó un termómetro infrarrojo para medir la temperatura de las plantas, no encontrándose diferencias entre los tratamientos. Los valores lumínicos y de temperatura medidos en ambos tipos de carpas pueden observarse en la Figura 3.1 y en la Tabla 3.1.

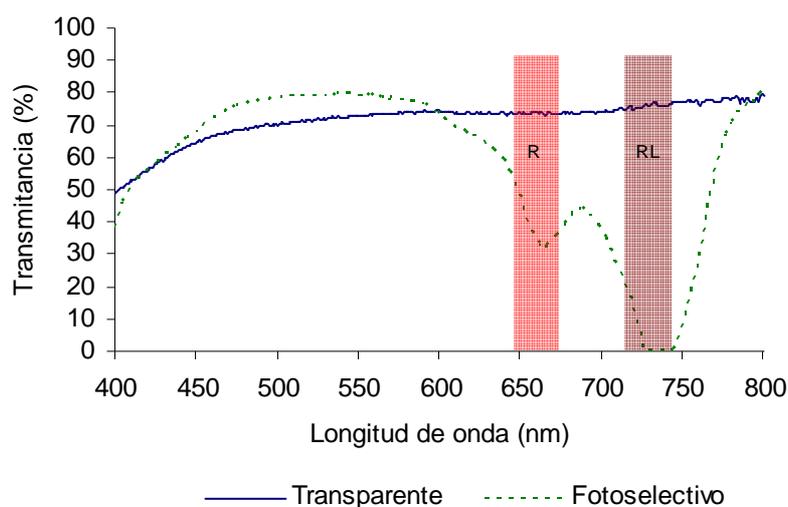


Figura 3.1. Transmitancia de los polietilenos transparente (línea llena) y fotoselectivo (línea punteada). Las columnas resaltadas representan los anchos de banda utilizados para calcular la relación R/RL.

Tabla 3.1. PAR (radiación fotosintéticamente activa, 400-700 nm), luz R (roja, 645-675 nm), RL (rojo lejano, 715-745), relación R/RL y temperatura media diaria dentro de carpas cubiertas con polietileno transparente y fotoselectivo en los experimentos 1 y 2.

	Experimento 1					Experimento 2				
	PAR ¹	R ¹	RL ¹	R/RL	T (°C)	PAR ¹	R ¹	RL ¹	R/RL	T (°C)
Transparente	414.4	41.7	38.4	1.1	21.0	374.7	37.2	33.2	1.1	17.2
Fotoselectivo	393.4	35.0	6.2	5.7	21.7	353.2	33.1	5.9	5.6	17.6

¹ Medida al mediodía de un día despejado y expresada en $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Grupos de 20 plantas fueron asignados aleatoriamente a cada tratamiento lumínico (fotoselectivo y transparente) y ubicados a una densidad de 50 plantas/m². Durante el experimento, se estableció un fotoperíodo de 10h mediante pantallas de oscurecimiento (Ciberagro, Argentina) desde las 17 hasta las 7 h. Cuando las plantas tuvieron el tercer par de hojas expandidas, cada grupo de plantas se dividió en dos subgrupos, a uno de los cuales se le aplicó en forma foliar 1000ppm de daminozide (B-9, Uniroyal Chemical) manteniéndose al otro grupo sin tratamiento de RC como control. De esta manera se establecieron cuatro tratamientos en un diseño de parcelas divididas: polietileno transparente (T: control); polietileno transparente con regulador de crecimiento (T+RC); polietileno fotoselectivo (S) y polietileno fotoselectivo con regulador de crecimiento (S+RC). El experimento fue conducido en dos fechas: Octubre 2007 y Abril 2008 (experimentos 1 y 2 respectivamente).

Se realizaron experimentos de luz R al final del día (EOD-R, Foto 3.4) para estudiar si en *S. exserta* este estímulo es capaz de imitar los efectos en el crecimiento y en la floración obtenidos en condiciones de elevada R/RL durante

todo el ciclo. Tres grupos de seis plantas de *S. exserta* se irradiaron al final del período lumínico del día con un pulso de luz R de una hora de duración (EOD-R). Este tratamiento fue logrado mediante el uso de lámparas fluorescentes colocadas detrás de un paño de polietileno foselectivo, generando una relación R/RL de 4,88. Otros tres grupos de seis plantas se mantuvieron como control sin aplicación de un pulso adicional de luz al final del período lumínico. Se registraron las temperaturas del aire en cada tratamiento a intervalos horarios utilizando registradores de datos miniatura (Thermochron, i-Button, USA), no encontrándose diferencias significativas entre las mismas. Se utilizó un modelo completamente aleatorizado y el experimento fue conducido en dos fechas, Abril y Junio de 2008 (experimentos 1 y 2 respectivamente).



Foto 3.4. Tratamiento de EOD-R.

En los experimentos de calidad de luz con RC y en los de EOD-R, se evaluó semanalmente la altura de la planta y el número de nudos. Se registraron las fechas de aparición de pimpollo visible (PV) y de floración (F, apertura de la primera flor de la inflorescencia) y se midió la altura de la planta a PV y a F. Además, en F se registró el número de tallos laterales, el número de verticilos por inflorescencia, el tamaño de la flor y se midió el peso seco de la parte aérea.

Los datos se analizaron mediante análisis de varianza y las diferencias entre medias fueron evaluadas con la prueba de Tukey para $P \leq 0,05$.

3.3 Resultados

3.3.1 Efectos de temperatura, el fotoperíodo y la irradiancia en la floración

Se evaluó la floración de *S. exserta* bajo distintas temperaturas, fotoperíodos y niveles de irradiancia. El tiempo a floración fue dramáticamente afectado por la temperatura (Figura 3.2). Plantas cultivadas a 26° C florecieron en 35 días, mientras que plantas cultivadas a 17° C lo hicieron en 70 días (Figura 3.2A). Usando el marco conceptual de tiempo térmico, se calculó la temperatura base a floración en 9° C para *S. exserta* (Figura 3.2B).

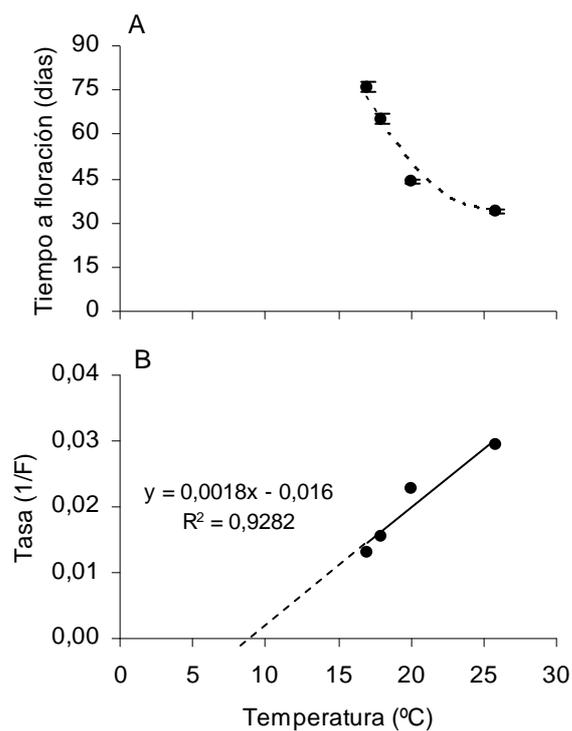


Figura 3.2. Tiempo a floración (A) y tasa de desarrollo a floración (B) definida como la inversa de días a floración, para plantas de *S. exserta* cultivadas en diferentes épocas a distintas temperaturas promedio. Líneas verticales en cada punto indican intervalo de confianza del 95%.

S. exserta presentó una respuesta fotoperiódica facultativa de día corto, acelerando su floración con fotoperíodos cortos. En el fotoperíodo de 8 y 10h, el pimpollo visible se observó a los 27 días (454.8 °C.d), y la apertura de la primera flor de la inflorescencia a los 45 días (712 °C.d) del inicio del experimento (Figura 3.3A). Mediante un ajuste bi-lineal (Jaendel TBLCurve, 1992) de la respuesta fotoperiódica, se determinó el fotoperíodo crítico en 11.3h y en 11h de luz para el tiempo térmico a pimpollo visible (PV) y a floración (F) respectivamente (Figura 3.3A).

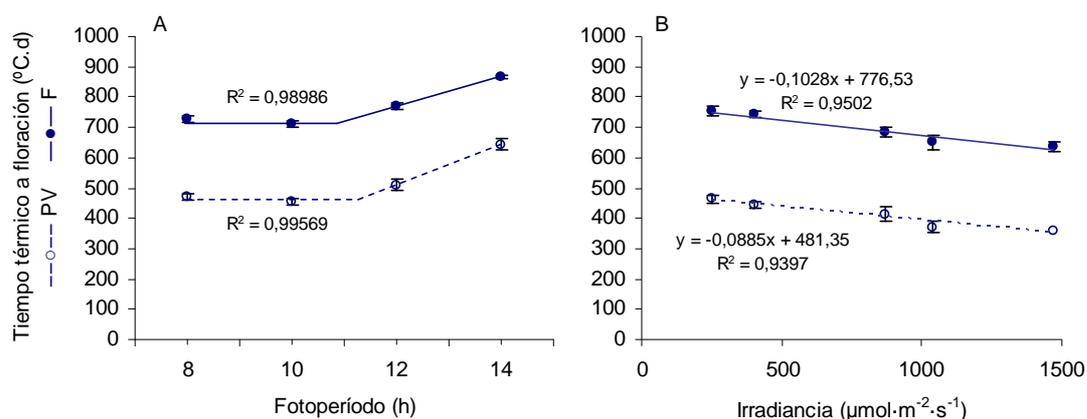


Figura 3.3. Efectos del fotoperíodo (A) y de la irradiancia (B) en el tiempo térmico a floración de *S. exserta*, definido para dos eventos: pimpollo visible (PV) y primera flor de la inflorescencia abierta (F). Líneas verticales en cada punto indican intervalo de confianza del 95%. Las curvas de respuesta fotoperiódica fueron realizadas mediante un ajuste bi-lineal (Jaendel TBLCurve, 1992).

La respuesta de la floración fue afectada con niveles de irradiancia entre 250 y 1040 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 3.3B). Mayores niveles de irradiancia permitieron que plantas cultivadas fuera del invernáculo desarrollaran el pimpollo visible y llegaran a floración en menor tiempo. Los menores valores de irradiancia retrasaron la aparición de pimpollos y la apertura de la primera flor de la inflorescencia en 8 días (100 °C.d) comparado con aquellas plantas cultivadas con los mayores niveles de irradiancia (Figura 3.3B).

3.3.2 Efectos del fotoperíodo, la irradiancia y la temperatura en la arquitectura de la planta

La arquitectura de la planta es determinada por distintos factores ambientales. En esta tesis se evaluaron los efectos del fotoperíodo, la irradiancia y la temperatura en la altura de la planta, el número de nudos y el número de tallos laterales. El fotoperíodo afectó significativamente la altura de la planta ($P < 0.0001$) reduciéndola a menos de 10cm en pimpollo visible y a 25cm en floración bajo el fotoperíodo de 8 horas (Figura 3.4A). La altura de la planta se incrementó a fotoperíodos crecientes.

Niveles de radiación PAR entre 250 y 1040 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ afectaron la altura de la planta ($P < 0.0001$). La altura final de las plantas fue de 31cm a 250 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ y de 25cm a 1040 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 3.4B). La altura de las plantas cultivadas fuera del invernáculo fue similar a las del tratamiento de mayor irradiancia dentro del invernáculo. Además, mayores intensidades de luz causaron un acortamiento de peciolo, un incremento en el número de tallos laterales y de número de verticilos por inflorescencia comparado con las plantas cultivadas con irradiancias menores a 870 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (Tabla 3.2).

Temperaturas promedio durante el cultivo entre 17 y 26° C no tuvieron efectos en la altura final de la planta (Figura 3.4C, $P = 0.1305$).

Tabla 3.2. Largo del pecíolo, tamaño de la hoja (largo y ancho), número de tallos laterales y número de verticilos por inflorescencia en plantas de *S. exserta* cultivadas bajo diferentes ambientes de irradiancia. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

PAR ¹ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Longitud de pecíolo (cm)	Largo de hoja (cm)	Ancho de hoja (cm)	Tallos laterales	Verticilos
250	3,1a	5,1a	4,0a	0,7a	9,0a
400	3,3a	5,1a	4,0a	1,7a	9,2a
870	3,1a	5,0a	4,2a	6,5b	10,8b
1040	2,7b	5,1a	4,2a	6,5b	10,7b
1470	2,4c	4,7a	4,0a	5,7b	10,5b

¹Valores correspondientes al promedio de 5 mediciones durante el período de cultivo, en un día despejado al mediodía.

El número de nudos a floración fue afectado por el fotoperíodo ($P < 0.0001$) y por la temperatura ($P < 0.0001$) pero no por la irradiancia. Plantas cultivadas en fotoperíodos de 8 a 12 horas tuvieron 7 nudos a floración, aumentando a nueve con un fotoperíodo de 14h (Figura 3.4A, Foto 3.5). Dentro del rango de niveles de irradiancia analizados, el número de nudos fue constante y todas las plantas florecieron con 7 nudos debajo de la inflorescencia (Figura 3.4B). La aceleración de la floración redujo el número de nudos cuando las plantas fueron cultivadas a temperaturas promedio mayores a 20° C (Figura 3.4C).



Foto 3.5. Plantas de *S. exserta* cultivadas con dos fotoperíodos distintos: 10 (izquierda) y 14 horas (derecha).

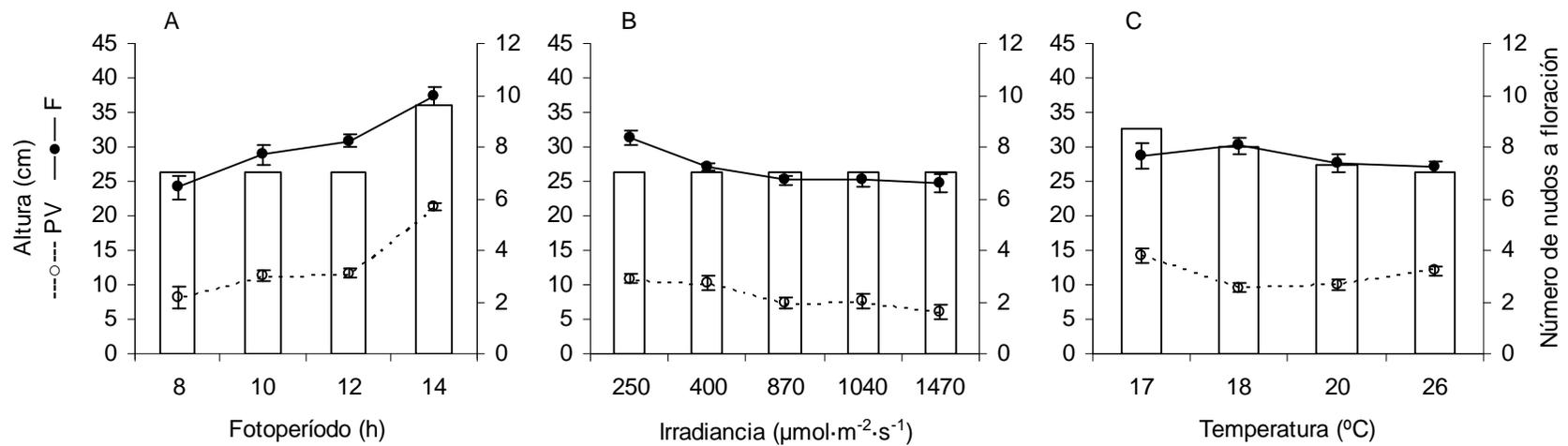


Figura 3.4. Altura de la planta a pimpollo visible (VB, círculos blancos) y a primer flor de la inflorescencia abierta (F, círculos negros), y número final de nudos (barras verticales) de plantas de *S. exserta* cultivadas a distintos fotoperíodos (A), irradiancias (B) y temperaturas promedio (C). Líneas verticales en cada punto indican intervalo de confianza del 95%.

Plantas de *S. exserta* produjeron un tallo principal y un número variable de ramificaciones laterales dependiendo de las condiciones del ambiente. El número de tallos laterales es un parámetro ornamental de importancia debido a que cada tallo desarrolla una inflorescencia terminal. Se evaluó si el número de tallos laterales es afectado por el fotoperíodo, la irradiancia y la temperatura. El fotoperíodo no modificó el número de tallos laterales ($P = 0.9656$), mientras que la irradiancia y la temperatura tuvieron efectos significativos en este parámetro ($P < 0.0001$, Figura 3.5). Plantas cultivadas a irradiancias mayores a $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ produjeron al menos tres veces más tallos laterales que aquellas cultivadas a irradiancias menores (Foto 3.6). Como consecuencia de una mayor extensión de la fase vegetativa, las plantas cultivadas con temperaturas promedio por debajo de los 20°C produjeron al menos dos veces más tallos laterales que aquellas plantas cultivadas a mayores temperaturas (Figura 3.5C).



Foto 3.6. Brotación lateral en plantas de *S. exserta* cultivadas con dos niveles de irradiancia: $250 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (izquierda) y $1040 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (derecha).

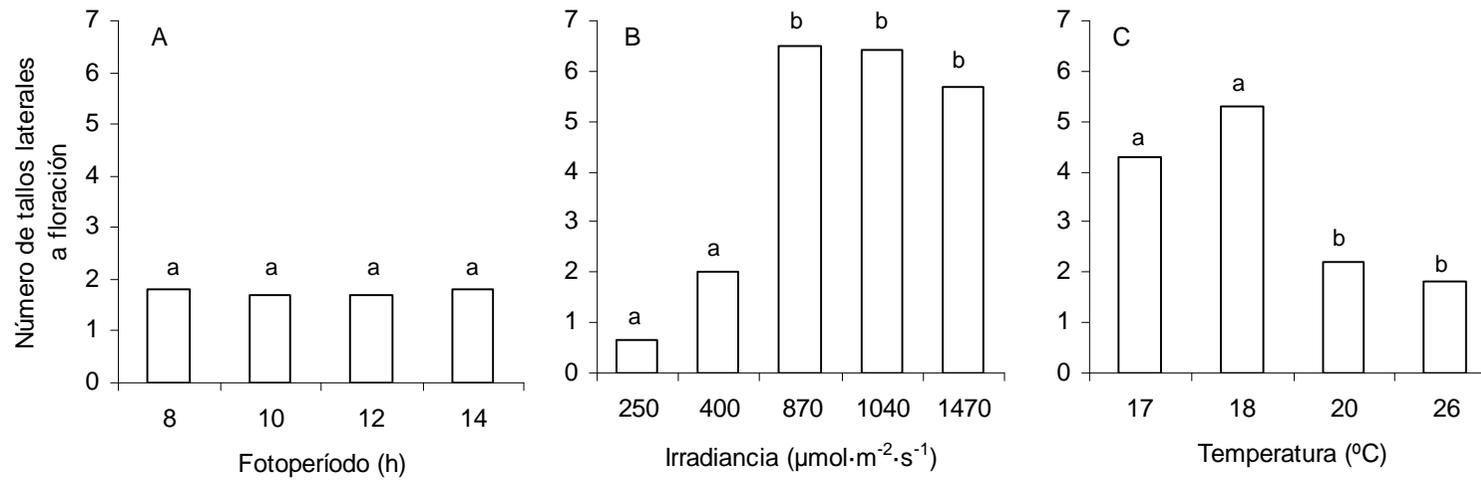


Figura 3.5. Número de tallos laterales al momento de floración (apertura de la primera flor de la inflorescencia) de plantas de *S. exserta* cultivadas a distintos fotoperíodos (A), irradiancias (B) y temperaturas promedio (C). Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0.05$).

3.3.3 Efectos de los reguladores de crecimiento (RC) y de la calidad de luz en la arquitectura de la planta y en la floración

Una aplicación de RC (daminozide) redujo la altura de la planta en un 15% respecto de las plantas control (Figura 3.6). Todas las dosis de RC evaluadas (1000, 2000 y 3000ppm de daminozide) redujeron la elongación del tallo en la misma magnitud (Figura 3.6A). Plantas tratadas con RC retrasaron la floración entre 3 y 6 días respecto al tratamiento control sin aplicación de RC (Figura 3.6B). Malformaciones foliares fueron observadas en plantas expuestas a 3000ppm daminozide, por lo que la menor concentración de este producto (i.e. 1000ppm) fue la utilizada en los experimentos posteriores.

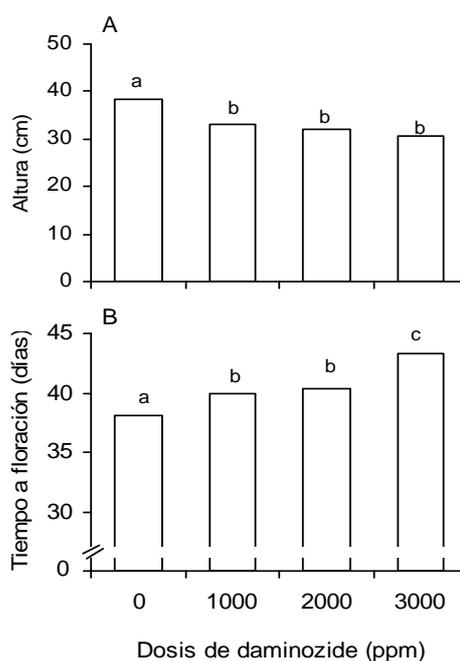


Figura 3.6. Efectos de distintas dosis de daminozide (RC) en la altura de la planta (A) y en el tiempo a floración (B). El RC fue aplicado en aspersión foliar cuando las plantas tuvieron el tercer par de hojas totalmente expandidas. Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

En los ensayos realizados en esta tesis, las plantas cultivadas bajo el filtro fotoselectivo fueron más bajas que aquellas cultivadas bajo el filtro transparente. El filtro fotoselectivo y el RC tuvieron efectos similares en la reducción de la elongación del tallo (Figuras 3.7A y 3.7C, Tabla 3.3). La calidad de luz y el RC mostraron efectos aditivos en la reducción de la altura de la planta (Figuras 3.7A y 3.7C, Tabla 3.3). El número total de nudos fue similar entre tratamientos (Figura 3.7B) pero el número de verticilos por inflorescencia presentó una reducción cuando las plantas fueron expuestas a RC y a elevadas relaciones R/RL (Tabla 3.4). El efecto de la luz y del RC en la elongación de las inflorescencias fue variable (Tabla 3.3). El tamaño de cada flor y el peso seco del tallo fueron constantes entre los tratamientos (Tabla 3.4) mientras que el índice de compacidad se incrementó por los efectos del RC y por la reducción de la radiación RL (Tabla 3.4 y Figura 3.8B). El tiempo a floración se incrementó por

efecto del RC y de la mayor R/RL en el experimento uno, mientras que sólo se vio afectado por la R/RL en el experimento 2 (Figura 3.8B). Plantas cultivadas bajo el filtro fotoselectivo produjeron el doble de tallos laterales que aquellas cultivadas bajo el filtro transparente independientemente de la aplicación de RC, sugiriendo la existencia de mecanismos de acción diferenciados entre la luz y RC que pueden afectar distintos parámetros de la arquitectura de las plantas (Figura 3.8A).

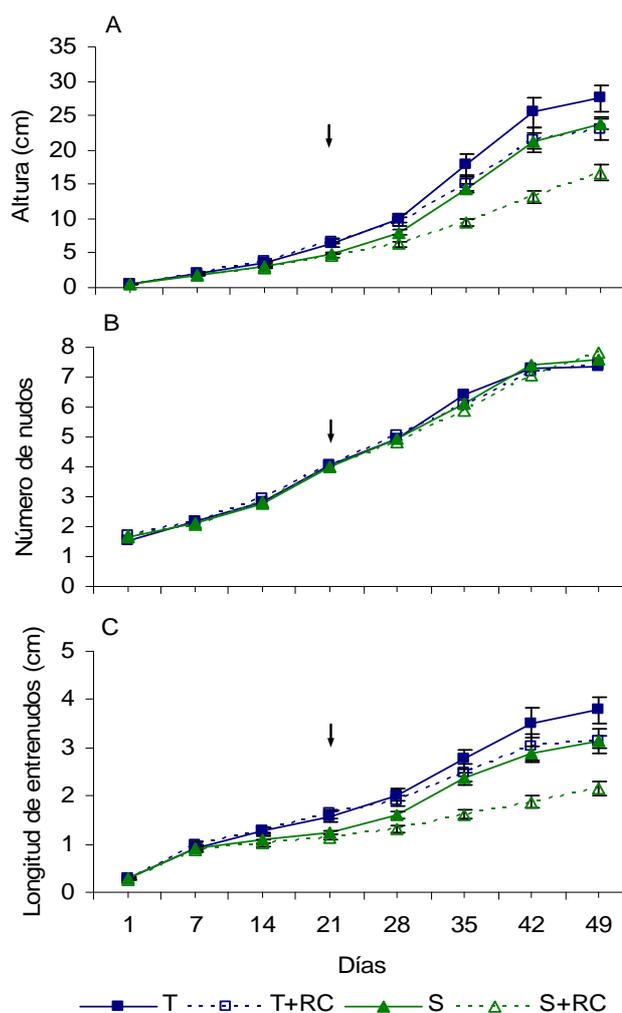


Figura 3.7. Efectos de la calidad de luz y de la aplicación de regulador de crecimiento (RC) en la altura de la planta (A), número de nudos (B) y longitud de entrenudos (C). T: polietileno transparente, T+RC: polietileno transparente y RC, S: polietileno fotoselectivo, S+RC: polietileno fotoselectivo y RC. Las flechas indican el día de aplicación del RC. Líneas verticales en cada punto indican intervalo de confianza del 95%. Los datos corresponden al experimento 1.

Tabla 3.3. Altura de la planta, largo de la inflorescencia y altura total en el momento de floración de plantas de *S. exserta* cultivadas bajo un polietileno transparente (T), polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), polietileno fotoselectivo (S) y polietileno fotoselectivo con aplicación de RC (S+RC) en dos experimentos. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

	Experimento 1			Experimento 2		
	Altura (cm)	Largo infl. (cm)	Altura total (cm)	Altura (cm)	Largo inf. (cm)	Altura total (cm)
T	28,0 a	21,5 a	49,5 a	23,6 a	17,4 a	41,0 a
T+RC	23,2 b	19,5 a	42,7 b	18,4 b	17,4 a	35,8 b
S	24,6 b	17,1 b	41,7 b	18,6 b	16,9 a	35,5 b
S+RC	19,8 c	14,8 c	34,6 c	12,6 c	16,4 a	29,0 c

Tabla 3.4. Peso seco de la parte aérea, compacidad, número de verticilos por inflorescencia y largo de la flor de plantas de *S. exserta* cultivadas con un polietileno transparente (T), polietileno transparente con aplicación de regulador de crecimiento (T+RC), polietileno fotoselectivo (S) y polietileno fotoselectivo con aplicación de RC (S+RC) en dos experimentos. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Tratamiento	Peso seco (g)	Compacidad	Verticilos por inflorescencia	Largo de la flor (cm)
T	1.24 a	0.046 a	10.7 a	2.76 a
T+RC	1.32 a	0.058 b	10.1 b	2.74 a
S	1.35 a	0.055 b	9.9 b	2.76 a
S+RC	1.31 a	0.068 c	8.9 c	2.73 a

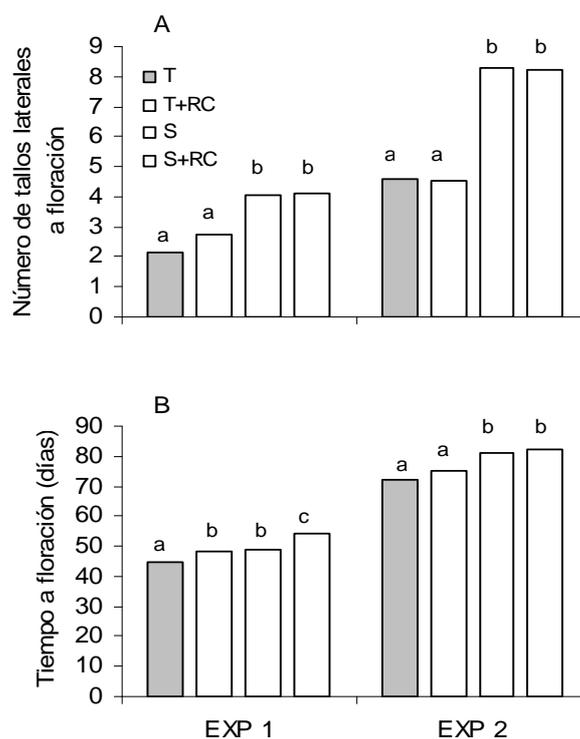


Figura 3.8. Efectos de la calidad de luz y del regulador del crecimiento (RC) en el número de tallos laterales a floración (A) y en el tiempo a floración (B). T: polietileno transparente, T+RC: polietileno transparente y RC, S: polietileno fotoselectivo, S+RC: polietileno fotoselectivo y RC. Letras diferentes entre columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

El uso de un filtro fotoselectivo que incrementa la relación R/RL del ambiente produjo plantas de mayor calidad (plantas más compactas con mayor número de ramificaciones).

Se evaluó la alternativa de reemplazar el uso continuo del filtro fotoselectivo exponiendo plantas de *S. exserta* a un pulso de una hora de luz R al final del día (EOD-R). El tratamiento de EOD-R redujo la altura total de la planta en un 15% y la floración se retrasó en 3-4 días con respecto al tratamiento control (Figura 3.9, Foto 3.7). El número de tallos laterales al final de los experimentos fue similar entre tratamientos (entre 4 y 5 según la fecha) sugiriendo que largos tratamientos lumínicos de alta R/RL son necesarios para afectar este parámetro (datos no mostrados).

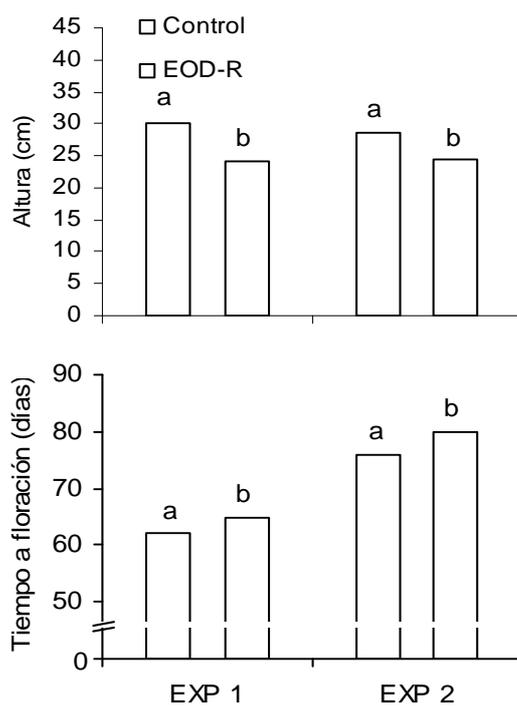


Figura 3.9. Altura de la planta a floración (A) y tiempo a floración (B) de plantas de *S. exserta* expuestas a un pulso de luz R al final del día (EOD-R) y plantas control sin tratamiento al final del día. Letras diferentes entre tratamientos indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).



Foto 3.7. Plantas de *S. exserta* cultivadas sin pulso de luz al final del día (T, izquierda) o con un pulso de luz roja al final del día (EOD-R, derecha).

3.4 Discusión

En esta tesis se demuestra que la floración y la arquitectura de las plantas de *S. exserta* pueden ser afectadas por la luz (fotoperíodo, cantidad y calidad) y por la temperatura. Es una especie de día corto cuantitativa y fotoperíodos crecientes indujeron la producción de plantas más altas y con más número de nudos, pero con similares cantidades de tallos laterales (Figuras 3.4A y 3.5A). Elevados niveles de irradiancia produjeron plantas más bajas con mayor número de tallos laterales (Figuras 3.4B y 3.5B), y elevadas temperaturas redujeron el número de nudos y de tallos laterales a floración (Figuras 3.4C y 3.5C). El uso de filtros fotoselectivos que incrementan la relación R/RL redujeron la altura de la planta e incrementaron el número de tallos laterales y el número de días a floración (Figuras 3.7 y 3.8). Un pulso de luz al final del día con luz R (EOD-R) simuló los efectos obtenidos bajo el filtro fotoselectivo respecto a la altura del tallo y al tiempo a floración (Figura 3.9), pero no respecto a la producción de tallos laterales.

La estimación de la temperatura base (i.e. temperatura a la que cesa el desarrollo) es necesaria para calcular el tiempo térmico, una forma de medir el tiempo de muchos procesos fisiológicos como la tasa de aparición de hojas, inducción floral o cuajado de frutos (e.g. Pearson *et al.*, 1997; Qi *et al.*, 1999). En plantas anuales, el tiempo térmico requerido para floración en un determinado ambiente es generalmente fijo y es una herramienta importante para predecir la floración en plantas ornamentales bajo diferentes regímenes de temperatura (Trudgill *et al.*, 2005). En *S. exserta* se calculó la temperatura base del desarrollo a floración en 9° C. En *S. splendens*, la temperatura base a floración fue calculada entre 7,3° y 6,8° C para plantas cultivadas a 5 o a 15 mol·d⁻¹ respectivamente (Moccaldi y Runkle, 2007). Las diferencias observadas en este parámetro entre salvias es esperable como consecuencia de la adaptación de cada especie en ambientes variables (Trudgill *et al.*, 2005). Además, los resultados demuestran que temperaturas promedio entre 17 y 26° C durante el cultivo no afectan la altura de la planta. Reportes previos demuestran que tallos de *S. splendens* incrementaron significativamente su altura cuando las temperaturas aumentaban entre 14° a 27° C (Moccaldi y Runkle, 2007). Considerando las evidencias experimentales trabajando con otras especies del mismo género, en futuros estudios con *S. exserta* se debería incrementar el rango de temperaturas a evaluar para determinar la amplitud del rango de temperatura de cultivo que no produce efectos sobre la elongación de las estructuras vegetativas.

Las plantas de *S. exserta* mostraron una respuesta facultativa de día corto respecto a la floración. Un ajuste bi-lineal (Jadel TBL Curve, 1992) permitió obtener una aproximación matemática del fotoperíodo crítico a PV y a F. Sin embargo, este valor será corroborado y ajustado en un próximo experimento. En el género *Salvia*, la respuesta de la floración a la duración del día puede ser muy variable según la especie y el cultivar. Por ejemplo, *Salvia elegans* es una planta de día corto cualitativa, mientras que *S. gregii* es de respuesta cuantitativa de día corto y *S. patens* y *S. farinacea* son cuantitativas de día largo (Mattson y Erwin, 2005; Zanin y Erwin, 2006).

S. exserta puede ser clasificada como una especie indiferente a la irradiancia ya que plantas creciendo bajo fotoperíodos inductivos, no disminuyen el número de nudos debajo de la inflorescencia con mayores valores de irradiancia (Erwin y Warner, 2002). Otras especies ornamentales como *S. splendens*, *Celossia argentea* e *Impatiens wallerana* han mostrado el mismo comportamiento indiferente a la radiación (Pramuk y Runkle, 2005; Moccaldi y

Runkle, 2007). Mayores valores de irradiancia durante el cultivo indujeron una reducción en la altura de la planta como consecuencia de un acortamiento de los entrenudos. Una respuesta similar en la reducción de la altura se observó en plantas de *S. elegans* cuando la irradiancia natural a la que las plantas eran expuestas se suplementaba con $50 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ usando lámparas de sodio de alta presión (Zanin y Erwin, 2006).

La manipulación de la arquitectura de la planta a través de cambios en la calidad de luz del ambiente que rodea a las plantas es una alternativa al uso de los RC, previniendo los efectos negativos de estos químicos en el ambiente (Berghage y Heins, 1991; Li *et al.* 2000; Runkle y Heins, 2002; Clifford *et al.* 2004; Mata y Botto, 2009). Aquí se demuestra que plantas más compactas de *S. exserta* fueron producidas incrementando la relación R/RL a través del uso de un filtro fotoselectivo. La longitud de los entrenudos se redujo entre un 15 y un 20% en aquellas plantas cultivadas bajo el filtro fotoselectivo. Una aplicación de RC en plantas cultivadas en ambiente de elevada R/RL produjo plantas 30% más cortas que las del tratamiento control. Sin embargo, Clifford *et al.* (2004) sugieren que el uso de estos filtros de manera continua en sistemas productivos generalmente tiene efectos negativos en la calidad de las plantas debido a una reducción en la cantidad de radiación interceptada por el cultivo. Un pulso de luz R al final del día (EOD-R) simuló los efectos sobre la altura de la planta obtenidos con el uso continuo del filtro fotoselectivo.

El uso del filtro fotoselectivo permitió incrementar la compactibilidad de la planta calculada como un incremento en el peso seco por unidad de altura. La interacción de los efectos de la calidad de luz y de la aplicación de RC (i.e. daminozide) en el crecimiento de las plantas depende de la especie. Reducciones similares en la altura de la planta se obtuvieron en otras especies de salvia (Wilson y Rajapakse, 2001a) y en otras especies ornamentales cultivadas bajo elevados valores de R/RL (Li *et al.* 2000; Wilson y Rajapakse, 2001b; Runkle y Heins, 2001 y 2002; Cerny *et al.*, 2003; Mata y Botto, 2009). Sin embargo, cultivando plantas de crisantemo con o sin reguladores de crecimiento en ambientes con distintas relaciones R/RL, Tatineni *et al.* (2000) demostraron que la altura de las plantas era reducida en mayor medida por la aplicación de daminozide y en segundo lugar por un aumento en la relación R/RL.

Por otro lado, la producción de tallos laterales se promovió con un incremento en la relación R/RL pero no con la aplicación de RC sugiriendo la existencia de una vía de señalización independiente mediada por la acción de los fitocromos y no por la acción de las giberelinas que participaría en la regulación de aparición de ramificaciones laterales. Un incremento en el número de tallos laterales también fue observado en otras especies ornamentales cultivadas en ambientes de elevada relación R/RL (Kasperbauer, 1987; Runkle y Heins, 2001; Clifford *et al.* 2004). El desarrollo de un mayor número de tallos laterales es un parámetro deseable en especies ornamentales como *S. exserta* porque cada tallo lateral desarrolla una inflorescencia terminal. El número de tallos laterales se incrementó con irradiancias mayores a $870 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Temperaturas por debajo de los 20°C causaron un efecto similar debido al desarrollo de una fase vegetativa más larga. Altas irradiancias y bajas temperaturas también incrementan el número de tallos laterales en *Hedera canariensis* y en cultivares de crisantemo (Schoelhorn *et al.*, 1996; Al-Juboory *et al.*, 1998). Sin embargo, en *Hibiscus*, el efecto de la temperatura en la producción de tallos laterales fue dependiente de la especie (Warner y Erwin, 2001). Uno de los genes mejor caracterizados por controlar la proliferación de ramificaciones laterales es *TB1*, que pertenece a la familia de factores de transcripción del tipo bHLH (Cubas *et al.*, 1999). La pérdida de función de este

gen en plantas de maíz (mutante *tb1*) tiene un fenotipo con aumento de las ramificaciones y recuerda al ancestro salvaje *Teosinte* de *Zea mays* spp. *parviglumis* (Doebley *et al.*, 1997). Más recientemente se obtuvo la primera evidencia molecular en donde se demuestra una asociación entre el fitocromo B y el desarrollo de las ramificaciones laterales (Kebron *et al.*, 2006). La inhibición del desarrollo de ramificaciones laterales en plantas de sorgo está correlacionada con el incremento en los niveles de expresión del gen teosinte ortólogo de maíz (*SbTB1*) y por otra parte, una lesión en el gen *PHYB-1* que suprime el desarrollo de ramificaciones laterales se correlaciona con altos niveles de expresión de *SbTB1* (Kebron *et al.*, 2006).

La floración fue levemente retrasada cuando las plantas eran cultivadas en ambientes de alta R/RL. Un retraso en la floración en estas condiciones de R/RL fue reportado en muchas especies (Mortensen y Stromme, 1987; Li *et al.* 2000; Runkle y Heins, 2001 y 2002; Cerny *et al.* 2003; Fletcher *et al.* 2005). Sin embargo, Wilson y Rajapakse (2001a) encontraron que altas relaciones R/RL tienen efectos neutrales en el tiempo a floración de tres especies de salvia. Por otra parte, la calidad del ambiente lumínico puede afectar otros parámetros florales que son importantes en plantas ornamentales. Por ejemplo, el número de verticilos por inflorescencia en plantas de *S. exserta* fue levemente reducido con un incremento en la relación R/RL, sin embargo no hubo diferencias en el tamaño de las flores. Se observaron efectos aditivos entre el RC y la calidad de luz en la producción de verticilos por inflorescencia. En concordancia con nuestros resultados, Cerny *et al.* (2003) reportaron la ausencia de variaciones en el tamaño de las flores de diversas especies. Sin embargo, Rajapakse y Kelly (1995) observaron que las flores de crisantemo reducían su tamaño bajo elevadas R/RL. Estas evidencias sugieren que la calidad de la luz tiene efectos variables en el tamaño de las flores dependiendo de la especie.

Esta tesis demuestra que la luz es un factor determinante en el crecimiento y en el desarrollo de plantas de *S. exserta*, y que la manipulación artificial del ambiente lumínico es una herramienta que puede ayudar a mejorar la calidad de las plantas. La altura de la planta, el número de tallos laterales y la compactibilidad son parámetros de las plantas que pueden ser modificados manipulando el ambiente lumínico. El retraso en la floración sin embargo, debe ser tenido en cuenta al momento de definir los calendarios de cultivo debido a que la calidad de luz afecta el tiempo a floración. Estudios adicionales se requieren para entender las complejas interacciones entre los componentes de la luz (duración, cantidad y calidad) y otros factores ambientales. La selección de plantas con fenotipos compactos mediante selección genética es una estrategia posible para reemplazar el uso de RC por tratarse de materiales estables con bajos requerimientos para el control de la arquitectura de la planta. Sin embargo, el mejoramiento genético es un proceso muy costoso que demanda mucho tiempo para el cruzamiento y fijación de los caracteres. A través de la manipulación de la luz, esta especie y probablemente muchas otras pueden ser introducidas en el mercado florícola con una calidad aceptable y evaluadas por los consumidores antes de iniciar un programa de mejoramiento.

Conclusiones generales

En esta tesis se evaluaron los efectos de la manipulación de la luz en el crecimiento y el desarrollo de dos especies ornamentales. Por un lado, poinsetia (*Euphorbia pulcherrima*) que es una especie comercial de importancia a nivel mundial y cuyo esquema productivo está bien definido. Por otro, *Salvia exserta*, una especie nativa con potencial ornamental cuyo cultivo a nivel comercial es aún inexistente y de la que no hay conocimientos respecto al efecto que los factores ambientales tienen sobre su crecimiento y desarrollo. La manipulación del ambiente lumínico incrementando la relación R/RL mejoró la calidad de las plantas de ambas especies a través de un efecto sobre distintos componentes de la calidad ornamental como la altura y la compactibilidad. Sin embargo se observó también la existencia de respuestas a la luz especie-dependientes que deberían ser tenidas en cuenta al momento de diseñar estrategias de manejo. Los resultados de esta tesis refuerzan la importancia de diseñar experimentos fotomorfogénicos en distintas especies y variedades ornamentales antes de manipular el ambiente lumínico como estrategia para modificar la arquitectura de las plantas con fines productivos.

Los resultados en ambas especies son comparables a los obtenidos con la aplicación de reguladores de crecimiento (RC) en algunos parámetros de calidad como la altura de la planta y la compactibilidad. La modificación de la calidad del ambiente lumínico constituye otra herramienta efectiva y no contaminante para el control del crecimiento en la producción de plantas ornamentales. Se observó además un efecto aditivo entre los dos factores (luz y RC) para distintos componentes de la calidad. Esto sugiere la posibilidad de establecer un sistema de manejo integrado en el que la manipulación del ambiente lumínico y los RC puedan combinarse para obtener plantas de mejor valor ornamental. De esta manera se podrá maximizar los beneficios de ambas herramientas y reducir la necesidad de aplicación de RC, minimizando consecuentemente, los efectos negativos que su uso implica. Debido a la existencia de otros RC en el mercado, en el futuro deberían evaluarse para verificar la generalidad de los resultados obtenidos en esta tesis.

Se observaron distintas respuestas en la brotación lateral de las dos especies estudiadas. En poinsetia, no se observaron diferencias en el número de tallos laterales entre los tratamientos de luz y RC, y el pinzado de las plantas estimuló la brotación lateral en igual magnitud en los dos ambientes de R/RL evaluados. En *Salvia* sin embargo, el número de tallos laterales aumentó sólo cuando las plantas se cultivaron en ambientes con elevada R/RL independientemente de la aplicación de RC, sugiriendo la participación de los fitocromos y no de las giberelinas en la determinación de este parámetro de la arquitectura. El aumento de la brotación lateral en *salvia* obtenida mediante la manipulación de la luz en plantas no pinzadas suma un beneficio adicional a la mejora de la calidad de las plantas que no es alcanzado mediante el uso de RC. Es posible que el pinzado de las plantas de poinsetia haya estimulado la brotación lateral ocultando algún efecto similar al de la calidad de luz. Para poner a prueba esta hipótesis, debería evaluarse la brotación lateral de plantas de poinsetia no pinzadas en ambientes de distinta R/RL. Además, nuevos experimentos podrían diseñarse para tener un conocimiento mayor acerca de las posibles vías de interacción entre hormonas y luz en la regulación de la brotación lateral y otros aspectos de la arquitectura de la planta.

En ambas especies se observó un retraso en la floración en condiciones de elevada relación R/RL. Este fenómeno es común en distintas especies

(Clifford *et al.*, 2004; Runkle y Heins, 2002; Rajapakse y Kelly, 1995; Cerny *et al.*, 2003) y constituye un factor importante a tener en cuenta en la producción ornamental ya que muchas veces la ventana de consumo es estrecha y acotada a determinados períodos del año. Por ello, cualquier esquema productivo deberá tener presente esta respuesta a la hora de hacer la planificación del cultivo. Distintos factores ambientales como el fotoperíodo, la irradiancia, la calidad de luz y la temperatura integran distintas vías que convergen para regular la floración (Halliday *et al.*, 2003; Corbesier y Coupland, 2006). Un conocimiento más profundo acerca de cómo la luz y su interacción con otros factores ambientales o endógenos están regulando la floración de especies ornamentales, podría en el futuro permitir hacer ajustes específicos para la sincronización de la floración del cultivo según la demanda del producto. La producción de cultivos ornamentales bajo cubierta tiene la ventaja de permitir un control más ajustado de las condiciones ambientales respecto a producciones a campo. Con sistemas de cultivo donde se puedan mantener constantes otros factores como temperatura, disponibilidad hídrica, nutrición, etc., los efectos de cambios en la luz del ambiente podrán ser cuantificados y aplicados de manera más precisa. Nuevos experimentos deberían ser diseñados para evaluar como la manipulación de otros factores podrían afectar la respuesta de la floración en ambientes lumínicos de bajas y altas relaciones R/RL.

El uso de filtros selectivos como el Solatrol ha sido efectivo para la manipulación del ambiente lumínico en estas especies y otras (Rajapakse y Kelly, 1992; Kambalapally y Rajapakse, 1998; Li *et al.* 2000; Runkle y Heins, 2001). Los experimentos realizados en el marco de esta tesis demostraron la efectividad del uso del filtro fotoselectivo Solatrol bajo condiciones climáticas del área metropolitana de Buenos Aires (AMBA) para incrementar la compactidad y obtener plantas con buena calidad comercial. Considerando que los ensayos de esta tesis fueron realizados en carpas construidas dentro de invernáculos, es de esperar que los niveles de radiación disponibles para cultivos ornamentales realizados en condiciones de producción estándar sean aún mayores permitiendo extender su uso a especies más exigentes en cantidad de radiación. Los resultados de esta tesis contrastan con los obtenidos usando filtros fotoselectivos en algunas zonas productoras del hemisferio norte, en donde las bajas irradiancias establecidas debajo de los filtros en épocas invernales (e.g. $235 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) afectaron la calidad ornamental de las plantas (Rajapakse y Kelly, 1992; Li *et al.*, 2000; Clifford *et al.*, 2004). Si bien existen otros filtros fotoselectivos con efectos similares en el ambiente lumínico, el uso de LED (diodo emisor de luz, del inglés: light emitting diodes) puede tener un futuro promisorio en este campo. Los LED tienen una alta especificidad de longitud de onda y un estrecho ancho de banda, lo que permitiría un manejo preciso de disponibilidad de fotones requeridos para inducir respuestas fotomorfogénicas específicas. También la tecnología LED podría permitir diseñar combinaciones de longitudes de onda específicas para manipular el crecimiento y el desarrollo de las plantas estableciendo estrategias de manejo a medida dependiendo del cultivo y de sus requerimientos. La factibilidad económica de su uso deberá ser determinada para cada escala productiva y para cada producto en particular.

Esta tesis contribuye al conocimiento fotobiológico de dos cultivos ornamentales: *Euphorbia pulcherrima* y *Salvia exserta*. Se demuestra la importancia y el impacto de manejar este conocimiento en sistemas locales de producción de plantas ornamentales, un área totalmente inexplorada en estas latitudes. De esta manera, la manipulación del ambiente lumínico puede ayudarnos a diseñar herramientas de tecnología sustentable en sistemas productivos intensivos bajo cubierta para la obtención de productos

ornamentales de calidad, en concordancia con las actuales demandas mundiales de cuidado del medio ambiente y de una reducción en el uso de químicos en la producción agrícola.

Bibliografía

- Achard P, Liao L, Jiang C, Desnos T, Bartlett J, Fu X, Harberd NP (2007) DELLAs contribute to plant photomorphogenesis. *Plant Physiology* **143**, 1163-1172.
- Adams SR, Pearson S, Hadley P (1997) The effects of temperature, photoperiod and light integral on the time to flowering of Pansy cv. Universal Violet (*Viola x wittrockiana* Gams.). *Annals of Botany* **80**, 107-112.
- Adams SR, Pearson S, Hadley P (2001) Improving quantitative flowering models through a better understanding of the phases of photoperiod sensitivity. *Journal of Experimental Botany* **52**, 655-662.
- Adriansen E, Odgaard P (1997) Residues of paclobutrazol and uniconazole in nutrient solutions from ebb and flood irrigation of pot plants. *Scientia Horticulturae* **69**, 73-83.
- Al-Juboory KH, Williams DJ, Skirvin RM (1998) Influence of photoperiod, photosynthetic photon flux, and temperature on growth of canary island ivy. *HortScience* **33**, 237-239.
- Andersen A, Andersen L (2000) Growth regulation as a necessary prerequisite for introduction of new plants. *Acta Horticulturae* **541**, 183-192.
- Armitage AM, Tsujita MJ (1979) The effect of supplemental light source, illumination and quantum flux density on the flowering of seed-propagated geraniums. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **54**, 195-198.
- Armitage AM, Carlson WH, Flore JA (1981) The effect of temperature and quantum flux density on the morphology, physiology, and flowering of hybrid geraniums. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **106**, 643-647.
- Armitage AM, Seager NG, Warrington IJ, Greer DH, Reyngoud J (1990) Response of *Oxypetalum caeruleum* to irradiance, temperature and photoperiod. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **115**, 910-914.
- Aukerman MJ, Hirschfeld M, Wester L, Weaver M, Clack T, Amasino RM, Sharrock RA (1997) A deletion in the PHYD gene of the arabidopsis wassilewskija ecotype defines a role for phytochrome D in red/far-red light sensing. *Plant Cell* **9**, 1317-1326.
- Ballaré CL, Scopel AL, Sánchez RA (1990) Far-red radiation reflected from adjacent leaves: an early signal of competition in plant canopies. *Science* **247**, 329-332.
- Ballaré CL, Scopel A, Sánchez RA (1995) Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. *HortScience* **30**, 1172-1181.
- Ballaré CL (1999) Keeping up with the neighbours. *Phytochrome sensing and other signalling mechanisms. Trends in Plant Science* **4**, 97-102.
- Ballaré CL, Casal J (2000) Light signals perceived by crop and weed plants. *Field Crops Research* **67**, 149-160.
- Ballaré CL, Barnes PW, Flint SD (2006) Inhibition of hypocotyl elongation by ultraviolet-B radiation in de-etiolating tomato seedlings. I. The photoreceptor. *Physiologia Plantarum* **93**, 584-592.
- Bañón S, Ochoa J, Fernández JA, González A (2003) Plant growth retardants for introduction of native *Reichardia tingitana*. *Acta Horticulturae* **598**, 271-277.
- Bauer D, Viczián A, Kircher S, Nobis T, Nitschke R, Kunkel T, Panigrahi KCS, Adám E, Fejes E, Schäfer E, Nagy F (2004) Constitutive photomorphogenesis 1 and multiple photoreceptors control degradation of

- phytochrome interacting factor 3, a transcription factor required for light signaling in *Arabidopsis*. *Plant Cell* **16**, 1433-1445.
- Berghage RD, Heins R (1991) Quantification of temperature effects on stem elongation in Poinsettia. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **116**, 14-18.
- Bielenin M, Joustra MK (2000) The effect of two day-night temperature regimes and two nutrient solution concentrations on growth of *Lavandula angustifolia* 'Munstead' and *Magnolia soulangiana*. *Scientia Horticulturae* **85**, 113-121.
- Boccalandro HE, Mazza CA, Mazzella MA, Casal JJ, Ballaré CL (2001) Ultraviolet B radiation enhances a phytochrome-B-mediated photomorphogenic response in *Arabidopsis*. *Plant Physiology* **126**, 780-788.
- Briggs WR, Huala E (1999) Blue-light photoreceptors in higher plants. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* **15**, 33-62.
- Cabrera AL (1993) Flora de la Provincia de Jujuy - Parte IX. Colección científica del INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Casal JJ, Luccioni LG, Oliveiro KA, Boccalandro HE (2003) Light, phytochrome signalling and photomorphogenesis in *Arabidopsis*. *Photochemical and Photobiological Sciences* **2**, 625-636.
- Casal JJ, Fankhauser C, Coupland G, Blázquez MA (2004) Signalling for developmental plasticity. *Trends in Plant Science* **9**(6), 309-314.
- Casal JJ, Sánchez RA, Gibson D (1990) The significance of changes in the red/far-red ratio, associated with either neighbour plants or twilight, for tillering in *Lolium multiflorum* Lam. *New Phytologist* **116**, 565-572.
- Casal JJ, Sánchez RA (1998) Phytohormones and seed germination. *Seed Science Research* **8**, 317-329.
- Cashmore AR, Jarillo JA, Wu YJ, Liu D (1999) Cryptochromes: blue light receptors for plants and animals. *Science* **284**, 760-765.
- Cerdan PD, Chory J (2003) Regulation of flowering time by light quality. *Nature* **423**, 881-885.
- Cerny T, Faust J, Layne D, Rajapakse N (2003) Influence of photosensitive films and growing season on stem growth and flowering of six plant species. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **128**, 486-491.
- Childs KL, Miller FR, Cordonnier-Pratt MM, Pratt LH, Morgan PW, Mullet JE (1997) The Sorghum photoperiod sensitivity gene, Ma3, encodes a phytochrome B. *Plant Physiology* **113**, 611-619.
- Clifford S, Runkle E, Langton F, Mead A, Foster S, Pearson S, Heins R (2004) Height control of Poinsettia using photosensitive filters. *HortScience* **39**, 383-387.
- Corbesier L, Coupland G (2006) The quest for florigen: a review of recent progress. *Journal of Experimental Botany* **57**, 3395-3403.
- Cubas P, Lauter N, Doebley J, Coen E (1999) The TCP domain: a motif found in proteins regulating plant growth and development. *Plant Journal* **18**, 215-222.
- Davis TD, Andersen AS (1989) Growth retardants as aids in adapting new floricultural crops. *Acta Horticulturae* **337**, 99-103.
- De Lucas M, Davière JM, Rodríguez-Falcón M, Pontin M, Iglesias-Pedraz JM, Lorrain S, Fankhauser C, Blázquez ET, Prat S (2008) A molecular framework for light and gibberellin control of cell elongation. *Nature* **451**, 480-484.
- Deregibus VA, Casal JJ, Jacobo EJ, Gibson D, Kauffman M, Rodríguez AM (1994) Evidence that heavy grazing may promote the germination of *Lolium multiflorum* seeds via phytochrome-mediated perception of high red/far red ratios. *Functional Ecology* **8**, 536-542.
- Devlin PF, Patel SR, Whitlam GC (1998) Phytochrome E influences internode elongation and flowering time in *Arabidopsis*. *Plant Cell* **10**, 1479-1487.

- Devlin PF, Robson PRH, Patel SR, Goosey L, Sharrock RA, Whitelam GC (1999) Phytochrome D acts in the shade-avoidance syndrome in *Arabidopsis* by controlling elongation and flowering time. *Plant Physiology* **119**, 909-915.
- Doebley J, Stec A, Hubbard L (1997) The evolution of apical dominance in maize. *Nature* **386**, 385-388.
- Ecke P, Faust JE, Williams JA, Higgins A (2004) 'The Ecke Poinsettia manual.' (Ball Publishing: USA)
- Erwin JE, Heins RD (1995) Thermomorphogenic responses in stem and leaf development. *HortScience* **30**, 940-949.
- Erwin J, Warner R (2002) Determination of photoperiodic response group and effect of supplemental irradiance on flowering of several bedding plant species. *Acta Horticulturae* **580**, 95-100.
- Fankhauser C, Chory J (1997) Light control of plant development. *Annual Review of Cell and Developmental Biology* **13**, 203-229.
- Faust J, Heins R (1996) Axillary bud development of Poinsettia 'Eckespoint Lilo' and 'Eckespoint Red Sails' (*Euphorbia pulcherrima* Willd.) is inhibited by high temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **121**, 920-926.
- Feng S, Martinez C, Gusmaroli G, Wang Y, Zhou J, Wang F, Chen L, Yu L, Iglesias-Pedraz LM, Kircher S, Schäfer E, Fu X, Fan L, Deng XW (2008) Coordinated regulation of *Arabidopsis thaliana* development by light and gibberellins. *Nature* **451**, 475-479.
- Fisher P (2005) UNH FloraTrack: Graphical tracking for Poinsettia. Version 2.0f. Dept. of Plant Biology, UNH, Durham, NH, USA.
- Fletcher JM, Tatsiopoulou A, Mpezamihigo M, Carew JG, Henbest RGC, Hadley P (2005) Far-red light filtering by plastic film, greenhouse-cladding materials: effects on growth and flowering in Petunia and Impatiens. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **80**, 303-306.
- Folta KM, Childers KS (2008) Light as a growth regulator: controlling plant biology with narrow-bandwidth solid-state lighting systems. *HortScience* **43**, 1957-1964.
- Franklin KA (2009) Light and temperature signal crosstalk in plant development. *Current Opinion in Plant Biology* **12**, 63-68.
- Franklin KA, Larner VS, Whitelam GC (2005) The signal transducing photoreceptors of plants. *International Journal of Developmental Biology* **49**, 653-664.
- Franklin KA, Whitelam GC (2006) Improvement of horticultural and ornamental crops through transgenic manipulation of the phytochrome family of plant photoreceptors. *Journal of Crop Improvement* **17**(1-2), 263-278.
- Gent MPN (1997) Persistence of triazole growth retardants on stem elongation of *Rhododendron* and *Kalmia*. *Journal of Plant Growth Regulation* **16**, 197-203.
- Grindal G, Junttila O, Reid JB, Moe R (1998) The response to gibberellin in *Pisum sativum* grown under alternating day and night temperature. *Journal of Plant Growth Regulation* **17**: 161-167.
- Halevy AH (2000) Introduction of native Israeli plants as new cut flowers. *Acta Horticulturae* **541**, 79-82.
- Halliday KJ, Saalter MG, Thingnaes E, Whitelam GC (2003) Phytochrome control of flowering is temperature sensitive and correlates with expression of the floral integrator *FT*. *The Plant Journal* **33**, 875-885.
- Hamid MM, Williams RR (1997) Effect of different types and concentrations of plant growth retardants on Sturt's desert pea (*Swainsona formosa*). *Scientia Horticulturae* **71**, 79-85.

- Han YJ, Song PS, Kim JI (2007) Phytochrome-mediated photomorphogenesis in plants. *Journal of Plant Biology* **50**(3), 230-240.
- Hayashi T, Heins R, Cameron A, Carlson W (2001) Ethephon influences flowering, height, and branching of several herbaceous perennials. *Scientia Horticulturae* **91**, 305-323.
- Hendriks L, Ueber E (1995) Alternative methods of regulating the elongation growth of ornamental plants: a current assessment. *Acta Horticulturae* **378**, 159-167.
- Holmes MG, Smith H (1977) The function of phytochrome in the natural environment. II. The influence of vegetation canopies on the spectral energy distribution of natural daylight. *Photochemistry and Photobiology* **25**, 539-545.
- Huq E (2006) Degradation of negative regulators: a common theme in hormone and light signaling networks? *Trends in Plant Science* **11**, 4-7.
- Ilias I, Rajapakse N (2005). The effects of end of the day red and far red light on growth and flowering of *Petunia x hybrida* "Countdown Burgundy" grown under photoselective films. *HortScience* **40**, 131-133.
- InfoStat (2008). InfoStat versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Insausti P, Soriano A, Sánchez RA (1995) Effects of flood-influenced factors on seed germination of *Ambrosia tenuifolia*. *Oecologia* **103**, 127-132.
- INTEA-INTA-JICA (2003) Estudio sobre la Caracterización de la producción florícola en la República Argentina. MIMEO.
- Islam N, Patil GG, Gislerod HR (2005) Effect of photoperiod and light integral on flowering and growth of *Eustoma grandiflorum* (Raf) Shinn. *Scientia Horticulturae* **103**, 441-445.
- Izawa T, Oikawa T, Sugiyama N, Tanisaka T, Yano M, Shimamoto K (2002) Phytochrome mediates the external light signal to repress FT orthologs in photoperiodic flowering of rice. *Genes and Development* **16**, 2006-2020.
- Jacobsen SE, Olszewski NE (1993) Mutations at the SPINDLY locus of *Arabidopsis* alter gibberellin signal transduction. *Plant Cell* **5**, 887-896.
- Jandel TBLCurve (1992) Curve Fitting Software, Jandel Scientific, Corte Madera, CA.
- Kambalapally V, Rajapakse N (1998) Spectral filters affect growth, flowering, and postharvest quality of Easter lilies. *HortScience* **33**, 1028-1029.
- Kasperbauer MJ (1987) Far-red light reflection from green leaves and effects on phytochrome mediated assimilate partitioning under field conditions. *Plant Physiology* **85**, 350-354.
- Kebrom TH, Burson BL, Finlayson SA (2006) Phytochrome B represses *Toesinte Branched1* expression and induces sorghum axillary bud outgrowth in response to light signals. *Plant Physiology* **140**, 1109-1117.
- Khattak AM, Pearson S (2006) Spectral filters and temperature effects on the growth and development of chrysanthemums under low light integral. *Plant Growth Regulation*. **49**, 61-68.
- Kuehny JS, Branch PC (2000) Stem strength of Poinsettia. *Acta Horticulturae* **515**, 257-264.
- Kuehny JS, Painter A, Branch P (2001) Plug source and growth retardants affect finish size of bedding plants. *HortScience* **36**, 321-323.
- Kurepin LV, Walton LJ, Reid DM, Pharis RP, Chinnappa CC (2006) Involvement of gibberellins in the stem elongation of sun and shade ecotypes of *Stellaria longipes* that is induced by low light irradiance. *Plant Cell Environ* **29**, 1319-1328.

- Kurepin LV, Emery RJN, Pharis RP, Reid DM (2007) The interaction of light quality and irradiance with giberellins, cytokinins and auxin in regulating growth of *Helianthus annuus* hypocotyls. *Plant Cell Environ* **30**, 147-155.
- Larson RA (1996) *Introducción a la Floricultura*. (AGT Editor: México).
- Li S, Rajapakse N, Young R, Oi R (2000) Growth responses of chrysanthemum and bell pepper transplants to photosensitive plastic films. *Scientia Horticulturae* **84**, 215-225.
- Li S, Young R, Rajapakse N (2003) Far red light absorbing photosensitive plastic films affect growth and flowering of Chrysanthemum cultivars. *HortScience* **38**, 284-287.
- Liptay A, Sikkema P, Fonteno W (1998) Transplant growth control through water deficit stress – A. Review. *HortTechnology* **8**, 540-543.
- Lorrain S, Allen T, Duek PD, Whitlam GC, Fankhauser C (2008) Phytochrome-mediated inhibition of shade avoidance involves degradation of growth-promoting bHLH transcription factors. *Plant Journal* **53**, 312-323.
- Maloupa E, Zervaki D, Marnasidis A (2000) Introduction of the Mediterranean native species *Thymus mastichina*, *Lotus cytisoides*, *Lavandula stoechas*, *Centranthus ruber*, *Limonium pectinatum* and *Limonium sinense* into commercial floriculture. *Acta Horticulturae* **541**, 57-65.
- Mata DA, Botto JF (2009) Manipulation of light environment to produce high-quality plants of Poinsettia. *HortScience* **44**, 702-706.
- Mattson N, Erwin J (2005) The impact of photoperiod and irradiance on flowering of several herbaceous ornamentals. *Scientia Horticulturae* **104**, 275-292.
- McDaniel G, Graham E, Maleug K (1990) Alteration of Poinsettia stem anatomy by growth retarding chemicals. *HortScience* **25**, 433-435.
- McMahon MM, Kelly JW (1990) Control of Poinsettia growth and pigmentation by manipulating light quality. *HortScience* **25**, 1068 (abstr.).
- Moccaldi LA, Runkle ES (2007) Modeling the effects of temperature and photosynthetic daily light integral on growth and flowering of *Salvia splendens* and *Tagetes patula*. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **132**, 283-288.
- Moe R, Mortensen LM (1992). Thermomorphogenesis in pot plants. *Acta Horticulturae* **305**, 19-25.
- Morel P (2001) Growth control of *Hydrangea macrophylla* through water restriction. *Acta Horticulturae* **548**, 51-58.
- Morisigue D, Villarreal F (2003) Situación de la producción de flores y plantas ornamentales de la Argentina. En actas de las V jornadas nacionales de floricultura. San Miguel de Tucumán 29, 30 y 31 de octubre.
- Mortensen LM, Stromme E (1987) Effects of light quality on some greenhouse crops. *Scientia Horticulturae* **33**, 27-36.
- Mouradov A, Cremer F, Coupland G (2002) Control of flowering time: Interacting pathways as a basis for diversity. *Plant Cell* **14** (Suppl.), S111-S130.
- Nagatani A (2005) Functions of different domains of phytochrome. En: *Light sensing in Plants* (Editores Wada M, Shimazaki K, Iino M) pp.69-77 (Springer-Verlag, Tokio).
- Niu G, Heins R, Carlson W (2002) Using Paclobutrazol to control height of Poinsettia 'Freedom'. *HortTechnology* **12**, 232-236.
- Noordegraaf CV (2000) An approach to select new ornamental crops. *Acta Horticulturae* **541**, 75-78.
- Oren-Shamir M, Gussakovsky E, Shpiegel E, Nissim-Levi A, Ratner K, Ovadia R, Giller Y, Shahak Y (2001) Coloured shade nets can improve the yield and

- quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. Journal of Horticultural Science and Biotechnology **76**, 353-361.
- Oyaert E, Volckaert E, Debergh P (1999) Growth of chrysanthemum under coloured plastic films with different light qualities and quantities. Scientia Horticulturae **79**, 195-205.
- Paul LK, Khurana JP (2008) Phytochrome-mediated light signaling in plants: Emerging trends. Physiology and Molecular Biology of Plants **14**, 9-22.
- Pearson S, Wheeler TR, Hadley P, Wheldon AE (1997) A validated model to predict the effects of environment on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.): Implications for climate change. Journal of Horticultural Science **72**, 503-517.
- Pramuk LA, Runkle ES (2005) Photosynthetic daily light integral during the seedling stage influences subsequent growth and flowering of *Celosia*, *Impatiens*, *Salvia*, *Tagetes*, and *Viola*. HortScience **40**, 1336-1339.
- Qi A, Wheeler TR, Keatinge DH, Ellis RH, Summerfield RJ, Craufurd PQ (1999) Modelling the effects of temperature on the rates of seedling emergence and leaf appearance in legume cover crops. Experimental Agriculture **35**, 327-344.
- 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.
- Rajapakse N, Kelly J (1992) Regulation of Chrysanthemum growth by spectral filters. Journal of the American Society for Horticultural Science **17**, 481-485.
- Rajapakse N, Kelly J (1995) Spectral filters and growing season influence growth and carbohydrate status of Chrysanthemum. Journal of the American Society for Horticultural Science **120**, 78-83.
- Rajapakse N, Li S (2004) Exclusion of far red light by photoselective greenhouse films reduces height of vegetable seedlings. Acta Horticulturae **631**, 193-199.
- 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 (1997) Plant quality and growth of *Hydrangea x hybrida* as influenced by temperature and water quantity. Acta Horticulturae **450**, 425-431.
- Runkle E, Heins R (2001) Specific functions of red, far red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants. Journal of the American Society for Horticultural Science **126**, 275-282.
- Runkle E, Heins R (2002) Stem extension and subsequent flowering of seedlings grown under a film creating a far red deficient environment. Scientia Horticulturae **96**, 257-265.
- Runkle E, Heins R (2003) Photocontrol of flowering and extension growth in the long day plant Pansy. Journal of the American Society for Horticultural Science **128**, 479-485.
- Runkle E, Heins R (2006) Manipulating the light environment to control flowering and morphogenesis of herbaceous plants. Acta Horticulturae **711**, 51-60.
- Schoelhorn RK, Barrett JE, Nell TA (1996) Branching of chrysanthemum cultivars varies with season, temperature, and photosynthetic photon flux. HortScience **31**, 74-78.
- Sharp R (1996) Regulation of plant growth responses to low soil water potentials. HortScience **31**, 36-39.
- Sharrock RA, Quail PH (1989) Novel phytochrome sequences in *Arabidopsis thaliana*: structure, evolution, and differential expression of a plant regulatory photoreceptor family. Genes and Development **3**, 1745-1757.
- Simpson GG, Gendall AR, Dean C (1999) When to switch to flowering. Annual Review of Cell and Developmental Biology **15**, 519-550.

- Simpson GG, Dean C (2002) Arabidopsis, the Rosetta stone of flowering time? *Science* **296**, 285-289.
- Smith H (1981) 'Plants and the daylight spectrum.' (Academic Press: London)
- Smith H, Whitelam GC (1997) The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. *Plant Cell Environment* **20**, 840-844.
- Smith H (2000) Phytochromes and light signal perception by plants - An emerging synthesis. *Nature* **407**, 585-591.
- Snipen LG, Moe R, Sørheng J (1999) Influence of potential growth factors in predicting time to flowering in Poinsettia (*Euphorbia pulcherrima*). *Scientia Horticulturae* **81**, 345-359.
- Starman TW, Williams MS (2000) Growth retardants affect growth and flowering of scaevola. *HortScience* **35**, 36-38.
- Stromme E (1994). The Scientific basis of poinsettia production. (Ball Publishing: USA).
- Taiz L, Zeiger E (2002) 'Plant Physiology' (Sinauer Associates: Sunderland, MA, USA).
- Tatineni A, Rajapakse NC, Fernández RT, Rieck JR (2000) Effectiveness of plant growth regulators under photoselective greenhouse covers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **125**, 673-678.
- Trudgill DL, Honek A, Li D, Van Straalen NM (2005) Thermal time – concepts and utility. *Annals of Applied Biology*. **146**, 1-14.
- Valverde F, Mouradov A, Soppe W, Ravenscroft D, Samach A, Coupland G (2004) Photoreceptor regulation of CONSTANS protein in photoperiodic flowering. *Science* **303**, 1003-1006.
- van Iersel M, Nemali K (2004) Drought stress can produce small but not compact marigolds. *HortScience* **39**, 1298-1301.
- Vogelezang J (2000) Improvement of plant quality by integrated control of light, temperature and DIF strategy. *Acta Horticulturae* **515**, 83-90.
- Waaseth G, Moe R, Heins RD, Grimstad SO (2006) Effect of photosynthetic photon flux and temperature on floral evocation and development in the vernalization-sensitive ornamental perennial *Salvia x superba* 'Blaukönigin'. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **131**, 437-444.
- Warner R, Erwin J (2001) Variation in floral induction requirements of *Hibiscus* sp. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **126**, 262-268.
- Weller JL, Beauchamp N, Kerckhoffs LHJ, Damien Platten J, Reid JB (2001) Interaction of phytochromes A and B in the control of de-etiolation and flowering in pea. *Plant Journal* **26**, 283-294.
- Wilson RN, Heckman JW, Somerville CR (1992) Gibberellin is required for flowering in *Arabidopsis thaliana* under short days. *Plant Physiology* **100**, 403-408.
- Wilson S, Rajapakse N (2001a) Growth control of lisianthus by photoselective plastic films. *HortTechnology* **11**, 581-584.
- Wilson S, Rajapakse N (2001b) Use of photoselective plastic films to control growth of three perennial salvias. *Journal of Applied Horticulture* **3**(2), 71-74.
- Yanovsky MJ, Kay SA (2003) Living by the calendar: how plants know when to flower. *Molecular Cell Biology* **4**, 265-275.
- Zanin G, Erwin JE (2006) Photoperiod and irradiance effects on *Salvia elegans*, *S. greggii*, and *S. patens* flowering, height and branching. *Acta Horticulturae* **723**, 367-373.
- Zhang D, Armitage AM, Affolter JM, Dirr MA (1996) Environmental control of flowering and growth of *Achillea millefolium* L. 'Summer Pastels'. *HortScience* **31**, 364-365.

Anexo A

Anuario estadístico 2007 de la Provincia de Corrientes. Dirección de Estadísticas y Censos. Gobierno de la Provincia de Corrientes.

Extracto de tablas correspondientes al sector de flores y plantas ornamentales

IV.1.3 - FLORES Y ORNAMENTALES. Serie histórica de precios según Campaña, en pesos por Unidad. Total Provincia. Campañas 2001/'02 a 2005/'06.

Campaña	Crisantemo	Gerbera	Gladiolo	Jazmín	Lilium	Rosa	Otras Flores	Ornamentales
	Precio \$ / Unidad							
2001/2002	0,327500	0,368300	0,383300	0,065000	2,025000	0,365800	0,189200	2,250000
2002/2003	0,310000	0,540000	0,380000	0,050000	2,390000	0,240000	0,250000	2,950000
2003/2004	0,375000	0,670000	0,350000	0,074000	2,875000	0,410000	0,330000	3,500000
2004/2005	0,460000	0,800000	0,450000	0,100000	3,600000	0,750000	0,420000	4,450000
2005 / 2006 (*)	0,466667	0,791667	0,458333	0,120833	3,345833	0,875000	0,433333	4,800000

V.2.5- FLORES Y ORNAMENTALES.

Producción Agrícola. Campañas 1999/2000 a 2005/'06 (), variación porcentual campañas 2001/'02 - 2005/'06. Total Provincia.*

Campaña	Cultivo							
	Crisant. Un. x mil	Gerbera Un. x mil	Gladiolo Un. x mil	Jazmín Un. x mil	Lilium Un. x mil	Rosa Un. x mil	Otras Fl. Un. x mil	Ornamen. Un. x mil
1999/2000	564,05	190,40	8.220,00	9.250,00	1.125,00	5.175,00	130,00	1.628,69
2000/2001	1.108,99	204,00	6.864,00	9.664,65	1.500,00	6.770,00	140,00	1.685,00
2001/2002	1.110,00	225,00	7.050,00	11.320,00	1.700,00	9.490,00	185,00	1.995,00
2002/2003	3.023,75	1.800,00	6.605,00	15.298,05	2.000,00	14.141,50	228,00	2.646,00
2003/2004	3.736,74	2.314,75	6.216,14	15.658,28	2.375,66	14.886,99	266,83	2.866,37
2004/2005	3.545,00	2.780,00	9.029,00	16.712,00	3.050,00	16.935,00	327,64	3.057,00
2005/2006	3.443,71	3.116,40	6.081,32	21.496,92	3.504,48	16.462,09	339,96	3.215,00
Variación %								
2001/'02 - 2005/'06	210,24	1285,07	-14,02	89,90	106,15	73,47	83,76	61,15

V.4.18 - VIVEROS. Superficie implantada a campo y bajo cubierta según grupo de cultivo, por departamento. Total Provincia.

Departamento		Grupo de cultivo						
		Aromáticas	Forestales	Frutales	Hortícolas	Industriales	Ornamentales	Otras
TOTAL	A campo (ha.)	-	20,5	22,5	0,1	13,8	23,1	4,1
Provincia	Bajo cub. (m²)	12.510	90.460	5.265	37.347	63.001	314.377	-



V.2 - Agricultura.

V.2.1 Producción Agrícola. Superficie cultivada y cosechada en ha., producción en tn., rendimiento en tn/ha, precio en \$/tn y Valor Bruto de la Producción. Total Provincia. Campaña 2004/2005.

Cultivo	Precio \$/Tn.	Superficie		Produc- ción Tn.	Rendi- miento Tn./Ha.	Valor Bruto de Producción	
		Cultivada Ha.	Cosechada Ha.			\$	%
TOTAL AGRICULTURA		198.327,92	174.753,03	1.145.675,86		465.552.145	100,00
Subtotal Cereales		94.292,00	86.389,00	467.769,89		203.271.479	43,66
Arroz	448,80	80.384,00	74.675,00	442.468,89	5,925	198.491.544	42,64
Maíz	188,25	9.813,00	8.257,00	18.820,69	2,279	3.542.975	0,76
Sorgo	127,85	2.562,00	1.992,00	3.435,09	1,724	439.178	0,09
Trigo	261,97	1.533,00	1.465,00	3.045,33	2,079	797.784	0,17
Subtotal Frutales		27.425,96	24.269,56	285.913,85		52.950.532	11,37
Arándanos	12.140,00	46,35	17,45	82,97	3,81	764.458	0,16
Durazno	646,27	402,00	292,00	5.030,00	17,228	3.250.738	0,70
Limón	120,54	2.534,40	2.239,31	37.402,18	16,703	4.508.458	0,97
Mandarina	162,80	9.468,95	8.489,84	75.509,24	8,894	12.277.802	2,64
Naranja	195,24	14.042,40	12.732,69	160.744,86	12,625	31.383.826	6,74
Pomelo	106,81	931,86	498,27	7.164,63	14,379	765.254	0,16
Subtotal Hortícolas		14.724,11	11.975,18	219.868,31		90.125.697	19,36
Arveja	1.183,72	213,50	180,80	165,88	0,917	196.353	0,04
Batata	185,29	2.528,00	1.968,87	21.855,90	11,112	4.049.680	0,87
Berenjena	572,04	116,45	93,15	305,34	3,278	174.667	0,04
Cebolla	142,10	155,13	120,24	872,88	7,260	124.034	0,03
Chaucha	628,50	289,95	226,10	591,69	2,817	371.816	0,08
Chocolo	242,00	1.846,00	1.362,30	2.111,80	1,550	511.058	0,11
Frutilla	2.392,53	146,70	138,18	2.535,40	18,349	6.066.021	1,30
Melón	513,50	367,20	282,85	2.339,20	8,270	1.201.179	0,26
Pepino	541,50	42,40	38,85	414,40	10,722	224.398	0,05
Pimiento a campo	636,00	23,00	19,90	257,20	12,925	163.579	0,04
Pimiento bajo cob.	822,79	369,27	360,34	31.148,89	86,444	25.628.994	5,51
Sandía	139,50	4.965,00	4.288,00	65.535,73	15,291	9.142.235	1,96
Tomate Perita a Campo	224,50	224,20	210,65	5.223,80	24,798	1.172.743	0,25
Tomate Redondo a Campo	330,00	529,40	362,55	13.031,37	35,944	4.300.351	0,92
Tomate Perita b/Cob.	565,33	90,85	85,82	7.443,30	86,934	4.207.921	0,90
Tomate Redondo b/Cob.	546,47	505,07	478,59	47.302,54	98,838	25.849.421	5,55
Zapallo	326,50	817,00	580,10	5.437,50	8,373	1.775.344	0,38
Zapallito tronco	373,50	1.507,00	1.182,30	13.295,60	11,246	4.965.907	1,07
Ind. y Oleaginosas		61.553,50	51.811,35	172.123,81		71.183.700	15,29
Algodón	556,00	7.085,00	5.617,00	5.177,19	0,922	2.878.518	0,62
Girasol	443,82	700,00	605,00	893,00	1,476	396.331	0,09
Mandioca	260,00	3.651,00	3.067,00	30.931,00	10,085	8.042.060	1,73
Maní	1.912,50	137,50	93,35	60,07	0,843	114.884	0,02
Soja	438,45	25.510,00	21.260,00	34.244,00	1,811	15.014.282	3,23
Tabaco	2.885,28	4.943,00	4.544,00	5.459,55	1,201	15.752.325	3,38
Té	136,20	1.892,00	1.560,00	12.430,00	7,968	1.692.966	0,36
Yerba Mate	329,00	17.565,00	15.005,00	82.875,00	5,523	27.285.675	5,86
Lino	490,00	80,00	60,00	54,00	0,900	26.460	0,01
Flores y Ornamentales		332,35	307,95	4.582.109,91		48.020.737	10,31

Nota : En el Total Agricultura se excluye el Tipo de Cultivo "Flores y Ornamentales", porque la información base de la variable Precio está en \$/Unidad, por lo tanto la Producción viene expresada en unidades por mil.

Fuente : Ministerio de Producción, Trabajo y Turismo / Servicio de Información Agroeconómica.

Anexo B



To meet growers needs and their customers concerns, BPI Agri has developed a unique spectral filter.

Solatrol alters the ratio of red to far red light, by



absorbing light in the far red wavelength, removing the mechanism which can promote elongation and so reducing or eliminating the need for chemical growth regulators.

The research behind the development of Solatrol won the prestigious 1998 Science into Practice Awards made by the Ministry of Agriculture, Fisheries and Food*.

FILM DESCRIPTION

Dimensions 4.5m width (four fold)
100 microns thick
100m reel length
Appearance pale green tint
Light Transmission 83%
Reel weight 41.4kg



Early trials provided an extremely positive response which show that Solatrol can improve the quality of a wide range of decorative plants.

Key benefits observed include:

- Increase in the leaf area
- Increase in the number of leaves
- Increase in branching
- Greener leaves.

A DTI/EPSC sponsored LINK Project at the University of Reading demonstrated the control of plant height over a range of decorative plants, including chrysanthemum, eustoma, and pansy, although the response of different plant types varied, as with any horticultural treatment. Growth control has been demonstrated in commercial growing conditions with pansy and other plants.

PLANT	DELAY
Antirrhinum	9 days
Marigold	2 days
Stock	5 days
Petunia	18 days
Pansy	up to 5days

With some plant species, the flowering of the plant can be delayed. This gives growers the opportunity to control the flowering time so that good quality plants in bud can be delivered to the customer.

	CONVENTIONAL GREENHOUSE FILM	SOLATROL GREENHOUSE FILM	% CHANGE
PETUNIA			
Leaf Area	877 sq. cm	247 sq. cm	+110
Plant Dry Weight	26	3.66	+220
Floral Branches/ stem	7.7	1.8	+432
Leaves/ stem	50.5	42.1	+27
Wt. of leaves	50.5g	31.3g	+62
Wt. of stem	21.2g	20.8g	+2
CHRYSANTHEMUM STOCK			
Measurements at point of flowering.			
Fl. of flowers/heads	182	7.8	+5
Plant dry weight	46.00g	73.00g	+57

The detailed studies also compared the quality of petunia and antirrhinum grown under Solatrol and a conventional greenhouse film.

The impressive results included a 180 per cent increase in leaf area on a test sample of petunia and a 35 per cent increase in the number of flowers on antirrhinum when grown under Solatrol.

	PLANT	SOURCE OF DELAY	% DELAY PRODUCTION
Exceptional Response (> 35%)	Eustoma	L	43
	Chrysanthemum	L	34
Very Good Response (> 15%)	Tinneastrum	L	25
	Petunia	L&R	21 (mean)
	Pansy	L&R	21 (mean)
	Begonia	L&R	21 (mean)
Good Response (> 10%)	Sakka	L	14
	Nicotiana	L	14
	Poinsettia	E	14
	Dianthus	R	10
	Agapanth	L	13
	Asterfaum	L	13

BPI Agri's unrivalled research and development programme aims to provide "smart" films to meet every conceivable growing need.

Sources
LINK Project at the University of Reading DTI/EPSC sponsored
HDC Project PC 150 at the University of Reading
HDC Project PC 153 at HRH Efford
HDC members can obtain full details in Project Reports PC 150 and PC 153.
*Research conducted by BPI Agri and the University of Reading

bpi.agri *Creating the Climate for your Success*

Sales & Accounts Office: PO Box 343, Yarm Road, Stockton-on-Tees, Cleveland TS18 3GE. Tel: +44 (0) 1642 672288 Fax: +44 (0) 1642 664325
Sales Office: Worcester Road, Leominster, Herefordshire HR6 0QA. Tel: +44 (0)1568 617200 Fax: +44 (0)1568 617260 www.bpiagri.com