

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

**“EFECTOS TERMICOS Y FOTOMETRICOS DE 7 PELÍCULAS
FOTOSELECTIVAS SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO
DEL TOMATE (Lycopersicon esculentum Mill)”**

TESIS

Presentada por:

JOSE LUIS VAZQUEZ MANZANO

Como requisito parcial para obtener el titulo de:

Ingeniero en Agrobiología

Saltillo, Coahuila, México 23 mayo de 2005

INDICE DE CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Hipótesis	3
1.2. Objetivos	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Generalidades del cultivo	4
2.1.1. Taxonomía	4
2.1.2. Morfología	5
2.1.3. Necesidades edafoclimáticas	6
2.2. Factores ambientales que afectan el desarrollo de los cultivos	8
2.2.1. Luz	9
2.2.2. Temperatura	10
2.2.3. Humedad relativa	13
2.3. Fotosíntesis.....	14
2.4. Fotomorfogénesis	16
2.4.1. Fiotocromo	20
2.5. Análisis de crecimiento	22
2.5.1. Componentes del análisis de crecimiento clásico	23
2.6. Platicultura	25
2.6.1. Acolchado	26
2.6.2. Películas fotoselectivas	28
2.6.3. Filmes anti plagas y enfermedades.....	31
2.6.4. Importancia del color de los plásticos en la Agricultura	32

2.7. Propiedades de los plásticos agrícolas	33
2.7.1. Propiedades físicas	33
2.7.2. Propiedades radiométricas y térmicas.....	34
2.7.3. Propiedades químicas	35
3. MATERIALES Y METODOS	37
3.1. Descripción del sitio experimental	37
3.1.1. Localización del sitio experimental	37
3.1.2. Clima	37
3.2. Preparación del terreno	38
3.3. Siembra y producción de plántulas	38
3.4. Fecha y densidad de plantación	38
3.5. Riego fertilización y control fitosanitario	38
3.6. Tutorado.....	39
3.7. Películas fotoselectivas	39
3.8. Diseño experimental	39
3.9. Parámetros a evaluar	41
3.9.1. Radiación fotosintéticamente activa (RFA) reflejada y total	41
3.9.2. Temperatura del suelo	41
3.9.3. Fotosíntesis	41
3.9.4. Acumulación de materia seca	41
3.9.5. Medición de área foliar	42
3.9.6. Rendimiento	43
3.10. Cinética de crecimiento	43
3.10.1. Índices de crecimiento	43
3.10.2. Coeficientes de partición de biomasa	45
3.10.3. Razones simples	45
4. RESULTADOS Y DISCUSION	47
4.1. Radiación fotosintéticamente activa reflejada	47
4.2. Temperaturas del suelo	49
4.3. Fotosíntesis y resistencia estomatal	57
4.4. Análisis de crecimiento	59

4.4.1. Coeficientes de Partición de Biomasa (CPB)	60
4.4.2. Área Foliar Especifica (AFE)	65
4.4.3. Razón de Peso Foliar (RPF)	65
4.4.4. Razón de Área Foliar (RAF)	68
4.4.5. Tasa de Asimilación Neta (TAN)	70
4.4.6. Tasas de Crecimiento Relativo (TCR)	73
4.4.7. Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto	76
4.5. Rendimiento	78
5. CONCLUSIONES	79
6. LITERATURA CITADA	81
7. APENDICE	95

INDICE DE CUADROS

No.		Pág.
4.1	Comparación de los valores medios de los logaritmos de base 10 de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) reflejada a las 14:00 horas, para siete películas fotoselectivas usadas para el acolchado de suelo en tomate.....	47
4.2	Comparación de los valores medios de las temperaturas del suelo, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; a 7 cm. de profundidad a las 14 h. en tres periodos de evaluación.....	51
4.3	Comparación de los valores medios de tasas de asimilación de CO ₂ y de resistencia estomatal para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos.....	58
4.4	Comparación de los valores medios de los Coeficientes de Partición de Biomasa hoja para cada tratamiento.....	63
4.5	Comparación de los valores medios de los Coeficientes de Partición de Biomasa tallo para cada tratamiento.....	64
4.6	Comparación de los valores medios de los Coeficientes de Partición de Biomasa fruto para cada tratamiento.....	66
4.7	Comparación de los valores medios de la Razón de Área Foliar Biomasa fruto para cada tratamiento.....	69
4.8	Comparación de los valores medios de la Tasa de Asimilación Neta en tres periodos de evaluación, para cada uno de los acolchados, para el forro y la interacción de ambos.....	72

4.9	Comparación de los valores medios de la Tasa de Crecimiento Relativo de flores (dos periodos de eval.) y de fruto (un periodo de eval.), para cada uno de los acolchados, para el forro y la interacción de ambos.....	75
4.10	Comparación de los valores medios del Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto del día 45 al 93 DDT y rendimiento total, para cada uno de los acolchados, para el forro y la interacción de ambos.....	77
A1	Comparación de los valores medios de la Tasa de Crecimiento Relativo del vástago, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; en tres periodos de evaluación medidos en días después del trasplante.....	96
A2	Comparación de los valores medios de la Tasa de Crecimiento Relativo del tallo, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; en tres periodos de evaluación.....	97
A3	Comparación de los valores medios de la Tasa de Crecimiento Relativo de la hoja, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; en tres periodos de evaluación.....	98
A4	Comparación de los valores medios de los Coeficientes de Partición de Biomasa flor, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; en tres periodos de evaluación.....	99
A5	Comparación de los valores medios de la Razón de Área Foliar, para cada uno de los tratamientos.....	100
A6	Comparación de los valores medios del Área Foliar Especifica, para cada uno de los tratamientos.....	101

INDICE DE FIGURAS.

No		Pág.
1	RFA reflejada a las 14:00 horas por las diferentes películas fotoselectivas y radiación incidente, en función del tiempo, durante el ciclo del cultivo.....	48
2	Temperatura del suelo a las 14:00 horas en las diferentes películas fotoselectivas sin forro aluminizado (A) y con forro aluminizado (B), en función del tiempo, durante el ciclo del cultivo (3 – 77 DDT).....	53
3	Temperatura del suelo en función de las horas del día en el acolchado café y transparente (A), azul y rojo (B), y blanco y negro (C) con y sin forro aluminizado. Periodo de evaluación 23 – 45 DDT.....	54
4	Temperatura del suelo en función de las horas del día en el acolchado azul y rojo (A), negro y blanco (B), y, transparente y café (C) con y sin forro aluminizado. Periodo de evaluación 3 – 23 DDT.....	56
5	Fotosíntesis en función de la radiación reflejada por los acolchados con ecuación de tendencia y factor de correlación.....	57
6	Distribución de la biomasa en plantas de tomate en función del tiempo.....	61
7	Interacción entre los componentes de la Tasa de Crecimiento Relativo y de la Razón de Área Foliar, y el efecto de los tratamientos sobre ellos, en el segundo y tercer periodo de evaluación.....	70
8	Tasa de asimilación neta en función del tiempo para los siete colores de acolchado.....	73

9	Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto en funcion de la Tasa de Asimilación Neta para el último periodo de evaluación (45 – 93 DDT).....	76
10	Rendimiento en funcion del Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto con ecuación de tendencia y factor de correlación.....	78
A1	Fotosíntesis a los 58 DDT en funcion de las temperaturas del suelo con ecuación de tendencia y factor de correlación.....	102
A2	Correlaciones de la TCR en funcion de sus componentes para el segundo y tercer periodo de evaluación.....	102
A3	Correlaciones de la RPF en funcion de las temperaturas del suelo y de la RFA reflejada durante el tercer periodo de evaluación (45 – 93 DDT).....	103
A4	Correlaciones de la TAN en funcion de las temperaturas del suelo y de la RFA reflejada durante el segundo periodo de evaluación (23 – 45 DDT).....	103
A5	PAR reflejada por cada uno de los acolchados en función del tiempo (horas del día), A para el primer periodo de evaluación (3 - 23 DDT) y B para el segundo periodo de evaluación (23 - 45 DDT).....	105

RESUMEN

Con el propósito de evaluar las propiedades térmicas y fotométricas de siete películas fotoselectivas y de un forro aluminizado y de ver la influencia de estos cambios en el crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), se determinó la temperatura del suelo a 7.5 cm de profundidad y la radiación fotosintéticamente activa reflejada por cada uno de los acolchados; se evaluó también la asimilación de CO₂, resistencia estomática, área foliar, acumulación de materia seca y rendimiento. Se hizo además un análisis de crecimiento con los valores de materia seca.

Los resultados muestran que las películas fotoselectivas poseen propiedades fotométricas que modifican la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) reflejada de acuerdo a su color, así como propiedades térmicas que modifican considerablemente las temperaturas del suelo. El forro aluminizado mostró un efecto interactivo con las películas foto selectivas ya que redujo considerablemente las altas temperaturas en los acolchados rojo, azul y transparente, mientras que en acolchados negros y café no tuvo efecto o fue contraproducente, al incrementar un poco las temperaturas del suelo. Los cambios en las temperaturas del suelo y en el ambiente lumínico no provocaron cambios significativos en la fotosíntesis ni en la resistencia estomatal. Las temperaturas apenas lograron afectar algunos componentes del crecimiento como la TAN y la RPF sin embargo estas diferencias no se manifestaron en la velocidad de acumulación de biomas (TCR) por que el efecto se perdió al interaccionar esta ultima variable con otros componentes. Los cambios provocados por la temperatura en el CPBh afectaron la RPF y esta a su vez modifico la RAF ya que son variables directamente proporcionales, sin embargo estas variaciones no se expresaron en mejores TCR ni mejores rendimientos. Las diferencias en las TAN afectaron el IECFr ya que se observo una relación directamente proporcional entre estos factores. Por otra parte el rendimiento

estuvo mayormente determinado por el IECFr por la estrecha relación que guardan entre si estas dos variables. El factor mas limitante para el crecimiento y rendimiento del cultivo fue la temperatura del suelo, las altas temperaturas en acolchados como el rojo, azul y transparente provocaron una disminución en el rendimiento final del cultivo.

1. INTRODUCCION

El cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) ocupa un lugar importante dentro de la agricultura mundial. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y al Agricultura (FAO, 1995) el tomate ocupa el tercer lugar en cuanto a volumen de producción mundial en hortalizas. En Mexico el cultivo de tomate tiene importancia no solo como generador de divisas, si no también por la elevada derrama económica que genera. Según el Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2002) en el año 2001 se sembraron 76, 209 hectáreas de tomate, con una producción de 2.149 millones de toneladas y un rendimiento medio de 28.87 toneladas por hectáreas.

Por otra parte el tomate como cualquier cultivo, requiere de ciertas condiciones climáticas para su crecimiento, desarrollo y producción, los cuales pueden verse afectados por factores ambientales (temperatura, suministro de agua, captación de energía solar, etc.) si alguno de estos factores falla los efectos repercuten de manera directa en aspectos fisiológicos y metabólicos de la planta, que posteriormente influyen en el rendimiento del cultivo y en la producción total (biomasa) del mismo, tanto en rendimiento de fruto como en la acumulación de biomasa o materia seca total (Hernández, 2000).

Para evitar las pérdidas de agua por evaporación y llevar a cabo un uso eficiente del agua de riego, además de mantener temperaturas óptimas en el suelo y controlar malezas, se han desarrollado una gran cantidad de acolchados para suelo en tomate. Estos acolchados provocan cambios en el microambiente de la planta y del suelo que permiten lograr un crecimiento y desarrollo del cultivo más acelerado y por consecuencia tener mayores ventajas que aquellos manejados en forma tradicional (Quezada, 1996).

Actualmente se utilizan diferentes tipos de plástico para el acolchado de suelo, en cuanto a grosor y color (negro, gris, blanco, rojo, azul, verde, marrón, metalizado, transparente, café, entre otros), que tienen los efectos benéficos

básicos de un acolchado, pero que algunos también modifican la cantidad y calidad de luz morfogénica modificando el crecimiento y desarrollo de las plantas (Kasperbauer, 1999).

Por otra parte los conocimientos sobre las aplicaciones exógenas de productos químicos a los cultivos, los residuos indeseables de las cosechas y la contaminación del ambiente, han despertado el interés por el uso de métodos alternativos, como el manejo de la cantidad y calidad de la luz, para regular el crecimiento vegetal y controlar enfermedades y plagas. Por lo que los investigadores en el estudio de la fotomorfogénesis continúan generando nueva información sobre la luz y el crecimiento vegetal, y usando este nuevo conocimiento para desarrollar sistemas hortícolas ambientalmente más saludables para la producción exitosa de cultivos de hortalizas, frutales, flores y ornamentales (Decoteau *et al.*, 1993).

Por las consideraciones anteriores es necesario hacer una revaloración agronómica de los acolchados fotoselectivos en cuanto a la radiación fotosintéticamente activa que reflejan y a los cambios que provocan en la temperatura del suelo, y en general a las respuestas vegetativas (crecimiento) y reproductivas (rendimiento) de los cultivos hortícolas a estos cambios en el microambiente; por lo cual se plantea la realización del presente trabajo de investigación, cuya hipótesis y objetivos fueron los siguientes.

1.1. Hipótesis

Las películas fotoselectivas en función de su color modifican la radiación fotosintéticamente activa (RFA) reflejada, así como las temperaturas del suelo, lo cual afecta el proceso fotosintético y/o provoca cambios fotomorfogénicos que a su vez ocasionan variaciones en el crecimiento y desarrollo del tomate así como en su rendimiento.

1.2. Objetivos

- Determinar el efecto del acolchado con películas fotoselectivas, sobre la radiación fotosintéticamente activa reflejada y sobre las temperaturas del suelo en un cultivo de tomate en condiciones de campo.
- Evaluar el efecto que tiene el forro aluminizado sobre las temperaturas del suelo en cada uno de los acolchados.
- Determinar el efecto de la radiación fotosintéticamente activa reflejada y de las temperaturas del suelo a 7 cm de profundidad, sobre los índices de crecimiento y sobre el rendimiento del cultivo de tomate.

2. REVISION DE LITERATURA.

2.1. Generalidades del Cultivo.

El tomate es una planta nativa de América tropical, cuyo origen se localiza en la región andina que se extiende desde el sur de Colombia al norte de Chile, región en la cual se encuentran la gran mayoría de tipos silvestres, pero parece que fue en México donde se domesticó, quizá porque crecería como mala hierba entre los huertos. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos, pero por entonces ya habían sido traídos a España e Italia donde servían como alimento en España e Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX. Los españoles y portugueses difundieron el tomate a Oriente Medio y África, y de allí a otros países asiáticos, y de Europa también se difundió a Estados Unidos y Canadá (Infoagro, 2005).

Valencia (1981) afirma que el tomate es una planta hermafrodita, autógama, de 3 a 5% de fecundación cruzada debido a los insectos, es de consistencia herbácea, pertenece a la familia de las Solanáceas.

2.1.1. Taxonomía.

Según Torres (1991), el tomate ha sido clasificado de la siguiente manera:

Reino.....Metaphyta
División.....Magnoliophyta
Clase.....Magnoliopsida
Subclase.....Asteridae
Orden.....Solanales
Familia.....Solanaceae
Genero.....*Lycopersicon*
Especie.....*esculentum*

2.1.2. Morfología

El tomate es una planta perenne de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de forma rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) y otras de crecimiento ilimitado (indeterminadas) (Infoagro, 2005).

Raíz. La planta de tomate generalmente posee una raíz principal bien definida, pero también presenta abundancia de raíces laterales de naturaleza fibrosa. El sistema radical es robusto y puede crecer hasta una profundidad de 1.8 m en el suelo (León y Arosemena, 1980).

Tallo principal.: eje con un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios (ramificación simpodial) e inflorescencias. Su estructura, de fuera hacia dentro, consta de: epidermis, de la que parten hacia el exterior los pelos glandulares, corteza o cortex, cuyas células más externas son fotosintéticas y las más internas son colenquimáticas, cilindro vascular y tejido medular. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales (Infoagro, 2005).

Hojas. Son limbos compuestos por 7 o 9 folíolos con bordes dentados, el haz es de color verde y el envés de color grisáceo. La disposición de las hojas en el tallo es alterna (Garza, 1985).

Inflorescencia. El racimo floral o inflorescencia del tomate, esta compuesto por una sucesión de ejes, cada uno portador de una flor, el pedúnculo es capaz de ramificarse una o dos veces y esto puede ocurrir en casi cualquier parte del racimo.

Flor. Es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres soldados que se alternan con

los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racemoso (dicasio), generalmente en número de 3 a 10 en variedades comerciales de tomate calibre M y G; es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada dando lugar a una inflorescencia compuesta, de forma que se han descrito algunas con más de 300 flores. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. La flor se une al eje floral por medio de un pedicelo articulado que contiene la zona de abscisión, que se distingue por un engrosamiento con un pequeño surco originado por una reducción del espesor del cortex. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (Infoagro, 2005).

Fruto. Baya bi o plurilocular que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 gramos. Está constituido por el pericarpo, el tejido placentario y las semillas. El fruto puede recolectarse separándolo por la zona de abscisión del pedicelo, como ocurre en las variedades industriales, en las que es indeseable la presencia de parte del pecíolo, o bien puede separarse por la zona peduncular de unión al fruto (Infoagro, 2005).

2.1.3. Necesidades Edafoclimáticas.

Suelo.

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura arenarcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados. En cuanto al pH, los suelos pueden ser desde ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados. Es la especie cultivada en invernadero que mejor tolera las condiciones de salinidad tanto del suelo como del agua de riego (Infoagro, 2005).

Temperatura.

El tomate es una planta que exige buenas condiciones de temperatura, luminosidad y humedad relativa para un buen desarrollo y producir satisfactoriamente, es una hortaliza de clima templado que no tolera heladas. Las condiciones climáticas influyen, entre otras cosas, en el cuajado de fruto y calidad de los mismos.

La temperatura es otro factor determinante del medio ambiente que influye en todo el desarrollo de la planta, por lo tanto es imprescindible el conocimiento de la temperatura óptima en cada etapa del desarrollo. El rango de temperatura del suelo debe ser de 12 a 16° C (mínimas 10 y máxima 30) y la temperatura del ambiente para su desarrollo de 21 a 24° C siendo la óptima de 22° C a temperaturas menores de 15° C y mayores de 35° C puede detener su crecimiento (Hernández, 2000).

Cuando se presentan temperaturas altas (>38° C) durante cinco a diez días antes de la antesis, hay poco amarre de fruto debido a que se destruyen los granos de polen; si las temperaturas elevadas prevalecen durante uno a tres días después de la antesis, el embrión es destruido (después de la polinización); el amarre de fruto es bajo cuando las temperaturas nocturnas oscilan entre los 25 y 27° C antes o después de la antesis. A temperaturas de 10° C o menores, un gran porcentaje de flores aborta (Hernández, 2000).

La maduración del fruto está muy influida por la temperatura en lo referente tanto a la precocidad como a la coloración. El mismo autor menciona que la temperatura óptima para la madurez del fruto es de 18 a 24° C. Si la temperatura es menor de 13° C los frutos tienen una maduración muy pobre; cuando la temperatura es mayor de 32° C durante el almacenamiento, la coloración roja (licopeno), es inhibida y los frutos toman un color amarillento. También menciona que con temperaturas de entre 22° y 28° C se obtiene una óptima coloración roja (Hernández, 2000).

Humedad.

El tomate necesita de un ciclo normal del cultivo, de unos 50 cm de lamina de riego, pero se ha demostrado que tiene una buena adaptación a la sequía, aunque esto reduce notablemente la producción (Hernández, 2000).

Luminosidad.

Márquez (1978) menciona que el tomate requiere de luz solar, aproximadamente ocho horas diarias.

La luz es un factor que actúa notablemente en la fisiología del tomate y que influye en su producción principalmente de dos maneras, ya sea en el aspecto de intensidad lumínica o bien en el aspecto de tiempo de exposición a la luz (fotoperíodo) (Moscoso, 1979).

La duración del día también afecta la producción de frutos de tomate, esto lo demuestra Moscoso (1979) en un experimento llevado a cabo en Holanda, en donde al aumentar el tiempo de exposición a la luz mediante iluminación artificial, se aumento la producción. Pero lo más importante es la constante interacción entre los factores de temperatura, intensidad lumínica y duración del día, los cuales nunca actúan en forma independiente, si no que lo hacen en forma de una interacción completa.

Valores reducidos de luminosidad pueden influir de forma negativa sobre los procesos de la floración, fecundación así como el desarrollo vegetativo de la planta (Dwyer y Stewart, 1986).

2.2. Factores ambientales que afecta el desarrollo de los cultivos.

El medio ambiente es el conjunto de condiciones exteriores que afectan la vida y desarrollo de un organismo e indica lo dinámico del medio natural de una planta, ya que constantemente se está combinando la intensidad de sus

factores. Por otra parte el ambiente para la producción y desarrollo de cultivos protegidos esta constituido por todos los factores climáticos modificados por el tipo de estructura y su cubierta; el medio de crecimiento de las raíces, formado por suelos naturales o artificiales; las interacciones del cultivo con otros organismos con los que las plantas se relacionan, como insectos, hongos, bacteria y virus; así como todas las modificaciones y practicas culturales realizadas para condicionar y manejar de la mejor manera ese ambiente, con la finalidad de crearle a la planta las mejores condiciones y pueda expresar todo su potencial productivo. Por lo tanto siempre se debe buscar la mejor adaptación del cultivo al ambiente específico o bien observar su respuesta a diferentes condiciones ambientales para realizar la mejor selección. (Bastida y Ramírez, 1999; Randolph, 2000).

Los principales factores que intervienen en el desarrollo de los cultivos, mismos que se pueden modificar o controlar mediante sistemas de cultivo protegido son: la luz, la temperatura, la humedad ambiental y el bióxido de carbono. Estos elementos son dependientes entre si, cuando se modifica uno de ellos los otros también son afectados. (Matallana y Montero, 1989; Serrano, 1994; Bastida y Ramírez, 1999)

2.2.1. Luz

La energía solar es el factor ambiental que ejerce una mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, al afectar entre otros procesos biológicos: la fotosíntesis, que transforma la energía solar en energía química utilizando luz con longitudes de onda entre 0.4 y 0.7 μm , conocida como radiación fotosintéticamente activa (RFA o PAR por sus siglas en ingles) y absorbida principalmente por los pigmentos clorofilicos; y la fotomorfogenesis que incluye efectos sobre la germinación de las semillas, elongación del tallo, expansión foliar, desarrollo de cloroplastos, síntesis de clorofila y muchos otros productos secundarios, en respuesta a la incidencia del flujo fotónico con longitudes de onda de 400 a 500 nm (luz azul), 600 a 700 nm (luz roja), y 700 a 800 nm (luz roja lejana) percibidas por fotorreceptores biológicos (fitocromo criptocromo y otros) presentes en pequeñas cantidades en las plantas.

(Salisbury y Ross, 1994; Decoteau, 1997; Martinez *et al.*, 1998; Bastida y Ramírez, 1999)

El efecto de la luz y de la irradianza (radiación reflejada) sobre el proceso fotosintético es directamente proporcional. A mayor cantidad de luz y de radiación reflejada mayor es la tasa de asimilación de CO₂. Sin embargo por encima de cierto nivel de irradianza, conocido como **saturación lumínica**, el incremento en la luz ya no causa incremento alguno en la fotosíntesis. Entre la oscuridad y el nivel de saturación existe una irradianza a la cual la fotosíntesis esta en equilibrio con la respiración (el intercambio neto de CO₂ es de cero); Se le conoce como punto de **compensación lumínica**. (Salisbury y Ross, 1994)

Por otra parte las investigaciones sobre respuestas fotomorfogénicas en plantas se remontan principalmente a las ultimas décadas; cuando Kasperbauer y Hunt (1987) estudiaron la regulación del desarrollo vegetal a través del fitocromo en suelos de varios colores, que como posteriores trabajos 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. (Decoteau *et al.*, 1989 y 1990).

2.2.2. Temperatura.

La temperatura no es un factor que suministre directamente energía ni constituyentes para el crecimiento, pero controla en primer lugar la velocidad de las reacciones químicas. Controla el desarrollo de las plantas incluyendo los procesos morfogénicos de diferenciación. Estos aspectos convierten a la temperatura en el factor más importante en el control del crecimiento, la distribución de las plantas, controlando zonas climáticas, ciclos del cultivo, velocidades de crecimiento y como consecuencia de estos, la distribución cuantitativa cualitativa y temporal de la cosecha (Guzmán, 2000).

La temperatura ejerce una gran influencia sobre el crecimiento y el metabolismo de las plantas y no hay tejido o proceso fisiológico que no este influido por ella. El desarrollo y el crecimiento de la mayoría de los cultivos agrícolas ocurren dentro de un rango de temperaturas óptimas, que oscila entre los 15-35° C (Alpi y Tognoni, 1991; Serrano, 1994)

Bastida y Ramírez (1999) mencionan que cuando se relaciona la temperatura con el desarrollo vegetal interesa conocer las temperaturas cardinales o extremas que puede soportar un cultivo, la temperatura optima en la cual la planta presenta mejor desarrollo, así como las temperaturas mínimas y máximas por debajo o encima de las cuales las plantas detienen su crecimiento.

El crecimiento vegetal es extremadamente sensible a la temperatura. A menudo un cambio de pocos grados da lugar a un cambio significativo de la tasa de crecimiento. Cada especie o variedad posee, en cualquier estado determinado de su ciclo de vida y en cualquier conjunto determinado de condiciones de estudio, una temperatura mínima debajo de la cual no crece, una temperatura optima (o rango de temperatura) en la que crece con una tasa máxima y una temperatura máxima por encima de la cual no crecerá y con la que incluso puede morir. La fotosíntesis también es afectada por la temperatura, aunque el intervalo de temperaturas en el que las plantas pueden fotosintetizar es de una amplitud sorprendente. Ciertas bacterias y algas verde azules fotosintetizan a temperaturas tan elevadas como 70° C, mientras que las coníferas pueden fotosintetizar con gran lentitud, a -6° C o menos. En algunos líquenes antárticos hay fotosíntesis a -18° C, con un optimo hacia los 0° C. En muchas plantas expuestas a luz solar intensa en un caluroso día de verano, la temperatura de las hojas muchas veces alcanza los 35° C o más, y la fotosíntesis aun continúa. (Salisbury y Ross, 1994)

Aunque hay excepciones, las plantas C₄ por lo general toleran temperaturas óptimas superiores a las de plantas C₃. La diferencia se debe en gran medida a las tasas de fotorrespiración inferiores de las plantas C₄. Un incremento normal en la temperatura influye poco en la fotólisis del H₂O o en la

difusión del CO₂ en la hoja, pero influye, de manera más notable, en las reacciones bioquímicas de fijación y reducción del CO₂. Así, los incrementos en las temperaturas suelen incrementar las tasas fotosintéticas hasta que comienza la desnaturalización enzimática y la destrucción del fotosistema. Sin embargo la pérdida de CO₂ por respiración también aumenta con la temperatura, hecho notable sobre todo en la fotorrespiración, en gran parte debido a que el aumento de temperatura incrementa la proporción de O₂ disuelto respecto al CO₂. (Hall y Keys, 1983)

Abdul-Baki (1991) menciona que alta temperatura limita o evita la producción de tomate en muchas regiones tropicales y subtropicales del mundo. Se afectan adversamente los procesos de crecimiento vegetativo y reproductivo, finalmente rendimiento y calidad de fruto.

En cuanto a la fisiología del cultivo de tomate, en fotosíntesis Bar-Tsur (1977), citado por Charles y Harris (1972) estudió el efecto de altas temperaturas sobre la eficiencia fisiológica en "Saladette", el cual fructifica mejor que "Roma" a esas temperaturas. La tasa fotosintética de Saladette presentó una adaptación a estrés por calor, pero el Roma no la presentó. Después de 24 horas de pretratamiento de 40/18° C, la tasa fotosintética de Saladette fue más grande en 24 y 35° C que en el de "Roma".

La velocidad de translocación es afectada por altas temperaturas desde 26.5° C en la noche hasta 18° C parece ser un óptimo en la noche, de lo contrario se limita el crecimiento de tallos, raíces y frutos. Debajo de tal temperatura otros procesos bioquímicos vienen a ser limitados. El efecto de la temperatura sobre la respuesta fotosintética y crecimiento, se estimaron en *L. esculentum* y *L. hirsutum* y sus híbridos. A 25 - 18° C todos mostraron similares respuestas en fotosíntesis; pero a 12 - 5° C solo *L. hirsutum* y los híbridos mostraron habilidad para aclimatarse a bajas temperaturas por incremento de sus tasas fotosintéticas *L. esculentum* a 5° C tuvo 4 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹; a 15° C 12 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ y a 25° C tuvo 24 μmol CO₂ m⁻²·s⁻¹. La conductancia estomatal de la hoja tuvo ligeros cambios en los dos genotipos y en la F₁ a bajas temperaturas, con una mayor conductancia en *L. hirsutum* a 10° C de

4.35 mm s⁻¹ y *L. esculentum* 2.03; mientras que a 25° C *L. esculentum* registro 10.03 mm s⁻¹; *L. hirsutum* 8.63 y el híbrido 11.86 mm s⁻¹ (Vallejos y Pearcy, 1987).

Las altas temperaturas que se presentan durante el día (primavera - verano) ocasionan a las plantas disturbios fisiológicos que causan una disminución en la calidad y cantidad del producto cosechado. Si bien altas temperaturas adelantan el periodo de producción, lo que pudiera tomarse como ventaja, queda prácticamente oculta, pues los daños son mayores (Quiroga, 1992). Temperaturas superiores a 11° C durante el desarrollo de la planta de tomate en almacigo tiene influencia en la inducción floral y cuajado de fruto y por lo tanto precocidad en la cosecha (Bretones, 1995).

2.2.3. Humedad Relativa

La humedad del ambiente debajo de una estructura de protección de los cultivos interviene en varios procesos, como el amortiguamiento de los cambios de temperatura, el aumento o disminución de la transpiración, en el crecimiento de los tejidos, en la viabilidad del polen para obtener mayor porcentaje de fecundación del ovario de las flores y en el desarrollo de enfermedades (Serrano, 1994)

Cuanto más húmedo este el ambiente, menos evaporación y transpiración de las plantas. A mayor temperatura menos humedad relativa. A menor humedad relativa mayor consumo de agua (Salisbury y Ross, 1994; Pérez y Martínez – Labored, 1994).

Cuando la transpiración es intensa, como consecuencia de la falta de humedad en el ambiente o por las altas temperaturas, puede haber más concentración de sales en las partes donde se realiza la fotosíntesis y quedar disminuida esta función. (Serrano. 1994)

2.3. Fotosíntesis.

Bidwell (1989), señala que básicamente la fotosíntesis es la absorción de energía lumínica y conversión en potencial químico estable para la síntesis de compuestos orgánicos. Desde el punto de vista del hombre, la mayor importancia de la fotosíntesis es su papel en la producción de alimentos y oxígeno, por lo tanto se estudia a menudo en función de sus productos finales.

Baldovinos (1975) menciona que la cantidad de fotosíntesis que realiza una planta esta en función de los siguientes factores: Externos; disponibilidad de agua, concentración de CO₂, luz (intensidad, calidad duración y eficiencia del quantum), temperatura, oxígeno y presencia o ausencia de nutrientes en el suelo (especialmente de N, Fe, Mn, Zn y Cu). Factores internos: estomas (numero, distribución y los mecanismos de apertura estomatal), clorofila (la concentración los tipos y la eficiencia de cada una), producción de fotosintetizados intermedios o finales, potencial genético (sistemas enzimáticos y la presencia de factores patogénicos que afectan la pigmentación vegetal, infecciones virósas, clorosis, etc.

Por su parte, Rojas y Rovalo (1988) mencionan que los principales factores que modifican el proceso fotosintético son el CO₂, la temperatura y la luz. El CO₂ es la fuente del carbono para alimento primario de la planta, a partir de los cuales se sintetizan los demás compuestos. El contenido de CO₂ en la atmósfera es de 0.03% y casi siempre el factor limitante es otro, sin embargo existen casos en donde la fotosíntesis se ve limitada por la cantidad de CO₂ disponible, esto sucede cuando hay una población muy densa del cultivo. En invernadero, se comprobó, desde principios del siglo pasado, que se obtienen importantes aumentos en rendimiento cuando se abona la atmósfera con CO₂. Las plantas verdes tienen respiración aerobia, pero soportan tensiones de O₂ muy altas; hasta 5 a 10% sin embargo, un aumento de más del 0.1% no influye en el rendimiento final, en tanto que concentraciones más altas; aunque resulta difícil interpretar los resultados, parece que el abonado con material orgánico fermentable aumenta el rendimiento de los cultivos rastreros más de lo que se

esperaría por el factor nutricional, lo cual se atribuye al CO₂ que se desprende al fermentar.

Bar-Tsur, *et al.*, (1985), estudiaron los efectos de la temperatura sobre la fotosíntesis, transpiración y resistencia estomatal en tomate sembrado en invernadero con máximas de 25° y 35° C. Utilizaron la variedad Roma VF, la cual tiene baja producción de fruto bajo altas temperaturas y la variedad de Saladette, con alta producción de fruto bajo estas condiciones. Encontraron que la transpiración al mediodía bajo altas temperaturas después de 48 horas fue de 400% mas alta que bajo una temperatura moderada. Saladette transpiro levemente menos que Roma VF. La resistencia estomatal alcanzo un mínimo de -1.01 y -0.72 MPa al mediodía bajo temperatura alta moderada, respectivamente. La fotosíntesis alcanzó un máximo a las 10:00 no existiendo diferencias entre variedades.

Campbell, *et al.*, (1986), examinaron la relación entre la tasa de asimilación de CO₂ en la planta y el desarrollo de la variedad de tomate "jubilee" en las primeras cuatro semanas de crecimiento vegetativo, encontraron que las plantas expuestas a una alta radiación mostraron un de un 2 a un 4% mas de fotosíntesis y en promedio incrementaron en un 100% la tasa de asimilación neta de CO₂ por planta por día. El crecimiento hoja - tallo difirió en 50% menos, encontrándose una relación pobre en la tasa de intercambio de CO₂. El índice de crecimiento del área foliar de hojas individuales se encontró estrechamente relacionada con la tasa de intercambio de CO₂ durante la expansión inicial de la hoja. En una planta base el índice de crecimiento de la hoja, incremento linealmente con el peso seco de la misma, pero apareció mas limitado por otros factores, determinando el ensanchamiento máximo de la hoja, la nueva tasa de desarrollo de la hoja. La asimilación neta de CO₂ por área foliar y el crecimiento consistente de hojas, disminuyeron con el tiempo mientras que la asimilación neta de CO₂ por planta por día fue constante en las siguientes dos semanas. Concluyen que los resultados compuestos sugieren una relación simple para crecimientos sucesivos, donde la acumulación excesiva de carbohidratos en la hoja de 200 mg por planta por día podría esperarse a ser distribuida a otros segmentos de la planta.

2.4. Fotomorfogénesis.

Además de influir en la fotosíntesis, la luz, también provoca fototropismo. Así mismo ocurren muchos otros efectos producto de la luz que son muy independientes a la fotosíntesis, la mayor parte de estos efectos controla la apariencia de las plantas, esto es su desarrollo estructural o morfogénesis. Al control de la morfogénesis por medio de la luz se le conoce como fotomorfogénesis (Salisbury y Ross, 1994). Benavides *et al.*, (1993) menciona que la fotomorfogénesis significa el desarrollo normal, la aparición del color verde característico por la presencia de clorofila y pigmentos accesorios en los cloroplastos, la aparición de hojas, tallos, raíz, y en cierto periodo las estructuras reproductivas. Para que la luz controle el desarrollo de la planta, esta primero debe absorber luz. Se conocen cuatro tipos de fotorreceptores que influyen en la fotomorfogénesis de las plantas: Fitocromo, Criptocromo, Fotorreceptor UV – V, y Fotoclorofilina α , siendo el primero el más importante. (Salisbury y Ross, 1994)

A largo plazo el crecimiento depende del desarrollo, el cual es fotomorfogénicamente controlado. 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. (Bellare *et al.*, 1995; Cerny *et al.*, 1999). Korner (1991), discute la contribución de varias características de la planta como determinantes en las diferencias en las tasas de crecimiento de las plantas entre especies, y destaca la participación de factores alométricos. Al afectar la intercepción de la luz en la velocidad fotosintética, variaciones entre especies en estos factores pueden completamente enmascarar el impacto sobre el crecimiento (Kuppers, 1994). Entonces al largo plazo (e.g. días, semanas), cambios en la tasa de influencia y distribución espectral de la luz pueden influenciar el crecimiento fuertemente al alterar la cantidad de partición de biomasa al tejido foliar y a la cantidad de área foliar producida por unidad de biomasa invertida. En este proceso se involucran el fitocromo y otros fotorreceptores.

La luz roja controla sustancialmente el desenrollamiento de las hojas de algunas gramíneas. El desenrollamiento se debe a un crecimiento más rápido (quizá como resultado del ablandamiento de la pared) de las células localizadas sobre el lado cóncavo posteriormente superior, en oposición al lado convexo. La aplicación de giberelinas, y en ciertas especies, de citocininas, reemplaza la necesidad de luz. (De Greef y Fredericq, 1983).

Volkenburgh (1987) citado por Salisbury y Ross en 1994, menciona que la mayor parte de la promoción del crecimiento por parte de la luz, al menos en dicotiledóneas, se debe a una HIR. Las plántulas cultivadas 10 días bajo luz roja tenue poseen hojas mucho más grandes y mucho más células que las que se mantienen en la oscuridad. Cuando se transfieren a la luz blanca, la expansión celular y el crecimiento foliar se incrementa considerablemente. En este caso, la luz azul que actúa mediante un sistema HIR provoca la expansión celular al intensificar la acidificación de las paredes celulares epidérmicas, y, como se ablanda la hoja entera se expande más rápido bajo la presión de la turgencia existente.

Mortensen y Stromme (1987) reportaron el potencial sobre el uso de filtros espectrales en la regulación del crecimiento vegetal. Pollock *et al.*, (1990) desarrollaron la tecnología para la utilización de filtros espectrales líquidos coloreados (con características espectrales específicas) dentro de placas acrílicas o de policarbonato, de doble capa, usadas como cubiertas de invernadero. Estos filtros espectrales líquidos han funcionado como filtros selectivos de radiaciones de longitud de onda fotomorfogénica que afecta la morfología vegetal (Mc Mahon *et al.*, 1991). Con ellos también redujeron la transmisión de radiación calorífica y por consiguiente alteraron las necesidades de enfriamiento de invernaderos (Pollock, *et al.*, 1990 y 1992). A partir de entonces a los materiales comerciales usados en la construcción y sombreado de invernaderos les fueron estudiadas sus propiedades de transmisión espectral y su potencial influencia en el desarrollo vegetal (McMahon *et al.*, 1991)

También las cubiertas de hileras fueron investigadas en el mismo sentido (Friend y Decoteau, 1990), encontraron por ejemplo, que los materiales de fibras termosoldadas (telas no tejidas) redujeron la transmisión de luz azul, aunque no afectaron las producciones de luz roja y roja lejana; mientras que los materiales de polietileno incrementaron la luz roja lejana y roja, y redujeron la luz azul. Decoteau y Friend (1991a) encontraron que al exponer plantas de sandía [*Citrulus lanatus* (Thunb) Matsum and Nakai] a altas proporciones de luz roja lejana: roja, crecieron más altas que las plantas expuestas a proporciones menores.

Posteriormente, Decoteau y Friend (1991b) investigaron los mecanismos fisiológicos de la regulación de crecimiento vegetal por la luz roja y roja lejana, que permitieron entender mejor la participación del fitocromo. Decoteau y Friend (1991a) usando un sistema hidropónico, utilizaron tratamientos con base en la calidad de luz y los aplicaron en plantas de sandía. Las plantas irradiadas con luz roja lejana tuvieron pecíolos más largos, tallos más altos y mayor peso seco de pecíolos y tallos que los testigos. Esta respuesta del crecimiento a la luz roja lejana fue revertida con la exposición a luz roja, implicando la participación del fitocromo. Similares resultados encontraron Friend y Decoteau (1991) al irradiar otros órganos vegetales como pecíolos y hojas, sugiriendo con esto que la calidad de la luz fotomodula el crecimiento de estos órganos vegetales.

Por otra parte tratamientos de luz roja utilizando lámparas fluorescentes de luz rica en longitudes de onda roja (Decoteau y Friend, 1991c) o filtros espectrales basados en soluciones de sulfato de cobre con semejantes propiedades (Benson, 1992; Clarck *et al.*, 1991) dieron como resultado, dentro de invernadero, transplantes de tomate fuertes y compactos (muy deseables en la producción de plántula) aunque sin efecto en el rendimiento final.

Ashkenazi (1996) menciona que la fotomorfogénesis, es decir la manipulación del crecimiento de la planta y el desarrollo a través del efecto de partes específicas del espectro de radiación, ciertamente es un reto excitante para todos los implicados en la horticultura. Actualmente, con el uso de algunos

aditivos (fluorescentes, pigmentos, de cerámica, etc.) se logra afectar las proporciones de luz roja y roja lejana incidente, las cuales originan los estados Fr y F del fitocromo, respectivamente, y catalizan procesos fisiológicos en sentido opuesto en los mismos órganos vegetales. El cambio en la radiación F/Fr en la radiación ambiental incidente, puede tener muy poco efecto en términos de resultados en la horticultura, pero no limita la posibilidad de que alguna vez una cubierta con dicho atributo, pueda dar un efecto notablemente benéfico a cierta cosecha en una ubicación geográfica específica.

A medida que la fotosíntesis da inicio en hojas y cotiledones, se producen tallos más cortos y gruesos. Por supuesto una plántula cultivada en la oscuridad no puede alargarse mas, una vez que sus fuentes alimenticias se agotan; pero mientras haya carbohidratos y grasas en abundancia, la luz llega a inhibir el alargamiento del tallo. Al parecer esta inhibición de la elongación del tallo la registro por primera vez en 1852 Julius Von Sachs, quien observó que los tallos de muchas especies no crecen tan rápido con la luz del día como lo hacen por la noche. En la actualidad sabemos que la luz azul, roja y roja lejana contribuyen a este fenómeno y que el criptocromo y el fitocromo también participan. (Salisbury y Ross, 1994)

En numerosas plantas bien establecidas y en crecimiento se presentan otros efectos fotomorfogénicos. Si se exponen dicotiledóneas verdes y fotosintéticas a luz roja (que actúa mediante el fitocromo) o azul (que actúa mediante el criptocromo), se inhibe la elongación de los tallos. Si las plantas crecen bajo un dosel de hojas, donde la luz que se recibe es básicamente del rojo lejano, P_{fr} es eliminado de las hojas y los tallos se alargan de manera considerable. Lo mismo ocurre con las coníferas estudiadas hasta ahora. El rameado de los tallos se retarda de manera simultánea en muchas especies que se encuentran bajo un dosel, por lo que las plantas utilizan más energía para llevar el ápice del tallo a la altura del dosel que cuando no están bajo la sombra. (Salisbury y Ross, 1994)

En contraste con el concepto propuesto por los investigadores en Beltsville, Maryland, de que el efecto primario del fitocromo se da sobre la permeabilidad

de la membrana, algunas investigaciones realizadas con plántulas de *Sinapis alba* llevan a sugerir que el fitocromo controla la activación y desactivación de genes específicos, lo que depende del estadio de desarrollo y de los tipos de células implicadas. Muchas de las investigaciones realizadas desde entonces demuestran que el fitocromo, el criptocromo y el UV – B son de hecho capaces de controlar la activación genética en el sentido de que cada uno puede regular la cantidad de la enzima producida, en contraste con los efectos de post – traducción sobre la actividad de las enzimas. (Salisbury y Ross, 1994)

2.4.1. Fitocromo.

El crecimiento y desarrollo son regulados por la interacción del ambiente y el programa endógeno de desarrollo. Desde la germinación a la floración, la luz controla ciertos procesos y por ende, hay diversas respuestas según diferentes ambientes lumínicos (Chory *et al.*, 1996). Bajo una condición ambiental natural, las plantas pasan una muy pequeña proporción de su ciclo de vida en el estado etiolado. Después de cierto periodo, ellas están expuestas a la luz del día y rápidamente detioladas. Durante este proceso la expresión de infinidad de genes es afectado de muchas maneras (Thompson y White, 1991). Análisis genéticos demuestran que las respuestas a la luz no son simplemente puntos finales de la señal lineal de las vías de transducción, si no un resultado de la integración de información de diversos fotorreceptores y genes de regulación negativa, a través de una compleja red de interacción entre componentes de señalización, donde la luz interactúa con programas de desarrollo endógeno para modificar respuestas de los genes (Chory *et al.*, 1996).

El fitocromo es un fotorreceptor que juega un papel central en acoplar señales de luz externa a una amplia variedad de respuestas de desarrollo en plantas (Akira *et al.*, 1993; Halliday *et al.*, 1994). El fitocromo es el fotorreceptor primario para detiolar y regular las plantas etioladas y crecidas en la luz (Carr-Smith *et al.*, 1994). Este responde a la intensidad luminosa, calidad espectral y estado de polarización. Colectivamente pueden absorberse fotones sobre un amplio rango de longitudes de onda, desde el rojo lejano al ultravioleta, pero la

mayor absorción por el fitocromo esta en el rojo y rojo lejano del espectro electromagnético (Thompson y White, 1991; Cerny *et al.*, 1999).

Las plantas desarrolladas en la oscuridad contienen al parecer la forma Pr, la cual se cree es fisiológicamente inactiva. Después de irradiación con luz roja la forma P_r se convierte en P_{fr}, la forma activa, la cual entonces interviene en una serie de eventos morfogénicos (Nakazawa *et al.*, 1991; Weiss, 1995). La aplicación posterior de radiación en el rojo lejano revierte la acción de la luz roja; esta clase de respuestas reversibles son llamadas de inducción-reversión y son típicamente estimuladas por radiación de baja fluencia en tiempos que van de segundos a horas (Galston *et al.*, 1980).

La capacidad del fitocromo para interconvertir repetidamente las formas activas e inactivas le permite a este actuar únicamente como un switch regulador de la luz durante el desarrollo de la planta. Los primeros datos fisiológicos y bioquímicos sugieren que existe al menos dos polos de fitocromos, uno que predomina en plantas etioladas y otro en plantas crecidas en la luz (Vierstra, 1993). En ese sentido Akira *et al.*, (1993) señalan que, en recientes estudios bioquímicos y de biología molecular, se muestra la presencia de múltiples especies de fitocromo, entre ellos el fitocromo A y B.

El fitocromo A y B tiene funciones complementarias en el control de la germinación, desarrollo de plántulas y floración (Reed *et al.*, 1994). En este caso los fitocromos actúan como sensores de inicio de luz luego del crecimiento en la oscuridad o como monitores de la calidad de luz (relación R:FR). El fitocromo A es abundante en plántulas etioladas, pero bajo luz es fuertemente reducido (Morand *et al.*, 1993). El fitocromo A solo promueve la germinación en la luz roja y roja lejana, a través de la respuesta a la alta irradiancia (Reed *et al.*, 1994). Sin embargo Tomoko *et al.*, (1994) señalaron que la frecuencia de germinación de semillas de *A. thaliana* parcialmente o totalmente germinadas en la oscuridad fue controlada por el fitocromo B en el P_{fr}.

La germinación de la semilla de lechuga es regulada por el fitocromo B, ya que la luz roja promueve la síntesis de GA al inducir la expresión de Ls3hl o actuar como un sistema de señalización que regula la expresión génica de enzimas GA – BIOSINTETICA (Toyomasu, 1998). En papa (*Solanum tuberosum* ssp andigena), el fitocromo B se involucra en el control fotoperiódico de la tuberización, ya que este regula el proceso de desarrollo al prevenir la formación del tubérculo en periodos no inductivos (Jackson *et al.*, 1996 y 1998). En plántulas de pepino crecidas en la oscuridad, la ausencia de *phyB* inhibe la elongación del hipocotilo, ya que la forma de absorción del rojo es un activo regulador positivo del desarrollo de plántulas etioladas (Saefkow *et al.*, 1995). En sandía la exposición al rojo lejano (FR) al final del día resultó en un incremento de materia seca de tallos, pecíolos, raíces y hojas. En general los brotes tienen más respuesta que las raíces, a los efectos regulatorios de crecimiento del FR EOD (Graham y Decoteau, 1997).

2.5. Análisis de Crecimiento.

La técnica del análisis de crecimiento se puede utilizar para analizar las causas de la variación inherente en la tasa de crecimiento. Con este fin, la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) se descompone en factores; en los parámetros TAN (tasa de asimilación neta, aumento de la biomasa por superficie de la hoja por unidad de tiempo) y RAF (Razón de Área Foliar, área de la hoja por unidad de masa de la planta). RAF se puede analizar más a fondo como el producto de AFE (Área Foliar Específica, área de la hoja por unidad de masa de la hoja) y de RPF (Razón de Peso Foliar, masa de la hoja por unidad de masa de la planta total). RAF, AFE y RPF son los cocientes simples que pueden ser medidos fácilmente. TAN es un parámetro más complejo, siendo el equilibrio neto de Carbono ganado en fotosíntesis y C-perdido en la respiración, dividida por el Carbono concentrado en la biomasa de la planta (Lambers *et al.*, 1989). Generalmente, la variación en TAN es determinada por la variación en la tasa fotosintética por unidad de área foliar.

$$\frac{dW(t)_P}{W(t)_P dt} = \left[\frac{dW(t)}{A(t)_L dt} \right] \left[\frac{A(t)_L}{W(t)_L} \right] \left[\frac{W(t)_L}{W(t)_P} \right] \quad \text{Ecuación 1.1}$$

$$TCR = TAN \times AFE \times RPF \quad \text{Ecuación 1.2}$$

La tasa de asimilación neta (TAN o NAR por sus siglas en ingles) es un componente fisiológico porque es una medida de la tasa fotosintética neta diaria de toda la planta basada en el índice de cambio en el contenido de carbón de la planta (McKenna y Shipley, 1999). SLA es un componente morfológico porque es determinado por la concentración de materia seca y el grosor de la hoja (Shipley 1995; Witkowski y Lamont, 1991). LWR es una medida del reparto de la biomasa de la hoja contra la otra parte de la planta. Muchos estudios han medido la RGR interespecífica y los tres componentes dados en la ecuación 1. Poorter y Van Der Werf (1998) repasaron la mayoría de los estudios hasta esa fecha, y encontraron que la mayoría demostró que la RGR se correlaciona fuertemente con la SLA y se correlaciona débilmente con la NAR o LWR. Desde entonces, otros estudios han divulgado correlaciones positivas fuertes entre RGR y NAR, y las correlaciones débiles entre RGR y SLA o LWR (Huante y Rincón, 1998).

2.5.1. Componentes del Análisis de Crecimiento Clásico.

Tasa de crecimiento relativo (R). El componente básico del crecimiento, que se origina de los trabajos de Blackman, es la tasa de crecimiento relativo (TCR) de la planta o del cultivo. Esta se define en cualquier instante del tiempo (t) como el incremento del material presente y es el único componente del análisis de crecimiento que no requiere el conocimiento del tamaño del sistema asimilatorio (Coombes *et al.*, 1988). Así:

$$R = \frac{1}{W} \cdot \frac{dW}{dt} = \frac{d}{dt}(\ln W) \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Por lo tanto, la tasa de crecimiento relativo, \bar{R} , se mide en intervalo de tiempo discreto, t_1 a t_2 que normalmente no es menor a un día. En tanto W varié continuamente de t_1 a t_2 , la \bar{R} se define como sigue:

$$\bar{R} = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{W_1}^{W_2} d(\ln W) \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Por lo tanto:

$$\bar{R} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Tasa foliar unitaria (E): La tasa de asimilación neta de una planta o de un cultivo se define como el incremento de material vegetal por unidad de material asimilatorio por unidad de tiempo (Coombs *et al.*, 1988).

$$E = \frac{1}{s} \cdot \frac{dW}{dt} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Coombs *et al.*, (1988) mencionan que el termino tasa de asimilación neta con frecuencia se usa de manera intercambiable con la tasa foliar unitaria pero se prefiere esta ultima. Estas miden el aumento neto en el peso seco de la planta por área foliar unitaria y es diferente a la tasa fotosintética que mide la ganancia neta de carbono solo durante el periodo de luz.

La tasa media foliar unitaria, \bar{E} , entre t_1 y t_2 esta dada por:

$$\bar{E} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{1}{s} \cdot \frac{dW}{dt} dt \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Por lo tanto:

$$\bar{E} = \frac{(W_2 - W_1)(\ln s_2 - \ln s_1)}{(s_2 - s_1)(t_2 - t_1)} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Razón de área foliar (F). La razón de área foliar de una planta o de un cultivo en cualquier instante del tiempo t se define como la razón de material asimilatorio por unidad de material vegetal presente.

$$F = \frac{S}{W} \qquad \text{Ecuación 2.7}$$

2.6. Plasticultura

La plasticultura es el uso de los plásticos en la agricultura. La plasticultura empezó cuando Warp desarrollo el primer sustituto del vidrio para uso agrícola general. El polietileno fue desarrollado como una película plástica en 1938 y en la actualidad el mayor volumen de plástico agrícola usado es de las películas de polietileno (Splittstoesser y Brown, 1991).

El campo de los cultivos hortícolas y ornamentales esta experimentando una tendencia cada vez mas marcada hacia la producción anticipada o fuera de estación y en condiciones naturales diferentes a aquellas en las que tradicionalmente se cultivan a campo abierto, tendencia que ha creado la necesidad del uso de diversos sistemas y estructuras de protección de los cultivos para forzar su desarrollo, como son: acolchados, cubiertas flotantes, micro y macro túneles, casa sombra e invernaderos (Bastida y Ramírez, 1999).

Mediante las técnicas de plasticultura que hacen uso de estos productos, se han logrado sustanciales mejoras en la producción en gran escala (Castaños, 1993), la cantidad y calidad de las cosechas, reducción de fluctuaciones de temperatura y humedad durante la estación de crecimiento, control biológico de plagas y enfermedades, extensión del periodo de crecimiento de primavera y otoño para la producción de hortalizas, producción de varios cultivos semitropicales, aplicación mas precisa del agua y nutrientes para optimizar el rendimiento y calidad de los cultivos, eficiencia en la aplicación de pesticidas aplicados al suelo e incremento en los estándares de protección al trabajador (Orzoleck y Lamont, 1999). Estos avances han sido llevados a cabo a través del uso de varios aditivos, los cuales dan a las

películas propiedades específicas tales como: termicidad, estabilidad UV, difusividad, capacidad anti-polvo, foto o biodegradables y capacidad anti goteo (Moens, 1991). De aquí se han derivado una gran cantidad de colores y calibres que pueden aplicarse a diferentes conceptos, que van desde el clásico control del clima y la humedad, hasta la reflexión solar, el control de plagas y diseminación de enfermedades. Existe una película plástica para cada función y clima específico (Rodríguez, 1999).

La industria de la fabricación de los plásticos ha entrado en una etapa de rápida evolución, donde las características físicas, ópticas, mecánicas y térmicas, juegan un papel cada vez más importante para obtener resultados específicos; por ejemplo respuestas y mejoras al rendimiento y calidad de diferentes cultivos hortícola (Robledo y Vicente, 1985; Matallana y Montero, 1995; Lozano *et al.*, 1996; Sade, 1997; Sulaika, 1997; De Santiago, 1998).

2.6.1. Acolchado.

El acolchado consiste en cubrir el suelo con alguna forma de barrera protectora (Garnaud, 1974), antiguamente se asociaba al empajado, en la actualidad el plástico ha desplazado totalmente a los residuos vegetales empleados con este fin (Guzmán y Sánchez, 2000) porque el polietileno es más preferido por el menor precio y por la mayor cantidad de calor que fluye del suelo a las partes aéreas de las plantas durante la noche (Garnaud, 1974). Las propiedades fotométricas asociadas con los plásticos agrícolas pueden potencialmente influenciar la radiación sobre la superficie del suelo. La radiación emitida y reflejada se muestra en diferentes efectos sobre el suelo y las plantas (Ham *et al.*, 1991).

Una amplia variedad de acolchados con diferentes propiedades físicas y espectrales contemplan los agricultores para seleccionar materiales que incrementen o disminuyan el calentamiento del suelo. En la conservación de la energía, la energía incidente que no es directamente usada para calentar el suelo, deberá ser reflejada a la superficie, irradiada a la superficie, o transportada desde la superficie por transporte de calor convectivo en el aire en

movimiento (Tanner, 1974). Se han documentado alteraciones en el ambiente lumínico de la planta como resultado de la reflectancia diferencial (acolchados de colores) o transmisión (cubierta de surcos) y son suficientes para influenciar el desarrollo de plántulas jóvenes y afectar el rendimiento (Friend y Decoteau, 1990).

Las explotaciones hortícola utilizan la técnica del acolchado en un sinnúmero de cultivos para eliminar malezas, conservar la humedad del suelo y alterar la temperatura de la zona radical (Coffey *et al.*, 1999), para obtener cosechas más precoces y mayores, de mejor aspecto comercial y estado sanitario, mantener la estructura del suelo, protección en la germinación y enraizamiento de las plantas, menor numero de frutos dañados (Guzmán y Sánchez, 2000). Se influncian las relaciones hídricas, temperatura, fotosíntesis y morfología de transplantes pequeños al alterar el balance de radiación del follaje, la temperatura del aire cercana a las hojas en crecimiento, mejor utilización de los abonos y fertilizantes y se favorece el intercambio gaseoso (Garnaud, 1974; Ham *et al.*, 1991).

El plástico negro es el estándar, pero recientemente con la finalidad de incrementar los rendimientos y controlar insectos se han fabricado plásticos para acolchado de varios colores que reflejan la radiación, transmiten grandes cantidades de luz en la relación rojo lejano a rojo (FR: F) y las plantas son mas altas (tallos más grandes) que las plantas que crecen en ambientes luminosos que contienen menos cantidades de luz FR: R (Decoteau y Friend, 1991) La relación FR: F reflejada del plástico rojo, en comparación a otros, incrementó los rendimientos en mas del 20%. El acolchado amarillo, ha resultado ser un método seguro y efectivo para controlar mosca blanca y afidos. Los acolchados blancos mantienen las temperaturas del suelo mas frías al reducir la cantidad de radiación solar absorbida por el suelo durante el verano. El acolchado azul incrementa el rendimiento en calabaza y melones (Coffey *et al.*, 1999). Los acolchados de colores pueden ser usados para bajar la acumulación de unidades calor (UC). Esto permite extender la fecha de plantación de cultivos que son sensibles al calor. En contraste el acolchado negro puede ser usado

para incrementar la acumulación de calor, en siembras tempranas de cultivos que requieren más calor (Schmidth y Worthington, 1998).

Los efectos del acolchado sobre la humedad del suelo, temperatura del aire y del suelo, rendimiento del cultivo, calidad y respuesta de fructificación han sido estudiados en una gran variedad de cultivos incluyendo tomate y chile (Decoteau y Friend, 1990). Tomate en acolchado rojo mostró floración más temprana y mayor acumulación de biomasa inicial que el acolchado negro; pero al momento de la cosecha no hubo diferencias significativas en acumulación o partición de biomasa a la raíz, hoja, tallo y órganos reproductivos (Brent *et al.*, 1999). La misma especie, c. "Mountain Pride", se cultivo sin acolchado y sobre acolchado plástico de colores. En el verde y aluminio se produjo un peso de fruto comercial mas alto que en los colores negro y blanco; mientras que las plantas sin acolchar y los otros colores (rojo, café, claro) produjeron rendimientos intermedios (Brown *et al.*, 1991).

En el tomate cv. Al-Wadi, los rendimientos iniciales y totales fueron más altos con acolchado que con surcos bajo cubiertas flotantes. Los frutos más grandes se produjeron con acolchado negro. La temperatura del suelo a una profundidad de 10 cm vario por solo 1 o 2 °C entre los tratamientos. La temperatura del aire bajo surcos cubiertos excedió los 35 o 40 °C en muchos días, lo que provoco problemas de cuajado de frutos y bajo rendimiento inicial (Rubés y Freiwat, 1995). En plántulas de chile, bajo acolchado, la velocidad de crecimiento, la tasa de asimilación neta y la tasa de crecimiento relativo durante el crecimiento inicial fueron más altas en plástico plateado. La velocidad de crecimiento del cultivo disminuyo en el orden de polietileno plata mayor que negro y transparente (Oh *et al.*, 1989).

2.6.2. Películas Fotoselectivas.

El control de la fotomorfogénesis por plásticos fotoselectivos es una opción atractiva como una nueva técnica del control del crecimiento de la planta, que puede facilitar el manejo de la luz en operaciones comerciales (Cerny *et al.*, 1999). Esta tecnología se basa en el desarrollo de tintes Smart que

permanecen estables en los plásticos y finalmente pueden manipular la calidad de luz natural en el invernadero (Ryu *et al.*, 1999), considerando una reducción de 25 a 35% de la luz que afecta la radiación fotosintéticamente activa (Cerny *et al.*, 1999). Los plásticos fotoselectivos modifican la cantidad y calidad de la luz. En la zona del infrarrojo cercano ($0.7 - 0.1 \mu\text{m}$) se induce a un alargamiento de la planta, mientras que en el rojo y rojo lejano ($0.61 - 0.7 / 0.7 - 0.8 \mu\text{m}$) actúa sobre el alargamiento de los tallos. En el rojo ($0.61 - 0.7 \mu\text{m}$) y azul ($0.41 - 0.51 \mu\text{m}$) es donde se encuentra la mayor radiación aprovechada en fotosíntesis o radiación PAR (Infoagro, 2005). Así una cubierta de color rojo y azul debe aumentar el rendimiento de la plantación, en cambio una cubierta de color verde, al estar situado en una franja del visible que no es absorbida por la fotosíntesis disminuye la productividad. Con este tipo de laminas selectivas se han conseguido mejoras de rendimiento y de precocidad de tomate, melón rosas y otros cultivos hortícolas (Guzmán, 2000).

Las cubiertas de plástico que reducen o aumentan una parte específica del espectro pueden dividirse en varios grupos: cubiertas que bloquean la radiación UV ($280 - 400 \text{ nm}$), que absorben o reflejan parte de la radiación visible (filmes coloreados ($400 - 700 \text{ nm}$), bloquean el rojo lejano ($700 - 800 \text{ nm}$) y la radiación infrarroja corta ($800 - 2500 \text{ nm}$) y cubiertas fluorescentes con tintes o pigmentos que absorben luz en una longitud de onda y la emiten en otra mayor (Espí *et al.*, 1997).

Murakami *et al.* (1995) en su estudio con cubiertas que interceptan el rojo normal, el rojo y el rojo lejano y encontraron relaciones R/FR de 0.5, 1.2, y 1.5, respectivamente. Las plántulas de girasol y col mostraron elongación significativa de la planta ante interceptación del R; mientras que en FR la elongación fue inhibida. Efectos similares encontraron en plántulas de Pepino y tomate. Los mismos autores, muestran resultados similares en las especies señaladas. Una alta relación R/FR, característica de una cubierta azul, influyó la regulación del crecimiento y produjo resultados similares o retardantes químicos de crecimiento tales como el ácido giberélico (Angus y Morrison, 1998). En el mismo sentido (Cerny *et al.*, 1999), señalan que filtros

interceptores (YBM-1, YB-10) fueron efectivos para controlar la altura de plantas de Chile en forma similar a reguladores químicos o filtros de sulfato de cobre.

En un estudio con distintos filtros plásticos se encontró que estos modifican el ambiente espectral de crecimiento de las plantas. Dicha modificación originó cambios adaptativos en las plantas que se expresaron como diferencias en la actividad de asimilación de CO₂ y en la biomasa de las plantas. Estas últimas variables mostraron correlación alta y positiva con la densidad de flujo de radiación activa fotosintética, la cual también dio lugar a diferencias en las propiedades bioquímicas de los extractos de pecíolos (Benavides, *et al.*, 2000).

Por otro lado, algunas pruebas en Israel presentan un filtro líquido muy dinámico que puede ser utilizado entre una doble cubierta de policarbonato, para fijar los rayos infra-rojos y acumular el exceso de calor que se presenta en las regiones con veranos extremos; también se puede utilizar para reciclar el calor cuando se presenta el descenso de temperaturas nocturnas (De Santiago, 1998).

En cuanto a las películas que bloquean la radiación UV, se ha encontrado que el uso de estas afecta la pigmentación o coloración de diferentes plantas; en nectarina se inhibe la síntesis de antocianinas en la cáscara (Spitters *et al.*, 1986; Sullivan y Teramura, 1989; Weiss, 1995); en flores el patrón de coloración de los pétalos de la rosa Confeti. La radiación UV también ocasiona oscurecimiento de los pétalos de la rosa Mercedes (Weiss, 1995). En crisantemo, Angus y Morrison (1998), al examinar calidades espectrales de diferentes cubiertas concluyen que el color verde aumento la altura de la planta; mientras que la azul dio lo opuesto, además de retrasar la floración, en comparación a un testigo color claro.

En plántulas de chile rojo, la altura, número de hojas, área foliar, peso seco de la hoja, peso seco del tallo y peso seco de la raíz; fueron más altos en películas en las que se les removió el color azul que en las que se mantuvo. Similarmente ocurrió con el peso fresco de la hoja, volumen foliar y porcentaje

foliar ocupado por los espacios aéreos y el volumen interno de los mismos (Chung et al., 1991).

2.6.3. Filmes Antiplagas y Enfermedades.

Siguiendo con la línea de trabajo se están desarrollando desde hace años multitud de laminas fotoselectivas, incluso algunos actúan en la franja de la radiación ultravioleta, y el efecto resultante es una disminución de ataques fúngicos (antibotritis) en el cultivo y de algunos insectos (Guzmán, 2000).

Kelly *et al.*, (1989), estudiaron el uso de materiales reflectivos de colores para la producción de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* Willd. Ex Klotzsch) dentro de invernaderos, demostrando que estos materiales afectaron las poblaciones de mosquita blanca [*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)] y recomendaron su uso como una opción de control no químico de insectos.

Las laminas fotoselectivas absorbentes de radiaciones de UV (280 – 390 nm) pueden proteger las plantas contra las enfermedades virales; e.g. TYLCV (Tomato Yellow Leaf Curl Virus o virus de la cucaracha) al controlar la entrada de algunos vectores como *Bemisia tabaci*. En plagas al combinar diferentes ondas de transmisión se altera de manera importante el comportamiento de los insectos, cambiando la visión, la navegación, el aterrizaje o los patrones de alimentación de la mosquita blanca, los trips, algunos áfidos, ácaros y arañas (Weiss, 1995; Armengol y Badiola, 1996; Espi *et al.*, 1997; Fueyo, 1997; De Santiago, 1998; Infoagro, 2000). En el mismo sentido, Antignus *et al.*, (1996), con películas absorbentes UV reportan fuerte reducción en la población de plagas de insectos en invernadero (minadores, trips, mosca blanca) y por ende, la incidencia de enfermedades virales transmitidas por estos; en comparación a hojas plásticas, PVC y diferentes marcas de polietileno.

Los filtros fotoselectivos, para este fin, aun están en evaluación, pero se reporta que al relacionar el factor de la sensibilidad de las plantas y de los organismos con el espectro de radiación del calor y la transmisión de la luz, ayudan a controlar al incidencia de enfermedades fungosas como el moho gris

y la cenicilla polvorienta – *Botrytis*, *Sclerotinia*, *Alternaria* y *Stemphylium* (Weiss, 1995; Espi *et al.*, 1997) La producción de esporas, la viabilidad y crecimiento están condicionados por los factores como la luz, humedad y temperatura. Si se rompe el ciclo de desarrollo se distorsiona su expansión. La radiación UV – b incide sobre la esporulación de *Botrytis cinera* y otros hongos, de igual forma que la luz monocromática azul inhibe este proceso (Infoagro, 2005).

2.6.4. Importancia de los Plásticos en la Agricultura.

El color del plástico determina sus propiedades fotométricas con respecto a la radiación solar (reflexión, absorción y transmisión. Y estas a su vez su influencia en el microclima del follaje de las plantas, así como también en la temperatura del suelo. (Hemphill, 1986; Decoteau *et al.*, 1989; Ham *et al.*, 1993; Hatt *et al.*, 1993; Kluitenberg *et al.*, 1993)

Por ejemplo, el acolchado de plástico negro absorbe la mayor parte de las longitudes de onda UV, visible e infrarrojas de la radiación solar y las transmite en forma de calor (radiación infrarroja de longitudes de onda larga), aunque mucha de esta energía se pierde hacia la atmósfera a través de rerradiación y convección forzada. En contraste, el acolchado de plástico transparente absorbe poca radiación solar, pero transmite del 85 al 95% dependiendo del grosor y grado de opacidad del polietileno. El acolchado plástico blanco, blanco sobre negro o plateado refleja hacia el follaje la mayor parte de la radiación solar, 60 a 80% lo que resulta en una disminución de la temperatura del suelo. Los acolchados de color rojo, naranja, amarillo o verde reflejan radiaciones diferentes hacia el follaje del cultivo, lo que puede afectar la fotosíntesis y la fotomorfogénesis, e incrementar los rendimientos como el rojo en el tomate. El color también puede afectar el arribo de ciertos insectos; atracción de pulgones con el amarillo y repelencia con el plateado. (Lamont, 1993).

Orzolek y Murphy (1993) mencionan que los cultivos no solo responden favorablemente al ambiente edáfico creado por el acolchado, si no que también el color del plástico puede influir en el crecimiento y repelencia de insectos

plaga., al afectar la calidad de la luz reflejada por la superficie del plástico. También indican que entre los cultivos parece haber una respuesta específica a los colores.

Kluitenberg *et al.*, (1993) menciona que es importante conocer las propiedades ópticas de los plásticos (reflexión, absorción y transmisión en la porción de onda corta y onda larga del espectro electromagnético), pues juega un papel trascendental para determinar el efecto de los plásticos y filtros espectrales sobre el medio ambiente. Indican también que estas propiedades ópticas pueden variar con el tiempo de uso de los plásticos.

2.7. Propiedades de los Plásticos Agrícolas.

2.7.1. Propiedades Físicas.

Las propiedades físicas más importantes de los plásticos son: durabilidad, permeabilidad vapores y líquidos, transparencia a la luz, efecto invernadero, modificación de la temperatura del suelo bajo película y propiedades selectivas de la longitud de onda.

- a) *Durabilidad y fuerza.* La durabilidad depende del grosor, tipo y grado de plástico, tiempo de exposición a rayos UV; disponibilidad de oxígeno (foto -oxidación), temperatura y humedad. La fuerza depende de la resina, de ella será la resistencia a la ruptura por el viento, hielo, nieve y lluvia (Splittstoesser y Brown, 1991; Infoagro, 2005).
- b) *Grosor.* La cristalinidad de los polímeros modifica la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas. Una densidad baja facilita la manipulación y el transplante, aunado a un menor precio (Infoagro, 2005).
- c) *Transparencia y calidad de la luz.* La transparencia a la luz es el grado de permeabilidad del plástico a la radiación térmica y solar. La mayoría de materiales no son transparentes; mientras que estos no le permitan al

ojo ver a través de ellos claramente, se pueden considerar como translucidos. Desde un punto de vista práctico, el vidrio y el plástico son similares en la calidad de la luz transmitida (Garnaud, 1974; Splittstoesser y Brown, 1991).

- d) *Retención de calor.* El efecto invernadero es producido por la diferencia de permeabilidad a la radiación solar y térmica; para ello, el material ideal deberá ser transparente a la radiación solar (180 – 1500 nm), pero completamente opaco a la térmica (radiación infrarrojo larga 5000 a 35000 nm) (Garnaud, 1974).
- e) *Temperatura del suelo bajo la película plástica.* Generalmente la temperatura se incrementa en varios grados durante el día (2 – 10° C), acorde a la estación, cantidad de sol, humedad y tipo de suelo. En la noche la diferencia de temperatura es entre 2 y 4° C (Garnaud, 1974).
- f) *Propiedades selectivas de la longitud de onda.* Las películas plásticas selectivas a la longitud de onda absorben y reflejan la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el rango de los 400 a 700 nm de longitud de onda y transmiten luz cercana al infrarrojo entre los 700 y 3000 nm parte del espectro solar (Garnaud, 1974).
- g) *Peso.* Los filmes de plástico tiene poco peso lo que reduce su exigencia en estructuras y por tanto aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreado. (Infoagro, 2005).
- h) *Envejecimiento.* El envejecimiento de los materiales utilizados como cubiertas en invernaderos o acolchados, viene determinado por sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas (Infoagro, 2005).

2.7.2. Propiedades Radiométricas y Térmicas.

Las propiedades de las láminas de plástico, de mayor interés para los agricultores son la transmisión de la luz y la termicidad del film.

La transmitancia es la propiedad de los materiales de dejar pasar la radiación solar, esta propiedad depende del ángulo de incidencia de la cubierta (Matallana y Montero, 1995; Infoagro, 2000). La transmisión de luz de un film indica el porcentaje de radiación lumínica que penetra desde el exterior. No solo interesa este porcentaje si no que también debe considerarse el porcentaje de difusión de luz incidente también llamada turbidez (Guzmán, 2000).

La termicidad de un plástico indica la capacidad del film para detener la radiación infrarroja bajo la cubierta (Guzmán, 2000). La capacidad de protección contra el frío de un material depende por un lado de su transmitancia para la radiación IR larga, y por otro de las pérdidas por conducción y convección. En condiciones estables en el laboratorio se mide un coeficiente K global de pérdidas caloríficas, que expresa el conjunto de pérdidas radiantes, convectivas y conductivas, y que permite comparar unos materiales con otros (Matallana y Montero, 1995; Infoagro, 2000).

La transmisividad, es indicadora del porcentaje de radiación susceptible de cruzar la lámina. Cuanto menor es la transmisividad menor es la termicidad. Existen dos vías principales para aumentar la termicidad de las películas de polietileno: mediante la adición de aditivos térmicos o mediante el uso de las películas que contienen un determinado porcentaje de acetato de vinilo, copolímeros EVA. Al aumentar el porcentaje de acetato de vinilo, aumenta la termicidad. El vidrio y el polietileno presentan una transmitancia muy parecida (87 – 88%). El policarbonato transmite un 7 a 8% menos que el vidrio y el PE, y la cubierta doble de PE es el material más desfavorable, llegando a transmitir el 74% de la luz exterior.

2.7.3. Propiedades Químicas.

Las propiedades físicas, radiométricas y térmicas están relacionadas con las propiedades químicas, ya que estas son las que imparten duración, modificación del balance espectral de la temperatura, etc.

- a) *Composición química*. En base a esta se han generado polietilenos de baja densidad, con excelente fuerza tensil para acolchados y resistencia al desgarre; son de bajo peso y costo. Películas de policloruro de vinilo (PVC), etileno vinilo de acetato (EVA) que mejoran las características de calor (Splittstoesser y Brown, 1991).
- b) *Aditivos*. Los aditivos se agregan a las resinas naturales para aumentar o modificar algunas propiedades especiales de películas: pigmentación con carbón negro o dióxido de titanio para películas gris humo, opacas térmicas, rojas o cafés y fotoselectivas (PVC verdes); estabilizadoras UV (carbón negro); película antivaho; retención de calor con barrera térmica dentro de la película, fotodegradables y biodegradables (Splittstoesser y Brown, 1991).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción del Sitio Experimental.

3.1.1. Localización.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo durante el ciclo Primavera-Verano de 2004, en el campo agrícola experimental del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA), localizado al Noreste de la ciudad de Saltillo, Coahuila; cuyas coordenadas geográficas son: 25° 27' de latitud Norte, 101° 02' de longitud Oeste del meridiano de Greenwich y a una altitud de 1610 msnm.

3.1.2. Clima.

De acuerdo a la clasificación climática de Köeppenn modificada por García (1973), el clima de Saltillo corresponde aun seco estepario, con fórmula climática $BSoK(x')(e')$.

Donde:

BSo : Es el clima más seco de los Bs.

K : Templado con verano cálido, siendo la temperatura media anual entre 12 y 18 °C, y la temperatura media del mes más caluroso de 18°C.

(x') : Régimen de lluvias intermedias entre verano e invierno.

(e') : Extremoso con oscilaciones entre 7 y 14 °C.

En general la temperatura y precipitación pluvial media anual son de 18 °C y de 365 mm respectivamente, los meses más lluviosos son principalmente Julio Agosto y Septiembre, concentrándose la mayor parte en el mes de Julio. La evaporación promedio mensual es de 178 mm, presentándose las más altas en los meses de Mayo y Junio con 236 y 234 mm respectivamente.

3.2. Preparación del Terreno.

El terreno donde se estableció el cultivo fue barbechado y se le dio doble paso de rastra para tener condiciones favorables al colocar el acolchado. Las camas o surcos se diseñaron con una acamadora con las siguientes dimensiones: longitud de camas de 5.5 y 9 m, distancia entre camas 1.5 m ancho de camas 0.8 m. Para la desinfección del suelo se aplicó PCNB (Pentacloronitrobenceno).

3.3. Siembra y Producción de Plántula.

La producción de la plántula que se transplantó se realizó en uno de los invernaderos de cubierta de polietileno del campo agrícola del CIQA, realizando el riego y la fertilización por medio de micro aspersión. Para tal propósito se utilizaron semillas de tomate de la variedad Floradade las cuales se sembraron el lunes 2 de febrero del 2004 en almácigo en charolas de poliestireno de 200 cavidades, utilizando sustrato de PGX y Peat-moss.

3.4. Fecha y Densidad de Plantación.

El 23 de marzo del 2004, después de haber alcanzado una altura aproximada de 0.15 m, las plántulas fueron transplantadas a campo, a una hilera con distancias de 0.5 m entre plantas, para tener una densidad de 13,333 plantas por hectárea.

3.5. Riego, Fertilización y Control Fitosanitario.

El riego fue por goteo, usando cinta Stream line de 8 milésimas de espesor con una separación de 30 cm entre goteros y con un gasto de 0.98 LPH; la fertilización fue por medio de fertirrigación, con una fórmula de 300-150-400 (N-P-K). Para el control de la mosquita blanca, minador, gusano del fruto y barrenador se aplicaron los insecticidas decis, almanach y lanate en las dosis recomendadas. Para tizón se aplicó prozycar, trevanil y cuperhidro también en

las cantidades establecidas. Después del trasplante se aplicó tecto y prozycar para prevenir enfermedades fúngicas.

3.6. Tutorado.

Es una práctica imprescindible para mantener la planta erguida y evitar que las hojas y sobre todo los frutos toquen el suelo, mejorando así la aireación general de la planta y favoreciendo el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales (destallado, recolección, etc.). Todo ello repercutirá en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades. Para dicho propósito se colocaron estacones en las camas a 1.5 m de distancia aprox., posteriormente se añadió un tensor para dar firmeza a las varas. Terminado esto se hizo la sujeción de la planta con hilo de polipropileno (rafia) colocando este último de una estaca a otra a diferentes alturas.

3.7. Películas fotoselectivas.

Las películas plásticas que se utilizaron para dicho experimento fueron proporcionadas por la Universidad de Pennsylvania, Estados Unidos, siendo estas de polietileno de baja densidad - lineal calibre 125 y 1.2 m de ancho, de siete colores (blanco, negro, café, rojo, azul, plateado y transparente). También se utilizó un plástico aluminizado de 0.8 m de ancho que se colocó por debajo de los acolchados fotoselectivos para reducir o eliminar los posibles efectos de temperatura entre acolchados y poder evaluar solamente el efecto de la radiación reflejada.

3.8. Diseño experimental.

El diseño experimental que se utilizó para evaluar los resultados de este experimento fue un diseño de bloques al azar con arreglo factorial A X B con tres repeticiones por tratamiento, dando un total de 42 unidades experimentales. Se utilizaron 2 camas de 9 m de longitud como unidad experimental ($2 \times 1.5 \text{ m} \times 9 \text{ m} = 27 \text{ m}^2$) las plantas de una de las camas se

usaron para hacer los muestreos destructivos para el análisis de crecimiento y las plantas de la otra cama para evaluar el rendimiento. El factor A representó el color del acolchado, los niveles fueron siete: acolchado blanco, negro, café, azul, rojo, plateado y transparente. El factor B representó el uso de un forro aluminizado para reducir los efectos por temperatura, los niveles fueron dos: con forro y sin forro.

Los tratamientos que resultaron de la interacción de ambos factores fueron:

Tratamientos	Factor A	Factor B
T ₁	azul	con forro
T ₂	azul	sin forro
T ₃	rojo	con forro
T ₄	rojo	sin forro
T ₅	transparente	con forro
T ₆	transparente	sin forro
T ₇	blanco	con forro
T ₈	blanco	sin forro
T ₉	café	con forro
T ₁₀	café	sin forro
T ₁₁	plateado	con forro
T ₁₂	plateado	sin forro
T ₁₃	negro	con forro
T ₁₄	negro	sin forro

Para evaluar los datos que pudieran mostrar diferencias estadísticamente significativas en el análisis de varianza, se usó la prueba DMS (diferencias mínima significativa) al 0.05 de probabilidad.

3.9. Variables evaluadas.

3.9.1. Radiación Fotosintéticamente Activa Reflejada (RFA) y total (RT).

La radiación fotosintéticamente activa reflejada se evaluó en cada uno de los acolchados considerando únicamente 7 tratamientos ya que la presencia o ausencia del forro aluminizado no provoca cambios en esta variable, la evaluación se llevo a cabo en el intervalo de 400 a 700 nm en la banda del espectro electromagnético, lo mismo que la radiación total; para ello se utilizaron sensores modelo Quantum de LI-COR Co LI 190 SA, los cuales se colocaron a una altura de 20 cm del acolchado, en el centro de la cama en medio de dos plantas. Los sensores se conectaron a un Data- Logger LI-1000 de LI-COR Co., el cual se programó para tomar lecturas cada minuto y almacenar el promedio cada hora, durante las 24 horas del día y durante todo el ciclo del cultivo. Después de haber hecho los análisis estadísticos, el C. V. (Coeficiente de Variación) resulto alto, por lo que hubo necesidad de transformar los datos de radiación obteniendo el logaritmo de base 10 de cada valor.

3.9.2. Temperatura del Suelo.

La temperatura del suelo se monitoreo a 7 cm de profundidad en cada tratamiento, utilizando sensores tipo LI-1000-15 también de LI-COR. Estos sensores se conectaron también a un Data Logger de LI-COR Co, igual que en la radiación éste se programó para tomar lecturas cada minuto, almacenar el promedio cada hora durante las 24 horas del día, durante el ciclo del cultivo.

3.9.3. Fotosíntesis.

A los 58 días después del transplante se hizo una medición de la actividad fotosintética y de la resistencia estomatal de las plantas de tomate, bajo cada micro ambiente propiciado por las películas fotoselectivas. Para la medición se utilizó un analizador de gases de rayo infrarrojo LI-6200 Portable Photosynthesis System de LI-COR Co.

3.9.4. Acumulación de Materia Seca.

Para evaluar la acumulación de materia seca se hicieron cuatro muestreos: al momento del transplante y a los 23, 45 y 93 días después del mismo. Se tomaron tres plantas por tratamiento en cada muestreo, las plantas se cortaron a ras de suelo y se seccionaron en tallo, hojas, flores y frutos, posteriormente se colocaron en bolsas de papel estraza, para después ponerlas a secar por un período de 48 horas a 75 grados centígrados en una estufa Blu M. Electric Company, finalmente cada una de las partes de las plantas se pesaron en una balanza analítica digital OHAUS modelo EP413 y en una balanza electrónica digital modelo AL-K de Denver Instrument Company.

3.9.5. Medición de Área Foliar.

La superficie asimilatoria se determinó con un medidor de área foliar LICOR 3100 en los dos primeros muestreos. La estimación del área foliar en los dos muestreos restantes (3^{er} y 4^{to}) no fue posible realizarla de la misma manera, debido al volumen de tejido foliar. El cálculo se hizo con una ecuación de primer grado, obtenida por regresión lineal al correlacionar el peso seco de 100 hojas con su área foliar. Se obtuvieron dos ecuaciones, una para el tercer muestreo y otra para el cuarto ya que las fechas de evaluación fueron diferentes.

$$3^{\text{er}} \text{ Muestreo} \quad f(x) = 141.56x + 3.3837 \quad r^2 = 0.8315 \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$4^{\text{to}} \text{ muestreo} \quad f(x) = 152.99x + 4.2493 \quad r^2 = 0.8886 \quad \text{Ecuación 3.2}$$

En donde:

$f(x)$ = Área foliar expresada en cm^2

x = peso seco de la hoja expresado en gramos (g)

Las ecuaciones 1 y 2 fueron usada para determinar el área foliar de todos los tratamientos en el tercero y cuarto muestreo respectivamente dado que no hubo diferencias significativas en los dos primeros muestreos en el AFE.

3.9.6. Rendimiento.

Para determinar el rendimiento experimental del cultivo se cosecharon los frutos en madurez comercial de una de las dos camas que conformaron la unidad experimental. Los frutos se contaron y se pesaron para obtener el rendimiento en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ o $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$

3.10. Cinética de Crecimiento.

El análisis de crecimiento consistió en un estudio de la velocidad de acumulación de materia seca (biomasa), del patrón de distribución en las diferentes partes de la planta, de los cambios en la superficie asimilatoria (área foliar) y de los efectos ambientales sobre dicho proceso (temperatura del suelo y radiación reflejada).

3.10.1. Índices de Crecimiento.

La definición del valor instantáneo de los índices de crecimiento es el siguiente:

$$\text{Tasas de crecimiento absoluto: } \frac{\Delta Y}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$\text{Tasas de crecimiento relativo: } \frac{1}{Y} \frac{\Delta Y}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$\text{Tasas de crecimiento compuesto: } \frac{1}{Z} \frac{\Delta Y}{\Delta t} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

En donde ΔY y ΔZ son los cambios o variaciones en las variables de respuesta (pesos secos o superficie asimilatoria) y Δt los cambios (intervalo) en la variable de estímulo (tiempo). El análisis de crecimiento es entonces un estudio de la cinética de crecimiento (crecimiento a través del tiempo).

Resultó difícil hacer un estudio del crecimiento en intervalos de tiempo cortos, ya que el muestreo fue destructivo y se hubieran perdido muchas plantas, por lo tanto con las formulas anteriores solo se obtuvieron valores medios en intervalos de tiempo de t_2 a t_1 , las ecuaciones de los índices de crecimiento con las que se trabajo fueron las siguientes:

$$TCR = \frac{(\ln Y_2 - \ln Y_1)}{(t_2 - t_1)} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

en donde:

TCR = Tasa de Crecimiento Relativo expresada en ($\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$)

Y_2 = Variable de respuesta en el tiempo 2, generalmente peso seco de vástago, hoja, flor o fruto expresado en gramos (g).

Y_1 = Variable de respuesta en el tiempo 1 expresada en gramos (g).

t_2 = Tiempo dos expresado en días después del transplante (DDT).

t_1 = Tiempo uno expresado en días después del transplante (DDT).

$$TAN = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(t_2 - t_1)} \times \frac{(\ln Z_2 - \ln Z_1)}{(Z_2 - Z_1)} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

en donde:

TAN = Tasa de Asimilación Neta expresada en ($\text{g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

Y_2 = Peso seco del componente (vástago) en el tiempo dos expresado en gramos (g).

Y_1 = Peso seco del componente (vástago) en el tiempo uno expresado en gramos (g).

Z_2 = Área foliar en el tiempo dos expresada en m^2

Z_1 = Área foliar en el tiempo uno expresada en m^2

t_2 = Tiempo dos expresado en días después del transplante (DDT).

t_1 = Tiempo uno expresado en días después del transplante (DDT).

$$IECFr = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(t_2 - t_1)} \times \frac{(\ln Z_2 - \ln Z_1)}{(Z_2 - Z_1)} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

en donde:

$IECFr$ = Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto expresado en $(g\ m^{-2}\ día^{-1})$

Y_2 = Peso seco del componente (Fruto) en el tiempo dos expresado en gramos (g).

Y_1 = Peso seco del componente (Fruto) en el tiempo uno expresado en gramos (g).

Z_2 = Área foliar en el tiempo dos expresada en m^2

Z_1 = Área foliar en el tiempo uno expresada en m^2

t_2 = Tiempo dos expresado en días después del transplante (DDT).

t_1 = Tiempo uno expresado en días después del transplante (DDT).

3.10.2. Coeficientes de Partición de Biomasa.

Los coeficientes de partición de biomasa son la razón de una parte de la planta (componente) entre el total de la misma, la ecuación utilizada para el cálculo de este parámetro fue la siguiente:

$$CPB = \frac{(w_i)}{(W)} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

en donde:

CPB = Coeficiente de partición de biomasa expresado en fracción

w_i = Peso seco del componente expresado en gramos (g).

W = Peso seco de vástago (peso aéreo) expresado en gramos (g).

3.10.3. Razones Simples.

Las razones simples incluyen a la razón de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) y razón de peso foliar (RPF). Las formulas que se utilizaron son las siguientes:

$$RAF = \frac{(Z)}{(Y)} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

en donde:

RAF = Razón de Área Foliar ($m^2 g^{-1}$)

Y = Peso seco de vástago expresado en gramos (g).

Z = Área foliar en cm^2 o m^2

$$RPF = \frac{(Z)}{(Y)} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

en donde:

RPF = Razón de Peso Foliar ($g g^{-1}$)

Y = Peso seco de vástago expresado en gramos (g).

Z = Peso seco de las hojas expresado en gramos (g).

$$AFE = \frac{(Z)}{(Y)} \quad \text{Ecuación 3.12}$$

en donde:

AFE = Área Foliar Especifica ($m^2 g^{-1}$)

Y = Peso seco de las hojas expresado en gramos (g).

Z = Área foliar expresada en cm^2 o m^2

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) Reflejada.

En los tres periodos de evaluación, hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre los valores de radiación reflejada por cada una de las películas fotoselectivas (Cuadro 4.1). La tendencia de los valores de RFA reflejada en función del tiempo (días después del transplante DDT), es de decrecer (Figura 4.1), debido al crecimiento de la planta, la cual incrementa su cobertura y evita que los rayos del sol incidan en el acolchado, disminuyendo sustancialmente la RFA reflejada por estos.

Cuadro 4.1 Comparación de los valores medios de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) reflejada a las 14:00 horas, para siete películas fotoselectivas usadas para el acolchado de suelo en tomate.

Tratamiento	RFA reflejada a las 14:00 h ($\mu\text{mol}(\text{quantum}) \text{seg}^{-1} \text{m}^{-2}$)		
	0 – 23 ^P	23 - 45	45 - 93
azul	265.31 c ^S	49.25 e	13.01 cd
rojo	334.07 b	166.67 b	17.13 c
transparente	333.87 b	123.36c	14.49 c
blanco	754.51 a	286.77 a	22.76 b
café	233.33 c	86.14 d	60.43 a
plateado	394.73 b	216.00 a	24.59 b
negro	193.60 d	79.05 d	13.44 d
C. V. (%)	5.18	6.24	25.89
Significancia	**	**	**
DMS _{0.05}	0.078	0.071	9.24

^P Días Después del Transplante (DDT)

^S Letras iguales dentro de cada columna indican valores estadísticamente iguales entre tratamientos.

** Diferencia altamente significativa

C. V. (Coeficiente de variación)

DMS. Diferencias Mínima Significativa

Decoteu *et al.*, (1990) en un trabajo similar con pimiento morron, mencionan que a medida que la planta va creciendo y sombrea al acolchado, la cantidad de radiación reflejada disminuye.

En el primer periodo de evaluación, el acolchado blanco fue el más reflectivo con un 42% seguido del plateado con una reflexión del 22% respecto a la radiación total incidente, mientras que el acolchado negro y café solo reflejaron en promedio un 11 y 13%, respectivamente, de la radiación total incidente respectivamente (Cuadro 4.1).

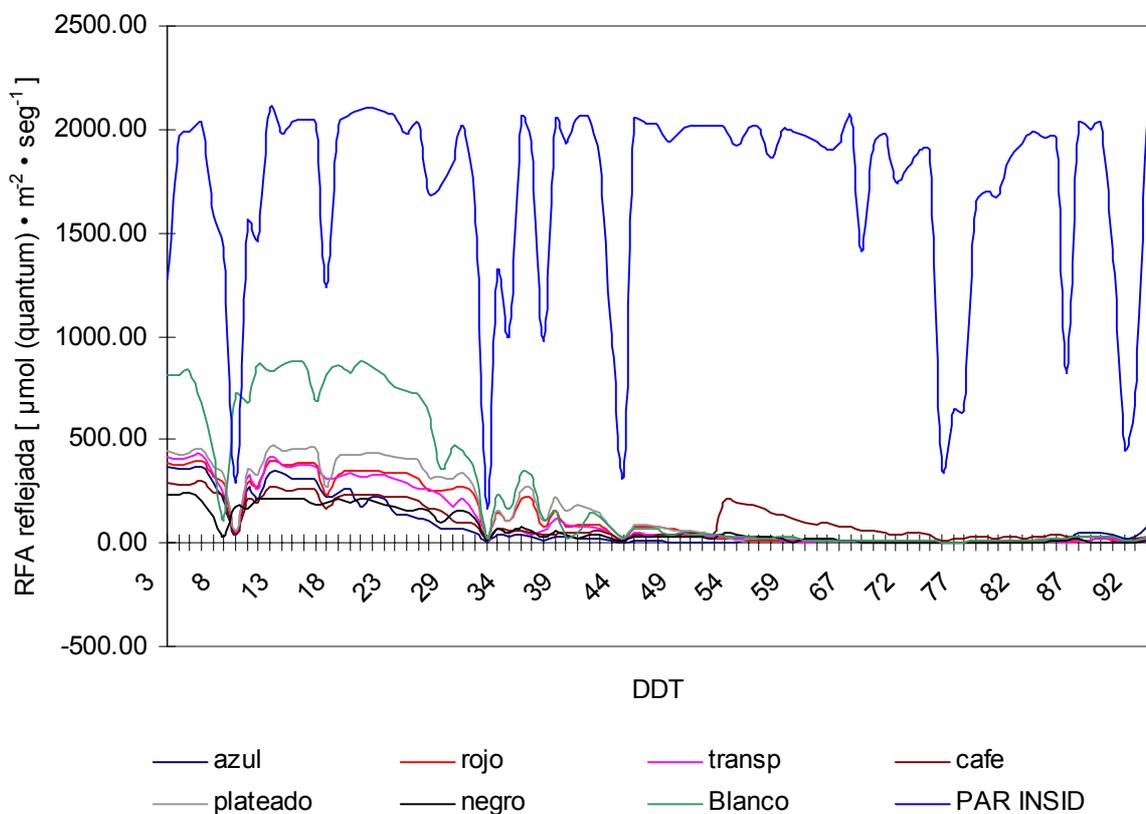


Figura 4.1. RFA reflejada a las 14:00 horas por las diferentes películas fotoselectivas y radiación incidente, en función del tiempo, durante el ciclo del cultivo.

Para el periodo comprendido entre los 23 y 45 ddt, las películas plásticas blancas y plateadas continuaron siendo las más reflectivas y estadísticamente iguales entre ellas según la prueba DMS al 0.05 de probabilidad. El acolchado negro y esta vez el azul fueron los que menos reflejaron con un 5 y 3%, respectivamente. Decoteau *et al.*, (1989) mencionan en un trabajo con

acolchados fotoselectivos en tomate, que los acolchados blancos y plateados fueron los que más luz total reflejan y los que una proporción relativa mas baja de luz roja lejana y rojo total tienen, en comparación con los acolchados negro o rojo.

El elevado nivel de variación en los valores medios de radiación reflejada, en el ultimo periodo de evaluación, es atribuible al muestreo destructivo para realizar el análisis de crecimiento; áreas del acolchado cercanas al sensor quedaron descubiertas esto explica el cambio abrupto de la curva de la radiación reflejada por el color café en la Figura 4.1.

Las diferencias entre la cantidad de Radiación Fotosinteticamente Activa reflejada, también se observaron en el transcurso de las horas del día el blanco y el plateado fueron las películas que más PAR reflejaron mientras que el café y el negro los de menos radiación reflejada. Los valores pico de RFA reflejada se dan entre las 13 y las 15 horas del día (Figura A5).

El porcentaje de radiación reflejada también puede verse afectada por los residuos de plantas en la superficie del suelo; en suelo desnudo la radiación se incrementa, en suelo acolchado la radiación disminuye (Kasperbauer and Hunt, 1987)

4.2. Temperaturas del Suelo.

Las temperaturas del suelo fueron afectadas por el color del acolchado (Factor A) y por la presencia del forro aluminizado (Factor B), observándose además un efecto significativo ($P \leq 0.01$) de la interacción entre ambos factores. (Cuadro 4.2).

Los tratamientos que mostraron mayores valores medios de temperatura del suelo, en el primer periodo fueron los acolchados con plástico azul, café y rojo con 24.09, 24.20 y 24.32° C respectivamente. Mientras que el color blanco tuvo el valore medio mas bajos más con 20.96° C. Para el periodo intermedio de

evaluación el suelo de acolchado rojo fue el de temperaturas mas altas con 25.23° C, el de temperaturas medias más bajas siguió siendo el blanco con 22.1° C. En el ultimo periodo las temperaturas fueron más homogéneas, el café con 30.98° C y el azul con 29.35° C son los mas altos, la temperatura del suelo de los demás acolchados se mantuvo entre los 23 y 25° C en ese mismo periodo (Cuadro 4.2 y Figura, 4.4).

La presencia del forro aluminizado redujo las temperaturas del suelo en todos los colores de acolchado siendo estos efectos estadísticamente significativos en todos los periodos, en los colores azul, rojo y transparente. Las mayores diferencias en la temperatura del suelo, debidas a la presencia del forro aluminizado, se presentan en el acolchado transparente con 4° C de diferencia, seguido del azul y del rojo con 3.41 y 3.03° C, respectivamente; las diferencias en el café son mínimas (0.8° C) mientras que en el negro ocurre lo contrario el suelo se calienta mas con el forro que sin el. En ese mismo periodo de evaluación los acolchados con mayores temperaturas fueron el rojo (25.84 °C), el azul (25.79 °C) y el transparente (25.49 °C) todos ellos sin forro; los acolchados con menos temperaturas fueron el blanco y el transparente con forro. De acuerdo con lo anterior Decoteau et al. (1989) reporta que las temperaturas del suelo más calientes se dan debajo de los acolchados negros y rojos. El color del acolchado también afecta la producción y el crecimiento del tomate, las plantas de tomate producidas en acolchados rojos tienen las producciones comerciales tempranas más grandes y producen generalmente la cantidad mas baja de follaje. Las plantas crecidas en acolchados blancos y acolchados plateados tienen producciones comerciales tempranas más bajas pero producen más follaje.

Cuadro 4.2 Comparación de los valores medios de las temperaturas del suelo, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; a 7 cm de profundidad a las 14 h. en tres periodos de evaluación.

Factor A Color del acolchado		Tem. del suelo a 7 cm. de profundidad a las 14:00 h (°C)		
		0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul		24.09 a	23.98 c	24.57 b
rojo		24.32 a	25.13 a	24.89 a
transparente		23.49 b	23.40 d	23.95 c
blanco		20.96 d	22.10 e	23.27 d
café		24.20 a	24.57 b	23.96 c
negro		22.66 c	24.00 c	24.55 b
Significancia		**	**	**
DMS _{0.05}		0.32	0.29	0.27
Factor B				
Forro Aluminizado		0 - 23	23 - 45	45 - 93
con forro		22.17 b	23.17 b	23.45 b
sin forro		24.40 a	24.55 a	24.95 a
Significancia		**	**	**
DMS _{0.05}		0.19	0.17	0.16
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	0 - 23	23 - 45	45 - 77
azul	con	22.38 d	22.80 e	23.16 e
	sin	25.79 a	25.16 b	25.98 a
rojo	con	22.81 d	24.39 c	24.52 c
	sin	25.84 a	25.87 a	25.27 b
transparente	con	21.49 e	21.57 f	22.49 f
	sin	25.49 a	25.22 b	25.41 b
blanco	con	19.76 f	21.47 f	23.29 e
	sin	22.16 de	22.73 e	23.24 e
café	con	23.80 c	24.63 c	23.79 d
	sin	24.60 b	24.51 c	24.13 cd
negro	con	22.76 d	24.16 d	23.43 d
	sin	22.55 d	23.85 d	25.67 a
DMS _{0.05}		0.46	0.41	0.39
Significancia		**	**	**
C. V. (%)		3.25	2.93	3.22

Para el segundo muestreo las diferencias más significativas entre acolchados con forro y sin forro fueron en el transparente con 3.65°C , mientras que en el acolchado negro y en el café ocurrió lo contrario, la presencia del forro aluminizado eleva la temperatura un poco: 0.12°C en el café y 0.31°C en el negro. El acolchado más caliente continuaron siendo el rojo sin forro con 25.87°C y el de menos temperatura el blanco con forro con 21.47°C (Cuadro 4.2).

En el último muestreo las temperaturas fueron más estables, sin embargo el acolchado más caliente fue el azul sin forro con 25.98°C , seguido del transparente y rojo también sin forro con 25.41° y 25.27°C respectivamente. Quezada (1996) reporta temperaturas mayores en los acolchados transparentes que en los negros y menciona también que los gradientes de temperatura son mayores a menor profundidad del suelo. El efecto mas marcado del forro se da en el acolchado transparente con 2.92 y en el azul con 2.83°C de diferencia entre acolchados con forro y sin forro.

El comportamiento de la temperatura del suelo en las diferentes películas fotoselectivas en función del tiempo, fue de mantenerse más o menos constante entre los 20 y 30°C tanto en las películas con forro como en las que no lo tienen, alcanzando temperaturas máximas de 30 y 31°C en acolchados sin forro aluminizado y mínimas de 18 y 19°C en el acolchado blanco con forro, en los acolchados con forro se observaron menos variaciones en las temperaturas a partir del día 56 hasta los 77 después del transplante ya que las líneas de los diferentes colores tienden a unirse en una sola, cosa que no sucede con los acolchados sin forro (Figura 4.2). Esto también se debe a que el follaje se incrementa a través del tiempo interceptando la radiación, que al no llegar al suelo evita que este se caliente, por lo tanto el efecto del acolchado sobre el calentamiento del mismo disminuye o se anula.

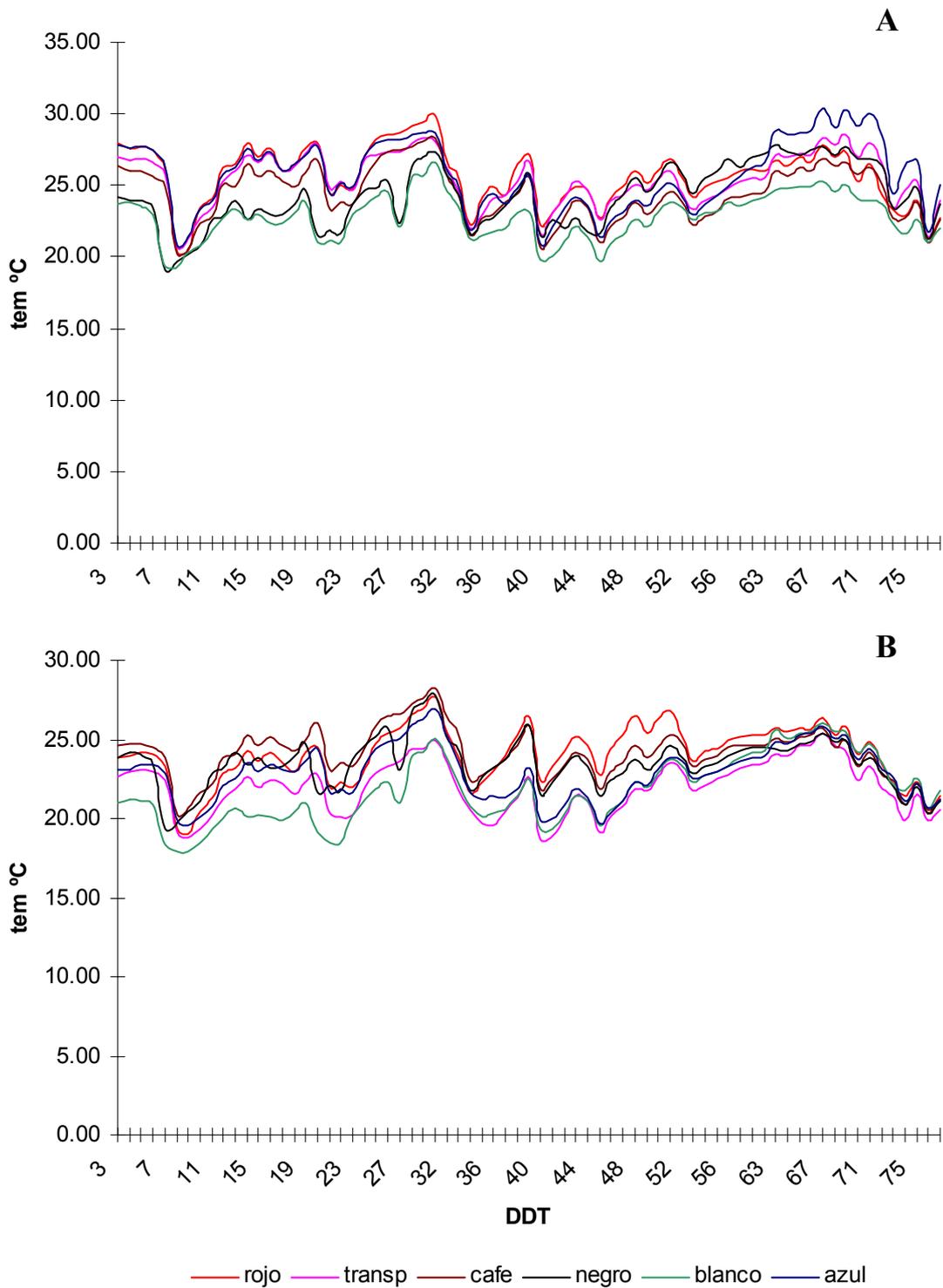


Figura 4.2. Temperatura del suelo a las 14:00 horas en las diferentes películas foselectivas sin forro aluminizado (A) y con forro aluminizado (B), en funcion del tiempo, durante el ciclo del cultivo (3 – 77 DDT).

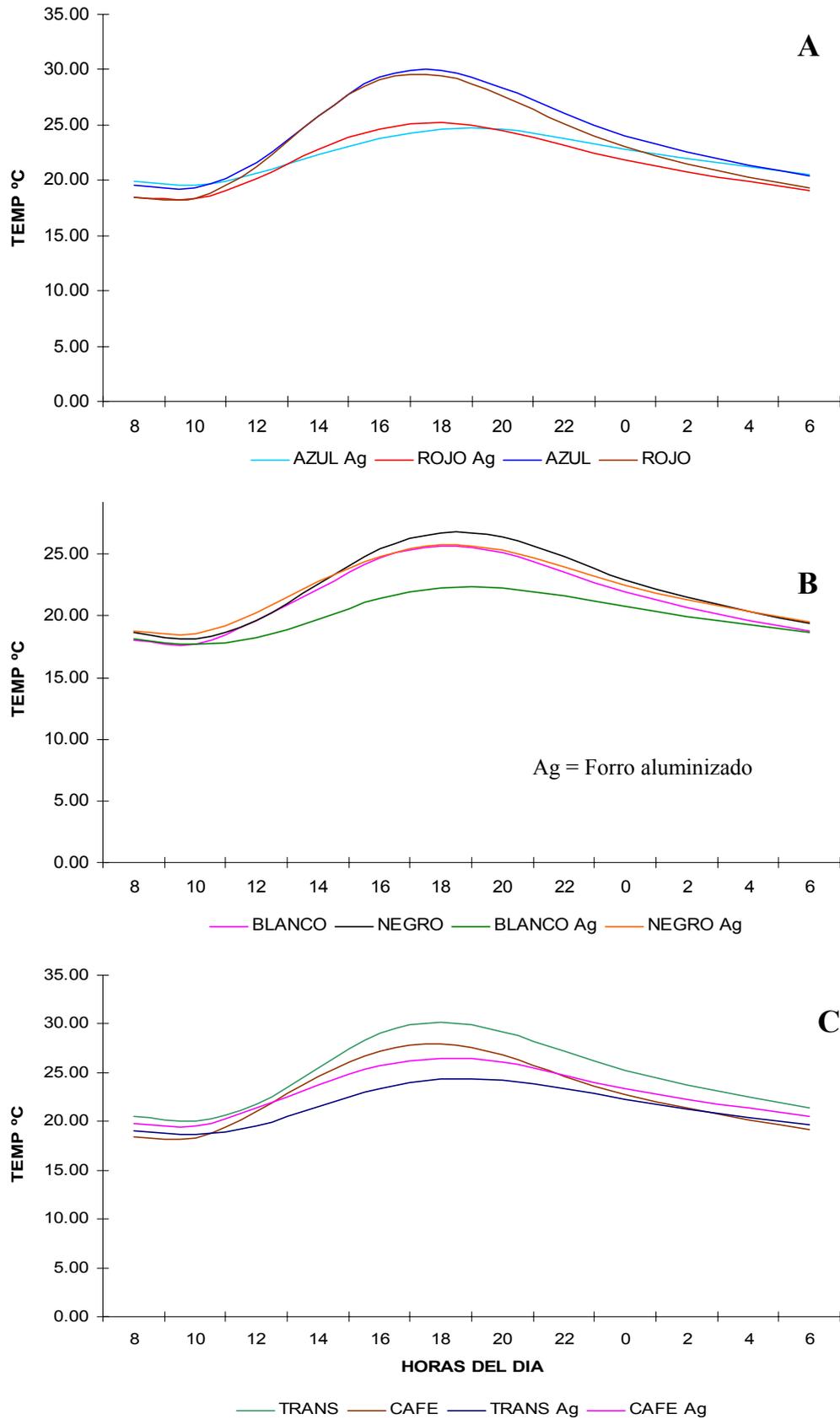


Figura 4.3 Temperatura del suelo en función de las horas del día en el acolchado azul y rojo (A), negro y blanco (B), y, transparente y café (C) con y sin forro aluminizado. Periodo de evaluación 3 – 23 DDT.

Por otra parte, las oscilaciones de temperatura durante el día fueron más grandes en las películas sin forro y menores en las películas con forro aluminizado (Figura 4.3 y 4.4). También nótese que las curvas sigmoidales de temperatura de la Figura 4.3, fueron menos pronunciadas en los acolchados que poseen el forro que en las que no lo tienen.

Durante el primer periodo de evaluación, periodo en el que el efecto del acolchado sobre las temperaturas del suelo fue mayor, se puede observar con mayor claridad las variaciones de temperatura del día y la noche, la presencia del forro aluminizado hizo que estos cambios de temperatura fueran menores.

Los acolchados azul y rojo sin forro fueron los más calientes en horas pico con temperaturas cercanas a los 30° C, entre las 16 y 18 horas del día, junto con el acolchado transparente y café también sin forro (Figura 4.4).

Las diferencias mas determinantes se dieron durante el día entre las 12 y 18 horas cuando el sol incidió en los acolchados y calentó el suelo. En la noche las diferencias de temperatura entre acolchados con forro y sin forro del mismo color fueron nulas, y las variaciones entre colores fueron muy pequeñas. La presencia del forro aluminizado ayudo a disminuir las diferencias de temperatura entre el día y la noche y evito que la planta entrara en estrés por las altas temperaturas del suelo (Figura 4.4).

Por lo tanto, el forro aluminizado puede servir para amortiguar los cambios bruscos de temperatura en el suelo en regiones de climas extremos como los del semidesierto; o para disminuir los efectos por las altas temperaturas en acolchados que calientan mucho el suelo como el rojo, azul y transparente, ya que las altas temperaturas del suelo pueden detener el crecimiento de la planta

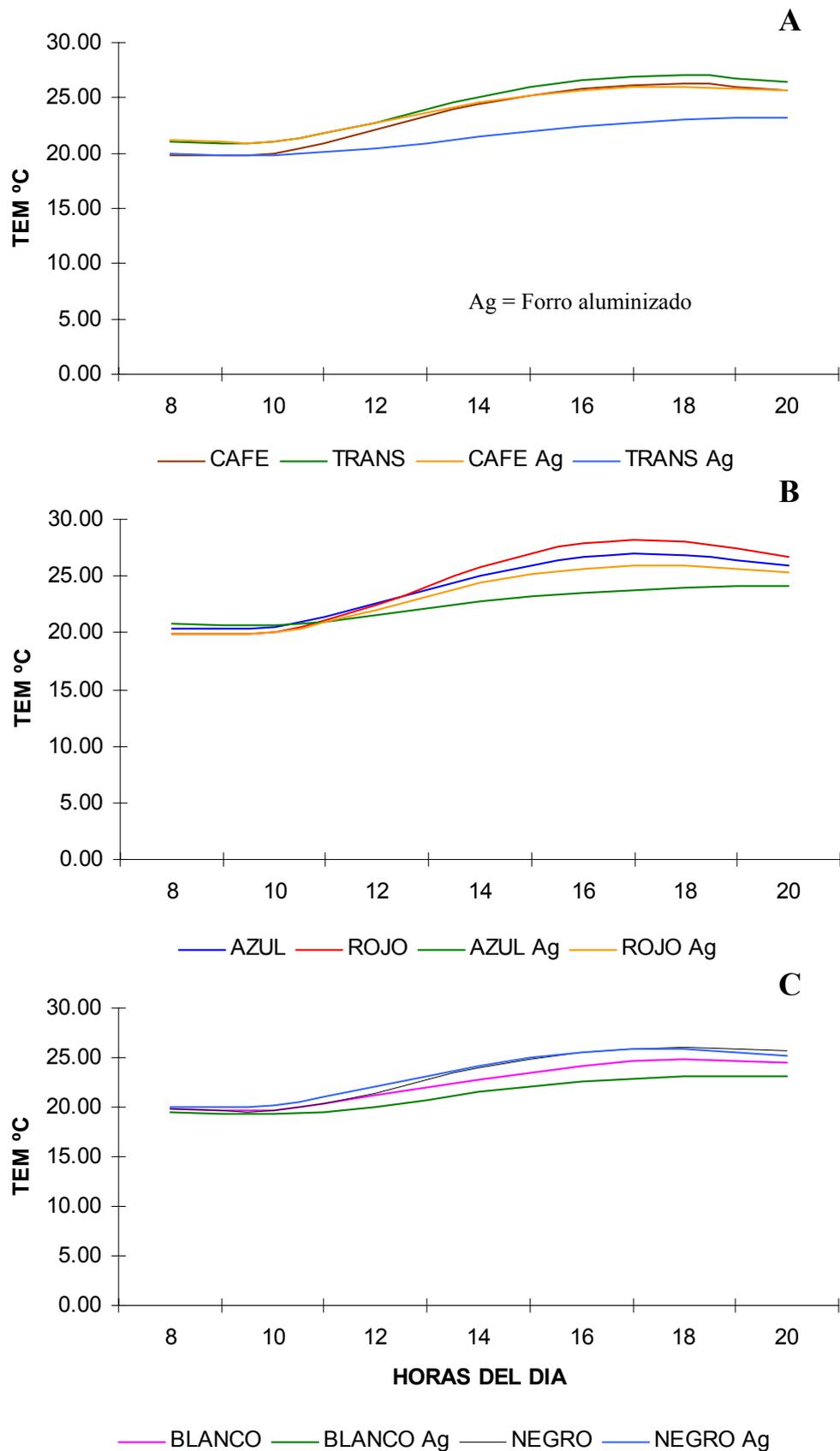


Figura 4.4. Temperatura del suelo en función de las horas del día en el acolchado café y transparente (A), azul y rojo (B), y blanco y negro (C) con y sin forro aluminizado. Periodo de evaluación 23 – 45 DDT.

4.3. Fotosíntesis y Resistencia Estomatal.

Los resultados del análisis de varianza de fotosíntesis y resistencia estomatal no mostraron diferencias significativas para ninguno de los dos factores ni para su interacción. Sin embargo, se observó una relación inversamente proporcional entre fotosíntesis y resistencia estomatal, entre mayor fue la resistencia estomatal menor fue la fotosíntesis y viceversa (Cuadro 4.3). Los valores más bajos de fotosíntesis se dieron en las plantas colocadas en acolchado negro con $8.759 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y en acolchado café con $9.981 \mu\text{mol CO}_2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

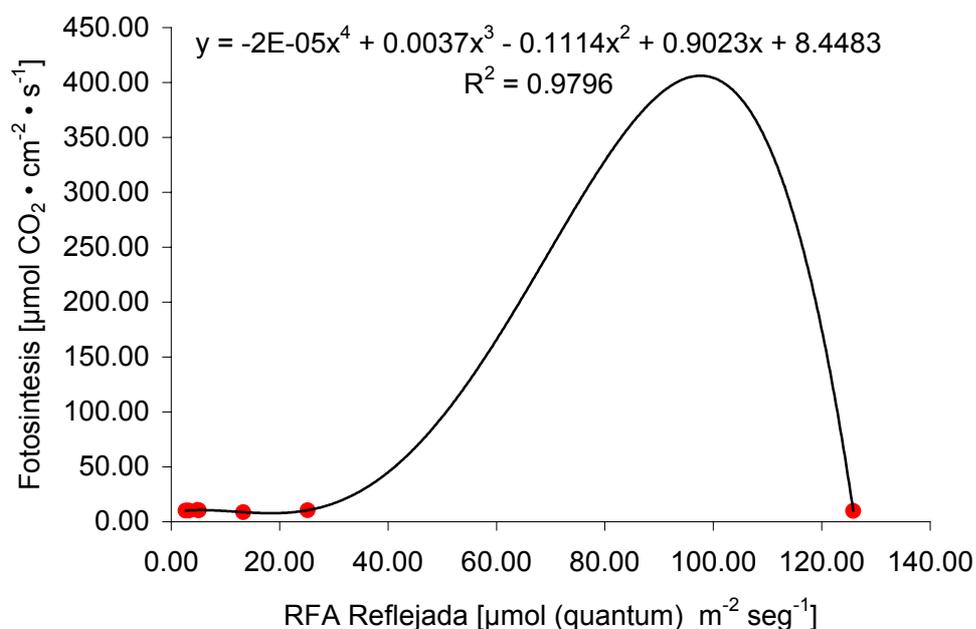


Figura 4.5 Fotosíntesis en función de la radiación reflejada por los acolchados con ecuación de tendencia y factor de correlación.

Se hizo una correlación entre fotosíntesis y radiación reflejada para determinar si la tasa de asimilación de CO_2 estaba en función de la RFA reflejada. El coeficiente de determinación fue alto (0.9796) y la función polinomial que más se ajustó a la distribución de los puntos fue de cuarto grado (Figura 4.5).

Cuadro 4.3 Comparación de los valores medios de tasas de asimilación de CO₂ y de resistencia estomatal para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos.

Factor A Color del acolchado		Fotosíntesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$)	Resistencia estomatal (s cm^{-1})
		58 DDT	58 DDT
azul		10.308	1.749
rojo		10.141	1.959
transparente		10.791	1.621
blanco		10.541	1.676
café		9.981	1.841
plateado		10.480	1.766
negro		8.759	2.196
Significancia		NS	NS
Factor B			
Forro aluminizado		58 DDT	58 DDT
con forro		9.939	1.968
sin forro		10.346	1.691
Significancia		NS	NS
Interacción			
Color del acolchado	Forro aluminizado	58 DDT	58 DDT
azul	con	8.884	2.250
	sin	11.733	1.248
rojo	con	8.806	2.322
	sin	11.476	1.597
transparente	con	11.212	1.503
	sin	10.371	1.739
blanco	con	10.182	1.814
	sin	10.900	1.537
café	con	10.330	1.868
	sin	9.632	1.813
plateado	con	11.052	1.657
	sin	9.907	1.875
negro	con	9.111	2.362
	sin	8.406	2.030
C. V. (%)		16.88	25.93
Significancia		NS	NS

Entre mayor es la RFA reflejada mayor es la fotosíntesis. La fotosíntesis de la planta y el crecimiento subsiguiente son directamente proporcionales a los moles de luz recibidos por la planta (Decoteau and Friend, 1991c). Por lo tanto los valores mas altos de fotosíntesis se dieron en los acolchados más reflectivos como el blanco y el plateado mismos que presentaron menor resistencia estomatal, mientras que los valores más bajos en fotosíntesis y más altos en resistencia estomatal se presentaron en los acolchados que menos RFA reflejaron como el café y el negro en donde las temperaturas del suelo fueron altas, aunque estadísticamente las diferencias no fueron significativas (Cuadro 4.3). Evans y Poorter (2001) mencionan que la tasa fotosintética media por unidad de área foliar bajo irradiaciones de crecimiento fue, en promedio, tres veces superior para las plantas desarrolladas en luz larga que para las plantas crecidas bajo luz corta, y dos veces mayor cuando está medida era cercana a la saturación lumínica.

También se hizo una correlación de la fotosíntesis en función de las temperaturas del suelo pero se demostró que este proceso no dependió mucho de la temperatura; el factor de correlación fue de $r^2 = 0.5152$ y la ecuación que más se ajusto fue un polinomio de alto grado. (Figura A1). Esta correlación dice poco porque los valores de fotosíntesis que se tienen fueron solo de un muestreo a los 58 DDT y es probable que en otras etapas del ciclo del cultivo el proceso se haya visto afectado por dichas temperaturas.

4.4. Análisis de Crecimiento.

En cuanto al análisis de crecimiento se refiere, según los resultados del análisis de varianza, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de acumulación de materia seca, ya que las tasas de crecimiento relativo (TCR) de vástago, tallo y hojas, fueron iguales para todos los acolchados (Cuadro A1, A2 y A3). Se observaron diferencias mínimas en las TCR de flor, pero con coeficientes de variación muy altos. El patrón de distribución de biomasa en las diferentes partes de la planta fue el mismo en la mayoría de los acolchados, excepto en los CPB de hojas y fruto en el ultimo

muestreo y de tallo en el segundo, mismos que afectaron otras variables relacionadas matemáticamente como la RPF (Razón de Peso Foliar) y el IECFr (Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto). Los cambios en la superficie asimilatoria (área foliar) fueron debidos a las variaciones en la RPF la cual provocó cambios en la RAF (Razón de Área Foliar) ya que el AFE fue siempre constante. El factor más limitante en el crecimiento del cultivo fue la temperatura del suelo. Los efectos de la radiación fotosintéticamente activa reflejada sobre el cultivo, se dieron en las primeras etapas del ciclo pero no influyeron en su crecimiento ni en el rendimiento final.

4.4.1. Coeficientes de Partición de Biomasa.

En la Figura 4.6 se muestra el patrón de distribución de la biomasa en las plantas de tomate; la proporción de materia seca en la hoja con respecto al vástago fue alta en las primeras etapas del cultivo, pero al pasar los días, fue disminuyendo por que la planta comenzó a gastar energía en otros procesos como la floración. La biomasa en el tallo fue poca al inicio, pero con el tiempo se incrementó hasta alcanzar cantidades máximas en el tercer muestreo, después disminuyó por la formación de fruto. Por su parte la proporción de materia seca en la flor respecto al vástago fue más o menos constante durante todo el ciclo del cultivo. La acumulación de biomasa en el fruto comenzó a los 45 DDT y se incrementó para la última fecha de muestreo.

Según el análisis de varianza, los coeficientes de partición de biomasa de hojas mostraron diferencias significativas únicamente al 0.05 de probabilidad; en el último muestreo hubo efecto interactivo y del factor A (Acolchados). Las plantas que más biomasa enviaron a la hoja al final del ciclo fueron las colocadas en acolchado negro y transparente con 45.5 y 45.1% de materia seca, respectivamente. (Cuadro 4.4).

Las plantas de menor CPBh fueron las de acolchado blanco con 33.4%. Por otra parte el efecto de la interacción significativo al $P \leq 0.05$ se acentuó también en este acolchado, en donde la presencia del forro aluminizado afectó significativamente el CPBh, siendo mejor en los acolchados blancos en donde

se tenía el forro con 40.2%. La presencia o ausencia del forro aluminizado (Factor B) no provocó cambios importantes en la distribución de Biomasa hacia la hoja, independientemente de la película en la que se encontraba (Cuadro 4.4).

Se observó un efecto (significativo al 0.05 de probabilidad) interactivo en el CPB hoja, este efecto fue provocado por las propiedades térmicas de los acolchados, es decir, por el efecto que estos provocan en las temperaturas del suelo, las variaciones más grandes se dieron en el acolchado azul en donde las plantas situadas en películas con forro aluminizado (de temperaturas menores) enviaron más biomasa a la hoja en un 11.3 % en comparación a las plantas situadas en acolchados que no tenían forro (temperaturas altas).

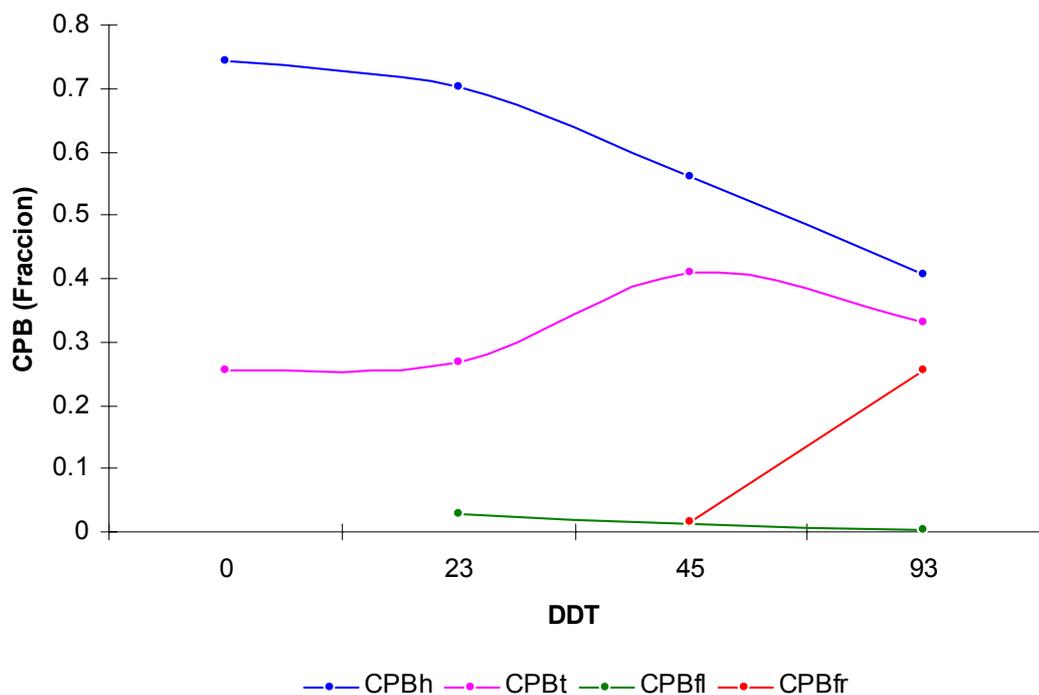


Figura 4.6 Distribución de la biomasa en plantas de tomate en función del tiempo

Otra diferencia significativa producto de la interacción se dio en el color blanco, las plantas de acolchados blanco con forro también enviaron más biomasa a la hoja en un 13.7 % con relación a las plantas de acolchados sin forro. Estas diferencias fueron similares en las temperaturas del suelo. Una de las

variaciones más grandes en temperatura de suelo en acolchados con y sin forro se dio en los acolchados azul, rojo, transparente y blanco.

Poorter and Nagel (2000) realizaron un meta-análisis de la literatura, analizando el efecto de varias variables ambientales sobre el coeficiente de partición de biomasa de las hojas (coeficiente total de la hoja), del vástago (coeficiente total del vástago) y las raíces (biomasa total de la raíz). Las respuestas a la luz, a los alimentos y al agua coincidieron con la (cualitativos) predicción de la teoría del equilibrio funcional. Según este modelo, las plantas responden a una disminución de recursos en el suelo con la partición creciente de biomasa a las hojas, mientras que responden a la disminución de recursos subterráneos con la partición creciente de biomasa a las raíces.

Uno de los cambios importantes en la distribución de la biomasa fue en el tallo en el segundo y tercer muestreo. Las plantas que más biomasa enviaron al tallo fueron las de los acolchados plateado, rojo, café y negro. Los dos primeros acolchados fueron los que más radiación RFA reflejaron y los dos últimos los que mantuvieron temperaturas medias. Las plantas de acolchado blanco fueron las mas bajas con un 38.2%.

También hubo efecto altamente significativo del factor B en el tercer muestreo, las plantas con forro aluminizado, independientemente de la película fotoselectiva, tuvieron más biomasa en el tallo con relación al total, con un 35.4% (Cuadro 4.5). En estas camas fue donde más fresco se encontraba el suelo (Figura 4.3).

El Coeficiente de Partición de Biomasa del fruto según los resultados del análisis de varianza, en el último muestreo, fue estadísticamente significativo, estos cambios provocaron variaciones también en el IECFr (Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto) y finalmente en el rendimiento. Se observó un efecto significativo del factor A, las plantas con mas fruto fueron las del acolchado blanco y las del plateado con 37.8 y 33.2%, respectivamente, mientras que las plantas con menos fruto fueron las del acolchado negro (Cuadro 4.6). No hubo efecto interactivo ni del factor B.

Cuadro 4.4 Comparación de los valores medios de los Coeficientes de Partición de Biomasa hoja para cada tratamiento.

Factor A Color del acolchado		Coeficiente de Partición de Biomasa hoja (fracción)		
		23	45	93
azul		0.704	0.562	0.424 ab
rojo		0.694	0.546	0.421 ab
transparente		0.766	0.570	0.451 a
blanco		0.709	0.583	0.334 c
café		0.679	0.559	0.422 ab
plateado		0.687	0.542	0.347 bc
negro		0.689	0.572	0.455 a
Significancia		NS	NS	*
DMS _{0.05}				0.082
Factor B				
Forro plateado		23	45	93
con forro		0.720	0.564	0.401
sin forro		0.688	0.560	0.414
Significancia		NS	NS	NS
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	23	45	93
azul	con	0.725	0.565	0.484 a
	sin	0.683	0.559	0.366 b
rojo	con	0.701	0.550	0.446 a
	sin	0.687	0.543	0.396 a
transparente	con	0.802	0.554	0.406 a
	sin	0.730	0.586	0.496 a
blanco	con	0.722	0.591	0.402 a
	sin	0.695	0.575	0.265 b
café	con	0.685	0.544	0.392 a
	sin	0.674	0.574	0.453 a
plateado	con	0.706	0.558	0.358 b
	sin	0.669	0.525	0.335 b
negro	con	0.702	0.589	0.438 a
	sin	0.676	0.555	0.472 a
C. V. (%)		8.41	4.40	16.92
Significancia		NS	NS	*
DMS _{0.05}				0.116

Cuadro 4.5 Comparación de los valores medios de los Coeficientes de Partición de Biomasa tallo para cada tratamiento.

Factor A Color del acolchado		Coeficiente de Partición de Biomasa tallo (fracción)		
		23	45	93
azul		0.257	0.403 bcd	0.304
rojo		0.283	0.422 ab	0.357
transparente		0.223	0.392 cd	0.332
blanco		0.264	0.382 d	0.285
café		0.279	0.418 abc	0.357
plateado		0.280	0.429 a	0.318
negro		0.295	0.406 abcd	0.365
Significancia		NS	*	NS
DMS _{0.05}			0.026	
Factor B				
Forro plateado		23	45	93
con forro		0.261	0.407	0.354 a
sin forro		0.276	0.409	0.308 b
Significancia		NS	NS	**
DMS _{0.05}				0.032
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	23	45	93
azul	con	0.263	0.405	0.333
	sin	0.252	0.401	0.275
rojo	con	0.293	0.425	0.424
	sin	0.273	0.420	0.290
transparente	con	0.190	0.397	0.354
	sin	0.256	0.389	0.309
blanco	con	0.241	0.382	0.281
	sin	0.288	0.383	0.290
café	con	0.275	0.430	0.353
	sin	0.283	0.408	0.362
plateado	con	0.283	0.418	0.350
	sin	0.277	0.441	0.286
negro	con	0.284	0.390	0.386
	sin	0.305	0.423	0.344
C. V. (%)		16.89	5.45	15.58
Significancia		NS	NS	NS

En los Coeficientes de Partición de Biomasa de flores no hubo diferencias significativas entre tratamientos en ningún muestreo (Cuadro A4). Las cantidades crecientes de radiación fotosintéticamente activa dan lugar a mayor peso seco de frutos (Antonious y Kasperbauer, 2002).

4.4.2 Área Foliar Especifica.

Los resultados del análisis de varianza del área foliar especifica no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos en ningún muestreo, esta variable definida como la razón del área foliar entre la biomasa de la hoja ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$) fue la misma en todos los tratamientos, ya que para el tercero y cuarto muestreo se usaron las Ecuaciones de regresión lineal 2 y 3 respectivamente para poder estimar la superficie de la hoja en función de su peso. Por lo anterior es lógico que el Área Foliar Especifica haya sido la misma en todos los tratamientos en cada periodo de muestreo (Cuadro A6). Sin embargo pudo notarse que conforme pasó el tiempo el AFE tendió a disminuir, es decir, la hoja se fue haciendo mas gruesa.

4.4.3. Razón de Peso Foliar.

La Razón de Peso Foliar de t_1 a t_2 es una media de los dos Coeficientes de Partición de Biomasa de hoja en t_1 y t_2 , por lo tanto los cambios en esta variable en el último periodo de evaluación (45-93 DDT) estuvieron determinados por el CPBh a los 93 DDT (Cuadro A5).

Cuadro 4.6 Comparación de los valores medios de los Coeficientes de Partición de Biomasa fruto para cada tratamiento.

Factor A Color del acolchado		Coeficiente de Partición de Biomasa fruto (fracción)	
		45	93
azul		0.022	0.267 bc
rojo		0.016	0.217 c
transparente		0.023	0.212 c
blanco		0.020	0.378 a
café		0.008	0.216 c
plateado		0.014	0.332 ab
negro		0.010	0.174 c
Significancia		NS	**
DMS _{0.05}			0.096
Factor B			
Forro plateado		45	93
con forro		0.015	0.240
sin forro		0.017	0.273
Significancia		NS	NS
Interacción			
Color del acolchado	Forro plateado	45	93
azul	con	0.019	0.298
	sin	0.026	0.235
rojo	con	0.011	0.123
	sin	0.022	0.310
transparente	con	0.035	0.234
	sin	0.012	0.190
blanco	con	0.012	0.314
	sin	0.029	0.442
café	con	0.014	0.252
	sin	0.003	0.180
plateado	con	0.008	0.289
	sin	0.020	0.376
negro	con	0.010	0.170
	sin	0.011	0.178
C. V. (%)		100.53	31.53
Significancia		NS	NS

En el Cuadro A5 se muestra el análisis de varianza para esta variable, los resultados son similares a los de CPB hoja, estadísticamente se tienen diferencias significativas provocadas por el acolchado en el último periodo, en donde las plantas de valores altos de RPF son las ubicadas en acolchados negro, transparente y azul con 51.4, 51.1 y 49.3 mg de hoja por g de vástago respectivamente. Las plantas de menor RPF son las del acolchado plateado con 44.4 mg g⁻¹. No hay efecto del forro aluminizado en dicho periodo de evaluación pero sí de la interacción de los factores, en donde el efecto más grande del forro aluminizado se dio en el acolchado blanco, las plantas de este acolchado con forro (de temperaturas bajas) presentan una RPF de 49.7mg g⁻¹, las que no lo tiene (de temperaturas altas) de 42 mg g⁻¹ (Cuadro A5). También hay efecto significativo del forro aluminizado en esta variable, en los colores rojo, azul y transparente, en donde las variaciones en temperatura entre los acolchados con forro y sin forro fueron también grandes.

Las diferencias de temperaturas y de RFA reflejada en cada uno de los acolchados pudo haber afectado la partición de biomasa hacia la hoja y con ello la RPF, sin embargo los factores de correlación de esta variable con las temperaturas medias y la RFA reflejada en ese periodo de evaluación no fueron muy altos (Figura A3). Al respecto Poorter and Nagel (2000) mencionan que los efectos de la luz, del CO₂ y del agua en los coeficientes de partición de la biomasa de la hoja y por lo tanto en la razón de peso foliar son pequeños comparados con los efectos sobre las tasa de crecimiento relativo. Mientras que Antonious and Kasperbauer (2002), presumen que el color de la luz reflejada de la superficie del suelo a las hojas de plantas en crecimiento en suelo podría dar lugar a modificaciones en las concentraciones de biomasa en raíces comestibles. Estos autores estudiaron plantas de zanahoria desarrolladas en parcelas de terreno con riego por goteo que fueron cubiertas con paneles que reflejaron varias combinaciones de luz: rojo lejano (FR), rojo (R), y la luz azul (BI) a las hojas en crecimiento. Encontraron que la luz reflejada del rojo lejano y rojo estimulaba la repartición de biomasa a la hoja y provocaba una disminución en los coeficientes de partición de biomasa de raíz.

Las tendencias de esta variable son de ir disminuyendo a través del tiempo ya que la proporción de materia seca de hoja respecto al vástago es menor. Se incrementa la acumulación de materia seca en otras partes de la planta como la flor y el fruto.

4.4.4. Razón de Área Foliar.

La RAF es el producto de la RPF por el AFE, por lo tanto los cambios en la RPF influyeron de manera directa en esta variable, el AFE no afectó a esta variable por que fue igual en todos los tratamientos. Estos cambios al igual que en la RPF se observaron en el ultimo periodo de evaluación, en el cual las plantas que más superficie asimilatoria tuvieron por unidad de biomasa en el vástago fueron las de acolchados negro con 75.34 y transparente con 74.89 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$, las plantas de acolchado plateado fueron las de menor RAF con 64.87 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$.

No hubo efecto del forro aluminizado, pero si de la interacción, nuevamente los efectos mas marcados del forro aluminizado se presentaron en plantas de acolchado blanco siendo mejores las de forro aluminizado con 72.62 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ y en plantas de acolchado plateado también con forro aluminizado con 66.93 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (Cuadro 4.7).

Las diferencias estadísticamente significativas en la RAF no se vieron reflejadas en la velocidad de acumulación de biomasa (TCR) a pesar de ser esta variable directamente proporcional a la RAF. Esto ocurre por que la TCR depende también de la TAN y en esta ultima variable durante el ultimo periodo de evaluación (45-93 DDT) no hubo diferencias estadísticamente significativas, por tal motivo las diferencias estadísticas en la RAF no afectan la TCR ya que se pierden al multiplicar la RAF con la TAN (Figura 4.7).

La Razón de Área Foliar disminuye paulatinamente en función del tiempo hasta mantenerse más o menos constante, esto ocurre por que la planta acumula biomasa en el fruto y gasta energía para la floración.

Cuadro 4.7 Comparación de los valores medios de la Razón de Área Foliar Biomasa fruto para cada tratamiento.

Factor A Color del acolchado		Razón de Área Foliar (cm ⁻² g ⁻¹)		
		0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul		153.39	86.42	72.31 ab
rojo		153.77	85.72	70.89 abc
transparente		157.58	91.20	74.89 a
blanco		147.44	81.98	66.813 bc
café		153.70	86.55	71.92 ab
plateado		146.62	78.22	64.87 c
negro		153.32	87.07	75.34 a
Significancia		NS	NS	*
DMS _{0.05}				6.38
Factor B				
Forro plateado		0 - 23	23 - 45	45 - 93
con forro		154.42	87.64	70.67
sin forro		150.10	82.98	71.34
Significancia		NS	NS	NS
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul	con	155.12	88.35	67.98 b
	sin	151.66	84.50	76.63 a
rojo	con	154.11	86.31	73.08 a
	sin	153.44	85.12	68.72 b
transparente	con	160.44	92.93	70.30 b
	sin	154.72	89.48	79.47 a
blanco	con	148.44	83.55	72.62 a
	sin	146.45	80.41	61.00 c
café	con	154.98	86.76	68.52 b
	sin	152.42	86.34	75.31 a
plateado	con	154.06	86.84	66.93 b
	sin	139.18	69.59	62.82 b
negro	con	153.80	88.74	75.21 a
	sin	152.84	85.40	75.45 a
C. V. (%)		5.09	9.48	7.58
Significancia		NS	NS	*
DMS _{0.05}				9.03

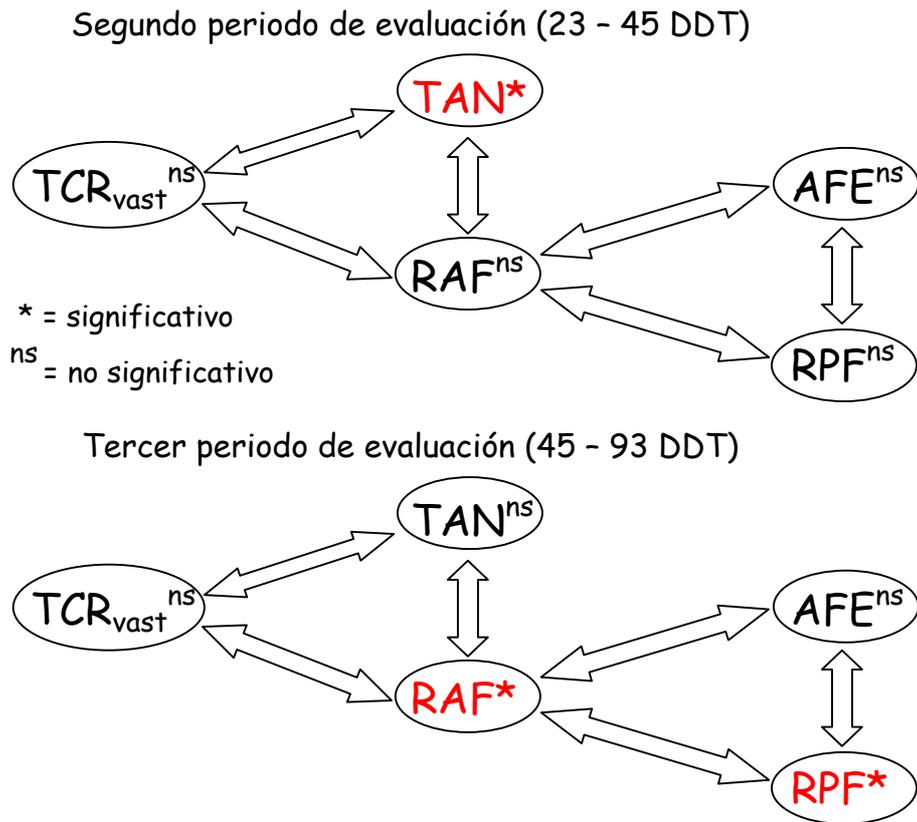


Figura 4.7 Interacción entre los componentes de la Tasa de Crecimiento Relativo y de la Razón de Área Foliar, y el efecto de los tratamientos sobre ellos, en el segundo y tercer periodo de evaluación.

4.4.5 Tasa de Asimilación Neta.

En la Tasa de Asimilación Neta se observaron cambios estadísticamente significativos solo en el segundo periodo de evaluación, en el factor A, en donde las plantas que más materia acumularon fueron las del acolchado plateado con $16.05 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ mientras que las plantas de acolchado café fueron las menos beneficiadas con una TAN de $13.05 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (Cuadro 4.8). La mayor parte de la biomasa promedio acumulada por metro cuadrado de superficie asimilatoria del día 23 al 45 DDT fue partida hacia el tallo ya que las diferencias entre tratamientos en el CPBt en este mismo periodo son similares (Cuadro 4.5).

Las TAN de las plantas evaluadas son bajas al inicio del ciclo del cultivo, después hay un incremento hasta alcanzar un punto máximo, para finalmente decrecer paulatinamente (Figura 4.8). Por otra parte el efecto en las TAN durante el segundo periodo de evaluación no se ve reflejado en las Tasas de Crecimiento Relativo, a pesar de ser dos variables directamente proporcionales. Esto ocurre por que la TCR no solo depende de la TAN si no también de la RAF y en esta última variable durante el periodo intermedio de evaluación (23-45 DDT) no hubo diferencias estadísticamente significativas, por tal motivo el efecto de las temperaturas del suelo sobre la TCR se pierde por la interrelación de la TAN con la RAF (Figura 4.7).

Generalmente, las variaciones en TAN están determinadas por la variación en la tasa fotosintética por unidad de área foliar (Konings, 1989). Por esta razón se esperaría que la TAN estuviera determinada por la fotosíntesis pero no se encontró una respuesta positiva. Al igual que en la RPF las temperaturas del suelo y la RFA reflejada pudieron haber afectado la TAN pero el coeficiente de determinación de la correlación entre estas variables fue muy bajo (Figura A4). Al respecto Bruggink y Heuvelink (1978) reportaron que una baja radiación PAR de 400 a 300 J cm⁻² día⁻¹ redujo la tasa de asimilación neta en tomate, pepino y chile dulce crecidas en invernadero; sin embargo, la tasa de crecimiento relativa permaneció casi sin cambio debido a un incremento en la razón de área foliar (cm² g⁻¹).

Cuadro 4.8 Comparación de los valores medios de la Tasa de Asimilación Neta en tres periodos de evaluación, para cada uno de los acolchados, para el forro y la interacción de ambos.

Factor A Color del acolchado		Tasa de Asimilación Neta (g m ⁻² día ⁻¹)		
		0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul		11.58	14.92 abc	6.39
rojo		11.95	15.21 ab	5.61
transparente		11.26	14.37 abc	5.85
blanco		12.87	13.81 bc	7.03
café		12.95	13.05 c	6.66
plateado		21.83	16.05 a	6.16
negro		12.00	13.23 bc	6.22
Significancia		NS	*	NS
DMS _{0.05}			2.00	
Factor B				
Forro plateado		0 - 23	23 - 45	45 - 93
con forro		12.06	14.09	5.94
sin forro		14.92	14.66	6.61
Significancia		NS	NS	NS
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul	con	11.19	14.92	6.91
	sin	11.97	14.91	5.88
rojo	con	11.73	14.22	5.36
	sin	12.17	16.20	5.87
transparente	con	12.05	14.19	5.15
	sin	10.47	14.55	6.56
blanco	con	11.79	14.15	6.36
	sin	13.95	13.46	7.70
café	con	13.50	13.20	6.27
	sin	12.39	12.90	7.05
plateado	con	12.44	14.63	5.67
	sin	31.23	17.47	6.65
negro	con	11.72	13.34	5.87
	sin	12.29	13.12	6.57
C. V. (%)		65.03	11.75	21.73
Significancia		NS	NS	NS

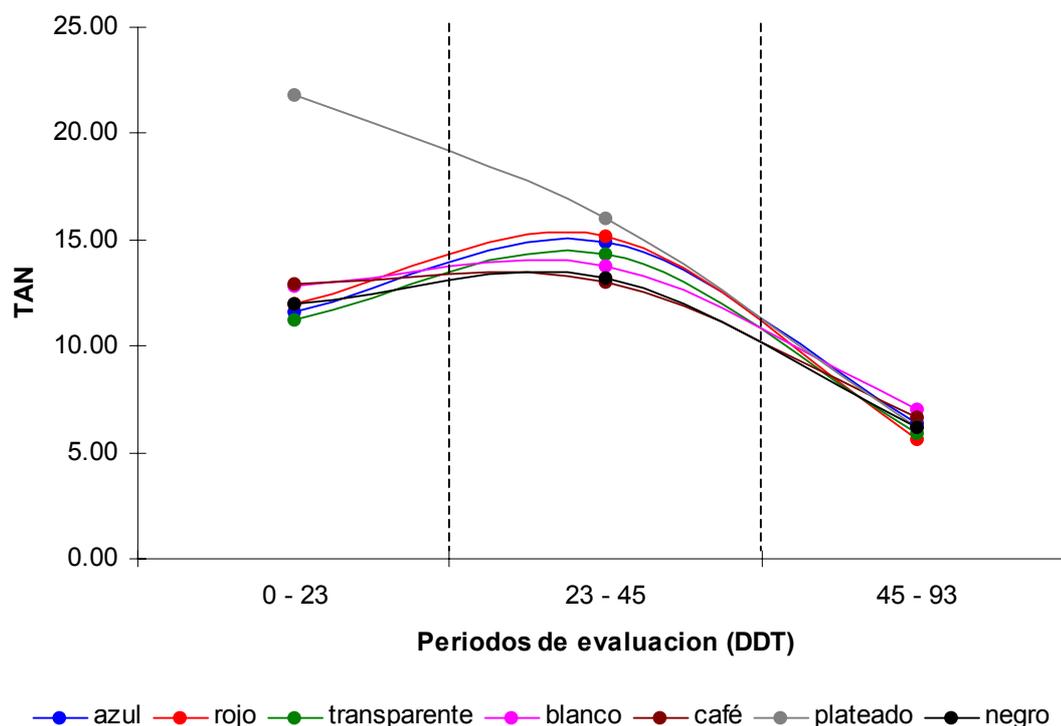


Figura 4.8 Tasa de asimilación neta en función del tiempo para los siete colores de acolchado.

4.4.6. Tasas de crecimiento relativo.

Según los resultados del análisis de varianza no hubo diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de crecimiento de la planta de tomate, ni en su tallo, ni en su hoja tampoco en el fruto. Los cambios más importantes en esta variable se dieron en la flor, cuya velocidad de crecimiento se vio afectada por la presencia del forro aluminizado durante el segundo periodo de evaluación, teniendo una TCR más alta ($126.31 \text{ mg g}^{-1} \text{ día}^{-1}$) los acolchados con forro, en donde las temperaturas del suelo fueron más bajas; por otra parte los acolchados sin forro tuvieron en promedio una TCR de $90.37 \text{ mg g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Cuadro 4.9).

La velocidad de acumulación de materia seca en la flor se vio afectada también por las películas fotoselectivas (Factor A) durante el tercer periodo de evaluación, siendo los acolchados negro con 30.94 , café con 22.08 y

transparente con $21.35 \text{ mg g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, los de TCR flor más altas. El acolchado más bajo fue el plateado disminuyendo la TCR hasta en un 82% respecto al acolchado de mayor TCR flor. Los factores actuaron de manera independiente, no hubo efecto interactivo.

La tendencia de las TCR de la planta fue de disminuir progresivamente, las tasas son altas al principio del ciclo del cultivo (0-23 DDT) posteriormente hubo una disminución paulatina de dicha velocidad de crecimiento (23-45 DDT), hasta terminar con valores bajos (Cuadro A1, A2 y A3).

La RFA reflejada y las temperaturas que guardan los acolchados no provocaron ningún efecto importante en la TCR de la planta o del vástago, sin embargo si afectaron sus componentes, la TAN en el segundo muestreo y la RAF, en el tercer muestreo.

Cuadro 4.9 Comparación de los valores medios de la Tasa de Crecimiento Relativo de flores (dos periodos de eval.) y de fruto (un periodo de eval.), para cada uno de los acolchados, para el forro y la interacción de ambos.

Factor A Color del acolchado		Tasa de Crecimiento Relativo (mg g ⁻¹ día ⁻¹)		
		flor		fruto
		23 - 45	45 - 93	45 - 93
azul		81.74	18.80 b	81.81
rojo		141.10	16.53 bc	97.07
transparente		137.26	21.35 ab	77.19
blanco		106.60	7.07 cd	105.60
café		80.32	22.08 ab	94.58
plateado		115.16	5.52 d	111.13
negro		96.23	30.94 a	60.61
Significancia		NS	**	NS
DMS _{0.05}			10.74	
Factor B Forro plateado				
con forro		126.31 a	14.97	92.98
sin forro		90.37 b	19.98	86.45
Significancia		*	NS	NS
DMS _{0.05}		34.42		
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	flor		fruto
		23 - 45	45 - 93	45 - 93
azul	con	126.0	13.8	71.0
	sin	37.5	23.8	92.6
rojo	con	158.8	21.2	94.4
	sin	123.4	11.8	99.8
transparente	con	148.5	14.7	85.1
	sin	126.1	28.0	69.3
blanco	con	117.1	11.4	114.4
	sin	96.1	2.7	96.8
café	con	84.4	14.1	105.0
	sin	76.3	30.1	84.2
plateado	con	138.1	4.5	118.0
	sin	92.3	6.5	104.2
negro	con	111.3	25.0	63.0
	sin	81.1	36.9	58.2
C. V. (%)		50.08	51.79	47.78
Significancia		NS	NS	NS

Según las correlaciones de la TCR en función de sus componentes, las pequeñas variaciones no significativas en la TCR vástago en el segundo periodo de evaluación están determinadas mayormente por la TAN y las variaciones de esta misma variable en el tercer muestreo están determinadas por la RAF, ya que los coeficientes de determinación favorecen a estos parámetros (Figura A2).

4.4.7. Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto.

Para el caso del Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto, se observaron diferencias significativas de los 45 a 93 DDT causadas únicamente por el color del acolchado, la presencia del forro aluminizado no provocó diferencias significativas, tampoco hubo efecto interactivo. Las plantas con valores altos en esta variable fueron las de las películas plásticas plateadas con $2.47 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y las de las películas blancas con $3.23 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, acolchados que tuvieron temperaturas más bajas y que más RFA reflejan; mientras que los valores más bajos del IECFr fueron los del negro en donde las temperaturas del suelo fueron altas y en donde menos reflexión hubo. (Cuadro 4.10).

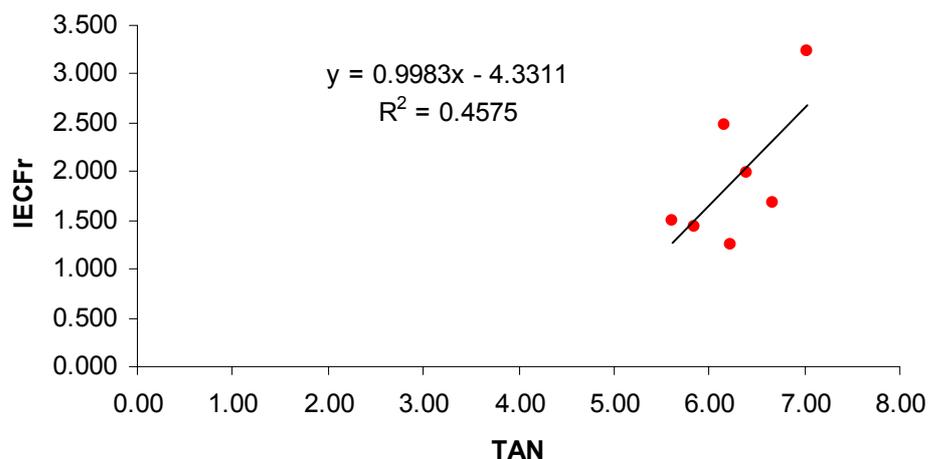


Figura 4.9 Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto en función de la Tasa de Asimilación Neta para el último periodo de evaluación (45 – 93 DDT).

Cuadro 4.10 Comparación de los valores medios del Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto del día 45 al 93 DDT y rendimiento total, para cada uno de los tratamientos.

Factor A		IECFr	Rendimiento
Color del acolchado		(g m⁻² día⁻¹)	(Ton ha⁻¹)
45 - 93 DDT			
azul		1.980 bc	64.524 ab
rojo		1.492 bc	44.678 cd
transparente		1.441 bc	54.124 bc
blanco		3.232 a	72.486 a
café		1.669 bc	37.073 d
plateado		2.479 ab	67.069 a
negro		1.244 c	43.904 cd
Significancia		*	**
DMS _{0.05}		1.08	11.035
Factor B			
Forro plateado		45 - 93 DDT	
con forro		1.699	54.951
sin forro		2.170	54.723
Significancia		NS	NS
Interacción			
Color del acolchado	Forro plateado	45 - 93 DDT	
azul	con	2.320	63.145
	sin	1.641	65.903
rojo	con	0.796	43.965
	sin	2.188	45.393
transparente	con	1.462	58.528
	sin	1.420	49.720
blanco	con	2.276	69.508
	sin	4.188	75.465
café	con	1.882	34.790
	sin	1.457	39.355
plateado	con	1.997	64.480
	sin	2.963	69.658
negro	con	1.156	50.243
	sin	1.333	37.565
C. V. (%)		47.300	19.87
Significancia		NS	NS

Existe una relación muy estrecha entre la TAN y el IECFr, sin embargo no siempre valores altos en la TAN se traducen en valores altos en el IECFr, va a depender mucho de la floración y del CPBfr, es decir de la biomasa que envié la planta hacia el fruto. Para el ultimo periodo de evaluación se observa una relación directamente proporcional entre la TAN y el IECFr, por lo tanto es un hecho que los cambios en la TAN en el segundo periodo de evaluación afectaron el IECFr y este a su vez el rendimiento (Figura 4.9).

4.5. Rendimiento.

Según los resultados del análisis de varianza de rendimiento, hubo diferencias altamente significativas entre las películas plásticas foselectivas, no así de la presencia o ausencia del forro plateado ni de la interacción de ambos. Los acolchados que mejor rendimiento mostraron fueron el blanco con 72.48 ton·ha⁻¹ y el plateado con 67.06 ton ha⁻¹. Los acolchados que mostraron menor rendimiento fueron el café y el negro con 37.03 y 43.9 ton ha⁻¹ respectivamente.

El rendimiento estuvo determinado por el IECFr ya que entre mayor sean los gramos de biomasa acumulados en el fruto por metro cuadrado de hoja por día, mayor será el rendimiento (Figura 4.10).

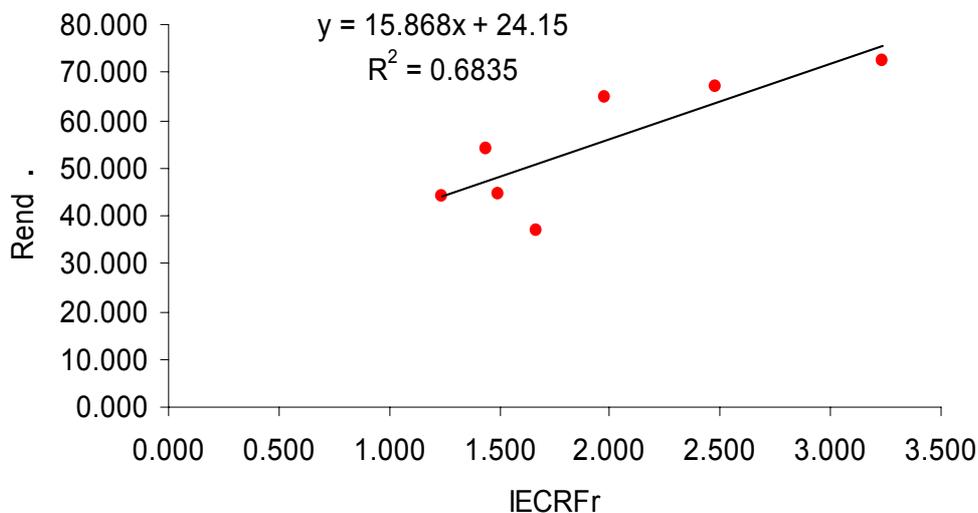


Figura 4.10. Rendimiento en función del Índice de Eficiencia de Crecimiento del Fruto con ecuación de tendencia y factor de correlación.

5. CONCLUSIONES:

Las películas fotoselectivas modificaron la radiación fotosintéticamente activa (RFA) reflejada en función de su color, así como las temperaturas del suelo.

El forro aluminizado redujo considerablemente las altas temperaturas en los acolchados rojo, azul y transparente, mientras que en el acolchados negro y café no tuvo efecto o fue contraproducente, al incrementar un poco las temperaturas del mismo.

Los cambios en las temperaturas del suelo y en la radiación fotosintéticamente activa no provocan cambios significativos en la fotosíntesis ni en la resistencia estomatal. Las temperaturas apenas lograron afectar algunos CPB como el de tallo (en el segundo periodo de evaluación) que provoco variaciones en la TAN, y el de hoja (en el tercer periodo de evaluación) que provoco cambios en la RPF. Las diferencias en la TAN (segundo periodo) no se manifestaron en la velocidad de acumulación de biomasa, debido a la interacción de esta variable con la RAF que fue igual en todos los tratamientos en ese mismo periodo de evaluación. Por otra parte los cambios en RPF modificaron la RAF ya que esta ultima variable fue directamente proporcional a la primera porque el AFE permaneció constante en todos los tratamientos, sin embargo estas variaciones tampoco se expresaron en mejores TCR.

Las correlaciones entre TAN vs. PAR reflejada y TAN vs. Temperatura del suelo fueron bajas; lo mismo que las de RPF vs. PAR reflejada y RPF vs. Temperatura.

Las diferencias en las TAN afectaron el IECFr ya que se observó una relación directamente proporcional entre estos factores. Por otra parte el rendimiento estuvo mayormente determinado por el IECFr por la estrecha relación que guardan entre si estas dos variables.

El factor más limitante para el crecimiento y rendimiento del cultivo fue la temperatura del suelo, las altas temperaturas en acolchados como el rojo, azul y transparente provocaron una disminución en el rendimiento final del cultivo.

6. LITERATURA CITADA.

- Abdul-Baky, A. 1991. Tolerance of tomato cultivars and selected germoplasm to heat stress. J. Amer. Soc. Hort. 366: 1113-1116.
- Akira, N.; Chory, J. and M. Furuya. 1993. Phytochrome B is not detectable in the *hy3* mutant of *Arabidopsis*, which is deficient in responding to end of day far red light treatments. Plant Cell Physiol. 32(7): 1119 – 1122.
- Alpi, A. y F. Tognoni. 1991. Cultivo en invernadero. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. España.
- Angus, R. and R. Morrison. 1998. Review of wavelength selective films for plant growth and enhancement. Landwards. 53 (2): 19-22.
- Antignus, Y.; Cohen, S.; Mor, N. Masika, Y. and M. Lapidot. 1996. The effects of uv- blocking greenhouse covers on insects and insect-borne virus diseases. Plast.. 112: 15-20.
- Antonious, G. F. and M. J. Kasperbauer. 2002. Color of Light Reflected to Leaves Modifies Nutrient Content of Carrot Roots. Corp Sci, 42: 1211-1216.
- Armengol, E. y J. Badiola. 1996. Novedades en los plásticos para invernaderos. Horticultura. Revista de Hortalizas, flores, plantas ornamentales y viveros. XV (5): 13-19.
- Ashkenazi, Y. 1996. Nuevos desarrollos tecnológicos en plasticultura. Memorias del Simposium internacional de Tecnologías Agrícolas con Plásticos. Veracruz, Ver., México. P. 27 – 44.
- Baldovinos, P. G. 1975. El desarrollo fisiológico y el rendimiento de Cosechas. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo. México. 309 – 313 p.

- Bar-Tsur, A., Rudich, J. and B. Bravdo. 1985. Photosynthesis, transpiration and stomatal resistance to Gas Exchange in tomato Plants Under High Temperatures. *Journal of Horticultural Science* 60(3): 405 – 410.
- Bastida, T. A. y A. J. A. Ramírez. 1999. Invernaderos en México. Diseño, construcción y manejo. Universidad Autónoma Chapingo. México. 139 pp.
- Bellare, L. C.; Scopel A. L. and R. A. Sanchez. 1995. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth, and yield. *Hort. Sci.* 30(6): 1172-1181.
- Benavides, M. A.; Martin, R. y G. Teran E.. 1993. El balance espectral de la radiación y la fotomorfogénesis y productividad de los vegetales. Monografía Técnica. Centro de Investigación en Química Aplicada. 46 p.
- Benoti, F. and N. Ceustermans. 1997. Tomato. Summer culture in plastic tunnels. *Proeftuinnieuws*. 7(8): 17 – 18.
- Benson, J. L. 1992. Effects of spectral filters on bedding plant growth. MS Thesis, Clemson University. Clemson, S.C. USA.
- Bidwell, R. G. S. 1987. Fisiología Vegetal. Primera Edición en Español. Editorial AGT, S. A. Mexico 762 pp.
- Brent, J. L.; Wells, O. S. and M. G. Karakoudas. 1999. Three years of result with red mulched tomatoes in New Hampshire. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.. May 19-22. 1999. Tallahassee, Florida. p. 60.
- Bretones, C. F. 1995. Producción hortícola bajo invernadero: tomate, pimiento y pepino. In: Memoria del Simposium Internacional de Tecnologías Agrícolas con plásticos. 5-7 de octubre de 1995. León, Guanajuato, Mexico. pp. 10 - 23.

- Brown, J. E.; Goff, W. D.; Hogue, W.; West, M. S.; Stevens, C.; Khan, V. A.; Early, B. C. and L. S. Brasher. 1991. Effects of plastic mulch color on yield and earliness of tomato. In: Proc. Nat. Agric. Plastic Congress. Amer. Soc. for Plast.. Alabama. Sep. 29 Oct. 3, 1991. pp 21 – 26.
- Bruggink, G. T. and E. Heuvelink. 1987. Influence of light on the growth of young tomato, cucumber and sweet pepper plants in the greenhouse: effects on relative growth rate, net assimilation, rate and leaf area ratio. Sci. Hort.. 31: 161-174.
- Campbell, D. E.; Lyman, M.; Corse, J. and E. Huatata, 1986. On the Relationships of Net CO₂ Assimilation and Leaf expansion to vegetative Growth in *Lycopersicon esculentum*, var Jubilee. Plant Physiol 80: 711-715.
- Carr-Smith, H. D.; Johnson, C. B., Plumton, C.; Butcher, G. W. and B. Thomas. 1994. The kinetics of type 1 phytochrome in green, light-grown wheat (*Triticum aestivum* L.). Planta. 194: 136 – 142.
- Castaños, C. M. 1993. Horticultura: Manejo Simplificado. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección General del Patronato Universitario. Chapingo, México. 527 p..
- Cerne, M.; Sluga, T. and J. Kozelj. 1994. Different kinds of plastics used for protection against insects and cold. In: 13th International Congress on Plastic in Agriculture [Congresso Internazionale del C. I. P. A.] Proceedings of a conference held in Verona, Italy. 8-11 March, 1994. Volumen 1.
- Cerny, A. T.; Rajapakse, N. C. and O. Y. Ryu. 1999. Recent development in photosensitive greenhouse covers. Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. American Society for Plasticulture. May 19 – 22, 1999. Tallahassee, Florida. pp 24 -26.
- Clarck, D. G.; Kelly, J. W. and D. R. Decoteau. 1991. The influence of end – of – day red and far – red light on potted roses. J. Environ. Hort. 9: 123 – 127.

- Coffey, D. L.; Buschermohle, M. J.; Willir, J. B.; Burns, R. T.; Yoder, R. E. And G. S. Honea. 1999. Soil temperature and moisture conditions and performance of tomatoes grow on colored plastic mulches. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.. May 19 – 22, 1999, Tallahassee, Florida. pp. 54 – 59.
- Combs, J.; Hall, D. O.; Long, S. P. y J. M. O. Scurlock. 1988. Tecnicas en Fotosintesis y Bioproductividad. 2ª Edicion. Gpo. Editorial Futura, S. A. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Edo. Mexico. Mexico. pp 258.
- Charles, W. B. and R. E. Harris. 1972. Tomato fruit set at high and low temperature. Can. J. Plant Sci. 52: 497-506.
- Chory, J.; Chatterjee, M.; Cook, R. K.; Elich, T.; Fankhauser, C.; Li, J.; Nagpal, P.; Neff, M.; Pepper, A.; Poole, D.; Reed, J. and V. Vitart. 1996. From seed germination to flowering, light controls plant development via the pigment phytochrome. Proc. of the National Academy of Sciences of the USA. 93 (22): 12066 – 12071.
- Chung, S. J.; Oh, B. R. and B. S. Seo. 1991. A study of leaf structure and growth potential as affected by blue colour removing (BCR) film in protected cultivation of red pepper seedlings. J. of the Korean Soc. for Hort. Sci.. 2(3): 286 - 291.
- De Greef, J. A. and H. Fredericq. 1983. Photomorphogenesis and hormones. Pages 401 427 in W. Shropshire, Jr. and H. Mohr (eds), Encyclopedia of Plant Physiology, New series, Vol 16 A, Photomorphogenesis. Springer-Verlag, Berlin.
- De Santiago, J. 1998. Futuro de los plásticos de Cubierta. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación Periódica. Agosto. pp. 38 – 42.

- De Santiago y A. Randolph. 1996. Agricultura protegida. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Octubre. pp. 12 – 14.
- Decoteau, D. R.; Kasperbauer, M. J. and P. G. Hunt. 1989. Mulch surface color affects yield of fresh – market tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 2, 216-219.
- Decoteau, D. R.; Kasperbauer, M. J. and P. G. Hunt. 1990. Bell pepper plant development over mulches of divers colors. HortScience. 25: 4, 460-462.
- Decoteau, D. R. and H. H. Friend. 1991a. Plant responses to wavelength selective mulches and row covers: A discussion of light quality effects on plants. Proc. Natl. Agr. Plastics Congress. 23: 46 – 51.
- Decoteau, D. R. and H. H. Friend. 1991b. Phytochrome – regulated growth of young watermelon. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 512-515.
- Decoteau, D. R. and H. H. Friend. 1991c. Growth and subsequent yield of tomatoes following end –of – day light treatment of transplants. HortScience. 26:12, 1528-1530.
- Decoteau, D. R.; Hatt, H. A.; Kelly, J. W.; McMahon, M. J.; Rajapakse, N.; Joung, R. E. and R. K. Pollock. 1993. Applications of photomorphogenesis research to horticulture systems. HortScience. 28: 10, 974-1063.
- Decoteau, D. R. 1997. Percepción de luz y color por las plantas desde el punto de vista fisiológico. Percepción de luz y color por las plantas: lo que implica para los plásticos agrícolas. Memorias del V congreso de Nuevas tecnologías agrícolas. Puerto Vallarta, Jalisco México. p 43 – 53.
- Díaz, P. J. C. 1995. El calor acumulado en su reloj de tiempo. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Octubre. Pp. 17 – 21.

- Dwyer, L. M. and D. W. Stewart. 1986. Effects of leaf age and position on Net Photosynthetic Rates in Maices (*Zea mays*) Agric. For Meteorol. 37(1): 29-46 p.
- Espi, E.; Salmeron, A.; Tamayo, C.; Ortiz, M. y F. Laborda. 1997. Filmes Foselectivos Antiplagas para Cubierta de Invernadero. Repsol, S. A.. Dirección General de Tecnología. Embajadores 193. Madrid, España. s/p.
- Evans, J. R. and H. Poorter. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbón gain. Plant, Cell and Enviroment (2001) 24, 755-767.
- FAO, 1995. Agriculture Yearbook. United Nations Organization. New Cork, U.S.A.
- Fueyo, M. A. 1997. Producción de lechuga en invernadero. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación Periodica. Octubre. pp. 52 – 53.
- Friend, H. H. and D. R. Decoteau. 1991. Transmission properties of selected row covers materials and implications in early plant development. Proc. Natl Agr. Plastics Congress. 22: 1-6.
- Galvez, L. J. 1999. Producción bajo invernadero. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación periódica. Agosto. pp. 14 – 21.
- Galston, A. W.; Davies, P. J. and R. L. Satter. 1980. The Life of the Green Plant. Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, U. S. A. 464 p.
- Garnaud, J. C. 1974. The Intensification de Horticultural Crop Production in the Mediterranean Basin by Protected Cultivation. FAO. of The United Nations. Rome. 185.
- Garza, V. M. C. 1985. Selección y evaluación de la progenie de la cruce de tres líneas de tomate (*Licopersicon esculentum* Mill) resistentes a altas

temperaturas, con la variedad Pole-Boy 83. Tesis de Licenciatura. ITESM. Monterrey, Nuevo León.

Geola, F.; U. M. Peiper and F. Geola. 1994. Diurnal regulation of photosynthetic carbon metabolism in C3 plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45: 235 – 256.

Guzmán, P. M. 2000. Respuesta fisiológica y control ambiental. In: Memoria del Curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21 – 26 de Agosto. Guadalajara, Jal., México. pp. 44 – 63.

Guzmán, P. M. y A. Sánchez. 2000. Sistemas de explotación y tecnología de producción. In: Memoria del curso Internacional de Ingeniería, Manejo y Operación de Invernaderos para la Producción Intensiva de Hortalizas. Instituto Nacional de Capacitación para la Productividad Agrícola (INCAPA, S.C.). 21 – 26 de Agosto. Guadalajara, Jal., México. Pp. 64 – 69.

Ham, J. M.; Kluitenberg, G. J. and W. J. Lamont. 1991. Potential impact of plastic mulches on the above ground plant environment. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast.. Mobile, Alabama. Sep. 29 Oct. 3, 1991. pp. 63 – 69.

Ham, J. M.; Kluitenberg, G. J. and W. J. Lamont. 1993. Optical properties of plastic mulches affect the field temperature regime. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 188; 2, 188 – 193.

Halliday, K. J.; Koornneef, M. and G. C. Whitelam. 1994. Phytochrome B and at least one other phytochrome mediate the accelerated flowering response of *Arabidopsis thaliana* L. to low red/far-red ratio. *Plant physiol.* 104: 1311-1315.

- Hatt, H. A.; Mc Mahon, M. J.; Linvill, D. e. and D. R. Decoteau. 1993. Influence of spectral qualities and resulting soil temperatures of mulch films on bell pepper growth and production. Proc. 24th Natk. Agr. Plastic Congress. P 233 – 239.
- Hernández, P. J. S. 2000. Las sustancias humicas en el tomate. Monografía de Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Infoagro. 2005. [En línea] Disponible en: <http://www.infoagro.com>
- Kambalapally, V. R. and N. C. Rajapakse. 1998. Spectral filters affect growth, flowering, and postharvest quality of Easter Lilies. HortSci. 33 (6): 1028 – 1029.
- Kasperbauer, M. J. and P. G. Hunt. 1987. Soil color and surface residue effects on seedling light environment. Plant and Soil 97, 295-298 (1987).
- Kasperbauer, M. J. 1999. Colored mulch for food crops. Chemtech August 1999. American Chemical Society. 40:171-174
- Kelly, J. W.; Adler, P. H. Decoteau, D. R. and S. Lawrence. 1989. Colored reflective surfaces to control whitefly on Poinsettia. HortScience. 24: 6, 1045.
- Kluitenberg, G. J.; Ham, J. M.; Lamont, W. J.; Xu, L. and J. R. Schlup. 1993. The importance of long wave optical properties in the performance of plastic mulches. Proc. 24th Natl. Agr. Plastic. Congr. pp 255 – 263.
- Koning, A. N. M. 1988. The effect of Diferent Day/Night Temperature Regimes On Growth, Developement and Yield of Glasshouse Tomatoes. Journal of Horticultural Scince. 63 (3): 465 – 447.
- Korner, Ch. 1991. Some overlooked plant characteristics as determinants of plant growth: a consideration. Fuctional-Ecol.. 5: 162-173.

- Kuppers, M. 1994. Canopy gaps: light interception and economic space filling – A matter of whole-plant allocation. In *Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants*. Eds. M. M. Caldwell and R. W. Pearcy. Academic, San Diego. pp. 111-144.
- Lambers, H.; Freijesen, N.; Poorter, H.; Hirose, T. and A. Van der Werf. 1989. Analyses of growth based on net assimilation rate and nitrogen productivity. In: Lambers, H.; Cambridge, M. L.; Konings, H. and Pons, T. L. (Eds) *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants*. pp. 1-17, SPB Academic Publishing, The Hague.
- Lamont Jr., W. J. 1993. Plastic mulches for the production of vegetable crops. *HortTechnology*. 3: 1, 35 – 39.
- León, G. H. y M. Arosemena. 1980. El cultivo de tomate para consumo en fresco en el Valle de Culiacán, CIAPAN-CAECAV, México.
- Lozano, M. J.; M. C. Gonzáles and E. A. González. 1996. Use of polycromatic polypropylene films for greenhouses in lettuce cultivation. *Rev. Plast.* 111(3): 3-42.
- Márquez, M. Y. 1978. Guía para el Control de los hongos en el cultivo de Tomate. Utilizando el control de Tecirrigacion. México.
- Martínez, H. A.; Acevedo, H. G. y E. L. Herrera. 1998. La luz en la vida de las plantas. Avance y perspectiva. *CINVESTAV. IPN. Vol. 17.* p. 285-292.
- Matallana y Montero. 1989. *Invernaderos: Diseño, Construcción y Ambientación*. Ediciones Mundi – Prensa. Madrid, España. 159 pp.
- Matallana y Montero. 1995. *Invernaderos: Diseño, Construcción y Climatización*. 2ª Ed. Ediciones Mundi – Prensa. Mexico. 209 p..

- McMahon, M. J.; Kelly J. W.; Decoteau, D. R., Young, R. E. and R. K. Pollock. 1991. Growth of *Dendranthema xgrandiflorum* (Ramat.) Kitamura under various spectral filters. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 950 – 954.
- Moens, F.. 1991. The use of surface active additives as anti – fog agents in agricultural films. In: Proc. Nat Agric. Plastic Congress. American Society for Plasticulture. Mobiel, Alabama. Sep. 29 Oct. 3, 1991. pp. 188 – 195.
- Morand, L. Z.; Kidd, D. G. and C. Largarias. 1993. Phytochromes levels in the green alga *Mesotaenium caldariorum* are lighth regulated. Plant Physiol. 101. 97-103.
- Morone, F. I.; Mancini, L.; OvelloV. And N. Prencipe. 1995. Horticultural crops, relationship between transplanting and yield. Colture Protette. 24 (10): 97–103.
- Mortensen, L. M. and E. Stromme. 1987. Effects of light quality on some greenhouse corps. Scientia Horticulturae. 33: ½, 27-36.
- Moscoso, A. I. 1979. Estudio de densidad de siembra en el cultivo de tomate con riego por goteo, en Apodaca N. L. Tesis de Licenciatura. UANL. Nuevo León, México.
- Murakami, K.; Cui, H.; Kiyota, M.; Aiga, I. and A. Kano. 1995. The desing of special covering materials for greenhouses to control plant elongation by changing spectral distribution of daylight. Acta Hort.. 399: 135-142.
- Nakazawa, M.; Yoshida, Y. and K. Manabe. 1991. Differences between the surface properties of the Pr and Pfr forms of native Pea phytochrome, and their application to a simplified procedure for purification of the phytochrome. Plant Cell Physiol.. 32 (8): 1187 – 1194.

- Oh, J. Y.; Choi, D. J.; Kim, J. S.; Park, D. M.; Lee, S. B.; Choi, D. U.; Park D. O. and J. H. Lim. 1989. Study of the ecological response to mulch materials in hot pepper. Rese. Rep. Of the Rural Dev. Adm. Hort.. 31 (1): 17 – 24.
- Orsolek, M. D. and W. S. Lamont. 1999. The Penn State Center for Plasticulture. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast. May 19 – 22, 1999. Tallahassee, Florida. pp. 24 – 26.
- Orsolek, M. D. and J. H. Murphy. 1993. The effect of colores polyethylene mulch on the yield of squash and pepper. Proc. 24th Natl. Agr. Plastic Congr. pp. 157-161.
- Quiroga, CH. O. A. 1992. Análisis de senderos para características relacionadas con resistencia a sequía en 12 genotipos de maíz (*Zea mays* L.) Tesis de Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Saltillo, Coahuila, Mex.
- Pérez, G. F. y J. B. Martínez–Labored. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. Ediciones mundi prensa. Madrid, España. 217 pp.
- Pollock, R. K.; McMahon, M. J.; Young, R. E. and J. W. Kelly. 1990. Liquid spectral filtering for greenhouses: regulation of photomorphogenesis in plants. Amer. Soc. Agr. Engineers. 90, 4036.
- Pollock, R. K.; Young, R. E.; Bunn, J. M. and W. H. Allen. 1992. Cooling characteristics of a fluid roof panel. Amer. Soc. Agr. Engineers. 92 – 4074.
- Porter, H. and O. Nagel. 2000. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different leaves of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. Aust. J. Plant Physiol., 27, 595 – 607.
- Quezada, M.R. 1996. Evaluación de películas plásticas foto y fotobiodegradables para acolchado de suelo en el cultivo de melón

- (*Cucumis melo* L). Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Buenavista, Saltillo, Coahuila. Mex.
- Randolph, A. 2000. El potencial de las nuevas tecnológicas. Análisis integral de los nuevos sistemas de producción que se obtienen en campo abierto, malla sombra e invernaderos. Productores de Hortalizas. Año 9. No 1. p. 42 – 48.
- Rajapakse, N. C. and J. W. Kelly. 1992. Regulation of chrysanthemum growth by spectral filters. J. Amer. Soc. Hort. Sci.. 117: 881 – 485.
- Reed, J. W.; Nagatani, A.; Elich, T. D.; Fagan, M. and J. Chory. Phytochrome A and phytochrome B have overlapping but distinct functions in *Arabidopsis* development. Plant Physiol. 104: 1139-1149.
- Robledo, De P. F. y L. Vicente. 1981. Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Ediciones Mundi Prensa. México. p. 6.
- Rodríguez J. L. 1999. Nuevos calibres plásticos. Rev. Productores de Hortalizas. Publicación Periódica. Agosto de 1999. pp. 10 – 11.
- Rubies, I. G. and M. M. Freiwat. 1995. Row cover and black plastic mulch effects on tomato production. Biol. Agric. and Hort.. 12 (2): 113-118.
- Rojas, G. M. y M. M. Rovalo. 1988. The effects of summer CO₂ enrichment and ventilation temperatures on the yield, quality and value of glasshouse tomatoes. Journal of Horticultural Science 63(1):119-129.
- Ryu, O. Y.; Kohgo, M. O.; Iwata, M. and S. Ikado. 1999. Practical approach for photosensitive plastics. In: Proc.. Nat. Agric. Plastic Congreso. AMER. Soc. for Plast.. May 19-22. 1999. Tallase, Florida. p. 80.
- Sade, A.. 1997. Cultivos bajo condiciones forzadas: nociones generales. Rejovor, Israel. Pp. 1 – 14.

- Salisbury, B. F. y W. C. Ross. 1994. Fisiología vegetal Gpo. Editorial Iberoamericana S.A. de C.V. México, D.F. 759 pp.
- Santiago, L.; Mendoza, M. and F. E. Borrego. 1998. Evaluation of tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill) in greenhouse conditions: phenological and physiological criteria. *Agronomia Mesoamericana*. 9 (1): 59 – 65.
- Schmidth, J. R. and J. W. Worthington. 1998. Modifying heat unit accumulation with contrasting colors of polyethylene mulch. *HortSci.* 33(2): 210-214.
- Serrano, C. S. 1994. Construcción de invernaderos. Ediciones Mundi Prensa. Madrid. España. P. 13 – 58.
- SIAP. 2002. [En línea] Disponible en: <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/indexrsmns2.html>
- Smith, H. 1982. Light quality, photoperception and plant strategy. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33: 481 – 518.
- Spittees, C. J. T.; Toussaint H. A. J. M. and J. Goudriaan. 1986. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modeling canopy photosynthesis. Part I. Components of incoming radiation. *Agric. And Forest Meteorology*. 38: 231-242.
- Splittstoesser, W. E. and Brown. 1991. Current changes in plasticulture for crop production. In: Proc. Nat. Agric. Plastics Congress. Amer. Soc. for Plast. Mobile, Alabama. Sep. 29 Oct. 3, pp. 241 253.
- Sulaika, V. 1997. Plásticos de cubierta para invernadero. *Rev. Productores de Hortalizas. Publicación Periódica*. Octubre pp. 54 - 56.

- Sullivan, J. H. and A. H. Teramura. 1989. Field study of the interaction between solar ultraviolet-B radiation and drought on photosynthesis and growth in soybean. *Plant Physiol.* 92: 141-146.
- Tanner, C. B. 1974. Microclimate modification: Basic concepts. *Ortiz.* 9 (6): 555-560.
- Thompson, H. F. and M. J. White. 1991. Physiological and molecular studies of light regulated nuclear genes in higher plants. *Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 423-466.
- Torres, O. J. J. 1991. Cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. con acolchado de suelo en Invernadero, microtúnel e interperie. Tesis de licenciatura UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico. 103p.
- Tsekleev, G. and S. Stoilov. 1990. Fluorescent film for the cultivation of tomatoes in Bulgaria. *Plast.* 86 (2): 47 – 51.
- Valencia, H. M. D. 1981. Evaluación de rendimientos de doce variedades de tomate bajo condiciones de invernadero. UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Vallejos, C. E. and R. W. Percy. 1987. Differential acclimation potential to low temperature in the species of *Lycopersicum*. Photosynthesis and growth. *Can. J. Bot.* 65: 1303-1307.
- Vierstra, R. D. 1993. Illuminating phytochrome functions. There is light at the end of the tunnel. *Plant Physiol.* 103: 679 – 684.
- Weiss, D.. 1995. Cubiertas de plástico para invernadero como filtro lumínico para controlar el desarrollo vegetativo. In: Memoria del Simposium Internacional de Tecnologías Agrícolas con Plásticos. 5-7 de octubre, 1995. León, Gto. México. pp. 102 – 104.

APENDICE

Cuadro A1. Comparación de los valores medios de la Tasa de Crecimiento Relativo del vástago, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; en tres periodos de evaluación medidos en días después del transplante.

Factor A Color del acolchado		Tasa de Crecimiento Relativo Vástago ($\text{mg g}^{-1} \text{ día}^{-1}$)		
		0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul		134.62	124.38	43.96
rojo		139.73	124.70	38.18
transparente		138.17	124.41	42.46
blanco		138.02	113.24	41.66
café		148.89	109.37	45.89
plateado		153.47	118.50	37.20
negro		140.82	111.90	45.27
Significancia		NS	NS	NS
Factor B				
Forro plateado		0 - 23	23 - 45	45 - 93
con forro		142.12	119.03	39.85
sin forro		141.80	117.12	44.33
Significancia		NS	NS	NS
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul	con	135.1	127.0	44.0
	sin	134.1	121.8	43.0
rojo	con	137.4	117.9	38.0
	sin	142.1	131.5	38.0
transparente	con	149.0	123.0	34.0
	sin	127.4	125.9	50.0
blanco	con	129.5	118.2	43.0
	sin	146.5	108.3	39.8
café	con	157.7	109.5	40.9
	sin	140.1	109.2	50.9
plateado	con	148.1	122.6	35.3
	sin	158.8	114.4	39.1
negro	con	138.1	115.2	42.3
	sin	143.5	108.6	48.2
C. V. (%)		13.73	13.73	17.58
Significancia		NS	NS	NS

Cuadro A2. Comparación de los valores medios de la Tasa de Crecimiento Relativo del tallo, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; en tres periodos de evaluación.

Factor A Color del acolchado		Tasa de Crecimiento Relativo tallo (mg g⁻¹ día⁻¹)		
		0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul		135.37	145.37	37.83
rojo		144.48	143.62	34.12
transparente		124.25	159.90	38.72
blanco		139.90	130.55	35.16
café		153.29	128.22	42.50
plateado		157.69	138.73	30.59
negro		147.46	126.89	42.82
Significancia		NS	NS	NS
Factor B				
Forro plateado		0 - 23	23 - 45	45 - 93
con forro		140.88	142.51	36.74
sin forro		145.53	135.57	38.04
Significancia		NS	NS	NS
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul	con	136.8	147.2	39.8
	sin	133.9	143.5	35.9
rojo	con	143.6	135.4	37.9
	sin	145.3	151.8	30.3
transparente	con	120.6	174.4	32.3
	sin	127.9	145.4	45.1
blanco	con	127.6	139.5	37.0
	sin	152.2	121.6	33.4
café	con	161.4	130.2	36.7
	sin	145.2	126.2	48.3
plateado	con	153.0	140.9	31.4
	sin	162.4	136.6	29.8
negro	con	143.2	129.9	42.1
	sin	151.7	123.9	43.5
C. V. (%)		19.03	17.83	20.65
Significancia		NS	NS	NS

Cuadro A3. Comparación de los valores medios de la Tasa de Crecimiento Relativo de la hoja, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; en tres periodos de evaluación.

Factor A Color del acolchado		Tasa de Crecimiento Relativo hoja (mg g⁻¹ día⁻¹)		
		0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul		132.15	114.08	37.46
rojo		136.69	113.73	32.54
transparente		139.30	110.87	37.24
blanco		135.99	104.17	29.04
café		144.97	100.36	39.87
plateado		150.04	107.48	27.68
negro		137.54	103.25	40.39
Significancia		NS	NS	NS
Factor B				
Forro plateado		0 - 23	23 - 45	45 - 93
con forro		140.68	107.80	32.52
sin forro		138.37	107.61	37.26
Significancia		NS	NS	NS
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul	con	134.1	115.0	34.8
	sin	130.2	112.8	40.1
rojo	con	134.8	106.0	33.5
	sin	138.6	120.8	31.6
transparente	con	151.9	106.0	28.3
	sin	126.7	115.6	46.2
blanco	con	128.3	108.0	35.2
	sin	143.7	99.4	22.9
café	con	154.1	98.0	34.0
	sin	135.9	101.8	45.8
plateado	con	145.9	111.0	25.8
	sin	154.2	103.3	29.5
negro	con	135.7	107.0	36.1
	sin	139.4	99.5	44.7
C. V. (%)		13.42	14.87	23.76
Significancia		NS	NS	NS

Cuadro A4. Comparación de los valores medios de los Coeficientes de Partición de Biomasa flor, para cada uno de los acolchados, para el forro aluminizado y la interacción de ambos; en tres periodos de evaluación.

Factor A Color del acolchado		Coeficiente de Partición de Biomasa flor (fracción)		
		23	45	93
azul		0.039	0.013	0.004
rojo		0.023	0.015	0.006
transparente		0.011	0.014	0.005
blanco		0.027	0.014	0.003
café		0.042	0.013	0.004
plateado		0.033	0.015	0.003
negro		0.017	0.011	0.006
Significancia		NS	NS	NS
Factor B				
Forro plateado		23	45	93
con forro		0.019	0.014	0.004
sin forro		0.036	0.014	0.005
Significancia		NS	NS	NS
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	23	45	93
azul	con	0.012	0.011	0.003
	sin	0.066	0.015	0.006
rojo	con	0.006	0.014	0.007
	sin	0.040	0.016	0.004
transparente	con	0.008	0.014	0.006
	sin	0.014	0.014	0.005
blanco	con	0.037	0.015	0.003
	sin	0.017	0.013	0.003
café	con	0.040	0.012	0.003
	sin	0.044	0.015	0.006
plateado	con	0.012	0.016	0.004
	sin	0.054	0.015	0.003
negro	con	0.014	0.012	0.006
	sin	0.019	0.010	0.006
C. V. (%)		155.51	26.39	44.70
Significancia		NS	NS	NS

Cuadro A5. Comparación de los valores medios de la Razón de Área Foliar, para cada uno de los tratamientos.

Factor A Color del acolchado		Razón de Peso Foliar (g g⁻¹)		
		0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul		0.724	0.633	0.493 ab
rojo		0.719	0.620	0.484 abc
transparente		0.755	0.668	0.511 a
blanco		0.726	0.646	0.458 bc
café		0.711	0.619	0.491 ab
plateado		0.715	0.614	0.444 c
negro		0.716	0.630	0.514 a
Significancia		NS	NS	*
DMS _{0.05}				0.042
Factor B				
Forro plateado		0 - 23	23 - 45	45 - 93
con forro		0.732	0.642	0.483
sin forro		0.716	0.624	0.487
Significancia		NS	NS	NS
Interacción				
Color del acolchado	Forro plateado	0 - 23	23 - 45	45 - 93
azul	con	0.734	0.645	0.465 b
	sin	0.713	0.621	0.522 a
rojo	con	0.722	0.625	0.498 a
	sin	0.715	0.615	0.469 b
transparente	con	0.773	0.678	0.480 b
	sin	0.737	0.658	0.541 a
blanco	con	0.733	0.656	0.497 a
	sin	0.720	0.635	0.420 c
café	con	0.714	0.614	0.468 b
	sin	0.709	0.624	0.513 a
plateado	con	0.725	0.632	0.458 b
	sin	0.706	0.597	0.430 b
negro	con	0.723	0.645	0.513 a
	sin	0.710	0.615	0.514 a
C. V. (%)		4.09	5.74	7.29
Significancia		NS	NS	*
DMS _{0.05}				0.059

Cuadro A6. Comparación de los valores medios del Área Foliar Especifica, para cada uno de los tratamientos.

Factor A Color del acolchado		Área Foliar Especifica (cm² g⁻¹)	
		0 - 23	23 - 45
azul		208.97	136.71
rojo		210.55	138.28
transparente		209.26	136.99
blanco		200.45	128.20
café		212.08	139.82
plateado		200.38	128.11
negro		210.70	138.45
Significancia		NS	NS
Factor B			
Forro plateado		0 - 23	23 - 45
con forro		209.19	136.93
sin forro		205.78	133.52
Significancia		NS	NS
Interacción			
Color del acolchado	Forro plateado	0 - 23	23 - 45
azul	con	209.87	137.60
	sin	208.08	135.82
rojo	con	210.47	138.22
	sin	210.62	138.35
transparente	con	209.81	137.53
	sin	208.71	136.46
blanco	con	200.67	128.42
	sin	200.24	127.99
café	con	213.41	141.14
	sin	210.75	138.51
plateado	con	210.08	137.81
	sin	190.68	118.41
negro	con	210.02	137.76
	sin	211.39	139.13
C. V. (%)		4.57	7.01
Significancia		NS	NS

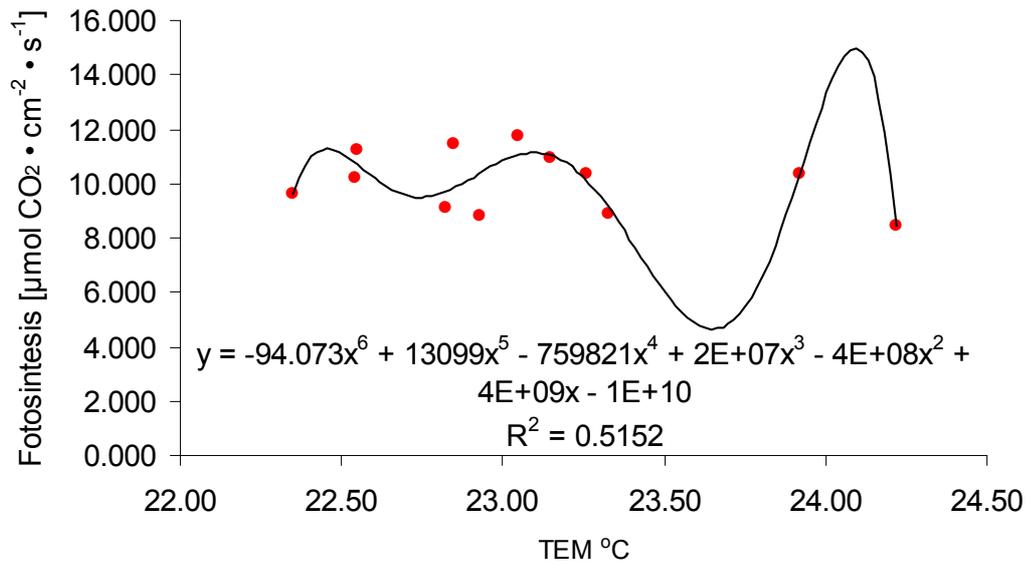


Figura A1. Fotosíntesis a los 58 DDT en función de las temperaturas del suelo con ecuación de tendencia y factor de correlación.

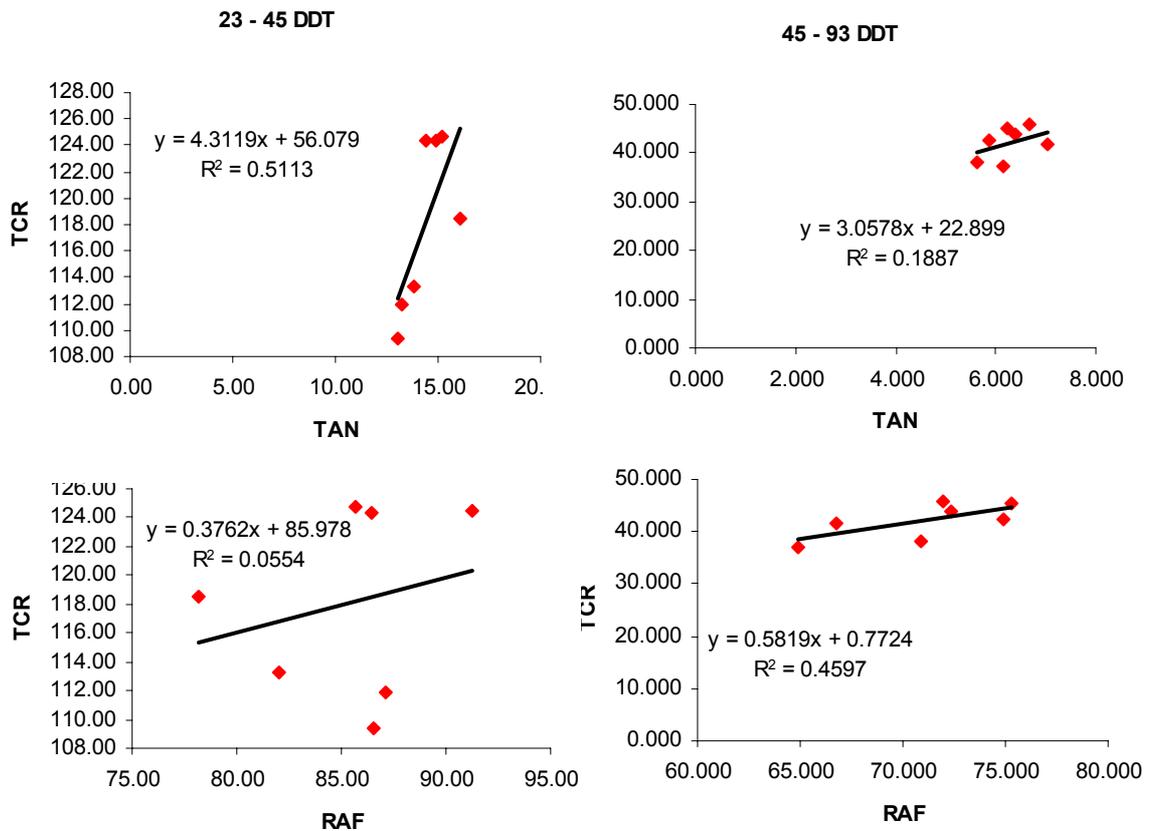


Figura A2. Correlaciones de la TCR en función de sus componentes para el segundo y tercer periodo de evaluación.

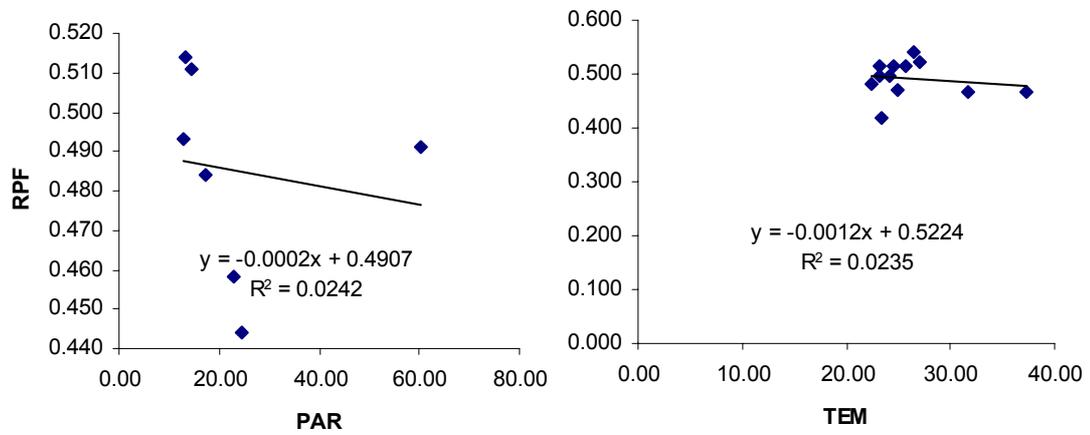


Figura A3. Correlaciones de la RPF en función de las temperaturas del suelo y de la RFA reflejada durante el tercer periodo de evaluación (45 – 93 DDT).

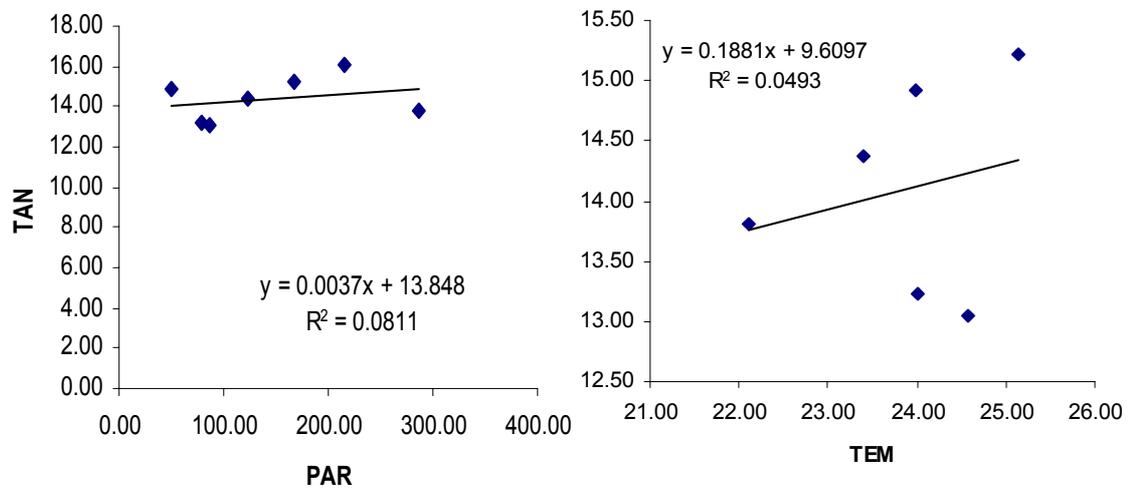


Figura A4. Correlaciones de la TAN en función de las temperaturas del suelo y de la RFA reflejada durante el segundo periodo de evaluación (23 – 45 DDT).

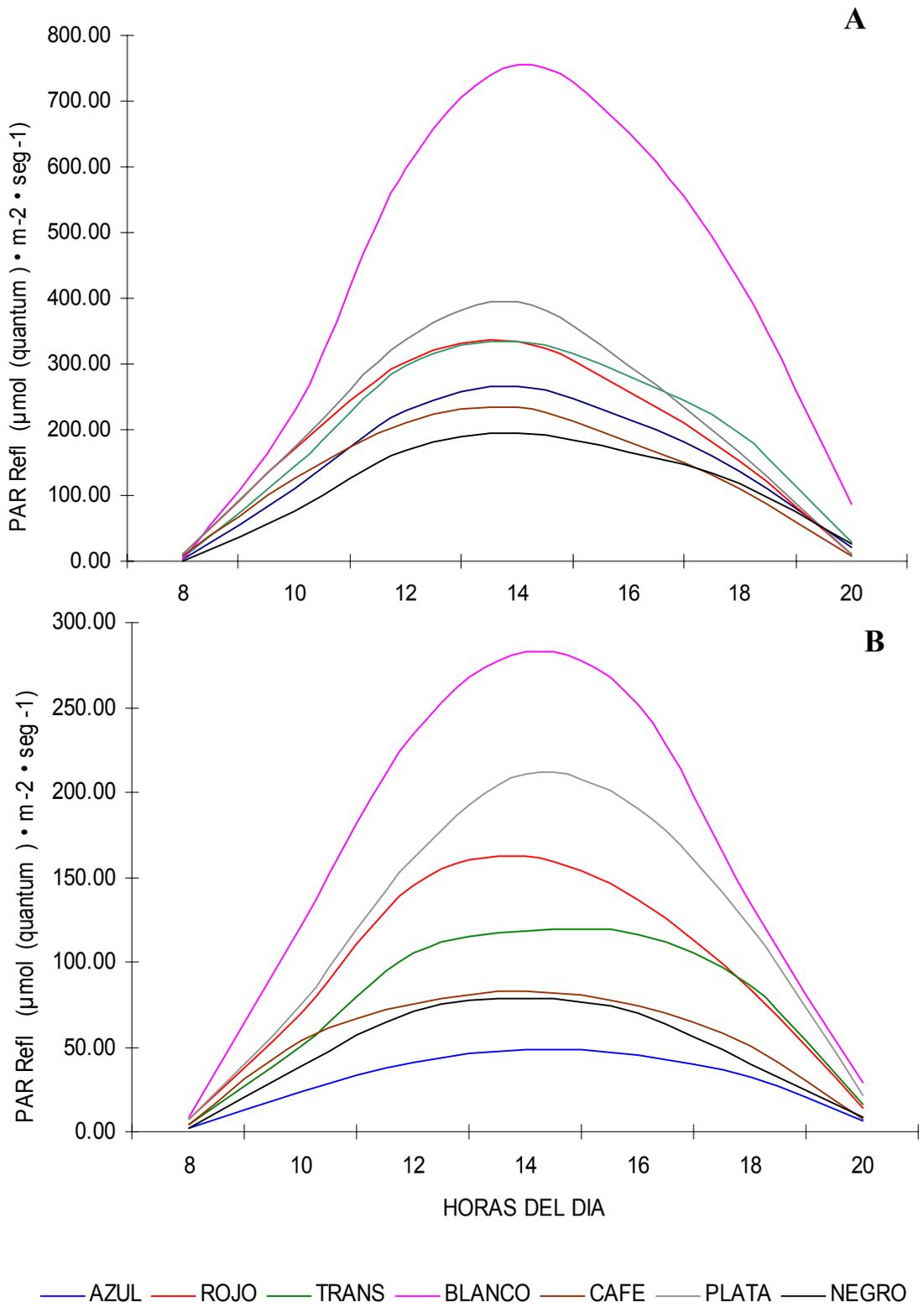


Figura A5. PAR reflejada por cada uno de los acolchados en función del tiempo (horas del día), **A** para el primer periodo de evaluación (3 - 23 DDT) y **B** para el segundo periodo de evaluación (23 - 45 DDT)