

Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)

Effect of seedbed exposition to colored covering on development and productivity of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*)

Fánor Casierra-Posada^{1,2} y Javier F. Rojas B.¹

RESUMEN

Se estudió el efecto de diferentes rangos del espectro sobre el crecimiento de plántulas de brócoli. Se usaron películas plásticas de color amarillo, azul, naranja, transparente, y sin cobertura (control), para obtener los diferentes espectros. Las semillas se sembraron en suelo. Al momento de la siembra se extendieron las coberturas de color, 60 cm sobre la superficie del suelo. Después de 30 días de la germinación se realizó el trasplante y se determinaron el área foliar, la materia seca, la altura y el diámetro del tallo. Las plántulas restantes se sembraron en parcelas diseñadas completamente al azar, con cuatro replicas. Durante la fase de semillero, las plántulas expuestas a la cobertura roja mostraron mayor producción de materia seca (0,21 g) que con los otros colores, incluso que con el control (0,14 g). Las plántulas bajo la cobertura azul tuvieron la menor producción de materia seca (0,03 g). Esta tendencia se mantuvo en campo, a pesar de que ahí las plantas crecieron a plena exposición solar. De nuevo, las plantas provenientes de la cobertura roja mostraron el mejor crecimiento, diámetro y peso de la pella. Los cambios en la morfología y la producción fueron negativos en el control y bajo las coberturas amarilla, azul, naranja y transparente, respecto al color rojo. Este efecto se atribuyó a que la longitud de onda selectiva de las coberturas produce un efecto estimulante sobre las plántulas en semillero, proporcionándoles ventajas fitotécnicas mediante la alteración del espectro.

Palabras clave: longitud de onda, fotomorfogénesis, efecto Emerson, transmitancia.

ABSTRACT

The effect of different light spectrum ranges on broccoli seedling growth was studied by covering the seedbed with yellow, blue, red, orange and transparent plastic films, leaving an uncovered control. At the moment of sowing the seeds in the soil, the colored covers were extended 60 cm above soil surface. Thirty days after germination, the seedlings were transplanted to the field. At that moment, some plantlets were taken out to measure leaf area, dry matter content, plant height and stem diameter of some plantlets were measured. The rest of them were planted in completely randomized plots with four replications per treatment. During the early (seedbed) vegetative stage, the plantlets grown under red cover reached higher dry matter production (0.21 g) than the other treatments or the control, which reached 0.14 g, whereas the plantlets under blue cover showed the poorest dry matter content (0.03 g). This trend was maintained during the field stage, despite the fact that plants there grew fully exposed to sunlight. In effect, red film covered plants showed larger head weight and diameter, as well as better growth. Yield and morphology showed negative results under yellow, blue, orange and transparent covers when compared to those growing under red cover. This effect is here attributed to the differential stimulating effect of the tested light wavelengths on the plantlets during the seedbed stage, which confers concomitant phytotechnical advantages.

Key words: wavelength, photomorphogenesis, Emerson effect, transmission.

Introducción

En Colombia, el área cultivada en brócoli se incrementó 42,3% en 2007, con respecto al año anterior. En el mismo año, se sembraron 714 ha, con un rendimiento de 14,7 t ha⁻¹. El área sembrada se concentró en Cundinamarca, Cauca y Antioquia, los cuales participan, respectivamente, con 44,8; 23,8 y 21,0% del área sembrada a nivel nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2008).

Se han realizado ensayos para evaluar la respuesta de las plantas a la luz de diferentes colores. Es así como se encontró que la regulación de la posición de las hojas de *Arabidopsis* sp. es altamente dependiente de la luz azul y roja (Inoue *et al.*, 2008). Igualmente, en *Arabidopsis*, el espectro de acción para la degradación del criptocromo cry2, dependiente de la luz, tiene un pico de actividad a 380 nm, al igual que el cofactor de pterina (Hoang *et al.*, 2008). Estos resultados son una evidencia de la reacción de

Fecha de recepción: 12 de octubre de 2008. Aceptado para publicación: 19 de febrero de 2009

¹ Grupo de Investigación Ecofisiología Vegetal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

² Autor de correspondencia. fanor.casierra@uptc.edu.co

las plantas a la luz azul y roja, en los cuales están involucrados los criptocromos y los fotocromos, respectivamente. La radiación roja, y específicamente la relación rojo/rojo lejano (r/fr), afecta la concentración de nitratos en *Brassica campestris*, a tal punto que cuando las plantas se exponen a una relación r/fr del orden de 1,5, se reduce el contenido de nitratos en los tejidos, cuando las plantas adicionalmente están expuestas a un contenido medio de nutrientes en el sustrato (Dan *et al.*, 2005).

En agricultura se ha sacado ventaja de la utilización de los colores para incrementar el rendimiento y el crecimiento en diferentes especies vegetales. Plantas de *Acalypha hispaniolae* que crecieron en materas de color verde con un sombreado de 60% desarrollaron brotes 10% más largos, con 10% más de materia seca en los brotes y 23% más flores que las que crecieron en materas de color blanco, con el mismo nivel de sombra (Svenson, 1993). Adicionalmente, el color reflejado por la superficie del suelo a las hojas en desarrollo de *Daucus carota* tuvieron una influencia sobre la producción y la composición de la parte comestible de las raíces (Antonious y Kasperbauer, 2002). Se encontró que las mallas polisombra de color azul y rojo tienen un efecto sobre el crecimiento y la floración de diferentes materiales genéticos de *Phalaenopsis* sp.; la malla roja indujo precocidad en la mayoría de las variedades evaluadas, mientras que las plantas que crecieron bajo mallas de color azul desarrollaron mayor área foliar (Leite *et al.*, 2008).

Dado que se deben presentar a los cultivadores alternativas de cultivo que incrementen el rendimiento, el objetivo del presente estudio fue la evaluación del efecto de cubrimientos de diferentes colores sobre el crecimiento y la calidad de plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en la fase de semillero, y sus posteriores consecuencias sobre la productividad en cultivo definitivo sin cubrimiento alguno.

Metodología

El ensayo se desarrolló en predios de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia UPTC, ubicada a 5° 32' N, 73° 22' W y 2.810 m de altitud, con temperatura media de 13°C, precipitación anual de 617 mm y humedad relativa (HR) de 80%, y estuvo compuesto por dos fases. La primera de ellas fue la etapa de plántulas en semillero, y la segunda, consistió en el crecimiento de las plantas en campo, luego del trasplante. En la primera fase, se tomaron semillas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) variedad Calabrés, y se colocaron en semilleros en suelo. Aproximadamente, 60 cm por encima de la superficie del suelo de cada semillero,

se colocaron cubiertas de polietileno coloreado sostenidas con postes de madera, las cuales se mantuvieron durante toda la fase de semillero. Las características de los cubrimientos de color se describen en la Tab. 1. La transmitancia de las diferentes coberturas de color se determinó en el rango de la luz visible (400-700 nm), con un espectrofotómetro Hach DR/2000 (Hach company, USA), y la transparencia se midió con un luxómetro 0500 (Testoterm Messtechnik, Lenzkirch, Alemania).

TABLA 1. Valores promedio de las características de las coberturas colocadas sobre el semillero en plantas de brócoli.

Color	Transmitancia (%) ¹	Transparencia (%)	Iluminación (lx)
Amarillo	11,1 ± 0,2	43,5	19.256,6
Azul	2,6 ± 0,5	36,6	16.186,8
Rojo	78,2 ± 5,8	52,0	23.013,0
Naranja	73,3 ± 4,8	51,7	22.896,8
Transparente	83,1 ± 5,9	81,5	36.070,1
Control	-----	100	44.223,0

¹ El valor promedio se encuentra acompañado de la desviación estándar. Las mediciones se realizaron en el rango de 400-700 nm.

Treinta días después de la germinación, se sacaron las plántulas, y en 40 de ellas se determinó el efecto de las coberturas de color sobre su calidad, mediante la medición del diámetro basal del tallo, determinado cerca de cuello de la raíz, la altura de la plántula, el área foliar, medida con un analizador licor 3000A (Li-cor®, Lincoln, NE, USA), y el peso seco total, por secado en estufa a 105°C hasta temperatura constante.

Luego de las mediciones, se sembraron las plántulas restantes en campo, en parcelas de 6 m² (3 x 2 m) por tratamiento, con arreglo completamente al azar. En campo, las plantas se desarrollaron sin ningún tipo de cobertura y estuvieron listas para cosechar 85 días después del trasplante, acorde con la ficha técnica del material vegetal (Semicol, 2008).

Al momento de la cosecha se realizaron mediciones en 20 plantas por tratamiento, con la misma metodología que en la fase de semillero. Se determinaron el diámetro de la pella, el peso seco y fresco de la pella; la longitud del tallo (sin la flor); el diámetro basal del tallo; el área foliar, y el peso seco total de la planta. El trabajo consistió en un ensayo factorial, cuya fuente de variación fue el color de la cobertura plástica, colocada sobre los semilleros (amarillo, azul, rojo, naranja, transparente y control sin cobertura). Cada tratamiento se replicó cuatro veces. La información se evaluó mediante un análisis de varianza (Anava) y la prueba de separación de promedios de Tukey ($P \leq 0,05$).

El análisis estadístico se realizó mediante la aplicación de SPSS® (Statistical Product and Service Solutions, Chicago, Illinois, USA - Nov. 2002), versión 11.5.1.

Resultados y discusión

Fase de semillero

En las plántulas que crecían en el semillero se encontró diferencia significativa ($P \leq 0,01$) para la variable área foliar. Las plantas presentaron un área 41,5% mayor de hojas, cuando crecieron bajo la cobertura roja, en comparación con las que crecieron sin cobertura. Entre las coberturas transparente y naranja no hubo diferencia significativa con las plantas del control. Las plantas bajo las cubiertas amarilla y azul desarrollaron un área foliar significativamente menor que las plantas sin cubrimiento, cuyos valores alcanzaron 48,4 y 74,3%, respectivamente, menos que las plantas del tratamiento control, sin cobertura (Tab. 2).

Cabría la posibilidad de que la reducción del área foliar en plantas expuestas a la cobertura de color azul se debiera al sombreado causado por la cubierta (63,4%); sin embargo, esto no parece ser posible dado que las plantas de brócoli incrementan el área foliar cuando se exponen a la sombra (Francescangeli *et al.*, 2007). Estos autores encontraron que la exposición de plantas de brócoli a un sombreado de 70% incrementó su área foliar alrededor de 48% con respecto a las plantas a plena exposición. Este es un mecanismo de adaptación de las plantas en condiciones de baja iluminación, a través del cual, y mediante el incremento del área foliar, pueden tener una mayor área captadora de luz (Schulze *et al.*, 2005). Adicionalmente, la cobertura transparente redujo la entrada de luz en 18,5%, pero este valor no fue suficiente para que se causara diferencia significativa con el control en el área foliar; por tanto se debe pensar que la proporción alta del color azul con respecto al rojo podría ser la responsable de la reducción tan drástica en el área foliar cuando se exponen las plantas a la cobertura azul, y

del incremento, cuando las plantas crecen bajo la cobertura de color rojo. Se debe considerar que los rangos máximos de absorción de las clorofilas se encuentran en los rangos del azul-violeta (400-500 nm) y del naranja-rojo (600-700 nm) del espectro visible (Mc Donald, 2003); por tanto, las plantas expuestas a estos colores se verían favorecidas por una mayor absorción de los quanta por parte de las clorofilas. Sin embargo, en el caso del área foliar, así como para las demás variables evaluadas en el presente trabajo, la cobertura azul tuvo un efecto reductor del crecimiento, mientras que el color rojo lo favoreció, lo cual se podría explicar a través del llamado *efecto Emerson*, mediante el cual, al proporcionar luz roja de longitud de onda corta (670 nm) al tiempo que longitudes de onda más largas (700 nm), la tasa de fotosíntesis es mayor que la suma de las tasas de fotosíntesis originadas por una sola clase de longitud de onda. En la fotosíntesis cooperan dos fotosistemas, y las longitudes de onda larga son absorbidas sólo por el fotosistema I. El fotosistema II absorbe longitudes de onda menores a 690 nm, y para una máxima eficiencia debe cooperar con el fotosistema I (Taiz y Zeiger, 2000; Mc Donald, 2003).

En cuanto al peso seco total de las plántulas, aquellas que crecían bajo la cobertura de color rojo acumularon 44,8% más masa seca que las plantas del tratamiento sin cobertura, con diferencias significativas ($P \leq 0,01$). No hubo diferencia entre las plantas bajo la cubierta naranja ni transparente con el tratamiento control. Al igual que para el área foliar, las plantas bajo las coberturas amarilla y azul acumularon menos peso seco total que las plantas del control, con valores 49,8 y 76,1%, respectivamente, menores que el alcanzado por el promedio de las plantas del tratamiento control (Tab. 2).

Se puede suponer que las plántulas mantenidas bajo la cobertura de color rojo presentaron una tasa de fotosíntesis neta superior a aquellas que crecieron expuestas a los de-

TABLA 2. Parámetros de crecimiento determinados en plántulas de brócoli expuestas a coberturas de diferentes colores, al momento del trasplante.

Color de la cobertura	Área foliar (cm ²)	Peso seco total (g)	Altura de planta (cm)	Diámetro del tallo (mm)
Amarillo	17,58 b	0,073 a	10,57 a	1,84 b
Azul	8,75 a	0,034 a	9,76 a	1,42 a
Rojo	48,29 d	0,210 c	18,33 c	2,72 d
Naranja	32,00 c	0,143 b	15,31 b	2,13 bc
Transparente	27,80 c	0,128 b	14,13 b	2,22 c
Control	34,12 c	0,146 b	13,79 b	2,19 c

Promedios con letras distintas en cada columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$).

más tratamientos, lo que pudo ser consecuencia del efecto Emerson, como ya se mencionó. Adicionalmente se debe considerar que las plantas de brócoli presentan una alta tasa de crecimiento relativo (*relative growth rate*, RGR) en los primeros días luego de la germinación; posteriormente esta tasa se reduce (López-Berenguer *et al.*, 2006). Por consiguiente, es de suponer que las plántulas expuestas al color rojo estaban favorecidas por una mayor RGR en la etapa de semillero, efecto que se mantuvo en campo en la segunda etapa del presente ensayo, como se discutirá más adelante.

La cubierta de color rojo indujo una altura 32,9% mayor que las plantas del tratamiento control. En cuanto a la variable altura de planta, se presentó diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$). Las plántulas desarrollaron 29,2% menos altura cuando crecieron bajo la cobertura azul, en comparación con aquellas sin cubrimiento (Tab. 2).

Al igual que en el presente ensayo, se ha encontrado también que durante el almacenamiento *in vitro* de plantas de brócoli, la luz roja fue más efectiva que la luz azul o blanca. La luz roja incrementó y mantuvo intactas las hojas, así como los azúcares solubles en el tallo. Adicionalmente, la exposición de las plántulas a la luz roja incrementó la materia seca y el contenido de clorofila, mientras que con la exposición de las plántulas a luz azul, las plántulas respondieron con una reducción en el contenido de clorofila y en la longitud de los tallos (Wilson *et al.*, 1998a; 1998b).

Es conocida la influencia que tiene el fitocromo sobre las modificaciones fotomorfogénicas en plantas, como consecuencia de la relación de la radiación rojo/rojo lejano. Es así como la forma Pr del fitocromo absorbe la luz roja con un pico máximo de absorción a 666 nm (Taiz y Zeiger, 2000; Wang y Deng, 2002). Una de estas modificaciones inducidas por la acción de esta forma del fitocromo es la elongación de tallos en algunas plantas. Cuando plantas de brócoli se expusieron a diferentes niveles de sombreado, se obtuvo como respuesta la elongación de tallos en plantas sombreadas (Francescangeli *et al.*, 2007), lo cual fue justificado a través de una promoción de la forma Pr del fitocromo, que absorbe la radiación roja, y la consecuente disminución de la forma Pfr, provocando una disminución en la degradación de auxinas; se promovió así la elongación de tallos (Schmitt *et al.*, 1999).

La variable diámetro basal del tallo de las plántulas que crecieron en los semilleros presentó diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$) (Tab. 2). Las coberturas transparente y de color amarillo no indujeron diferencia significativa

en las plántulas, con aquellas del tratamiento control. La cobertura de color rojo indujo un mayor diámetro basal del tallo, cuyo valor superó en 24,0% el alcanzado por las plantas del control. Las plantas que se desarrollaron bajo las cubiertas de colores amarillo y azul presentaron valores inferiores a los controles, cuyos valores fueron 15,9 y 35,3%, respectivamente, menos que las plantas del control. De hecho, tanto el crecimiento primario (en altura), como el secundario (en grosor) de los tallos se ven favorecidos por una alta tasa de crecimiento relativo, la cual tiene lugar en brócoli, en las primeras semanas luego de la germinación, como explican López-Berenguer *et al.* (2006), dado que debe existir una proporcionalidad en los dos tipos de crecimiento, de tal manera que para que haya un suficiente suministro de agua y minerales del suelo, en los órganos aéreos, se debe incrementar de manera proporcional el diámetro del tallo, como consecuencia del aumento en la cantidad de xilema y floema.

Sería posible pensar que el efecto encontrado en cuanto al crecimiento y la calidad de las plantas fue consecuencia de un incremento de la temperatura; sin embargo, para obviar esta posibilidad se contempló dentro del ensayo la utilización de una cubierta transparente, para mantener una temperatura y humedad relativa equivalente a la que se presentaba bajo las demás coberturas, por el efecto invernadero. Adicionalmente, se tuvo la precaución de que la cobertura estuviera únicamente en la parte superior del semillero, para así lograr una suficiente circulación de aire en el microclima en el que crecían las plantas. De esta manera se garantizaba que el efecto obtenido sobre el crecimiento de las plantas se debía al espectro y no a otros factores adicionales como temperatura y humedad relativa. Al respecto, Leite *et al.* (2008) concluyeron también que en *Phalaenopsis* sp., las ventajas fototécnicas en cuanto a la precocidad en la floración y el área foliar, obtenidas mediante la utilización de mallas polisombra de color, eran la consecuencia de la alteración del color y no a diferencias en la cantidad total de radiación transmitida ni a diferencias en la transmisibilidad térmica.

Fase de campo

Llama la atención de que la misma tendencia encontrada al evaluar las plántulas del semillero expuestas a las coberturas de diferente color se mantuvo cuando las plantas fueron transferidas a campo, a pesar de que ya en el cultivo definitivo las plantas no estaban expuestas a ningún tipo de cobertura. En lo referente a la longitud del tallo, los de las plántulas que habían sido expuestas a la cobertura de color rojo en la tapa de semillero tuvieron tallos 9,1% más largos que las plantas control. Las cubiertas de color azul

y amarillo indujeron una reducción en la longitud del tallo del orden de 31,2 y 14,3%, respectivamente, en relación con las plantas del control sin cobertura. La misma tendencia se presentó para la variable diámetro basal del tallo. Las plántulas que crecieron bajo la cobertura roja, en la etapa de semillero, desarrollaron tallos 11,3% más gruesos que los tallos de las plantas del tratamiento control, mientras que las cubiertas azul y amarilla redujeron el diámetro de los tallos en 51,7 y 30,9%, respectivamente, en relación con los tallos de las plantas control (Tab. 3). Para ambas variables evaluadas se encontró diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$). El efecto de la cobertura de color naranja sobre ambas variables no indujo diferencias significativas. El desarrollo del área foliar al momento de la cosecha fue 18,3% mayor en las plantas que se habían expuesto a la cobertura roja durante el semillero, que en las plantas del control. Esta variable mostró diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0,01$). Las coberturas azul y amarilla redujeron el área foliar en valores de 53,3 y 37,6%, respectivamente, en relación con el control (Tab. 4). No se encontró diferencia significativa entre el control y en tratamiento con cubierta naranja o transparente.

Es un hecho que los tratamientos realizados a las plántulas de brócoli durante la fase de semillero, que coincide con la etapa juvenil de las plantas, inciden en el comportamiento de las plantas en la etapa de cultivo en campo (Tan, 1999).

El diámetro del tallo y el área foliar de las plántulas de semillero son de vital importancia para que las plantas de brócoli respondan a los estímulos externos, durante la fase juvenil, que determinarán posteriormente la calidad de la planta en el cultivo. Kagawa (1965) reportó un diámetro mínimo crítico de 3,5 mm en el tallo y 5-6 hojas expandidas, para plantas de brócoli 'De Cicco', para que pudieran responder a tratamientos como la vernalización. Adicionalmente se menciona que la fase juvenil en brócoli culmina cuando las plantas tienen más de cuatro hojas de una longitud mayor a 20 mm (Wiebe, 1990). Por otro lado, se debe considerar que en brócoli la máxima eficiencia foliar expresada como asimilación neta media (*net assimilation rate*, NAR) presenta los valores más elevados en las primeras fases de crecimiento, hasta 31 d después del trasplante (Rincón *et al.*, 1999); por tanto, debido a que las plantas provenientes del semillero con cobertura roja se habían fortalecido con características morfológicas que las hacían más vigorosas, como unos mayores valores del área foliar, peso seco y asimilación neta media, sería de esperarse que esas plántulas tuvieran en campo un mejor desempeño, como evidentemente sucedió, en comparación con las plántulas expuestas a colores diferentes al rojo.

Tomando en consideración las apreciaciones anteriores y que la fase juvenil en las brásicas se define como el intervalo entre la germinación y la posibilidad de la plántula

TABLA 3. Valores promedio de las características de crecimiento al momento de la cosecha en plantas de brócoli expuestas a coberturas de diferentes colores.

Color de la cobertura	Diámetro de la pella (cm)	Peso seco de la pella (g)	Longitud del tallo (cm)	Diámetro del tallo (cm)
Amarillo	8,27 b	11,43 b	27,86 bc	2,32 b
Azul	6,05 a	8,16 a	21,98 a	1,62 a
Rojo	12,96 e	18,21 d	34,88 e	3,74 e
Naranja	10,03 cd	15,89 cd	29,31 cd	3,23 cd
Transparente	9,32 bc	16,20 cd	25,41 ab	2,99 c
Control	10,66 d	15,62 c	31,96 de	3,36 d

Promedios con letras distintas en cada columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$).

TABLA 4. Valores promedio de las características de crecimiento de la planta y calidad del producto, al momento de la cosecha, en brócoli expuesto a coberturas de diferentes colores (continuación).

Color de la cobertura	Área foliar por planta (cm ²)	Peso seco total por planta (g)	Peso fresco de la pella (g)
Amarillo	341,03 b	70,01 b	89,42 b
Azul	232,56 a	45,57 a	61,42 a
Rojo	580,17 d	106,62 e	166,97 d
Naranja	486,89 c	88,97 cd	139,54 c
Transparente	446,80 c	80,75 c	131,74 c
Control	498,79 c	91,74 d	141,86 c

Promedios con letras distintas en cada columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,01$).

para responder a los factores ambientales que inducen la floración (Friend, 1985), se consideraría que esta fase culminaría alrededor del tiempo en que las plántulas se transfieren a sitio definitivo en el cultivo, puesto que en el presente ensayo las plántulas se trasplantaron 30 d luego de la germinación, y por tanto, fue en la etapa de semillero cuando las plántulas recibieron el estímulo de los colores de las diferentes coberturas, mientras se encontraban aún en la etapa juvenil, así que una vez estimuladas por el color de la cobertura, cabe asumir que el efecto se mantendría durante la etapa del cultivo. De hecho, la cobertura de color rojo indujo en las plántulas las mejores características morfológicas, superando las plántulas desarrolladas bajo otras coberturas, y esta ventaja se mantuvo durante la fase de cultivo en campo, puesto que las plántulas se habían estimulado durante la fase juvenil.

El peso seco total fue afectado por las coberturas de color. Es así como la cobertura de color rojo, colocada durante la fase de semillero incrementó 16,2% la acumulación total de materia seca en la planta al momento de la cosecha, en relación con el control sin cobertura. La cubierta de color azul redujo la materia seca total en 53,3%, y a su vez, la cubierta amarilla la redujo 23,6%, en comparación con las plantas del control. No se encontró diferencia significativa entre las plantas que se habían expuesto al color naranja y el control. Por último, la cobertura transparente produjo 11,8% menos materia seca que las plantas del control (Tab. 4). Esta variable arrojó diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$).

El incremento del peso seco total producido por las plantas que se habían expuesto a la cobertura de color rojo fue evidente, a pesar de que la cobertura presentó un sombreado equivalente a 48%; por tanto, al analizar el sombreado, la materia seca se debió reducir, acorde con los resultados reportados por Francescangeli *et al.* (2007), quienes encontraron que a los 84 d después del trasplante, la exposición de plantas de brócoli a 35 y 70% de sombra redujo la producción total de materia seca en 4,1 y 36,1%, respectivamente. Sin embargo, en el presente ensayo, la sola exposición de las plántulas a la cobertura de color rojo durante la fase de semillero fue suficiente para que la producción de materia seca se incrementara.

En lo que respecta a las variables que determinan la calidad del producto, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,01$) para todas aquellas evaluadas. La exposición de las plántulas a la cobertura de color rojo durante la fase de semillero incrementó 12,9% el diámetro de la pella, 16,6% su peso seco y 17,7% su peso fresco,

en comparación con las pellas cosechadas en plantas del tratamiento control, sin cubrimiento durante el semillero. Por el contrario, las coberturas azul y amarilla redujeron 43,7 y 23% el diámetro de la pella, 48 y 26,9% su peso seco, y 56,6 y 36,9% su peso fresco, en relación con las pellas del control. Los pesos fresco y seco de la pella no se vieron afectados significativamente por las coberturas naranja y transparente, en relación con el control. No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre el valor del diámetro de la pella de plantas expuestas a la cobertura naranja y el control, pero sí entre la cobertura transparente y el control, en donde las pellas de plantas que se expusieron a la cubierta transparente durante el semillero desarrollaron pellas de un diámetro 12,7% menor que las cosechadas en plantas del tratamiento control (Tab. 4).

Como conclusión se puede tomar en consideración que la exposición de las plantas a la cobertura roja presentó las mejores características en las plantas, como respuesta morfogénica inducida por la captura de la luz roja por parte de los fitocromos. Los resultados presentados en el presente trabajo tenían una aplicación práctica, debido a que la estimulación de las plántulas a través de las cubiertas de color sucede en la etapa de semillero, pero el efecto se mantiene en las plantas transferidas a campo. Para las condiciones de los cultivadores de hortalizas esta metodología resultaría de fácil aplicación, dado que las áreas por cubrir en el semillero son pequeñas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en brásicas, en varios de los ensayos reportados por otros autores, mencionan una influencia varietal en los resultados, como es el caso de la producción total de biomasa y el tipo de crecimiento (Beberly *et al.*, 1986).

Agradecimientos

Este estudio fue desarrollado con el apoyo de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, en el marco del plan de trabajo del Grupo de Investigación Ecofisiología Vegetal, adscrito al programa de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

Literatura citada

- Agronet. 2008. Área cosechada, producción y rendimiento de brócoli, 1997-2007. En: Agronet, <http://www.agronet.gov.co>; consulta: 27 de noviembre de 2008.
- Antonious, G.F. y M.J. Kasperbauer. 2002. Color of light reflected to leaves modifies nutrient content of carrot roots. *Crop Sci.* 42, 1211-1216.
- Beberly, R.B., M. Jarrelw y J. Letey. 1986. A nitrogen and water response surface for sprinkler-irrigated broccoli. *Agron. J.* 78, 91-94.

- Dan, K., Y. Yamato y S. Imada. 2005. Effects of light intensity and red/far-red photon flux ratio on nitrate concentration and nitrate reductase activity in komatsuna. *Hort. Res. Japan* 4(3), 323-328.
- Francescangeli, N., M.A. Sangiacomo y H.R. Martí. 2007. Vegetative and reproductive plasticity of broccoli at three levels of incident photosynthetically active radiation. *Span. J. Agric. Res.* 5(3), 389-401.
- Friend, D.J.C. 1985. Brassica. pp. 48-77. En: Halevy, A.H. (ed.). *CRC Handbook of flowering*. Vol II. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Hoang, N., J.-P. Bouly y M. Ahmad. 2008. Evidence of a light-sensing role for folate in *Arabidopsis* cryptochrome blue-light receptors. *Mol. Plant* 1(1), 68-74.
- Inoue, S., T. Kinoshita, A. Takemiya, M. Doi y K. Shimazaki. 2008. Leaf positioning of *Arabidopsis* in response to blue light. *Mol. Plant* 1(1), 15-26.
- Kagawa, A. 1965. Studies on the effect of thermo-induction in floral initiation of Italian broccoli. *Res. Bull.* 21. Faculty of Agriculture, Gifu University, Yanagido.
- Leite, C.A., R.M. Ito, G.T.S. Lee, R. Ganelevin y M.Â. Fagnani. 2008. Light spectrum management using colored nets aiming to controlling the growth and the blooming of *Phalaenopsis* sp. *Acta Hort.* 770, 177-184.
- López-Berenguer, C., C. García-Viguera y M. Carvajal. 2006. Are root hydraulic conductivity responses to salinity controlled by aquaporins in broccoli plants? *Plant Soil.* 279, 13-23.
- Mc Donald, M.S. 2003. *Photobiology of higher plants*. John Wiley & Sons, West Sussex, UK.
- Rincón, L., J. Saez, J.A. Pérez C., M.D. L. Gómez y C. Pellicer. 1999. Crecimiento y absorción de nutrientes del brócoli. *Invest. Agr. Prod. Prot. Veg.* 14(1-2), 225-236.
- Schmitt, J., S.A. Dudley y M. Pigliucci. 1999. Manipulative approaches to testing adaptive plasticity: phytochrome-mediated shade-avoidance responses in plants. *Amer. Nat.* 154, 43-54.
- Schulze, E.-D., E. Beck y K. Müller-Hohenstein. 2005. *Plant ecology*. Springer Verlag, Heidelberg, Alemania.
- Semicol. 2008. Brócoli Calabrés. En: Semicol, <http://www.semicol.com.co>; consulta: 25 de septiembre de 2008.
- Svenson, S. 1993. Shading and pot color influence growth and flowering of strawberry firetails. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 106, 286-288.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 2000. *Physiologie der Pflanzen*. Spektrum Verlag, Heidelberg, Alemania.
- Tan, D.K.Y. 1999. Effect of temperature and photoperiod on broccoli development, yield and quality in south-east Queensland. Ph.D. thesis. School of Land, Crop and Food Sciences. The University of Queensland, Brisbane.
- Wang, H. y X.W. Deng. 2002. Phytochrome signalling mechanism. pp. 1-28. En: Somerville C.R. y E.M. Meyerowitz (eds.). *The arabidopsis book*. American Society of Plant Biologists. Rockville, MD.
- Wiebe, H.J. 1990. Vernalisation of vegetable crops - a review. *Acta Hort.* 267, 323-328.
- Wilson S.B., K. Iwabuchi, N.C. Rajapakse y R.E. Young. 1998a. Responses of broccoli seedlings to light quality during low-temperature storage in vitro: I. Morphology and survival. *HortScience* 33, 1253-1257.
- Wilson S.B., K. Iwabuchi, N.C. Rajapakse y R.E. Young. 1998b. Responses of broccoli seedlings to light quality during low-temperature storage in vitro: II. Sugar content and photosynthetic efficiency. *HortScience* 33, 1258-1261.

