

Propiedades Fisicoquímicas de Fresas (*Fragaria* sp) Cultivadas Bajo Filtros Foselectivos

Physical and Chemical Properties of Strawberries (*Fragaria* sp) Grown Under Photosensitive Filters

Fánor Casierra-Posada¹; Jaime Ernesto Peña-Olmos² y Andrés Felipe Vargas-Martínez³

Resumen. Se realizó un experimento para examinar los efectos de la calidad de luz sobre la calidad de la fruta en fresa (*Fragaria* sp cv. Chandler), establecida en invernadero. Se probaron cinco filtros de polipropileno de colores diferentes (rojo, amarillo, azul, verde, y transparente), con plantas sin cobertura como control. En los frutos se determinó el peso fresco y seco, longitud y ancho, sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT) e índice de madurez (IM). Todas las variables evaluadas fueron afectadas significativamente por los filtros espectrales, con excepción del pH del jugo. El crecimiento del fruto fue fuertemente influenciado por la cobertura verde. Bajo la cobertura amarilla las plantas incrementaron el peso fresco de los frutos y el IM. La cobertura azul redujo el contenido de SST en los frutos, así como el IM. La longitud y ancho de los frutos aumentaron con la cobertura roja. La cobertura transparente incrementó los SST y la AT. Para ciertas variables los resultados no fueron suficientemente concluyentes como para proponer este nuevo sistema de producción en el cultivo de fresa en los altiplanos tropicales; sin embargo, sería importante evaluar esta técnica de producción en regiones con mayor iluminación que la región donde se desarrolló este estudio.

Palabras clave: Fitocromo, criptocromo, fotomorfogénesis, ambiente controlado.

Abstract. An experiment was carried out to examine the effects of light quality on the fruit quality in strawberry (*Fragaria* sp cv. Chandler) established in glasshouse. Five different colored polypropylene filters (red, blue, yellow, green and clear) were tested, with plants growing without cover as control. Fresh and dry weight, length and width, total soluble solids (TSS), pH, titratable acidity (TA) and maturity index (MI), were measured on fruits. All evaluated variables were significantly affected by the spectral filters, except the pH of the juice. The fruit growth was strongly reduced by green cover. Under the yellow cover plants enhanced the fresh weight of fruits and the MI. The blue cover reduced the TSS content in fruits as well as the MI. The length and width of fruits were improved by the red cover. The clear cover increased the TSS and the TA. For certain variables, the results were not enough conclusive to propose this new production system in the strawberry crop in the tropical highlands; however, it would be important to assess this production technique in regions with higher irradiance to the region where this study was done.

Key words: Phytochrome, cryptochrome, photomorphogenesis, controlled environment.

La radiación solar es la fuente de energía usada por las plantas en el proceso de fotosíntesis, mediante éste producen materia vegetal creciendo y desarrollándose. Parte de esta materia vegetal es el producto cosechado del cultivo, ya sea fruto, hoja, tallo o raíz (Hernández *et al.*, 2001), por tanto, si se mejora la eficiencia fotosintética del vegetal a través de la exposición de las plantas a una mayor radiación de longitud de onda que mejore su comportamiento y lo oriente hacia la producción de fruta, se podría obtener un mayor rendimiento con los mismos insumos (Patil *et al.*, 2001; Casierra-Posada y Rojas, 2009).

La calidad de la luz tiene un efecto determinante en la morfogénesis vegetal y sus efectos se han utilizado con fines comerciales en plantaciones hortícolas (Rajapakse

y Shahak, 2007). El uso de materiales plásticos en las actividades agrícolas inició una modificación profunda en la tecnificación de la producción de frutas, hortalizas y plantas ornamentales (Hallidri, 2001). Esta tecnología se implementa para incrementar la eficiencia de los cultivos en el uso de los insumos de producción, como nutrientes, agua de riego y agroquímicos principalmente, con el fin de maximizar rendimientos, mejorar la calidad del fruto y aumentar la precocidad de la cosecha (Fan *et al.*, 2005). La investigación ha demostrado que el polietileno para acolchado mejora el desarrollo de la planta e incrementa el rendimiento de varios cultivos, especialmente en climas fríos. El acolchado incrementa la producción debido a la conservación del agua en el suelo y el control de malezas (Albregts y Chandler, 1993).

¹ Profesor Asociado. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Grupo de Investigación Ecofisiología Vegetal. Avenida Central Norte, Tunja. A.A. 661, Boyacá, Colombia. <fanor.casierra@uptc.edu.co>

² Profesor Catedrático. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Grupo de Investigación Ecofisiología Vegetal. Avenida Central Norte, Tunja. A.A. 661, Boyacá, Colombia. <jepo8503@yahoo.es>

³ Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia - Grupo de Investigación Ecofisiología Vegetal. Avenida Central Norte, Tunja. A.A. 661, Boyacá, Colombia. <anvar1701@hotmail.com>

Recibido: Julio 27 de 2011; aceptado: Octubre 16 de 2011.

En frutos de fresa, los factores más importantes para asegurar su calidad inician desde el campo con la selección de cultivares, los cuales varían en calidad, definida principalmente por la firmeza, contenido de azúcar y la acidez de los frutos; así como la susceptibilidad de los mismos a enfermedades (Mitcham, 1996). Otros factores que influyen en la calidad de los frutos de fresa, debido a que éstos tienen una vida de anaquel muy corta (Yahia e Higuera, 1992), son los factores meteorológicos, así como el manejo y las condiciones de almacén tales como temperatura y humedad. Los principales aspectos considerados para determinar la calidad de la fresa son la apariencia, firmeza, sabor (Martínez *et al.*, 2008), grado de madurez, brillo y ausencia de daños en los frutos (Mitcham, 1996).

Wang *et al.* (1998), reportaron en un estudio con acolchados plásticos rojo, negro y uno autodegradable orgánico, en la estación experimental de Beltsville, USA., que las mejores características productivas de calidad del fruto y rendimiento para el cultivo de la fresa se obtuvieron con el polietileno negro. Soltani *et al.* (1995), al trabajar con sandía con el mismo color de película plástica, obtuvieron similares deducciones. Por otra parte, Andino y Motsenbocker (2004) reportaron mayor área foliar, rendimiento y precocidad de la cosecha en plantas de *Citrullus lanatus* expuestas a coberturas de colores negro, plateado, blanco y amarillo, comparadas con suelo sin cobertura de color. Sin embargo, Ghawi y Battikhi

(1986) concluyeron que con acolchado blanco, *Citrullus lanatus* produjo la mayor cantidad de fruta fresca (55,3 t ha⁻¹), al evapotranspirar 44,3 cm en las condiciones ambientales de Jordania.

Debido a que se deben investigar alternativas de cultivo orientadas al incremento del rendimiento y la calidad del producto cosechado, el objetivo de este estudio fue la evaluación del efecto de cubrimientos de diferentes colores sobre la calidad de la fruta en plantas de fresa, cultivadas bajo condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue desarrollado en Tunja, Colombia, bajo condiciones de invernadero de vidrio, en el cual diez plantas por tratamiento se sometieron a la exposición de la radiación solar filtrada a través de películas de polipropileno de colores rojo, amarillo, azul, verde y transparente, de un grosor de 15 µm. Las plantas control se desarrollaron dentro del invernadero, sin ningún tipo de cobertura de polipropileno. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) y la disminución de la luz (opacidad) registrada bajo las coberturas se muestra en la Tabla 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 y la transparencia (opacidad) se midió con un luxómetro 0500 Testoterm Luxmeter®, GmbH.

Tabla 1. Características de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y opacidad registradas bajo las coberturas de polipropileno de colores.

Color de la cobertura	Radiación fotosintéticamente activa (PAR) (µmol m ⁻² s ⁻¹)	Transmitancia máxima (%)	Longitud de onda (nm)	Opacidad (%)
Amarillo	152,34	86-90	>530	49,25
Azul	99,41	85-88	440-520	66,89
Rojo	87,03	77-84	>610	71,01
Verde	78,95	68-74	510-540	73,70
Transparente	210,67	88-92	no selectivo	29,83
Control	300,24			00,00

Como material vegetal inicial se tomaron estolones de fresa (*Fragaria* sp.) variedad Chandler, los cuales se expusieron previamente a una temperatura de 4±1 °C durante tres semanas, posteriormente los estolones se colocaron en una solución nutritiva con la siguiente composición en mg L⁻¹: nitrógeno nítrico

40,3; nitrógeno amoniacal 4,0; P 20,4; K 50,6; Ca 28,8; Mg 11,4; S 1,0; Fe 1,12; Mn 0,112; Cu 0,012; Zn 0,0264; B 0,106; Mo 0,0012 y Co 0,00036. Para evitar condiciones de hipoxia en las raíces, se insufló aire a la solución nutritiva, mediante motores de acuario.

Ocho meses luego de la siembra se registró la calidad de la fruta en términos de peso fresco (g), peso seco (%); ancho y largo del fruto (cm); sólidos solubles totales (SST) (°Brix) y acidez titulable, la cual se calculó como porcentaje de ácido cítrico, según la metodología de Díaz *et al.* (2008). El índice de madurez (IM) se expresó como el cociente entre los SST y la acidez titulable. En las plantas colocadas bajo la cobertura verde sólo se determinó el peso seco y fresco, dado que los frutos no presentaban el tamaño adecuado para hacer las mediciones.

El estudio se realizó en un diseño en bloques al azar teniendo el color de la cobertura como factor de bloque. Cada tratamiento constaba de diez plantas y se tomó una planta como unidad experimental. Los datos obtenidos del estudio se sometieron a un análisis clásico de variancia ($P < 0,05$) y a la prueba

de separación de promedios de Tukey mediante la aplicación P.A.S.W. (Predictive Analytics Software) versión 18.0.0 IBM®

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tanto para los valores registrados del peso fresco de frutos, como para el porcentaje de masa seca contenida en los frutos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,01$). En comparación con las plantas control sin cobertura, aquellas que crecieron bajo la cobertura de color verde presentaron una reducción de 67,67% en el peso fresco promedio por fruto. De igual manera, el porcentaje de peso seco mostró una reducción de 29,29% en frutos de plantas que crecieron bajo la cobertura verde, en relación con las plantas control (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de peso registrados en frutos de fresa (*Fragaria sp*) expuestos a coberturas de color.

Color de la cobertura	Peso seco por fruto (g)	Peso fresco por fruto (g)
Amarillo	8,65 bc	10,70 c
Azul	7,45 ab	6,22 ab
Rojo	8,77 bc	7,68 bc
Verde	6,45 a	3,06 a
Transparente	9,61 c	7,39 bc
Control	9,13 bc	9,48 bc

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P < 0,05$)

Kasperbauer (2000) comparó el peso fresco de frutos de plantas de fresa que crecieron con acolchado negro y rojo y concluyó que la reflexión de la luz roja del acolchado de ese color inducía mayor acumulación de fotosintatos en los frutos, proceso que está determinado por la acción del fitocromo. Por otro lado, Kaul y Kasperbauer (1992) encontraron mayor producción en pimientos expuestos a acolchado blanco, en comparación con el acolchado de color rojo o negro. Por su parte, Albrechts y Chandler (1993) reportaron que la producción de fresa, en relación con su tamaño, fue superior en dos temporadas con el uso de acolchado pintado de amarillo y en tres temporadas fue superior con el acolchado de color blanco, ambos casos, en comparación con la fruta producida con acolchados de color rojo y negro. En contraste, Locascio *et al.* (2005) no encontraron ningún efecto del color del acolchado sobre el peso individual de los

frutos de fresa; con lo cual, se puede inferir que los resultados en cuanto al tamaño de los frutos expuestos a diferente calidad de luz son altamente dependientes de la interacción entre cantidad y calidad de la luz incidente. Como información adicional, la radiación global durante la temporada en que se desarrolló el presente trabajo fue de 13.032,47 cal cm⁻² y hubo 133,88 horas sol, promedio mensual, durante este tiempo, así que se puede suponer que en regiones en donde la cantidad de luz sea mayor, se podría esperar un mayor efecto de la calidad de la luz sobre el peso de los frutos de fresa.

En cuanto al comportamiento del tamaño de los frutos de plantas expuestas a la cobertura de color verde, Folta y Maruhnich (2007) mencionan que en trabajos previos, la reducción (por filtrado) de la luz en el rango del verde incrementaba el crecimiento de

plantas de *Tagetes erecta*, *Lycopersicon esculentum* e *Impatiens balsamina*, con lo cual se concluyó que el verde del espectro inducía una reducción del crecimiento. Sin embargo, estos autores adicionan a este resultado que el sombreado pudo tener un efecto significativo en esta respuesta, como sucedió en este estudio en plantas expuestas al color verde, en donde la dicha cobertura presentó el mayor grado de opacidad, y a su vez, el menor peso e los frutos (Tabla 2); no obstante, se debe observar que según la Tabla 1, las coberturas de colores verde y rojo presentaron grados de opacidad similares (73,01 y 71,01%, respectivamente), lo que permite concluir que más que el sombreado, fue el color verde del espectro el responsable de esta respuesta morfogénica en cuanto

al peso de los frutos, puesto que los frutos de plantas que se expusieron a la cobertura de color rojo, no presentaron diferencias significativas con el control sin cobertura, mientras que bajo la cobertura verde, la reducción del peso de los frutos fue evidente.

En cuanto al ancho del fruto, se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$). Estas se manifestaron entre los tratamientos con las coberturas de color, pero no entre estos y las plantas control. La longitud de los frutos fue afectada por las coberturas de color. En comparación con las plantas control, los frutos cosechados en las plantas que crecieron bajo la cobertura de color rojo, fueron 2,97% más largos, con diferencia altamente significativa ($P < 0,05$) (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas registradas en frutos de fresa (*Fragaria* sp) expuestos a coberturas de color.

Color de la cobertura	Ancho (cm)	Largo (cm)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Acidez titulable (%)	Índice madurez
Amarillo	2,79 a	3,46 ab	7,73 ab	2,50 a	3,13 c
Azul	2,99 ab	3,34 ab	6,35 a	3,13 b	2,11 a
Rojo	3,16 b	3,58 c	7,87 b	2,67 a	2,95 bc
Transparente	2,74 a	2,86 a	9,67 c	3,74 c	2,65 ab
Control	3,01 ab	3,47 ab	8,61 bc	3,63 c	2,41 ab

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P < 0,05$)

Con respecto a los sólidos solubles totales (SST), se presentó diferencia altamente significativa ($P < 0,01$), la cual se manifestó básicamente entre los tratamientos con cobertura de color, en relación con la cobertura transparente. De igual forma, se presentó diferencia estadística entre los frutos de las plantas control y los frutos de las plantas que crecieron bajo la cobertura azul, los cuales, presentaron 26,18% menos °Brix (Tabla 3). El registro del pH del jugo no arrojó diferencias significativas, no obstante, se encontró diferencia altamente significativa en los valores de la acidez titulable ($P < 0,01$), en donde las coberturas de colores amarillo, azul y rojo indujeron una reducción de la acidez titulable en términos de 31,26; 13,96 y 26,42%, respectivamente, con relación al valor registrado en frutos de las plantas control (Tabla 3). El IM, presentó diferencias altamente significativas ($P < 0,01$). Esta diferencia se reveló en especial entre los tratamientos con cobertura. Se encontró diferencia entre los frutos de las plantas control y los cosechados de plantas que crecieron bajo la cobertura amarilla,

estos últimos exhibieron un valor del IM, 29,81% superior al registrado en los frutos de las plantas control (Tabla 3).

La calidad de la luz que incide sobre las plantas de fresa afecta directamente la composición química de los frutos, dado que Loughrin y Kasperbauer (2002) plantean que la radiación en los rangos del rojo y rojo lejano, reflejada por los acolchados de color, puede actuar mediante la acción del sistema de fitocromos, induciendo la modificación de la manifestación de genes responsables de la expresión de compuestos químicos presentes en los frutos de fresa. Ellos mencionan que las fresas cosechadas de plantas cultivadas con acolchado rojo, durante periodos soleados, mostraron significativamente mayor concentración de compuestos aromáticos, que aquellas cultivadas con acolchado negro, lo cual se presentó tanto en el cultivar Chandler, como en el cultivar Sweet Charlie. Adicionalmente, Kasperbauer *et al.* (2001) y Casierra-Posada *et al.* (2011a) afirman

que la luz en los rangos del rojo y del rojo lejano es capturada por los pigmentos fotorreceptores (fitocromos), los cuales desencadenan una serie de alteraciones bioquímicas en los frutos que permiten la acumulación de azúcares de diferente naturaleza. Esto, contribuye a incremento del dulzor y del sabor en plantas de fresa que reciben el reflejo de la luz roja a partir del acolchado de ese color. Estos autores, proponen que la porción de la luz en el rango del rojo al rojo lejano sería la responsable del incremento en el contenido de azúcares en los frutos, debido a un aumento en la actividad de la sacarosa-fosfato sintetasa.

En contraposición a los resultados encontrados por Kasperbauer *et al.* (2001) y Casierra-Posada *et al.* (2011a), en este estudio fue la cobertura transparente la que presentó frutos con un contenido de SST superior al de las plantas colocadas bajo la cobertura roja e incluso por encima del encontrado en las plantas control sin cobertura. Mientras que el estudio de Casierra-Posada *et al.* (2011a) se realizó en condiciones de campo abierto, éste se desarrolló en invernadero, en un lugar localizado a 26 km de distancia, con gran similitud en las condiciones agroecológicas. La PAR, en el presente estudio, bajo la cobertura transparente fue de $210,67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que la PAR en esta localidad a campo abierto es de $921,94 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Por tanto, es posible que la diferencia en la irradiancia en ambos experimentos haya sido la responsable de que a campo abierto, las fresas que recibieron la luz roja y roja lejana, reflejada de los acolchados presentaran un mayor contenido de SST (Casierra-Posada *et al.*, 2011a).

En este estudio, desarrollado en invernadero, la cobertura transparente indujo la producción de frutos con un mayor contenido de SST, lo cual, pudo ser la consecuencia de un mayor valor en la tasa de asimilación neta (TAN) bajo dicha cobertura; esto concuerda con lo encontrado por Casierra-Posada *et al.* (2011b), quienes mencionan que bajo la cobertura transparente, las plantas de fresa mostraron una TAN superior a la que presentaron las plantas de fresa cultivadas bajo coberturas de otros colores. Adicionalmente, según Brown (1984), la TAN es una medida de la eficiencia promedio de las hojas de la planta, o una medida indirecta de la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar en una unidad de tiempo; por tanto, bajo condiciones de invernadero, los tratamientos con mayor iluminación, como el control y la cobertura transparente, en este estudio,

provocaron en las plantas una elevada producción de asimilados en comparación con las plantas colocadas bajo las coberturas de otros colores. De esta manera, el poder vertedero de los frutos indujo hacia sí el transporte de fotoasimilados proporcional a la cantidad de fotosintatos producidos, lo que consecuentemente resultó en una mayor acumulación de SST en los frutos de plantas colocadas bajo la cobertura transparente, como resultado de una mayor TAN.

Antonius y Kasperbauer (2002) cultivaron plantas de *Daucus carota*, sobre acolchados de colores negro, blanco, amarillo, rojo, azul y verde. Entre sus resultados encontraron que las raíces de planta cultivadas con acolchado blanco y amarillo, presentaban considerablemente mayor cantidad de ácido ascórbico tanto en la corteza como en el tejido xilemático, en comparación con los demás colores del acolchado. Los tejidos corticales de las raíces de zanahorias cultivadas con acolchado negro tuvieron significativamente menor cantidad de ácido ascórbico, que con cualquier otro color de los acolchados evaluados. Este resultado fue justificado por los autores mediante el hecho de que los colores claros, en especial el blanco, reflejan ostensiblemente mayor cantidad de luz en toda la gama del espectro útil para la fotosíntesis (radiación fotosintéticamente activa). Lo anterior, se ajusta a lo encontrado en este estudio con relación a un mayor porcentaje de acidez titulable encontrado en los frutos expuestos a la cobertura transparente y sin cobertura (Tabla 3), debido a que estos tratamientos proporcionaron a las plantas mayor radiación fotosintéticamente activa, dada la baja opacidad del filtro transparente y no presentaron selectividad hacia algún rango específico del espectro, sino que ofrecieron a las plantas todos los matices del espectro en el rango de luz visible.

Kurepin *et al.* (2007) indicaron que un valor bajo de la relación rojo-rojo lejano acompañado de una irradiación baja conduce a un incremento en los tejidos de los niveles endógenos de ácido indolacético; de giberelinas, especialmente GA_1 , GA_8 y GA_{20} ; así como también de un amplio rango de citoquininas. Además, durante el proceso de etiolación, bajo la influencia de un valor normal de la relación rojo-rojo lejano, se incrementaron los niveles de giberelinas, con lo que los autores concluyeron que la calidad de la luz y en especial la relación rojo-rojo lejano, es el factor más importante en la regulación del crecimiento vegetal. Con base en estos resultados y en el hecho de que según Avigdori (1986) tanto las giberelinas como las auxinas tienen un efecto protagónico durante el

crecimiento del fruto de fresa, es posible inferir que en este estudio, las dimensiones del fruto en relación con el ancho y su longitud, fueron influenciadas por las franjas en el rango del rojo y rojo lejano del espectro filtrados a través del polipropileno, puesto que según la Tabla 1, la película de polipropileno de color rojo utilizada presentó una transmitancia máxima entre 77 y 84%, en una franja superior a 610 nm, que corresponde a los matices rojo y rojo lejano del espectro visible.

Avigdor (1986) menciona que a partir del estado en el que el fruto de fresa se torna de color blanco, hasta el momento de la cosecha, los azúcares se incrementan con rapidez y la acidez se reduce. Estos eventos incrementan el valor del IM en este estudio. Mientras que Burg (1973) menciona a la luz roja como uno de los factores que inducen la reducción de la síntesis de etileno en los tejidos vegetales, Decoteau y Craker (1987) reportan que la luz rojo lejana incrementa la sensibilidad de los tejidos al etileno y que el sombreado no mostró diferencias significativas en la producción de esta fitohormona. Estas afirmaciones podrían apoyar el resultado encontrado en este estudio con relación al IM, el cual presentó los valores más elevados bajo las coberturas amarilla y roja, cuyos materiales presentaron su mayor transmitancia en la franja superior a 530 y 610 nm, respectivamente. Por tanto, es posible que haya sido el rojo lejano, transmitido por la cobertura, el responsable de una precoz maduración de los frutos, reflejada en un IM superior al de los demás tratamientos. Cabe resaltar que si bien es cierto, el matiz rojo lejano inicia por sobre los 700 nm, en este estudio sólo se midió la transmitancia desde 400 a 700 nm; sin embargo, a partir de 530 nm para la cobertura amarilla y de 610 para la cobertura roja, la curva de transmitancia mostró una tendencia paralela al eje de las abscisas; con lo cual, se puede asumir que la luz transmitida alcanzó parte del espectro en la franja del rojo lejano, causando así una mayor sensibilidad de los frutos al efecto del etileno y por tanto, estos maduraron más rápido, con relación a los demás tratamientos.

Durante el desarrollo de este estudio se observó un crecimiento bastante limitado en los frutos de plantas que crecieron bajo la cobertura de color verde, lo que motivó a tomar la decisión de no realizar pruebas de calidad, más allá de la determinación de los pesos fresco y seco. Si bien es cierto, según (Folta y Maruhnich, 2007) en las plantas, el fitocromo y el criptocromo son fotoreceptores que presentan también alta sensibilidad a la luz verde, su eficiencia en el procesamiento de

las señales que corresponden a la franja verde del espectro, es bastante deficiente en comparación con su posibilidad de respuesta a los matices rojo, rojo lejano y azul. La película de polipropileno verde utilizada en este estudio presentó una transmitancia máxima de 68-74%, en la franja de 510-540 nm, la cual es una franja del espectro bastante limitada como para producir efectos fotomorfogénicos favorables con relación al crecimiento de los frutos.

En cuanto al efecto de la cobertura de color azul sobre el comportamiento de la calidad de los frutos de fresa, en este estudio, esta cobertura no mostró resultados positivos. De hecho, las plantas que crecieron bajo este color de cobertura, presentaron un IM reducido y el menor valor en el contenido de SST. En el primer caso, pudo suceder que el color azul causara un retraso en la maduración de los frutos, como se pudo observar en el desarrollo del estudio; en el caso de los SST, el valor tan bajo de esta variable en plantas que crecieron bajo esta cobertura, pudo ser la consecuencia de una TAN reducida, como afirman Casierra-Posada *et al.* (2011b), quienes encontraron un valor muy bajo de la TAN en plantas de fresa que crecieron bajo una película de polipropileno de color azul. De hecho, los criptocromos (Cry1 y Cry2) en los vegetales actúan en conjunto con la luz roja y roja lejana para regular respuestas fotomorfogénicas basadas en la expresión de genes (Inoue *et al.*, 2008). En concordancia con los resultados de este estudio, Antonius y Kasperbauer (2002) encontraron un bajo comportamiento en cuanto al crecimiento de plantas de *Daucus carota* que crecieron expuestas a la radiación azul reflejada por acolchados plásticos. Adicionalmente, las zanahorias provenientes de plantas expuestas a la luz azul reflejada presentaron puntajes bajos en pruebas de degustación. Estas características de calidad se atribuyeron al reflejo de la radiación azul y a que el acolchado azul reflejaba también una relación alta de rojo / rojo lejano.

CONCLUSIONES

Mientras que la cobertura de color verde afectó negativamente el peso fresco y seco en frutos de fresa, el color rojo indujo un incremento en la longitud y en el ancho de los frutos. El contenido de sólidos solubles en los frutos en plantas que crecieron bajo las coberturas, fue mayor en las plantas colocadas bajo la cubierta transparente, y el menor valor de este parámetro se registró en las fresas provenientes de plantas desarrolladas bajo

el filtro azul. Una tendencia similar se presentó en los frutos, en cuanto a la acidez titulable.

A pesar de que se encontró que la calidad de la fruta fue afectada por la calidad de la luz, los resultados encontrados con relación a un incremento contundente en la calidad de la fruta en plantas de fresa, no fueron lo suficientemente atractivos, como para proponer una modificación sustancial en el sistema de fresa en la región, dado que la implementación de coberturas o mallas de color es una tecnología costosa que no justificaría la inversión, con un beneficio tan bajo en cuanto al mejoramiento de la calidad del producto. Sin embargo, este tipo de tecnología podría dar resultados más atractivos en regiones con mayor radiación que en las condiciones en que se desarrolló este estudio, puesto que algunos investigadores han encontrado mejoras sustanciales en la calidad de la fruta mientras que otros informan resultados similares a los de este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se desarrolló con el apoyo de la Dirección de Investigaciones (DIN) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) en el programa Jóvenes Investigadores UPTC, con el soporte del grupo de investigación Ecofisiología Vegetal, adscrito al programa de Ingeniería Agronómica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UPTC.

BIBLIOGRAFÍA

Albregts, E.E. and C.K. Chandler. 1993. Effect of polyethylene mulch color on the fruiting response of strawberry. Soil and Crop Science Society of Florida 52: 40-43.

Andino, J.R. and C.E. Motsenbocker. 2004. Colored plastic mulches influence cucumber beetle populations, vine growth, and yield of watermelon. HortScience 39(6): 1246-1249.

Antonious, G.F. and M.J. Kasperbauer. 2002. Color of light reflected to leaves modifies nutrient content of carrot roots. Crop Science 42(4): 1211-1216.

Avigdori, H. 1986. Strawberry. pp. 419-448. In: Monselise, S.P. (ed.). Handbook of fruit set and development. CRC Press, Boca Raton, Florida. 568 p.

Brown, R.H. 1984. Growth of the green plant. pp. 153-174. In: Tesar M.B. (ed.). Physiological basis of

crop growth and development. American Society of Agronomy, Madison. 341 p.

Burg, S.P. 1973. Ethylene in plant growth. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 70(2): 591-597.

Casierra-Posada, F. y J.F. Rojas. 2009. Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. italica). Agronomía Colombiana 27(1): 49-55.

Casierra-Posada, F., E. Fonseca and G. Vaughan. 2011a. Fruit quality in strawberry (*Fragaria sp.*) grown on colored plastic mulch. Agronomía Colombiana (en prensa).

Casierra-Posada, F., J.E. Peña-Olmos y C. Ulrichs. 2011b. Análisis básico del crecimiento en plantas de fresa (*Fragaria sp.*) expuestas a diferente calidad de luz. Agronomía Colombiana (en prensa).

Decoteau, D.R. and L.E. Craker. 1987. Abscission: ethylene and light control. Plant Physiology 83: 970-972.

Díaz R.E.M., E. Martínez y L.Y. Méndez. 2008. Guías para prácticas de laboratorio de poscosecha en vegetales. Colección Guías UPTC No. 1. 71 p.

Fan, T., B.A. Stewart, W.A. Payne, Y. Wang, S. Song, J. Luo and C.A. Robinson. 2005. Supplemental irrigation and water- yield relationships for plasticulture crops in the loess plateau of China. Agronomy Journal 97(1): 177-188.

Folta, K.M. and S.A. Maruhnich. 2007. Green light: a signal to slow down or stop. Journal of Experimental Botany 58(12): 3099-3111.

Ghawi, I. and A.M. Battikhi. 1986. Watermelon (*Citrullus lanatus*) production under mulch and trickle irrigation in the Jordan Valley. Journal of Agronomy and Crop Science 156(4): 225-236.

Hallidri, M. 2001. Comparison of the different mulching materials on the growth, yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Acta Horticulturae (ISHI) 559(2): 49-54.

Hernández, J., I. Escobar y N. Castilla. 2001. La radiación solar en invernaderos mediterráneos. Horticultura Global: Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola 157: 18-27.

- Inoue, S.I., T. Kinoshita, A. Takemiya, M. Doi and K.I. Shimazaki. 2008. Leaf positioning of *Arabidopsis* in response to blue light. *Molecular Plant* 1(1): 15–26.
- Kaul, K. and M.J. Kasperbauer. 1992. Mulch color effects on reflected light, rhizosphere, temperature, and pepper yield. *Journal of the Kentucky Academy of Science* 53(3-4): 109-112.
- Kasperbauer, M.J. 2000. Strawberry yield over red versus black plastic mulch. *Crop Science* 40(1): 171-174.
- Kasperbauer, M.J., J. Loughrin and S. Wang. 2001. Light reflected from red mulch to ripening strawberries affects aroma, sugar and organic acid concentrations. *Photochemistry and Photobiology Sciences* 74(1): 103-107.
- Kurepin, L.V., R.J. Emery, R.P. Pharis and D.M. Reid. 2007. The interaction of light quality and irradiance with gibberellins, cytokinins and auxin in regulating growth of *Helianthus annuus* hypocotyls. *Plant, Cell and Environment* 30(2):147-55.
- Locascio, S., J. Gilreath, S. Olson, C. Hutchinson and C. Chase. 2005. Red and black mulch color affects production of Florida strawberries. *HortScience* 40(1): 69-71.
- Loughrin, J.H. and M.J. Kasperbauer. 2002. Aroma of fresh strawberries is enhanced by ripening over red versus black mulch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50(1): 161-165.
- Martínez, G., J. Mercado, M. López y B.Z. Prieto. 2008. Propiedades fisicoquímicas de seis variedades de fresa (*Fragaria ananassa*) que se cultivan en Guanajuato. *Revista Salud Pública y Nutrición*, octava edición especial. X Congreso de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Gómez Palacio, Durango, México, <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2008/ee-08-2008/index.html>; consulta: Enero 2011.
- Mitcham, B. 1996. Quality assurance for strawberries: a case study. *Perishables Handling Newsletter* 85:6-9.
- Patil, G.G., R. Oi, A. Gissinger and R. Moe. 2001. Plant morphology is affected by light quality selective plastic films and alternating day and night temperature. *Gartenbauwissenschaft* 66(2): 53–60.
- Rajapakse, N.C. and Y. Shahak. 2007. Light-quality manipulation by horticulture industry. pp. 290-312. In: Whitelam, G.C. and K.J. Halliday (eds.). *Light and plant development*. Blackwell publishing. Oxford. 313 p.
- Soltani, N., J.L. Anderson and A.R. Hamson. 1995. Growth analysis of watermelon plants grown with mulches and rowcovers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 120(6): 1001-1009.
- Yahia, E.M. y C.I. Higuera, 1992. *Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas*. Editorial Limusa, México. 303 p.
- Wang, S.Y., G.J. Galletta and M.J. Camp. 1998. Mulch types affect fruit quality and composition of two strawberry genotypes. *HortScience* 33(4): 636-640.