

FISIOLOGÍA Y PRODUCCIÓN DE PIMIENTO MORRÓN CULTIVADO CON DIFERENTES COLORES DE ACOLCHADO

Physiology and Yield of Bell Pepper Grown in Different Colored Plastic Mulch

Ma. Rosario Quezada-Martín¹, Juan Munguía-López^{1*}, Luis Ibarra-Jiménez¹,
Marco Antonio Arellano García¹, Luis Alonso Valdez-Aguilar¹ y Boanerges Cedeño-Ruvalcaba¹

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de siete colores de acolchado plástico sobre condiciones microambientales y su influencia sobre aspectos fisiológicos y de rendimiento en el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) cv. Capistrano. Se determinó la temperatura del suelo a 7.5 cm de profundidad en la hora de mayor temperatura del día (16:00 h) y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) reflejada al mediodía por cada uno de los acolchados. Se midió la tasa fotosintética, resistencia estomática, tasa de asimilación neta, acumulación neta de materia seca y rendimiento. Los resultados mostraron que la actividad fotosintética al inicio del cultivo aumenta desde 40 a 150% en los acolchados blanco y plata que tuvieron de 150 hasta 290% más de reflexión con respecto a los acolchados café, azul y transparente que fueron de los menos reflectivos, pero la temperatura del suelo generada por los diferentes acolchados es determinante en la respuesta fotosintética, tasa de asimilación neta y acumulación neta de materia, llegando a tener efectos negativos en los acolchados donde la temperatura del suelo estuvo por arriba de 30 °C. Los mayores rendimientos se obtuvieron en los acolchados blanco y negro, superando en 75 y 60% al acolchado azul y en 190 y 166% respectivamente al acolchado transparente. El acolchado blanco y negro presentó las mayores y menores reflexiones de radiación PAR, pero la temperatura del suelo fue más baja o con menor fluctuación durante el tiempo de desarrollo del cultivo. Se observó influencia positiva inicial de la fotosíntesis sobre el rendimiento y en el acolchado rojo se presentó la mayor tasa de reducción de fotosíntesis al aumentar la resistencia estomática. El calentamiento excesivo del

suelo, provocado por plásticos como el transparente, afectó negativamente a las plantas, expresándose en menores tasas de crecimiento relativo, asimilación neta y fotosíntesis y disminuyó el rendimiento.

Palabras clave: *tasa asimilación neta, temperatura del suelo, fotosíntesis, radiación reflejada, rendimiento.*

SUMMARY

The objective of the present study was to evaluate the effect of seven plastic mulches of different colors on the yield and microenvironmental conditions and their influence on physiological parameters in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cv. Capistrano. The soil temperature was determined at 7.5 cm depth for each plastic, in the hour of highest temperature of day (16:00 h). The photosynthetically active radiation (PAR) reflected was measured at noon for each one of the plastic mulches. The yield, photosynthetic rate, stomatal resistance, net assimilation rate, and dry mass net accumulation were assessed. The results showed that the photosynthetic activity at the beginning of the crop increases from 40 to 150% in white and silver mulches these reached 150 to 290% up of reflection regarding brown, blue and clear mulches, which were of the less reflective. However, soil temperature, as affected by the colored plastic mulches, had a higher impact on photosynthesis, net assimilation rate (TAN), and net dry mass accumulation, but were deleterious. Plastic mulches in which soil temperatures reached above 30 °C. The highest yield was observed in plants mulched with white or black plastics, overcoming 75 and 60% to the blue mulch and overcoming 190 and 166% the clear mulch too. The white and black plastic mulch were associated with the highest and lowest reflected PAR, respectively, but which soil temperature was the lowest and more uniform throughout the experiment. Photosynthesis was associated directly with yield and indirectly with stomatal resistance. Excessive heating of soil caused by several

¹ Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna 140. 25100 Saltillo, Coah. México.

* Autor de responsable (munguia@ciqa.mx)

plastics, as than the clear one, had negative effect on the plant, it caused low relative growth rate, net assimilation rate and photosynthesis and caused low growth and yield.

Index words: *net assimilation rate, soil temperature, photosynthesis, reflected radiation, yield.*

INTRODUCCIÓN

Los acolchados con polietileno son ampliamente usados en la producción de hortalizas. Los cambios en el microambiente de la planta y del suelo provocados por el uso de acolchados permiten lograr un crecimiento y desarrollo del cultivo más acelerado y por consecuencia tener mayores ventajas que aquellos manejados en forma tradicional (Decoteau *et al.*, 1988). Los beneficios reportados para los cultivos desarrollados con acolchado plástico incluyen: adelanto en las cosechas, incremento en los rendimientos y mayor calidad de la producción, entre otros (Bellha, 1988; Wien, 1997). Estas respuestas han sido atribuidas a un incremento de la temperatura del suelo, un uso más eficiente y uniforme del agua y de los fertilizantes y menor competencia de malezas (Munguía *et al.*, 2000; Kasperbauer, 2000). Tradicionalmente, los plásticos para acolchado que se han utilizado son de color negro, transparente, blanco y metalizado. La decisión en la elección del color del plástico se ha basado en los efectos de éstos sobre la temperatura del suelo y el control de malezas. Así, el negro y transparente se utilizan para calentar más el suelo en períodos tempranos y regiones más frías; el blanco y metalizado se usan más en período de verano y regiones más cálidas para evitar un sobrecalentamiento del suelo, mientras que el negro y metalizado o blanco coextruido son seleccionados también para controlar el desarrollo de malezas (Lamont, 1993; Kasperbauer, 1999; Quezada *et al.*, 2003).

Actualmente se utilizan diferentes tipos de plástico para el acolchado de suelo, variando en cuanto a espesor y color (negro, gris, blanco, rojo, azul, verde, marrón, metalizado, transparente, café, entre otros), los cuales, además de tener los efectos benéficos básicos de un acolchado, también modifican la cantidad y longitud de onda de la radiación reflejada, ajustando el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kasperbauer, 1999). Las plantas son sensibles a la cantidad, calidad y dirección de la luz, la cual es utilizada como una señal para optimizar su crecimiento y desarrollo en un ambiente

determinado. Además de jugar un papel muy importante en la fotosíntesis, la luz está involucrada en la regulación natural de como y donde los productos fotosintéticos son usados dentro del desarrollo de la planta y en las respuestas fotomorfogénicas, fotoperiódicas y fototrópicas. El desarrollo de las plantas dependientes de la luz es un proceso complejo que involucra la acción combinada de algunos sistemas fotorreceptores como el fitocromo, el cual es responsable de la detección de la radiación en el rango rojo (R) y rojo-lejano (FR) pero también es sensible al azul y a la luz UV (Quail *et al.*, 1995). La luz azul-UV-A es absorbida por el criptocromo (Ahmed y Cashmore, 1996; Batschauer, 1998), en tanto que se conoce muy poco de los receptores especializados de la luz UV-A y UV-B (Christie y Jenkins, 1996).

Rajapakse *et al.* (1999) diseñaron películas plásticas que específicamente absorben en el R o FR y reportaron elongación o enanismo, respectivamente, en muchas de las plantas estudiadas, pero no en todas, lo que sugiere que estos efectos fueron mediados por las giberelinas, ya que la conversión de la giberelina inactiva a la forma activa es inhibida por la luz roja, mientras que es promovida por la luz FR y ésta es controlada por el fitocromo (Rajapakse *et al.*, 1999; Hedden y Kamiya, 1997).

Decoteau *et al.* (1989) reportaron que también los acolchados de colores afectan el desarrollo y crecimiento de plantas de tomate y que los acolchados blancos o plata reflejan mas luz total, y una baja relación de luz rojo-lejano relativo a la luz roja que los acolchados negros o rojos. Sin embargo, la temperatura del suelo fue mas alta en el rojo y negro, las plantas desarrolladas en acolchado rojo generalmente tuvieron una producción más temprana y de mayor calidad y produjeron menos follaje, también mencionan que las plantas en acolchado blanco y plata tuvieron una baja producción temprana y comercial pero produjeron más follaje. Los resultados sugieren que los acolchados de colores pueden inducir cambios en el microclima de la planta (por ejemplo, balance espectral, cantidad de luz, temperatura de la zona radical) y que pueden actuar a través de un sistema regulatorio natural dentro del crecimiento de la planta y afectar el crecimiento de la planta y la producción de fruto.

El presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes colores de acolchado sobre la temperatura del suelo y la radiación reflejada por estos y la influencia de estas condiciones sobre algunos aspectos fisiológicos en el cultivo de pimiento

morrón y sobre el rendimiento, así como generar información que sirva a los agricultores como guía para tomar la decisión correcta y aprovechar al máximo los beneficios del acolchado y mejorar las condiciones que favorecen a las plantas, lo cual finalmente se expresa en rendimiento y ganancias económicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación consistió en evaluar el efecto de diferentes colores de acolchado plástico en la temperatura del suelo a 7.5 cm de profundidad y en la radiación PAR reflejada durante el ciclo primavera-verano en el cultivo de pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) var. Capistrano. El cultivo se desarrolló en dos etapas: una en invernadero y otra a la intemperie. En invernadero se produjo la plántula y a la intemperie se evaluaron los diferentes acolchados plásticos.

El diseño experimental utilizado en este trabajo fue en bloques al azar con siete tratamientos y cuatro repeticiones, con un total de 28 unidades experimentales. Se evaluaron siete colores de acolchado plástico: blanco, negro, café, azul, rojo, plateado y transparente, y colocados en un suelo de origen aluvial, textura arcillo-limosa, pH alcalino (pH 8) y ligeramente salino (3.7 dS m^{-1}), con 2.38% de materia orgánica. Las películas plásticas (acolchados) fueron proporcionadas por Pliant Corp (Estados Unidos), siendo éstas de polietileno de baja densidad lineal, calibre 125 y 1.2 m de ancho.

Los trabajos se iniciaron con la siembra del almácigo en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando turba, las cuales fueron colocadas en un invernadero con cubierta de polietileno, realizando el riego y la fertilización por medio de aspersión. Simultáneamente, se preparó el terreno donde se establecerían las plantas, dando un barbecho y doble paso de rastra para tener condiciones favorables al colocar el acolchado. Las camas y marcos de plantación se establecieron de 7 m de longitud, con ancho de la cama de 0.8 m, altura de la cama 0.2 m y la distancia entre camas fue de 1.8 m. Una vez que las plántulas alcanzaron una altura de 15 cm se realizó el trasplante. El riego fue por goteo y se utilizó cinta Stream line de 8 milésimas de espesor con una separación de 30 cm entre goteros y con un gasto de 0.98 L h^{-1} . Los riegos se programaron de dos horas cada tercer día durante los primeros 60 días y posteriormente de tres horas cada tercer día hasta el final

del cultivo (no se determinó la lámina de riego), en tanto que la fertilización fue por medio de fertirrigación, con una fórmula de 300-150-400 (N-P-K), usando como fuentes al fosfato monoamónico, ácido fosfórico, nitrato de potasio, sulfato de potasio y poliquel multi (GBM).

Para determinar el efecto de la temperatura del suelo y la radiación reflejada por los diferentes colores de acolchados sobre la respuesta fisiológica y productividad del cultivo se evaluaron: fotosíntesis y resistencia estomática (con el analizador infrarrojo de gases LI-6200 de LI-COR), además de área foliar (medidor de área foliar LI-COR 3100 de LI-COR). Durante el experimento, la tasa de asimilación neta se determinó en seis ocasiones y fue calculada de acuerdo a la metodología de Hunt (1982). Se determinó también la tasa neta de acumulación de materia seca mediante la multiplicación de la tasa de asimilación neta por el área foliar. Para hacer el análisis de crecimiento y determinar la tasa de asimilación neta se realizaron siete muestreos durante el ciclo del cultivo, tomando cuatro plantas por tratamiento por repetición. Las plantas fueron seccionadas y se determinó el área foliar de cada una. Posteriormente se colocaron en una bolsa de papel estraza por separado cada una de las partes de la planta y cada planta por separado para después secarlas por un período de 48 h a $75 \text{ }^\circ\text{C}$ en una estufa (Blu M. Electric). Ya seco el material vegetal se determinó el peso seco de cada parte de la planta y con estos datos y los de área foliar se construyeron los índices antes mencionados. Para determinar el rendimiento de fruto se realizaron 8 cosechas a partir de los 60 días después de trasplante y con frecuencias de 10 a 15 días, se evaluó el peso total por parcela y se refirió a toneladas por hectárea. Durante el experimento se registró la temperatura del suelo a 7.5 cm de profundidad en cada acolchado simultáneamente, utilizando sensores tipo 1000-15 (LI-COR) colocados al centro de la cama en sentido horizontal y en forma permanente durante el ciclo del cultivo, en tanto que la radiación fotosintéticamente activa reflejada por cada uno de los acolchados se determinó simultáneamente con sensores Quantum (LI-COR) colocados al centro de la cama y del acolchado a una altura de 15 cm del suelo y con el sensor orientado hacia el plástico. Se tenía también un sensor de referencia detectando la radiación solar incidente. Los sensores se conectaron a un data-logger LI-1000 (LI-COR) programado para tomar lecturas cada minuto y almacenar la media cada hora, durante

las 24 horas del día y durante el ciclo del cultivo. La comparación de medias se realizó con la prueba DMS ($P \leq 0.05$)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Radiación Reflejada y Temperatura del Suelo

La radiación reflejada y temperatura del suelo se analizaron en tres periodos del ciclo, tomando como base el grado de cobertura del follaje sobre el acolchado, para determinar la reflexión de la luz y el grado de calentamiento del suelo a medida que el follaje cubría el plástico. Tanto la radiación reflejada como la temperatura del suelo fueron significativamente afectadas por el color del acolchado en todos los muestreos realizados, siendo en general mayor el efecto en el primer período de evaluación que en el segundo y tercer períodos (Cuadro 1). Al inicio del experimento, el plástico blanco mostró mayor reflexión, con aproximadamente 30%, mientras que el café y el negro solamente reflejaron alrededor de un 8%. La mayor reflexión del acolchado blanco se debe a la capacidad de mayor reflexión de una superficie blanca, comparada con la mayor absorción de la radiación de las superficies oscuras como el negro y el café.

Para el período intermedio, los plásticos con mayor reflectancia fueron el plateado y el transparente, con alrededor de 8% y la menor se presentó en el blanco con un 2%. En el tercer período de evaluación se observó

esta misma tendencia, ya que el plástico que menor radiación reflejó fue precisamente el blanco con solamente 1% y el que reflejó la mayor parte fue el transparente con casi 6% de la radiación incidente. Los resultados mostrados en el segundo y tercer periodo son un indicador de la velocidad de crecimiento de las plantas ya que la disminución en la radiación reflejada por el acolchado blanco, negro y café se debe principalmente al desarrollo del follaje, el cual intercepta la radiación y evita su llegada a la superficie del plástico, y por consecuencia disminuye la reflexión de la misma (Quezada *et al.* 2004). Esto concuerda con la mayor TAN observada en las plantas del acolchado blanco y negro y la menor TAN en el transparente y rojo (Cuadro 2). Decoteau *et al.* (1989) mencionan que los acolchados más oscuros como el negro y el rojo reflejan menos luz total y más luz en el rojo lejano en relación a la luz roja que los acolchados claros como el blanco, y sostienen que el crecimiento de las plantas de pimiento es afectado por cambios relativamente pequeños en el ambiente de luz inducidos por la superficie de color del acolchado. Por otro lado, Decoteau *et al.* (1990) indican que a medida que la planta crece y sombrea al acolchado, la radiación reflejada disminuye, lo que en este trabajo se confirmó, pero el efecto regulador de la luz y otras variables fueron percibidas por la planta durante su etapa temprana de desarrollo. La mayor radiación reflejada en las etapas iniciales de desarrollo puede permitir un mayor crecimiento, como señala Díaz y Batal (2002), quienes mencionaron que el ambiente de luz durante

Cuadro 1. Valores medios de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) reflejada y temperatura del suelo en siete colores de acolchado plástico en pimiento morrón.

Plástico	RFA reflejada 12:00 h			Temperatura del suelo 16:00 h a 7.5 cm de profundidad		
	21 - 26 [†]	66 - 73	108 - 115	21 - 26	66 - 73	108 - 115
	----- $\mu\text{mol (quantum) m}^{-2}\text{s}^{-1}$ -----			----- $^{\circ}\text{C}$ -----		
Blanco	483.2 a [‡]	28.7 d	10.7 f	26.2 d	24.1 e	25.5 c
Negro	146.0 d	40.6 d	16.2 ef	33.3 b	27.3 d	25 cd
Café	167.9 cd	49.0 cd	29.3 de	28.2 c	29.2 c	24.1 e
Azul	221.7 cd	70.9 bc	38.1 cd	36.9 a	32.4 b	28.4 b
Rojo	202.4 cd	80.9 bc	79.1 a	33.4 b	32.9 b	30.3 a
Plateado	320.8 b	121.7 a	57.7 b	32.3 b	29.5 c	23.1 f
Transparente	201.8 cd	141.4 a	49.9 bc	38.6 a	37.4 a	24.7 de
CV (%)	9.3	12.7	15.8	4.86	3.04	2.63
ANOVA	**	**	**	**	**	**
DMS 0.05	67.9	23.2	13.8	1.87	0.93	0.68

[†] Días después de transplante. [‡] Medias con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes, según la prueba DMS ($P \leq 0.05$). ** = diferencia altamente significativa. CV = coeficiente de variación.

Cuadro 2. Valores medios de la tasa de asimilación neta (TAN) en plantas de pimiento morrón cultivado bajo siete colores de acolchado plástico.

Plástico	Tasa de asimilación neta					
	25 - 40 [†]	40 - 53	53 - 67	67 - 82	82 - 96	96 - 112
	----- g m ⁻² día ⁻¹ -----					
Blanco	16.90	14.07 a [‡]	2.25 c	3.47	2.42	6.11
Negro	14.53	10.00 bc	11.09 a	1.73	2.64	5.85
Café	10.11	10.21 abc	3.30 bc	4.27	1.63	4.17
Azul	15.30	9.03 bc	6.18 abc	4.56	7.00	5.88
Rojo	12.44	10.92 ab	7.93 ab	4.85	0.81	8.16
Plateado	13.62	11.16 ab	2.80 bc	5.11	6.10	2.78
Transparente	12.88	6.47 b	6.83 abc	11.00	2.01	7.17
CV (%)	0.39	0.39	0.75	0.92	1.13	1.22
ANOVA	NS	*	*	NS	NS	NS
DMS 0.05		4.0	5.0			

[†] Días después de trasplante. [‡] Medias con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba DMS ($P \leq 0.05$). NS = diferencia no significativa. * = diferencia significativa ($P \leq 0.09$). CV = coeficiente de variación.

el desarrollo vegetativo temprano en tomate presentó efectos subsecuentes en la floración.

Por otro lado, la radiación reflejada, absorbida y transmitida por los diversos acolchados determina en gran medida la temperatura que se generó en el suelo y el efecto positivo y negativo de estas temperaturas sobre el desarrollo y rendimiento de las plantas. En general, las menores temperaturas a 7.5 cm de profundidad en el suelo se registraron en el acolchado blanco durante todo el ciclo del cultivo, con valores de 24 a 26 °C, mientras que en los acolchados azul, transparente y rojo las temperaturas fueron de 33, 36 y 38 °C, respectivamente (Cuadro 1), es decir, casi 13 °C más alta que en el acolchado blanco. El impacto de la radiación solar en los acolchados azul, transparente y rojo es directo ya que estos permiten el paso de la radiación a través del plástico, induciendo temperaturas más altas. La mayor temperatura puede provocar daños en el sistema radicular de las plantas y condiciones más propicias para el desarrollo de enfermedades fungosas que no permiten un desarrollo óptimo de las mismas, provocando incluso la muerte y una disminución en la producción del cultivo. Así mismo, se observó que al final del experimento en el acolchado transparente la temperatura disminuyó marcadamente, lo cual fue debido a que este permitió el desarrollo de malezas al dejar pasar mayor radiación por el pequeño desarrollo de follaje. Adicionalmente, el mayor desarrollo de malezas en el acolchado transparente evitó el paso de la radiación hacia el suelo y a su vez el calentamiento del mismo,

aunque estas malezas compitieron con el cultivo por agua y nutrientes, lo cual también afectó el desarrollo normal del cultivo de interés. Quezada (2003) reporta temperaturas mayores en los acolchados transparentes que en los negros y que los gradientes de temperatura son mayores a menor profundidad del suelo, además de que la temperatura del suelo en los acolchados transparentes disminuye a medida que la maleza cubre el suelo. Decoteau *et al.* (1989) mencionan que las temperaturas del suelo son más cálidas en los acolchados oscuros que en los acolchados claros, y destaca la importancia de la temperatura del suelo como factor de crecimiento y desarrollo de las plantas para una buena producción, así como la temperatura del aire y de la planta, pero dentro de los rangos de temperaturas óptimas de cada cultivo.

La tasa de asimilación neta (TAN) fue afectada significativamente en los periodos de 40 a 67 días después del trasplante (Cuadro 2). La TAN no se mantuvo constante en ninguno de los tratamientos y varió de acuerdo al desarrollo del cultivo. En general, la mayor TAN se presentó en las primeras etapas del desarrollo del cultivo en todos los colores de acolchado, de los 25 a los 53 ddt, lo cual coincide con el desarrollo vegetativo de las plantas, pero fue en los acolchados blanco y negro en donde se observó la mayor TAN. Sin embargo, en el acolchado negro se mantuvo la TAN más alta por mayor tiempo que en el blanco. La menor TAN durante las etapas iniciales se presentó en las plantas de los acolchados transparente y rojo, en las cuales se

observó un desfase en el desarrollo con respecto a aquellas acolchadas con otros colores. En las plantas acolchadas con plástico transparente y rojo el desarrollo fue más lento y la floración más tardía, tenían poco follaje y menor altura; además, se observó un daño importante, principalmente quemaduras de algunas hojas, amarillamiento marcado de las plantas, muy poco desarrollo y notable estrés hídrico que se atribuyó a la alta temperatura generada en estos acolchados (más de 35 °C a 7.5 cm de profundidad), lo cual influyó también en una baja actividad fotosintética.). Wien (1997) menciona que la más baja velocidad de crecimiento de Chile no es debido solo a la baja productividad por unidad de área foliar (TAN), sino también a una reducida producción de área foliar, lo que concuerda con lo observado en las plantas del acolchado transparente que es donde más baja producción neta de materia seca por planta se observó (Cuadro 3). En estos mismos tratamientos se observaron los valores más bajos de área foliar (datos no mostrados). Konings (1989) menciona que generalmente la variación en TAN está determinada por la variación en la tasa de fotosíntesis por unidad de área foliar, lo cual en el presente experimento correspondió a las plantas en los acolchados rojo, transparente y azul, aunque la fotosíntesis en las etapas media y final fueron relativamente igual que en los demás tratamientos (Cuadro. 4). Los bajos valores de área foliar representan una baja capacidad fotosintética de la planta, influyendo por consecuencia en una baja acumulación de materia seca.

En casi todos los acolchados la TAN disminuyó considerablemente desde los 53 hasta los 112 ddt, etapa en que se presentó la floración, amarre y llenado de fruto. Esto puede deberse a que la mayor parte de los fotosintatos producidos fue distribuido hacia las partes reproductivas de la planta, disminuyendo el aporte hacia el desarrollo vegetativo. La disminución de la TAN también se puede relacionar con la radiación recibida y reflejada, ya que a medida que disminuye la cantidad de luz que las plantas reciben, los valores de la TAN también se reducen. Por ejemplo, el plástico blanco donde se obtuvo la mayor radiación reflejada al inicio del cultivo y donde el desarrollo vegetativo fue más rápido y abundante, al igual que en el acolchado negro, fueron de los tratamientos con mayor TAN. Sin embargo, una vez que aumentó considerablemente el área foliar, el dosel cubrió el acolchado, disminuyendo la reflexión de la radiación, en tanto que el abundante follaje disminuyó la captación de la radiación al interior del dosel. Shaheen *et al.* (1995) evaluaron en plántulas de Chile y tomate diferentes intensidades luminosas e indican que a medida que éstas disminuyen, también lo hace la tasa de asimilación neta, el contenido de clorofila y el peso fresco y seco de la planta.

Producción Neta de Materia Seca

La producción neta de materia seca es el resultado de la relación entre la TAN y el área foliar presente en una planta. Se observó un incremento en la acumulación

Cuadro 3. Valores medios de producción neta de materia seca por planta por día (tasa de asimilación neta × área foliar) en plantas de pimiento morrón cultivado bajo siete colores de acolchado plástico.

Plástico	Producción neta de materia seca					
	25 - 40 [†]	40 - 53	53 - 67	67 - 82	82 - 96	96 - 112
	----- g planta ⁻¹ día ⁻¹ -----					
Blanco	1.06 a [‡]	3.28 a	0.85 b	2.40	2.36	5.49
Negro	0.79 ab	1.51 c	2.81 a	0.75	2.19	4.36
Café	0.77 ab	2.09 b	0.95 b	1.70	2.07	4.47
Azul	0.72 ab	1.03 cd	0.97 b	1.90	2.75	5.62
Rojo	0.76 ab	1.56 bc	2.02 ab	1.64	1.55	5.14
Plateado	0.88 a	2.08 b	1.03 b	2.05	3.98	4.30
Transparente	0.47 b	0.48 d	0.86 b	2.40	1.06	3.34
CV (%)	6.6	6.8	15.5	15	19.7	16.5
ANOVA	*	**	*	NS	NS	NS
DMS 0.05	0.3395	0.5719	1.24			

[†] Días después de transplante. [‡] Medias con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba DMS ($P \leq 0.05$). NS = diferencia no significativa. *, ** = diferencia significativa al 5 y 1% respectivamente. CV = coeficiente de variación.

neta de materia seca con respecto al tiempo (Cuadro 3), debido principalmente al incremento en el área foliar de las plantas y no a los valores en la TAN. Lo anterior se comprueba al observar los resultados de estas variables en las plantas del tratamiento con acolchado transparente y acolchado blanco; en el acolchado transparente la TAN en casi todas las fechas de muestreo pero principalmente en las últimas cuatro, fue igual o más alta que en los otros colores. Sin embargo la acumulación neta de materia seca se mantuvo entre las más bajas de todos los tratamientos y esto puede estar relacionado al efecto negativo de la alta temperatura del suelo generada en este acolchado (37 y 38 °C), lo cual causó un estrés en la planta y limitó fuertemente el desarrollo foliar. En cambio, en el acolchado blanco, la TAN fue más baja que en el acolchado transparente, pero la producción neta de materia seca fue mucho más alta que en el transparente, probablemente debido a que el área foliar en las plantas del acolchado blanco fue más influenciada por una temperatura de 10 a 12 °C menos que en el transparente (Cuadro 1). Al respecto Wien (1997) menciona que hay una estrecha relación entre la TAN y la cantidad de follaje de la planta, y que cuando se logra tener una alta TAN y un área foliar suficiente, los resultados en acumulación de biomasa son mejores que cuando se tiene un área foliar limitada. Adicionalmente, si esto concuerda con una radiación solar alta, la productividad se incrementa. Bellare *et al.* (1995) y Cerny *et al.* (1999) mencionan que a largo plazo el crecimiento depende del desarrollo, el cual es fotomorfogénicamente controlado y en el corto plazo (minutos), variaciones en las condiciones de luz afectan la velocidad de crecimiento (acumulación de biomasa) a un grado tal que la luz influencia la velocidad de fotosíntesis por unidad de área foliar. Los resultados encontrados en este trabajo indican que si se logra tener plantas con alta área foliar y una alta TAN en un ambiente de mayor luminosidad que puede ser provocada por un acolchado más reflectivo como el blanco, se tendrá una mayor productividad, aunque esto no significa que esta productividad se refleje en el rendimiento del cultivo ya que la biomasa producida puede ser acumulada en partes estructurales de la planta y no enviadas a producción de frutos; ahí es en donde es importante seleccionar el tipo de acolchado que refleje cantidad y calidad de radiación que induzca la fructificación. A este respecto Decoteau *et al.* (1989 y 1990) al trabajar con acolchados coloreados sugirieron que el color podría inducir a cambios en el microclima de las plantas

(cantidad y balance espectral de la luz, temperatura de la zona radical, etc.) y actuar en las plantas como sistemas de regulación natural para influir en el crecimiento vegetal y producción de fruta. Encontraron que con el acolchado rojo el jitomate obtuvo 20% más de rendimiento que con el negro y lo atribuyen a la calidad de radiación reflejada por este. En los casos en donde se observa en algunos tratamientos que en un periodo hay menor producción neta de materia seca con respecto al periodo anterior y posterior, lo cual coincide con una menor tasa de asimilación neta o área foliar en el mismo periodo.

Fotosíntesis, Resistencia Estomática y Rendimiento

Los tratamientos mostraron efectos significativos sobre la tasa fotosintética y la resistencia estomática en la primera evaluación pero no en las dos posteriores (Cuadro 4). La tasa fotosintética aumentó a través del tiempo mientras que la resistencia estomática disminuyó. A los 39 ddt la fotosíntesis fue muy baja en todos los tratamientos, pero las plantas en los plásticos más reflectivos presentaron mayor tasa de fotosíntesis, lo cual estuvo relacionado con la mayor radiación reflejada, y la menor temperatura del suelo en tales acolchados, se observó una correlación negativa con la temperatura de la hoja (Figura 3a), y se observó también una correlación positiva con el rendimiento final (Figura 1), lo que sugiere que en las etapas tempranas del desarrollo de las plantas se afecta la producción de frutos. Sin embargo, el factor más determinante fue la temperatura del suelo y de las hojas, ya que las plantas en donde la temperatura fue más alta (Cuadro 1 y Figura 2), presentaron la tasa de fotosíntesis más baja, sugiriendo que el estrés por temperatura influyó negativamente en la tasa fotosintética. La temperatura del suelo tuvo una relación negativa con la producción de fruto en los primeros dos muestreos (Figura 1), lo que indica que al elevarse la temperatura disminuyó el rendimiento. Paralelamente, en las plantas estresadas por alta temperatura se presentó mayor resistencia estomática. En las últimas dos evaluaciones de fotosíntesis, cuando el acolchado fue cubierto parcialmente por follaje de las plantas, las temperaturas disminuyeron y las tasas de fotosíntesis se incrementaron, no observándose en estos dos periodos correlación entre la fotosíntesis y la temperatura de la hoja, lo cual puede estar asociado a un cambio en la humedad relativa del ambiente del follaje lo cual no fue

Cuadro 4. Comparación de medias de fotosíntesis, resistencia estomática y rendimiento de plantas de pimiento morrón en siete colores de acolchado plástico.

Plástico	Fotosíntesis			Resistencia estomática			Rendimiento
	39 [†]	77	101	39	77	101	
	----- $\mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ -----			----- s cm^{-1} -----			Mg ha^{-1}
Blanco	13.86 ab [‡]	20.69 abc	28.2	0.83 c	1.42 b	1.26 a	49.6 a
Negro	13.30 ab	18.84 bc	35.27	0.89 c	3.43 a	0.85 bc	45.0 ab
Café	9.94 abc	25.36 a	26.71	1.10 c	1.46 b	0.96 b	35.0 bc
Azul	7.31 bc	24.05 ab	36.57	4.08 a	1.45 b	0.65 c	28.5 cd
Rojo	12.61 abc	14.78 c	37.19	2.10 b	3.32 a	0.88 bc	33.6 bc
Plateado	15.61 a	15.48 c	28.87	0.62 c	2.06 ab	1.33 a	39.4 abc
Transparente	6.23 c	20.32 abc	32.46	2.06	1.68 b	0.86 bc	16.9 d
CV (%)	19.6	22.2	18.4	24.6	15.1	14.1	16.7
ANOVA	*	*	NS	**	*	**	**
DMS 0.05	6.73	6.37		0.73	1.57	0.279	13.6

[†] Días después de trasplante. [‡] Medias con letras distintas en cada columna son estadísticamente diferentes según la prueba DMS ($P \leq 0.05$). NS = diferencia no significativa. *, ** = diferencia significativa al 5 y 1% respectivamente. CV = coeficiente de variación.

evaluado (Figuras 3a, 3b y 3c), pero el daño causado al principio por las temperaturas extremas en el acolchado transparente y en menor medida en el azul y rojo afectaron el rendimiento, como se puede observar en el Cuadro 4, donde se ve que el acolchado negro y blanco fueron los tratamientos que presentaron mayor rendimiento con incrementos desde 15% hasta casi el 200% comparados con los demás acolchados.

El hecho que el acolchado negro presente las menores reflectancias y que el blanco presente las mayores al inicio del cultivo, antes de que alcancen cobertura completa del plástico, pero los dos tengan

el mayor rendimiento indica que la temperatura del suelo es más determinante sobre el rendimiento que la cantidad de radiación reflejada; sin embargo, es posible que la calidad de la radiación (longitud de onda no evaluada) que fue reflejada por cada uno de los plásticos, también haya influido en esta respuesta.

Decoteau *et al.* (1988) encontraron que las plantas de tomate bajo acolchado negro tuvieron pocas ramas laterales y fueron más altas que las plantas en acolchado blanco, y mencionan que la superficie negra reflejó menos luz total y menos luz azul, pero una alta relación de FR en relación a la luz R, y sugieren que la luz

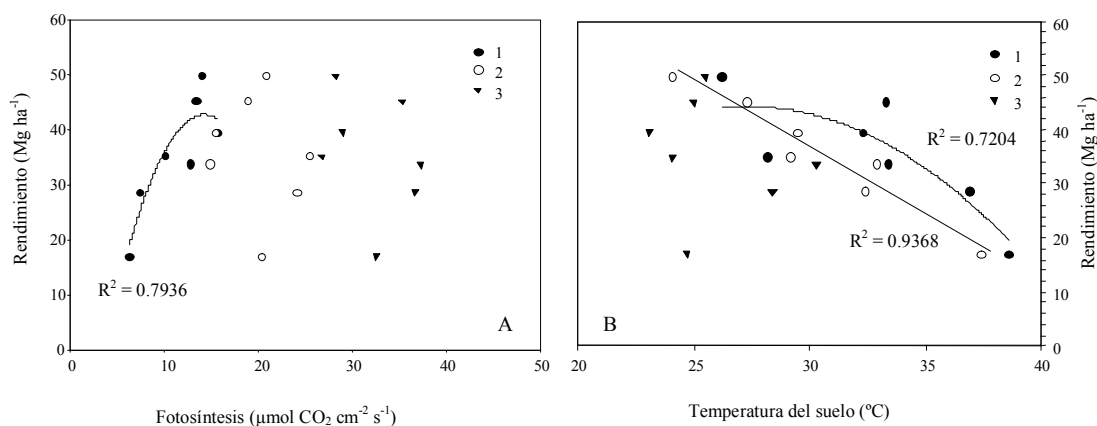


Figura 1. Efecto de la fotosíntesis y la temperatura en el rendimiento de pimiento morrón cultivado con acolchados de diferentes colores. A. Efecto de la fotosíntesis en el rendimiento en tres fechas después de trasplante del cultivo (ddt) (1= 39 ddt; 2 = 77 ddt; y 3 = 101 ddt). B. Efecto de la temperatura en el rendimiento de pimiento morrón en tres fechas después de trasplante del cultivo (ddt) (1 = 21-26 ddt; 2 = 66-73 ddt y 3 = 108-115 ddt).

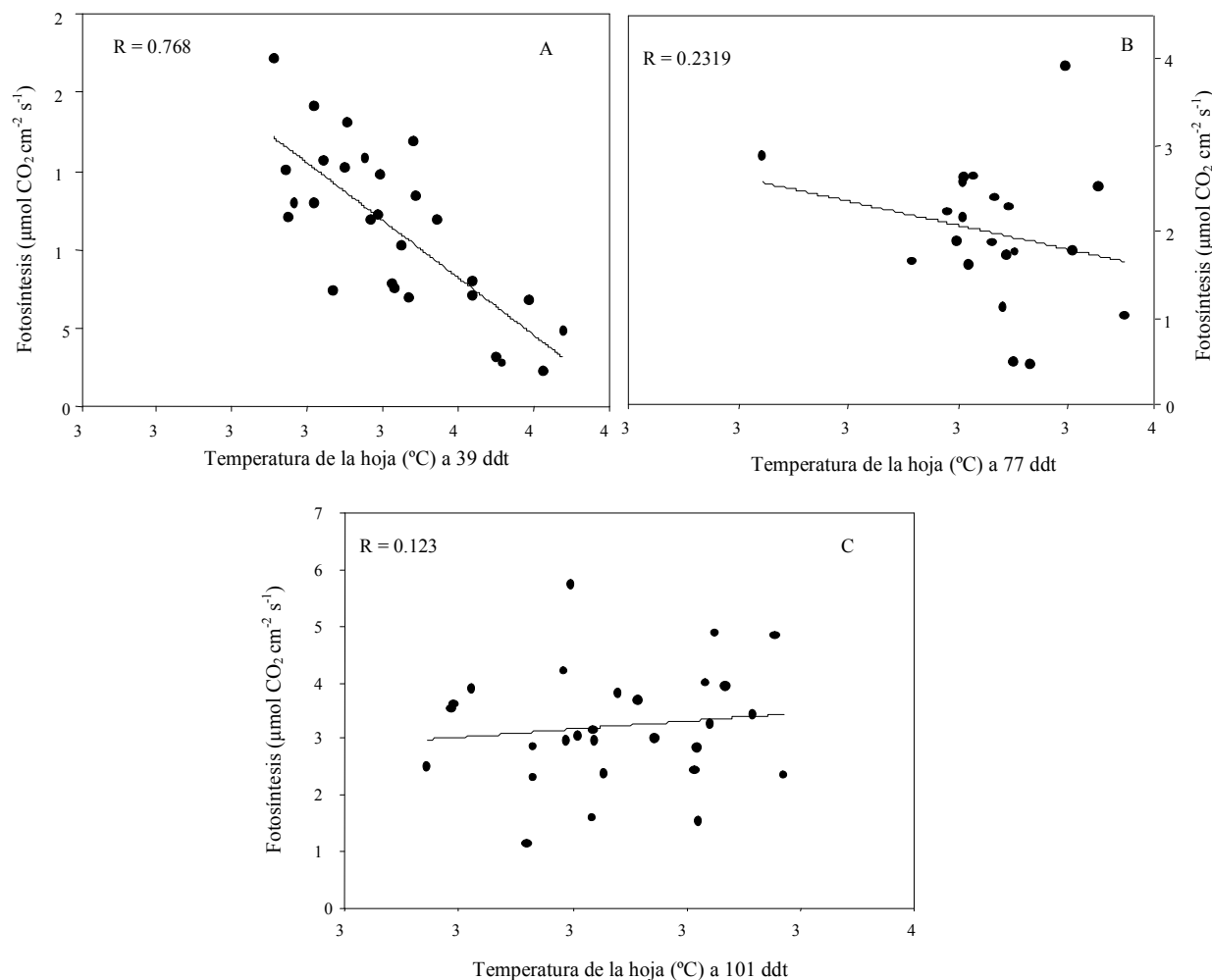


Figura 2. Correlaciones entre la fotosíntesis y la temperatura de la hoja a diferentes días después del transplante (ddt) en plantas de pimiento morrón con acolchados de diferentes colores.

reflejada por la superficie del plástico, puede alterar el ambiente de luz suficientemente para modificar la tasa fotosintética o el desarrollo morfológico. Kasperbauer (2000), menciona que un plástico rojo refleja más radiación con una relación FR/R más alta que la relación en la radiación solar que se está recibiendo en el mismo tiempo y lugar, y que esta luz roja afecta la translocación de fotosintatos mediados por el fitocromo y son mayormente dirigidos hacia la producción de fruto. Probablemente esto explique el hecho de que a pesar del poco desarrollo y el daño sufrido por las plantas en el acolchado rojo, debido a las altas temperaturas, su rendimiento final no fue tan bajo como en el acolchado transparente, en el cual las plantas sufrieron daños parecidos a las plantas del acolchado rojo.

CONCLUSIONES

Las propiedades ópticas de los plásticos evaluados, principalmente el color, transparencia y la reflexión de la radiación tuvieron impacto sobre la temperatura del suelo: entre más reflectivo y menor transparencia la temperatura fue menor. La radiación fotosintéticamente activa (PAR) reflejada por los plásticos tuvo influencia sobre la fotosíntesis de las plantas y rendimiento final. Existe una relación inversa entre la fotosíntesis y la resistencia estomática, las cuales a su vez fueron afectadas por la temperatura del suelo y de la hoja, lo cual se observó más en el acolchado rojo y transparente, que fue en donde se limitó más la fotosíntesis por efecto de la resistencia estomática y ésta a su vez por

la temperatura de la hoja. Sin embargo, el efecto negativo de la temperatura de la hoja sobre la fotosíntesis no se observó cuando las plantas tuvieron mejor desarrollo foliar. Con el plástico transparente se indujo un calentamiento excesivo, disminuyendo la TCR, tasa de asimilación neta (TAN), fotosíntesis y rendimiento. En el acolchado blanco que tuvo mayor reflexión de radiación y menor calentamiento del suelo, ocasionando que las plantas tuvieran mayor producción neta de materia seca y TAN que en el transparente y rojo, que fue donde se alcanzó la mayor temperatura del suelo. Por su parte, en el acolchado negro que tiene poca reflexión de radiación y se calienta más el suelo pero con pocas fluctuaciones en la temperatura, la respuesta del cultivo fue similar que en el plástico blanco.

LITERATURA CITADA

- Ahmed, M. and A. R. Cashmore. 1996. Seeing blue: The discovery of cryptochrome. *Plant Mol. Biol.* 30: 851-861.
- Batschauer, A. 1998. Photoreceptors of higher plant. *Planta* 206: 479-492.
- Ballare, L. C., A. L. Scopel, and R. A. Sanchez. 1995. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. *HortScience* 30: 1172-1181.
- Bellha, H. S. 1988. Tomato response to trickle irrigation and black polyethylene mulch. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 113: 543-546.
- Cerny, A. T., N. C. Rajapakse, and O. Y. Ryu. 1999. Recent development in photoselective greenhouse covers. Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. May 19-22, 1999. Tallahassee, FL, USA.
- Christie, J. M. and G. I. Jenkins. 1996. Distinct UV-B and UV-A blue light signal transduction pathways induce chalcone synthase gene expression in *Arabidopsis* cells. *Plant Cell* 8: 1555-1567.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, D. D. Daniels, and P. G. Hunt. 1988. Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. *Sci. Hortic.* 34: 169-175.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, and P. G. Hunt. 1989. Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 114: 216-219.
- Decoteau, D. R., M. J. Kasperbauer, and P. G. Hunt. 1990. Bell pepper plant development over mulches of diverse colors. *HortScience* 25: 460-462.
- Díaz, P. J. C., and K. D. Batal. 2002. Colored plastic film mulches affect tomato growth and yield via changes in root-zone temperature. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 127: 127-136.
- Hedden, P. and Y. Kamiya. 1997. Gibberellin biosynthesis: enzymes, genes and their regulation. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48: 431-460.
- Hunt, R. 1982. Plant curves the functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold Publications. London, UK.
- Kasperbauer, M. J. 1999. Colored mulch for food crops. *Am. Chem. Soc. Chemtech* 29: 45-50.
- Kasperbauer, M. J. 2000. Strawberry yield over red versus black plastic mulch. *Crop Sci.* 40: 171-174.
- Konings, H. 1989. Physiological and morphological differences between plants with a high NAR or a high LAR as related to environmental conditions. pp. 101-123. *In: H. Lambers, M. L. Cambridge, H. Konings, and T. L. Pons (eds.). Causes and consequences of variation in growth rate and productivity.* SPB Academic Publishing. The Hague, The Netherlands.
- Lamont, W. J. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crop. *HortTechnology* 3: 35-39.
- Munguía, L. J.; M. R. Quezada, M. De la Rosa, and B. Cedeño. 2000. Effect of plastic mulch on growth of melon, *Cucumis melo* L., "Laguna" hybrid. *Int. J. Exp. Bot.* 69: 37-44.
- Quail, P. H., M. T. Boylan, B. M. Parks, T. W. Short, Y. Xu, and D. Wagner. 1995. Phytochromes: Photosensory perception and signal transduction. *Science* 268: 675-680.
- Quezada, R., M. De La Rosa, J. Munguía, L. Ibarra y B. Cedeño. 2003. Diferencias en la degradación de películas fotodegradables para acolchado, causadas por el manejo del cultivo de melón (*Cucumis melo* L.). *Int. J. Exp. Bot.* 2003: 135-142.
- Quezada, M. R., J. Munguía y M. de la Rosa. 2004. Efecto de acolchados fotoselectivos en el desarrollo y rendimiento de hortalizas. *Plasticulture II Epoca* 5: 31-45.
- Rajapakse, N. C., R. E. Young, M. J. Mc.Mahon, and R. Oi. 1999. Plant height control by photoselective filters: Current status and future prospects. *HortTechnology* 9: 618-624.
- Shaheen, A. M., R. M. Helal, N. M. Omar, and A. Mahmoud. 1995. Seedling production of some vegetables under plastic houses at different levels of light intensities. *Egypt. J. Hort.* 22: 175-192.
- Wien, H. C. 1997. Transplanting. pp. 37-67. *In: H. C. Wien (ed.). The physiology of vegetable crops.* CAB International Publishing. Wallingford, England.