CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE EL RENDIMIENTO DE TOMATE CON ACOLCHADO PLÁSTICO

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

ING. ARICELDA URIBE LÓPEZ

SALTILLO, COAHUILA **AGOSTO 2009**

089

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO TITULADO

FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE EL RENDIMIENTO DE TOMATE CON ACOLCHADO PLÁSTICO

PRESENTADO POR:

ING. ARICELDA URIBE LÓPEZ

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

Ha sido dirigido por:

DR. LUIS IBARRA JIMÉNEZ

SALTILLO, COAHUILA **AGOSTO 2009**

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

A TRAVÉS DEL JURADO EXAMINADOR HACE CONSTAR QUE EL CASO DE ESTUDIO:

FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE EL RENDIMIENTO DE TOMATE CON ACOLCHADO PLÁSTICO

QUE PRESENTA:

ING. ARICELDA URIBE LÓPEZ

HA SIDO ACEPTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESIDENTE	**VOCAL**
DR. LUIS A. VALDÉS AGUILAR	**DR. RICARDO H. LIRA SALDIVAR**

SALTILLO, COAHUILA **AGOSTO 2009**

ÍNDICE DE CONTENIDO

Índice i

Índice de Cuadros ii

Índice de Figuras iii

INTRODUCCIÓN 1

REVISIÓN DE LITERATURA 3

LA IMPORTANCIA DE LOS COLORES EN LOS ACOLCHADOS PLÁSTICOS 3

Películas Negro-Opaco 3

Películas Transparentes 4

Película Blanca 5

Acolchados Bicapa 5

Películas Fotoselectivas 6

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE CON ACOLCHADO PLÁSTICO 7

Temperatura del Suelo y su Relación con el Rendimiento de Tomate en Acolchado Plástico 7

Efecto del Acolchado en el Doble Cultivo 12

Acolchados de Colores en Precocidad, Rendimiento y Calidad del Fruto 14

Control de Malezas con Acolchado Plástico y Efecto en Rendimiento 20

Control de Plagas y Enfermedades con Acolchado Plástico y Efecto en Rendimiento 23

Efecto del Acolchado Plástico en Nutrición, Uso del Agua y Rendimiento 28

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO 35

ÁREAS DE OPORTUNIDAD 53

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 54

Conclusiones 54

Recomendaciones 55

NOMENCLATURA 57

LITERATURA CITADA 58

Índice de Cuadros

Cuadro 1.	Producción total de fruto de tomatillo por cultivar y acolchado plástico.	10
Cuadro 2.	Temperatura de la zona radical de plantas de tomatillo sobre acolchado plástico.	10
Cuadro 3.	Rendimiento de tomate y pepino establecido usando acolchado plástico de colores.	13
Cuadro 4.	Efecto de los diferentes colores de luz sobre la respuesta de las plantas.	15
Cuadro 5.	Características de los frutos de plantas de tomate desarrolladas en acolchado plástico color blanco y acolchado plástico color negro durante 50 días.	18
Cuadro 6.	Efectos del color de la superficie del acolchado en la radiación reflejada y la temperatura del suelo.	19
Cuadro 7.	Degradación de los acolchados durante su exposición en campo, y su efecto en el control y la biomasa de malezas (2006 y 2007).	22
Cuadro 8.	Estudios realizados Estados Unidos de América con acolchados plásticos aluminizados y su efecto en la incidencia de plagas y el rendimiento en tomate.	25
Cuadro 9.	Efecto del acolchado plástico y el cultivar sobre los días después del transplante transcurridos a la detección de los primeros síntomas e incidencia del virus del bronceado del tomate, peso fresco final de vástago y rendimiento de tomate (Primavera, 2000).	27
Cuadro 10.	Influencia del acolchado en la aparición de la pudrición apical del fruto (BER) en tomate.	34
Cuadro 11.	La transmisión luz a través de los colores del acolchado, la densidad y biomasa de malezas debajo de los plásticos (2001 y 2002).	43
Cuadro 12.	Efectos del acolchado de colores sobre la radiación reflejada.	47
Cuadro 13.	Efectos del acolchado en el rendimiento temprano y total de tomate 'Mountain Pride' en la localidad de Clemson, Carolina del Sur, EE. UU.	48
Cuadro 14.	Efectos del acolchado de colores en el rendimiento temprano y total de tomate en el Centro de Investigación de Conservación del Agua (USDA), cerca de Florencia, Carolina del Sur, EE. UU..	48
Cuadro 15.	Promedio de número de adultos de mosca blanca por hoja terminal de tomate y porcentaje acumulativo de plantas con síntomas aparentes de virus en los días después del transplante seleccionados.	50

Índice de Figuras

Figura 1.	**Relación de la temperatura de la zona radical 28 días después del transplante con el peso seco de vástago de dos cultivares de tomatillo en las estaciones de primavera y verano.**	**11**
Figura 2.	**Relación del promedio de los valores estacionales de la temperatura de la zona radical media con el total de producción de fruto de dos cultivares de tomatillo.**	**12**
Figura 3.	**Tendencia estacional de la temperatura de la zona radical y aire bajo el acolchado de colores durante tres estaciones de crecimiento.**	**36**
Figura 4.	**Tendencia diurna en la temperatura de la zona radical y aire con acolchado de colores durante las tres estaciones de crecimiento.**	**37**
Figura 5.	**Relación de la temperatura de la zona radical en acolchado y la radiación fotosintéticamente activa reflejada por el acolchado.**	**38**
Figura 6.	**Modelo del efecto de la temperatura de la zona radical (TZR) sobre el óptimo para el crecimiento y rendimiento de tomate.**	**40**
Figura 7.	**Cantidad de luz (%) transmitida a través de los acolchados plásticos de colores.**	**42**
Figura 8.	**Regresión entre la transmisión de luz en el rango de 400 a 1100 nm a través de los acolchados plásticos de colores y la densidad de maleza (A) o biomasa de la maleza (B).**	**45**
Figura 9.	**Regresión entre la transmisión de luz en el rango de 400 a 700 nm a través de los acolchados plásticos de colores y la densidad de malezas (A) o biomasa de la maleza (B).**	**46**

INTRODUCCIÓN

El acolchado de suelos ha sido una técnica empleada desde hace mucho tiempo por los agricultores. En sus inicios, consistió en la colocación sobre el suelo de residuos orgánicos en descomposición (paja, hojas secas, cañas, hierba, etc.) disponibles en el campo (Ibarra y Rodríguez, 1991). Con estos materiales se cubría el terreno alrededor de las plantas, especialmente en cultivos hortícolas, para obstaculizar el desarrollo de malezas, reducir la evaporación del agua del suelo, y principalmente para aumentar la fertilidad. El desarrollo de la agroquímica provocó que esta antigua práctica se olvidara, ya que aparecieron en el mercado numerosos herbicidas para la prevención y control de malezas.

Desde el siglo pasado, materiales manufacturados como papel, papel aluminio, y el plástico se han utilizado como acolchados de suelos. Cada uno presenta ventajas y desventajas cuando se comparan con el cultivo en suelo desnudo, y al compararlos uno con otro.

El uso de los acolchados en la horticultura ha tenido un gran desarrollo, ya que proporciona un gran número de beneficios agronómicos y medioambientales. Entre las ventajas de su utilización cabe destacar la producción precoz, el rendimiento y la mejora en la calidad del fruto producido bajo este sistema; la prevención de aparición de malas hierbas, así mismo un uso más eficiente del agua y los fertilizantes, y la reducción de la erosión y compactación del suelo (Lamont, 1993).

Los acolchados plásticos afectan principalmente el microclima del cultivo, modificando el balance de energía del suelo y suprimiendo la evaporación del agua en el mismo (Liakatas *et al.,* 1986). Estos factores del microclima afectan significativamente la temperatura y la humedad del suelo en la zona radical de las plantas, aspectos que pueden influenciar el crecimiento vegetal y la productividad.

Muchos investigadores han demostrado que la fenología, el rendimiento y la calidad de ciertos cultivos se pueden mejorar por los efectos que el acolchado ejerce sobre la temperatura

y la humedad del suelo (Bhella, 1988; Maiero *et al.,* 1987; Wien y Minotti, 1988). Otros han demostrado que la calidad de la radiación reflejada por ciertos acolchados puede tener un efecto directo sobre el crecimiento vegetal (Decoteau *et al.,* 1988, 1989) o disuadir la inmigración de insectos vectores de enfermedades (Greenough *et al.,* 1990).

Las principales hortalizas que se producen con la técnica de acolchado de suelos y riego por goteo son: tomate (*Lycopersicon esculentum*), chile (*Capsicum annuum*), melón (*Cucumis melo*), berenjena (*Solanum melongena*), pepino (*Cucumis sativus*), calabaza (*Cucurbita pepo*), fresa (*Fragaria ananassa*) y sandía (*Citrullus lanatus*) (Lamont, 2005).

El tomate es un cultivo de alto valor comercial y de enorme importancia mundial, tanto por la aceptación general del fruto en la alimentación humana y su utilización en forma variada, así como por sus cualidades organolépticas y un alto valor nutricional, siendo debido a estas condiciones, uno de los cultivos mas estudiados en agroplasticultura.

No existe ningún acolchado que se ajuste totalmente a situaciones climáticas específicas, pero conocer las características de los diferentes colores de acolchado nos puede ayudar a elegir el más adecuado para una determinada región y un cultivo específico. Puesto que los acolchados se utilizan para una amplia gama de cultivos, en un rango de áreas geográficas con diversas condiciones naturales, se puede esperar variabilidad en la respuesta de rendimiento o producción.

En este trabajo se realizó una revisión de literatura con el objetivo de analizar y documentar el efecto de los factores que influyen sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate establecido bajo acolchado plástico de suelos.

REVISIÓN DE LITERATURA

LA IMPORTANCIA DE LOS COLORES EN LOS ACOLCHADOS PLÁSTICOS

Películas Negro-Opaco

Son las películas mas ampliamente utilizadas en la producción de hortalizas. Absorben todas las radiaciones solares, luminosas y térmicas, transmitiendo solo parte de estas últimas por conducción a la capa superficial del terreno y por la noche el flujo de calor emerge del terreno acolchado más lentamente que cuando se ha recubierto con película transparente o cuando el suelo está desnudo. Durante el día la temperatura bajo el acolchado puede ser 2.8 °C mas alta a 5 cm de profundidad y 1.7 °C mas alta a 10 cm de profundidad comparadas con el suelo desnudo (Ham *et al.*, 1993). Debe tenerse en cuenta que en algunos casos la película negra sobrecalienta el suelo debido a que absorbe rayos infrarrojos cortos y el excesivo calor puede ocasionar la muerte de la plántula o la semilla, así como también una irradiación excesiva puede dañar parcialmente a las plantas jóvenes recién trasplantadas.

El efecto más importante que proporciona este tipo de plástico es la eliminación casi total de las malezas debido a su opacidad con respecto a las radiaciones visibles (entre los 300 y 800 nm), lo que impide una competencia con la planta por agua y nutrimentos (Ibarra y Rodríguez, 1991). Otra ventaja de este plástico es que como la temperatura del suelo durante el día es menor que la causada por el plástico transparente, se restringe el movimiento de agua y se reduce a un efecto mínimo el movimiento ascendente de sales, permitiendo su utilización en zonas con problemas de aguas salinas. Su inconveniente es que, como el suelo se calienta poco en el día, durante la noche es mínima la aportación de calor a la planta, exponiéndola más a los efectos de heladas ya que reduce el calor a la raíz. Entre las propiedades espectrales con que cuenta esta película son: 3.5% de reflexión, 0.7% de transmisión y un 95.8% de absorción de la radiación solar (García, 1996).

Películas Transparentes

Dejan pasar todos los rayos solares de la banda visible y los rayos infrarrojos cortos son absorbidos por el terreno, el cual se calienta. El fuerte calentamiento del terreno producido durante el día, se contrasta con un enfriamiento bastante rápido durante la noche o en períodos nublados; esta variación térmica bastante marcada puede influir negativamente sobre la producción. Las temperaturas del suelo bajo el acolchado transparente durante el día son de 4.4 a 7.8 °C mas alta a 5 cm de profundidad y de 3.3 a 5.0 °C mas altas a 10 cm de profundidad comparadas con el suelo desnudo (Ham *et al.*, 1993). Cuando la radiación solar es fuerte, causa una considerable evaporación del agua del suelo, creándose una condensación en la cara inferior del plástico lo que provoca una disminución en la radiación solar reflejada. El paso de los rayos visibles permite también un desarrollo excesivo de malezas, que cuando son controladas debidamente, la película puede ser utilizada con éxito en todos los tipos de cultivo. Como la película transparente no absorbe calor más que en una mínima parte, no se corre el riesgo de quemar las partes de la planta que entren en contacto con ella (Guariento, 1983). Este tipo de película es recomendable en climas templados y sin problemas de malezas.

El plástico transparente es el que proporciona mayor precocidad en los cultivos y también el que puede evitar los daños de helada producidos por temperaturas críticas, esto es debido a que permite el paso de la radiación (mas del 80%) por lo que, durante el día, el suelo y la parte radical de las plantas se calientan mas, existe una evaporación constante y en la pared interna del plástico se produce el fenómeno de condensación, con lo que se logra tener una pantalla y el suelo no se enfría rápidamente por la noche, lo que contribuye a proteger la planta contra las bajas temperaturas debido a las aportaciones de calor que éstas reciben del suelo. El inconveniente que presenta el plástico transparente es el de favorecer el crecimiento de malezas, mismas que pueden levantar la película causando daños al cultivo, además de competir con éste por agua y nutrimentos, otro inconveniente es que al conseguirse una evaporación constante se provoca un ritmo rápido de circulación en el suelo acolchado y en cada flujo se depositan sales en la superficie del suelo, por lo que se recomienda efectuar la plantación a los lados del surco (Ibarra y Rodríguez, 1991).

Entre los principales objetivos del acolchado incoloro es que se utiliza para aumentar el calor a la raíz, para solarizar, que es un calentamiento del suelo para controlar nemátodos, hongos y malezas, para lo cual se requiere que el plástico transparente tenga aditivos infrarrojos. Este tipo de plástico tiene un 10.6% de reflexión, 84.5% de transmisión y un 4.9% de absorción de la radiación solar (García, 1996).

Película Blanca

Los acolchados blancos mantienen la temperatura del suelo más fresca que otros acolchados, por lo que son usados por lo general, en cultivos establecidos durante el verano y el otoño. Estas películas transmiten al suelo del 40 al 70% de la luz recibida, por lo tanto, tienen la propiedad de calentar el suelo más que el negro y menos que el transparente (http://www.olefinas.com). Un problema con estos acolchados es que tienden a perder su blancura rápidamente debido al polvo y las partículas de suelo que se adhieren a la película, que se torna amarilla y es una atrayente de plagas. En la Costa de Ensenada, B.C., el plástico blanco se está utilizando en los cultivos de fresa para aumentar el calor a la raíz durante los meses de invierno.

Acolchados Bicapa

La característica principal de los acolchados bicapa o coextruído es que tienen diferentes colores a cada lado de la película. Absorben una parte del calor que reciben. La utilización de estos plásticos es muy interesante en siembras de primavera y verano, ya que al reflejar los rayos solares, evitan el calentamiento excesivo del suelo y el secamiento del sistema radical de la planta; sirven para controlar la maleza, por su reflexión se utilizan para repeler áfidos, además de que aportan energía lumínica en el sistema fotosintético. Este tipo de plástico cuenta con 39.1% de reflexión, 4.4% de transmisión y 56.5% de absorción de la radiación solar. Su inconveniente es que durante la noche, no aporta calor a la planta, dejándola expuesta a las heladas (Ibarra y Rodríguez, 1982). Los dos principales acolchados bicapa se describen a continuación:

a) Película Plata/Negro

Tiene una gran reflexión fotosintética hacia el follaje de la planta, incrementando el proceso de fotosíntesis y ahuyentando a los insectos. La transmisión de la luz al suelo es la mínima, por lo tanto, evita el calentamiento excesivo del suelo y el desarrollo de malezas debajo del plástico. Esta película absorbe en gran medida la energía calorífica recibida, debido a esto puede provocar quemaduras en la parte aérea de los cultivos jóvenes (http://www.olefinas.com). El acolchado plata/negro se utiliza en el Valle de Culiacán en una superficie de mas de 4,000 ha para reducir el calor a la raíz en el verano y aumentar la absorción lumínica en el invierno.

b) Película Blanco/Negro

Tiene la cualidad de mantener el suelo fresco, brinda una excelente reflexión de luz fotosintética por el lado blanco e impide el paso de la luz por el lado negro, evitando el desarrollo de malezas por debajo del plástico. Debido a eso se obtienen cosechas más abundantes y de mayor calidad (http://www.olefinas.com). La temperatura del suelo bajo el acolchado es disminuida en aproximadamente 1.5 °C a 5 cm de profundidad y 0.9 °C a 10 cm de profundidad, comparado con el suelo desnudo (Ham *et al.*, 1993). Estos acolchados son usados para establecer cultivos cuando las temperaturas del suelo son altas y una reducción de temperatura es benéfica. Los acolchados blanco/negro han resultado muy útiles para contrarrestar los efectos del calor excesivo que se presenta durante el verano, en la región del noreste y la costa del Pacífico de México (García, 1996).

Películas Fotoselectivas

Los acolchados plásticos fotoselectivos modifican la cantidad y calidad de la radiación. Son materiales que selectivamente transmiten la radiación en algunas regiones del espectro electromagnético pero no en la longitud de onda fotosintética. Estos acolchados absorben la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y transmiten radiación infrarroja, proporcionando el efecto de un acolchado negro y uno transparente (Lamont, 2005). Las principales películas fotoselectivas se señalan enseguida:

a) Acolchados de Transmisión Infrarroja (IRT)

Proporcionan los beneficios del control de malezas del acolchado negro pero con características intermedias entre los acolchados negro y transparente, en términos de incremento de la temperatura del suelo (Lamont, 2005). Los acolchados IRT incrementan las temperaturas del suelo de 3.3 a 4.4 °C, pese a sus características no son ampliamente utilizados debido a que su costo es 25% mas alto que el acolchado negro y no están tan disponibles como el acolchado color negro (Greer y Dole, 2003). Los acolchados IRT más conocido son: AL-OR (café) (Industrias Polyon- Barkai, Tel Aviv, Israel), IRT-76, IRT-64 e IRT-70 (todos azul-verde) (Industrias AEP, New Jersey, EE. UU.).

b) Película Roja

Estas películas también son selectivas de onda de luz visible y afectan la intensidad de la radiación rojo-rojo lejano reflejada al dosel del cultivo y puede afectar las poblaciones de insectos. Se ha demostrado por medio de varios estudios, que esta película incrementa la producción precoz y el rendimiento total en tomate. Su uso es en cultivos estacionales en zonas frías con poco riesgo de heladas y en terrenos con escasos problemas de maleza. La tecnología del acolchado color rojo fue desarrollada por científicos del Servicio de Investigación Agrícola (Florencia, Carolina del Sur) del departamento de Agricultura de Estados unidos de América (USDA) y la Universidad de Clemson, mediante el Convenio de Investigación Cooperativa y Desarrollo y licenciada a Sonoco Products Co. (Hartsville, SC) para su manufactura y comercialización (Kasperbauer y Hunt, 1998).

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE CON ACOLCHADO PLÁSTICO

Temperatura del Suelo y su Relación con el Rendimiento de Tomate en Acolchado Plástico

El efecto del acolchado sobre la temperatura del suelo esta fuertemente influenciado por el tipo de plástico que se utilice, ya sea por la composición química o por la coloración del

mismo, y el grado de contacto entre el plástico y la superficie del suelo. Durante el día, el plástico transmite al suelo las calorías recibidas del sol, mientras que por la noche detiene en cierto grado el paso de las radiaciones caloríficas del suelo hacia la atmósfera (Robledo y Martín, 1988).

La radiación que llega a un material plástico puede ser reflejada, absorbida y trasmitida. La reflexión son los rayos de luz que no atraviesan el plástico, sino que se reflejan hacia el exterior según el ángulo de incidencia y las propiedades del material del que se trate. La absorbancia es la propiedad que tienen los materiales para absorber en mayor o menor porcentaje la radiación, mientras que la transmitancia es la propiedad que tienen los materiales para transmitir las radiaciones a través del mismo, obteniéndose como consecuencia una mejor difusión de la luz (Robledo y Martín, 1988).

La variación de la temperatura del suelo cuando se cubre con películas para acolchado de diferentes colores ocurre porque el color modifica la cantidad de radiación reflejada (reflectancia), transmitida (transmitancia) y absorbida (absorbancia) por el material.

Las películas transparentes y las opacas de color oscuro aumentan la temperatura del suelo en 2-6 °C a una profundidad entre 5 y 10 cm. En cambio, las películas opacas de color claro o aluminizadas al tener una mayor reflectancia, disminuyen dicha temperatura en 1-3 °C en comparación con un suelo desnudo (Benavides, 1998).

Hay cultivos en zonas cálidas donde se requiere disminuir un poco el calor de la zona radicular para que la planta no sufra estrés térmico; en este caso, el color blanco ayudará a reducir la temperatura; por el contrario, el color negro aumentará la temperatura.

La temperatura de la zona radical (TZR) es importante en el crecimiento y desarrollo de la planta porque afecta procesos fisiológicos en las raíces como son la absorción de agua y nutrientes minerales. La TZR puede ser crítica para la supervivencia de la planta, debido a que las raíces tienen una temperatura óptima más baja y están menos adaptadas a fluctuaciones extremas que la parte aérea. Bajo condiciones controladas, el crecimiento de la raíz se

incrementa casi linealmente con el incremento de temperatura de una temperatura mínima a una óptima. Incrementos marcados en la TZR están acompañados por un decremento en crecimiento de la raíz y de la parte aérea de la planta. Una alta TZR puede tener un drástico efecto sobre el crecimiento de la planta, fructificación, absorción de agua y nutrientes minerales, partición de fotosintatos y respiración de la raíz (Diaz-Perez *et al.,* 2005).

La temperatura bajo los acolchados plásticos es afectada principalmente por las propiedades ópticas del plástico, aunque otros factores como la humedad del suelo, dimensiones de la cama acolchada, grado de contacto entre las partículas del suelo, y entre el acolchado y el suelo. Las propiedades ópticas de los acolchados cambian como resultado de la degradación debida al calor, intensidad de la radiación solar o daño por pesticidas (Diaz-Perez, *et al.,* 2008).

En Oregon (Estados Unidos de América) se evaluaron tres formulaciones de plásticos fotodegradables opacos, dos formulaciones de plásticos transmisores de infrarrojo y se compararon con plásticos no degradables y con suelo desnudo en los cultivos de pimiento, tomate y sandía. Los resultados mostraron que todas las películas incrementaron la media de la temperatura del suelo con respecto al suelo desnudo, siendo las películas transmisoras de radiación infrarroja las que registraron la mayor temperatura (Hemphill y Clough, 1990).

Para analizar el efecto de los acolchados plásticos sobre el crecimiento vegetal, la producción, y temperatura de la zona radical durante dos estaciones de crecimiento: primavera y verano del 2000, se evaluaron dos cultivares de tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Hornem) 'Toma Verde' y 'Verde Puebla'(Diaz-Perez *et al.,* 2005). En el cultivo de primavera, los tratamientos acolchados tuvieron poco efecto sobre el crecimiento vegetal durante los primeros 30 días después del trasplante (ddt) y no hubo diferencias significativas en el rendimiento de fruto. En verano, el crecimiento y la producción de fruto fueron más altos con los tratamientos acolchados plata y gris, y más bajos en suelo desnudo (Cuadro 1). La TZR en la primavera (media = 26.4 °C) fue más baja que en el verano (media = 29.3 °C). En ambas estaciones, la TZR media fue más alta en el acolchado negro y más baja en el suelo desnudo (Cuadro 2).

Cuadro 1. Producción total de fruto de tomatillo por cultivar y acolchado plástico.

Tratamiento	Producción Total de Fruto ($kg \cdot planta^{-1}$) Primavera	Verano
Cultivar		
Toma Verde	1.1 b	0.8 b
Verde Puebla	1.9 a[z]	1.2 a
Acolchado		
Suelo Desnudo	1.5	0.5 b
Negro	1.4	0.9 ab
Gris	1.6	1.3 a
Plata	1.4	1.3 a

[z]Medias separadas entre columnas por la prueba DMS ($P \leq 0.05$)

Cuadro 2. Temperatura de la zona radical de plantas de tomatillo bajo acolchado plástico.

Acolchado	Temperatura de la Zona Radical (°C) Media	Máxima	Mínima
Primavera			
Suelo Desnudo	25.8 d [z,y]	31.2 b	21.3 c
Negro	27.0 a	31.7 a	23.0 b
Gris	26.8 b	30.8 b	23.2 a
Plata	26.0 c	29.1 c	22.9 b
Verano			
Suelo Desnudo	28.4 c	34.2 b	24.6 b
Negro	30.2 a	35.4 a	26.3 a
Gris	29.2 b	33.2 c	26.3 a
Plata	29.4 b	33.2 c	26.3 a

[z]Medias separadas entre columnas por la prueba DMS ($P \leq 0.05$)

[y]Los valores representan el promedio estacional de los valores diarios de la temperatura de la zona radical media, máxima y mínima en cada acolchado plástico.

Este mismo trabajo señala que en el verano, el crecimiento vegetal y la producción de fruto tendieron a disminuir con el aumento de la TZR. Durante los primeros 28 DDT, el crecimiento de la planta (Peso Seco del Vástago, PSV) en la primavera se incrementó con incrementos en la TZR media, aunque en el verano el PSV decreció con aumentos en la TZR media los primeros 28 DDT (Figura 1).

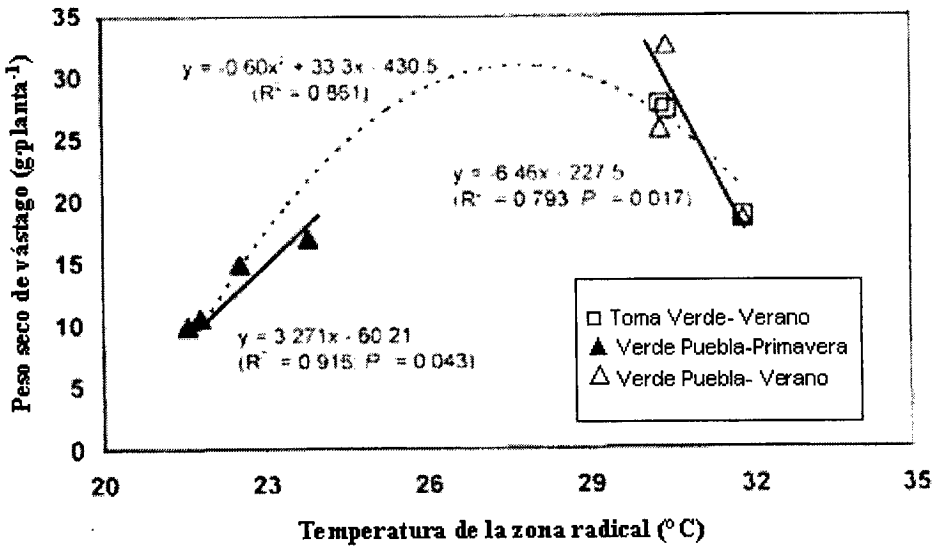

Figura 1. Relación de la temperatura de la zona radical 28 días después del transplante con el peso seco de vástago de dos cultivares de tomatillo en las estaciones de primavera y verano. Cada símbolo representa la media de PSV para un acolchado y cultivar de tomatillo dados. Las líneas sólidas fueron obtenidas por regresión lineal. La curva cuadrática (línea punteada) se construyó con los datos obtenidos de ambas estaciones.

La producción total de fruto en 'Toma Verde' decreció con incrementos en los valores de la TZR máxima y media, mientras que en 'Verde Puebla', la producción total de fruto se incrementó con incrementos de la temperatura de la zona radical a una TZR óptima (Figura 2). La TZR media óptima predicha para el crecimiento de la planta durante el establecimiento y la producción de fruto fue 27.7 °C y 27.3 °C, respectivamente.

El crecimiento de la planta durante el periodo de establecimiento, en este experimento, pudo afectar significativamente el desarrollo posterior de la planta y la producción de fruto, como lo mostrado en el cultivo de tomate (Diaz-Perez *et al.*, 2004). En reportes previos se ha

encontrado una relación cuadrática entre el crecimiento de la planta de tomate y de otros cultivos con la TZR (Diaz-Perez y Batal, 2002).

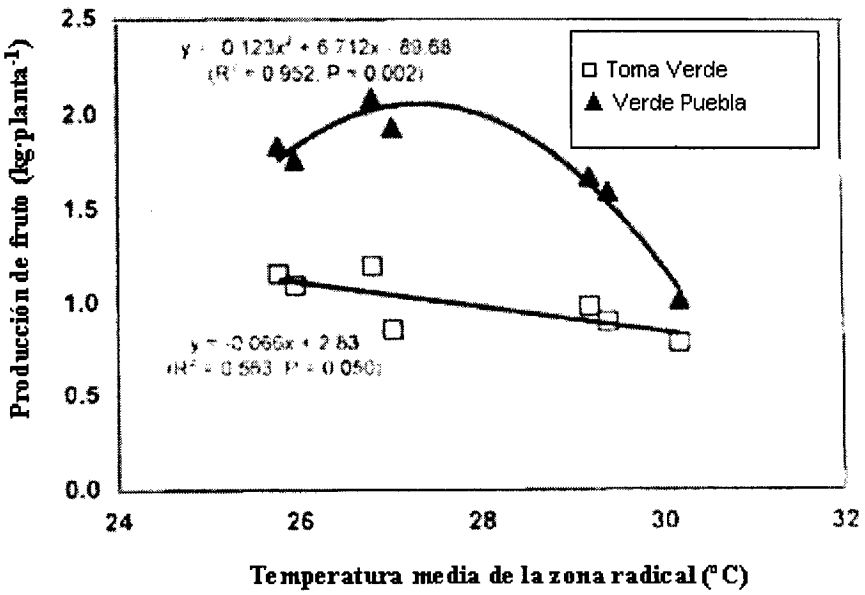

Figura 2. Relación del promedio de los valores estacionales de la temperatura de la zona radical media con el total de producción de fruto de dos cultivares de tomatillo. Las graficas se construyeron con datos de las estaciones de primavera y verano en el 2000. Cada símbolo representa la media de peso de fruto fresco para un acolchado y un cultivar de tomatillo. Las líneas sólidas se obtuvieron por regresión.

Efecto del Acolchado en el Doble Cultivo

Ngouajio y Ernest (2005) analizaron la viabilidad del acolchado plástico en doble cultivo (una estación de crecimiento por año) para documentar los cambios en las propiedades físicas, ópticas y térmicas del acolchado plástico de colores y determinar su funcionamiento después de un año de exposición en el campo, probaron con acolchados de color negro, gris, TIR-marrón, TIR-verde, blanco y coextruído blanco/negro. Se cultivó tomate 'Mountain Spring' en el primer año y pepino 'Greensleeves' en el siguiente año.

El acolchado verde fue degradado sustancialmente durante el doble cultivo (solamente el 40% de la cama fue cubierta para el segundo año) y presentó un incremento en la

transmisión de la luz y un decremento en la acumulación de calor (grados-días). Los acolchados: negro, blanco/negro, blanco, TIR-marrón, y TIR-verde presentaron baja degradación con 93, 91, 85, 75 y 61% de superficie cubierta del suelo, respectivamente. Sin embargo, la capacidad del calentamiento del suelo se redujo significativamente.

La producción promedio de tomate en 2002 fue de 52 a 63 $t \cdot ha^{-1}$ y la producción de pepino en 2003, fue de 15 a 20 $t \cdot ha^{-1}$; sin embargo, la producción no fue significativamente diferente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento de tomate y pepino establecido usando acolchado plástico de colores.

Acolchado de Colores	Rendimiento de Fruto Grado 1 ($t \cdot ha^{-1}$)[z]	
	Tomate	Pepino
Blanco	54.9	15.2
Negro	52.6	18.2
Blanco/Negro	52.2	18.8
Gris	58.6	18.3
IRT- verde	62.8	20.4
IRT- marrón	57.3	19.9
DMS	10.1	9.4

[z]El tomate se estableció en acolchado nuevo (2002) y el pepino en doble cultivo al año siguiente (2003).

Si los acolchados plásticos se utilizan solamente para la conservación del agua y el control de malas hierbas, los plásticos negros y blanco/negro se pueden usar exitosamente para el doble cultivo bajo las condiciones de crecimiento de Michigan, EE. UU. y de muchas otras partes del mundo.

La capacidad de calentamiento del suelo por el plástico negro disminuiría significativamente para el segundo cultivo, pero en ciertos casos esto puede ser quizá benéfico. Por ejemplo, en regiones con estaciones de crecimiento largo, la segunda cosecha puede ser seguida de la primera. El segundo cultivo puede ser plantado durante el verano,

cuando el suelo es ya muy caliente y en esta situación el calentamiento adicional podría ser perjudicial (Diaz-Perez y Batal, 2002).

Estos acolchados pueden ser utilizados en el doble cultivo para suprimir malas hierbas, y para reducir la compra de insumos y los gastos de colocación, remoción y disposición de los plásticos. Sin embargo, pueden no proporcionar al suelo un adecuado calentamiento en la segunda estación de crecimiento.

Acolchados de Colores en Precocidad, Rendimiento y Calidad del Fruto

Para poder elegir un color de acolchado es fundamental considerar la época del año en que se usará, ya que su efecto sobre las plantas será positivo o negativo según las condiciones ambientales.

La precocidad es una condición genética de cada cultivar, que puede ser influenciada por el medio ambiente y expresarse en las etapas de los días a floración y cosecha temprana; y puede ser modificada al establecer los cultivos con cubiertas plásticas, ya que éstas incrementan la temperatura, la cual ha sido considerada como un factor determinante para provocar una mayor actividad fisiológica de los cultivos acolchados que responden a la anticipación de la cosecha, la cual está determinada por la especie y la estación de crecimiento (Ibarra y Rodríguez, 1991).

Eltez y Tüzel, (1994) trabajando con tomate bajo invernadero, encontraron que el acolchado de polietileno blanco produjo mayor rendimiento total y mayor precocidad que el negro en otoño, mientras que el negro produjo mayor rendimiento total y menor precocidad que el blanco en primavera. La ventaja del polietileno blanco en invierno está dada por el beneficio que trae la reflexión de la luz sobre las plantas.

Con la finalidad de comparar los efectos de diversos acolchados plásticos coloreados sobre el crecimiento y la producción de tomate, Ogutu (2005) evaluó diez tratamientos (suelo

desnudo, negro liso, rojo, negro embozado, azul, verde oliva, amarillo, transparente, blanco, y reflectivo). Las plantas establecidas en los acolchados blanco y reflectivo fueron más altas que las plantas bajo los acolchados negro liso, negro embozado, transparente, azul, rojo y verde oliva. En los acolchados blanco y reflectivo, se obtuvo la mayor producción comercial y la más baja se registró en el tratamiento amarillo. Los frutos de mayor tamaño se obtuvieron en los acolchados blanco y reflectivo, en comparación con los demás tratamientos evaluados.

La inconsistencia observada en el rendimiento de los cultivos en respuesta a los diversos colores de los acolchados, es debido en parte a un aumento en temperatura del suelo, y al rango de longitudes de onda reflejadas producidas por los colores del acolchado. Los diversos colores absorberán y reflejaran diferentes longitudes de onda y las plantas son muy sensibles al color de la luz que sus hojas interceptan del sol y de la reflejada por la superficie (Orzolek y Otjen, 1996). La luz roja y rojo lejano (entre 600 y 800 nm) producen las respuestas más importantes del crecimiento de las plantas (Cuadro 4).

Incluso los cambios en proporción R/RL pueden tener una influencia mayor en el crecimiento de la planta, ya que el valor nutritivo del tomate puede ser afectado por la calidad de la luz.

Cuadro 4. Efecto de los diferentes colores de luz sobre la respuesta de las plantas.

Color	Longitud de Onda	Respuesta
Violeta	380 - 440 nm	No reportado
Azul	440 - 495 nm	Fototropismo, fotosíntesis
Verde	495 - 570 nm	Ninguno
Amarillo	570 - 595 nm	Atracción de insectos
Naranja	595 - 625 nm	Ninguno
Rojo	625 - 800 nm	Fotosíntesis, germinación, desarrollo vegetativo y, síntesis de antocianinas

Fuente: Orzolek y Otjen (1996).

Mahmoudpour y Stapleton (1997) mencionan que es mayor el número de investigaciones que se han hecho en tomate que con otros cultivos utilizando los acolchados asperjables de látex, acolchado negro, acolchado azul, acolchado amarillo, acolchado pintado de color aluminio, y casi en todos los estudios se han mostrado incrementos significativos en campo con respecto al suelo desnudo.

Con el objetivo de comparar el efecto de tres acolchados (polietileno negro, plástico negro biodegradable de almidón de maíz y plástico aluminizado fotodegradable) en un cultivo de tomate al aire libre, Moreno *et al.* (2009) evaluaron el deterioro visual de los acolchados, la temperatura del suelo, el rendimiento y parámetros de calidad de los frutos (sólidos solubles, firmeza, peso seco, jugosidad y forma). El material biodegradable cumplió con éxito su función y se degrado tres meses después de finalizar el cultivo. El fotodegradable se deterioró rápidamente y el polietileno negro permaneció prácticamente intacto al final del ciclo. Se observaron diferencias significativas en las temperaturas medias del suelo bajo los acolchados con 27.8, 28.7 y 31,8°C para el biodegradable, el aluminizado y el de polietileno, respectivamente, aunque sin efecto marcado sobre el rendimiento. La producción comercial fue similar en los acolchados biodegradable y de polietileno (9.82 y 8.66 $kg \cdot m^{-2}$, respectivamente), superior al acolchado aluminizado fotodegradable (6,85 $kg \cdot m^{-2}$). No se observaron diferencias en los parámetros de calidad del fruto.

Teniendo como premisa obtener una mayor refracción se desarrolló una cubierta plástica roja para reflejar una proporción de fotones R/RL más alta que la proporción en que llega la luz solar en el mismo tiempo y lugar (Kasperbauer, 1999), esto favoreció el crecimiento y el rendimiento de fruto de tomate de alto valor comercial (Kasperbauer y Hunt, 1998), además el color de luz reflejada sobre el fruto durante el desarrollo también influye en la concentración de algunos sabores y componentes de nutrición en el fruto maduro (Kasperbauer *et al.*, 2001).

Decoteau (2007) realizó un estudio con el propósito de documentar la influencia del color de la superficie de los acolchados plásticos (negro y blanco) sobre la distribución del área foliar de plantas de tomate en dos periodos de muestreo: un periodo temprano con plantas

jóvenes (en tratamiento por 22 días) y un periodo posterior con plantas maduras (en tratamiento por 50 días).

En el muestreo temprano, las plantas de tomate cultivadas con acolchado blanco registraron más hojas axilares que las plantas en acolchado negro, resultando en una mayor relación de área foliar principal: axilar para las plantas en el acolchado blanco. El incremento en brotes laterales en tratamientos con cubierta blanca han sido previamente observados (Fortnum *et al.,* 2000) y fue atribuido a la baja proporción de R (rojo) o RL (rojo lejano) de la reflexión de luz dentro del dosel de los tratamientos con cubierta blanca comparado con los tratamientos de plástico negro. El área foliar para el total de hojas (principal + axilar) y la biomasa de plantas no fue afectada por el color de la superficie del acolchado en el periodo temprano de muestreo.

Las plantas sometidas al tratamiento negro en el muestreo temprano tuvieron significativamente más área de hojas principales en el nódulo 3, mientras que las plantas con cubierta blanca tenían más área de hojas principales en nódulos 8 y 9. Las plantas del tratamiento color blanco tuvieron significativamente más área foliar axilar en nódulos 1, 2 y 3, mientras que las plantas en cubierta negra tuvieron más área foliar axilar en el nódulo 6.

En el muestreo posterior, la mayor porción del área foliar de ambos tratamientos se registró en las hojas axilares, y no hubo efecto del color de la superficie del acolchado sobre la cantidad de área foliar total particionada en hojas principales, axilares u hojas totales, para la cantidad de biomasa de vástago o para la distribución nodular del área foliar entre hojas principales u hojas axilares.

Las plantas crecidas en el acolchado blanco tuvieron significativamente más fruto que las plantas en el acolchado negro (Cuadro 5). Las plantas en la cubierta blanca tuvieron fruto más temprano o mayor producción de fruto como un resultado de la formación de hojas laterales tempranas. El color de la superficie acolchada también afectó la luz del ambiente de la planta y las temperaturas del suelo.

Cuadro 5. Características de los frutos de plantas de tomate desarrolladas en acolchado plástico color blanco y acolchado plástico color negro durante 50 días.

Color del acolchado	Frutos	
	(Número·planta^{-1})	(g·planta^{-1})
Blanco	24.7	1885
Negro	18.6	1525
Significancia	*	NS

NS,*No significancia o significancia, P= 0.05, análisis de varianza; n=12.

Estos resultados sugieren que el color de la superficie del acolchado de polietileno puede inducir cambios en el microclima de la planta y afectar la distribución de área foliar de plantas jóvenes de tomate (de acuerdo con datos del muestreo temprano) y la fructificación de las plantas relativamente más maduras (según los resultados del muestreo posterior).

La radiación reflejada por el acolchado de polietileno influenció el ambiente de radiación en la zona de la plántula. El acolchado blanco reflejó más radiación fotosintéticamente activa (RFA) que el acolchado negro (Cuadro 6). Este incremento en RFA disponible para la planta podría aumentar la tasa fotosintética.

La cantidad de radiación azul, que influencia el desarrollo en cuanto al engrosamiento y altura del cultivo, fue mayor sobre el acolchado blanco que sobre el acolchado de color negro. La porción relativa R/RL fue ligeramente mayor sobre el acolchado negro que sobre los acolchados blancos. La proporción R/RL está involucrada en la acción del fitocromo en las plantas y ha estado implicada en la regulación de la elongación del tallo, el desarrollo de los cloroplastos y la partición de fotosintatos en brotes, raíces y desarrollo del tomate.

Los efectos del color de la superficie del acolchado sobre la distribución de área foliar parecen ser provocados por las diferencias en la luz reflejada desde la superficie del plástico hacia el dosel de la planta y son consistentes con observaciones previas (Decoteau *et al.*,

1988). Esto puede afectar subsecuentemente la fructificación temprana y contribuye en las diferencias en rendimiento previamente reportadas en pruebas de campo con tomate (Decoteau *et al.*, 1989; Fortnum *et al.*, 1997; Kasperbauer y Hunt, 1998; Orzolek *et al.*, 2000). Además, otros factores ambientales como la temperatura y humedad del aire cercanos al follaje pueden tener también contribuciones para algunas diferencias observadas en el crecimiento de la planta.

Cuadro 6. Efectos del color de la superficie del acolchado en la radiación reflejada y la temperatura del suelo.

	Radiación reflejada[z]			
	RFA[x]	Azul[w]	R/RL[v]	Temperatura del suelo[z]
Acolchado	(% de luz solar directa)			(°C)
Blanco	47	46	1.00	22.9
Negro	6	6	0.94	23.7

[z]Las medidas de radiación fueron tomadas a 10.2 cm sobre el plástico en un día despejado a mediodía, y las temperaturas de suelo son los valores medios registrados a una profundidad de 2.5 cm, promedio de 50 días.

[x]La radiación fotosintéticamente activa medida en la longitud de onda de 400-700 nm.

[w]La radiación azul medida en la longitud de onda de 400-500 nm.

[v]El índice (R:RL) de rojo (700-770 nm) a rojo lejano (600-700 nm) medido como el flujo quantum incidente de 650 nm a el flujo quantum incidente de 735 nm. Al índice R/RL de la radiación directa del sol le asignó un valor de 1.0.

Fortnum *et al.* (1997), observaron que la respuesta de la planta al color es más fuerte en primavera que en otoño, y esto puede ser debido a interacciones de la radiación fotosintéticamente activa, la temperatura y el dosel del cultivo.

Las plantas son organismos especializados en la captura y transducción energética de la radiación a través de la fotosíntesis. Son capaces también de regular la morfogénesis (generación de la forma y estructura) por medio de la percepción de las características de la radiación (Smith, 1982). Por ello, la mayor oportunidad de controlar el metabolismo y la

morfogénesis se relacionan con la manipulación de las características de la radiación transmitida o reflejada por películas plásticas (Benavides, 1998).

Los cambios en la radiación y en el balance espectral de la luz visible se traducen en respuestas específicas en la anatomía, morfología, bioquímica y fisiología de la planta. Estas respuestas son observables usando películas plásticas para acolchado de suelos.

La investigación continúa sobre la aplicación de los acolchados de diferentes colores, que tienen características ópticas distintas y por lo tanto reflejan diversos patrones de radiación hacia el follaje de un cultivo, afectando así el crecimiento y desarrollo vegetal (Decoteau *et al.*, 1989; Ngouajio *et al.*, 2003).

Control de Malezas con Acolchado Plástico y Efecto en Rendimiento

La técnica de acolchado plástico de suelos es muy usada en la producción de hortalizas y tiene una contribución muy significativa en la reducción de pérdidas de rendimiento por la competencia de malezas. La supresión de malezas bajo el plástico es el resultado de muchos factores, entre los que se destacan: 1) la prevención de la germinación de semillas debido a la reducción en la transmisión de luz y, 2) reducción de malezas en desarrollo por la barrea física de acolchado.

El aumento de la transmisión de luz por el acolchado depende de la exposición en el campo, el color del acolchado y otras propiedades ópticas (Brault *et al.*, 2002). El plástico negro es el plástico estándar siendo el más usado en muchas partes del mundo (Tarara, 2000); sin embargo, durante los últimos años, la industria del plástico ha desarrollado películas con diferentes colores y propiedades ópticas (Brault *et al.*, 2002; Csizinszky *et al.*, 1995, 1999; Diaz–Perez y Batal, 2002; Ham *et al.*, 1993; Hanna, 2000; Tarara, 2000; Schalk y Robbins, 1987).

El acolchado de suelos con polietileno negro ayuda a eliminar casi la totalidad de las malezas, excepto algunas como el "coquillo" (*Cyperus rotundus* L.) (Lira *et al.*, 2003; Ibarra y

Rodríguez, 1991). Este efecto herbicida del plástico negro se debe a su impermeabilidad a la luz, que impide la actividad fisiológica de las malezas. Asimismo, con esta práctica se evita el uso frecuente de herbicidas comunes, que permiten el crecimiento exuberante de malezas no selectivas a los mismos.

Lamont (2005) menciona que los acolchados de transmisión infrarroja proporcionan los beneficios del control de malezas del acolchado negro pero con características intermedias entre los acolchados negro y transparente, en términos de incremento de la temperatura del suelo.

Hasan *et al.* (2005) al analizar la respuesta de dos variedades de tomate 'BARI-4' y 'BARI-6' en diferentes ambientes (suelo no acolchado o control, acolchado con paja, acolchado con polietileno negro, acolchado con lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), y acolchado con hojas), encontraron diferencias significativas entre los diferentes acolchados en el crecimiento y el rendimiento del tomate. La altura de planta, el número de hojas, el número de raíces principales así como su longitud y su peso (fresco y seco), el número de flores y frutos por racimo, número de frutos por planta, peso de los frutos y rendimiento por hectárea fueron significativamente mas altos bajo el ambiente promovido por el acolchado de polietileno negro. Estos resultados se atribuyen a los efectos, ya bien conocidos (conservación de la humedad del suelo, reducción de lixiviación de fertilizantes), promovidos por los acolchados plásticos y, principalmente por la supresión de la competencia del cultivo con las malezas.

Teniendo como objetivo analizar el desempeño en campo de acolchados biodegradables Ngouajio *et al.* (2008) utilizaron el tomate 'Mountain Fresh Plus' como modelo de cultivo. Los tratamientos incluyeron dos acolchados biodegradables (BD) (en blanco y negro), cada uno con dos espesores (35 y 25 μm). Un acolchado convencional de polietileno de baja densidad (PEBD) de 25 μm se incluyó como control. Durante las estaciones se evaluó el grado de degradación del acolchado, temperatura del suelo, crecimiento del cultivo, densidad y biomasa de la maleza. Los frutos se cosecharon y se clasificaron de acuerdo a las especificaciones de mercado.

Los resultados por ellos obtenidos indican que la temperatura del suelo bajo los acolchados biodegradables fue mayor que bajo el control durante la primera semana. A partir de la segunda semana, la temperatura del suelo disminuyó gradualmente en todos los acolchados biodegradables. La estimación visual de la degradación de la superficie expuesta de los acolchados mostró diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 7).

El acolchado BD negro de 35 μm fue el único material que mostró una vida útil aceptable antes de la biodegradación, con 26.2% (2007) de la superficie de la cama expuesta al inicio de la cosecha. El acolchado BD blanco se degradó rápidamente, exponiendo la cama al crecimiento de la maleza y a la competencia con el cultivo.

Cuadro 7. Degradación de los acolchados durante su exposición en campo y su efecto en el control y la biomasa de malezas (2006 y 2007).

Tratamiento[z]	Degradación (%)[y]		Control de malezas (%)		Biomasa de malezas (g)[w]	
	2006	2007	2006	2007	2006	2007
Negro PEBD 25 μm	1.2 c[x]	0.0 d	100.0 a	100.0 a	1.6 a	0.0 a
Negro BD 25 μm	----	43.7 b	----	94.50 a	---	0.0 a
Negro BD 35 μm	13.7 b	26.2 c	97.5 a	98.25 a	0.0 a	0.0 a
Blanco BD 25 μm	96.0 a	97.5 a	23.7 b	12.50 b	109.6 b	274.5 b
Blanco BD 35 μm	93.2 a	96.2 a	33.7 b	13.75 b	140.4 b	228.5 b

[z]Los números enseguida de los nombres de tratamiento indican el espesor del acolchado; 1μm = 0.0394 mil.

[y]La degradación del acolchado fue estimada visualmente (en una escala de 0% a 100%) como el porcentaje de cama expuesta. En 2006 los datos corresponden a 76 días de exposición en campo, y en 2007 corresponden a 54 días.

[x]Los valores en una misma columna seguidos por una misma letra no son significativamente diferentes, P = 0.05.

[w]La biomasa de maleza se midió en un área de 50 x 50 cm sobre la superficie de la cama.

En la producción comercial, un nivel de control de malezas debajo del 85% se considera inaceptable debido a los impactos en el crecimiento de la planta, el rendimiento, y la calidad de los frutos (Parks *et al.,* 1995). Debido a la ruptura prematura de los acolchados

blancos, la presión de la maleza fue importante, resultando en plantas más pequeñas con bajo rendimiento en 2007.

El crecimiento de la planta, el rendimiento, y la calidad del fruto fueron similares en el acolchado biodegradable negro y el control. Todos los acolchados produjeron rendimientos similares en 2006, sin embargo, los acolchados BD blancos tuvieron un menor rendimiento que todos los demás acolchados en 2007.

En general, el pobre desempeño de los acolchados BD blancos se debió a una combinación de factores. Entre ellos destaca que permiten mayor transmisión de la luz, esto incrementó la temperatura del suelo y creó un microclima favorable para la germinación de malezas. Las malezas rasgan el acolchado y compiten con la planta de tomate por radiación, agua y nutrientes; además permiten el alojamiento una gran población de insectos que reducen la calidad del fruto. Los acolchados BD negros mostraron un excelente desempeño en campo, y pueden compararse con el acolchado PEBD negro en el impacto sobre la temperatura del suelo, el control de malezas, y el rendimiento de tomate.

Control de Plagas y Enfermedades Con Acolchado Plástico y Efecto en Rendimiento

La plasticultura es una técnica que combina varias disciplinas para hacer de los plásticos una herramienta muy útil para proteger los cultivos. Los ingredientes (aditivos) que se incorporan en la película de plástico desempeñan un papel importante en el cumplimiento de esta tarea y mediante la acertada selección de las combinaciones de aditivos, es posible incorporar en los agroplásticos diversas propiedades a manera de conformar una herramienta agrotécnica que en la mayoría de los casos llevará a mejorar la protección del cultivo con la consecuente reducción del empleo de agroquímicos en concordancia con las tendencias ecológicas.

Siendo la transmisión de virus un aspecto de gran importancia en el manejo fitosanitario de cualquier cultivo agrícola, es necesario evitar el contacto entre el insecto y su planta hospedera, sin embargo, el control químico ya no es una solución real ya que el insecto bajo el efecto de los pesticidas tiende a picar más veces antes de morir. Por esto, se debe buscar soluciones que prevengan el ataque (Csizinszky *et al.* 1999).

Una vez que los virus están presentes en las plantas no es posible controlarlos, el control químico con productos específicos resulta errático y costoso, por lo que las cubiertas flotantes y/o el acolchado plástico han demostrado que pueden ser herramientas para ayudar a controlar plagas y enfermedades en las plantas.

Kring (1972) postuló que los acolchados color aluminio pueden repeler áfidos por reflexión de la luz, o los áfidos pueden responder a la radiación contrastante del suelo y de las plantas. La película plástica aluminizada refleja más radiación hacia el lado abaxial de las hojas, pero emiten menos radiación de onda larga. Sin embargo, este aumento en radiación puede aumentar la temperatura y el uso del agua en la hoja (Ham *et al.*, 1991).

Las plantas desarrolladas en los acolchados de color pueden tener menor número de insectos plaga en etapas tempranas del crecimiento. Más tarde, el follaje del cultivo cubre los acolchados, reduciendo la capacidad de repulsión ejercida por las películas hacia las plagas (Csizinszky *et al.*, 1995).

Summers *et al.* (1995) mencionan que la razón de la disminución de la incidencia de insectos transmisores de virus, se debe a que el acolchado color aluminio refleja la luz en la región del espectro correspondiente a 400-500 nm (azul) y del espectro ultravioleta. Csizinsky *et al.* (1999) indican que la reflexión en estas regiones, repele a los insectos antes de que lleguen a las plantas, por lo tanto no pueden contagiarlas, disminuyendo la dispersión de las enfermedades transmitidas por vectores de virus. La razón de esto es que los insectos utilizan la radiación ultravioleta (UV) para sus cualidades locomotoras, es decir los ojos de los insectos están conectados a los centros visuales del cerebro; al faltar radiación UV se ven afectados los patrones de vuelo, lo cual altera el comportamiento normal de invasión.

Esto ha mostrado una disminución en cuanto a la cantidad de pesticidas utilizados. En la mayoría de los estudios mostrados a continuación, los acolchados aluminizados repelieron áfidos y trips (Cuadro 8):

Cuadro 8. Estudios realizados en Estados Unidos de América con acolchados plásticos aluminizados y su efecto en la incidencia de plagas y el rendimiento en tomate.

_ Acolchado aluminizado, aluminio sobre negro, y negro. Carolina del Sur (Schalk y Robbins, 1987). Las producciones más altas fueron obtenidas en el tratamiento negro. Los acolchados aluminio repelieron áfidos, pero los daños por minador (*Keiferia lycopersicella*) y gusano del fruto (*Heliothis zea*) se incrementaron.
_ Acolchado negro, blanco, y negro pintado de aluminio. Alabama (Brown *et al.,* 1988). Las producciones más altas fueron producidas con el acolchado negro pintado de aluminio. Los tratamientos color blanco y negro atrajeron áfidos. El acolchado negro pintado de aluminio no tuvo ningún efecto sobre áfidos.
_ Acolchado negro y aluminio. Arkansas (Scott *et al.,* 1989). La película color aluminio redujo la presencia de trips. El color negro no tuvo efecto sobre los trips.
_ Plástico negro pintado (blanco, plata, rojo y negro). Carolina del Sur (Decoteau *et al.,* 1989). La producción temprana más alta fue obtenida en el acolchados color rojo. Los acolchados oscuros (rojos y negros) tuvieron producciones más altas que los acolchados claros (blanco y plata).
_ Plástico negro, blanco, y negro pintado aluminio. Alabama (Brown *et al.,* 1989). Las producciones más altas fueron registradas en el acolchado negro pintado aluminio. Los tratamientos color blanco y negro aumentaron el número de trips. El acolchado negro pintado aluminio no tuvo ningún efecto sobre esta variable.
_ Acolchado plástico blanco sobre negro pintado de azul, anaranjado, rojo, aluminio, amarillo y blanco (en otoño); o negro pintado de los mismos colores (en primavera). Florida (Csizinszky *et al.,* 1995). En primavera, los acolchados color rojo y pintado aluminio incrementaron la producción temprana y la cantidad de frutos extra-grandes. Las producciones temprana y total, fueron más bajas en el tratamiento azul. En otoño, los acolchados amarillo, azul, y rojo tuvieron la más baja producción; el blanco alcanzó el más alto rendimiento. Los áfidos fueron menos numerosos en los acolchados aluminio y amarillo y, se presentó un mayor número en azul. El aluminio tuvo la menor cantidad de trips y el azul el mayor número. Los tratamientos amarillo, aluminio y naranja tuvieron el menor número de mosca blanca. El tratamiento rojo atrajo a la mosca blanca.

Fuente: Greer y Dole (2003).

Schut (2001), y Metcalf y Flint (1980) mencionan que no existe un efecto negativo de la reflexión del acolchado color aluminio sobre las abejas polinizadoras, ya que éstas se ven atraídas por los colores reflejados por el polietileno color aluminio fotoselectivo. Moore *et al.* (1965) encontró más abejas (*Apis mellifera*) en suelo acolchado color aluminio que en el del plástico negro o del suelo descubierto.

Los colores de acolchado plástico que mejor resultado han dado en el control de ciertos insectos que son vectores de virosis, especialmente mosquita blanca, minador, trips y pulgones, son el color aluminio y plata (Summers *et al.,* 1995), con un nivel de control alto. Otros colores de acolchados, como negro y blanco incluyendo al suelo desnudo, han sido menos efectivos comparados con los de mayor reflexión. Así mismo, Brandenberger y Wiedenfeld (1997) encontraron que los acolchados orgánicos (como paja) no han sido remunerables ni efectivos en el aumento de los rendimientos o en el control de insectos, debido a su escasa reflexión de la radiación.

El virus del bronceado del tomate (TSWV, por sus siglas en inglés) es un problema sanitario serio en la producción del tomate en varias regiones del mundo. El efecto del TSWV sobre la producción del tomate esta influenciado por el periodo de inicio de la infección. Los acolchados plásticos afectan la incidencia de TSWV, y el crecimiento y producción de tomate.

Díaz-Pérez *et al.* (2003) para determinar la relación entre el crecimiento de la planta y la producción de fruto de tomate con el tiempo de aparición de los síntomas del virus del bronceado del tomate (TSWV) probó acolchados de colores y variedades susceptibles a la enfermedad. Los acolchados de colores afectaron el periodo de tiempo transcurrido entre el transplante y la aparición de los primeros síntomas de TSWV (Cuadro 9).

Para todos los cultivares de tomate, el peso fresco de vástago, el número de frutos, y el rendimiento total y comercial de frutos aumentó linealmente con el tiempo en que las plantas permanecieron libres de síntomas de TSWV. El peso fresco de la planta y la producción total se redujeron en un 2.1% y 2.3%, respectivamente, por cada día transcurrido en que las plantas mostraron síntomas de TSWV antes de la cosecha.

Cuadro 9. Efecto del acolchado plástico y el cultivar sobre los días después del transplante transcurridos a la detección de los primeros síntomas e incidencia del virus del bronceado del tomate, peso fresco final de vástago y rendimiento de tomate (Primavera, 2000).

Tratamiento	Tiempo (DDT)	Incidencia[z] (%)	PF vegetativo[y] ($kg \cdot planta^{-1}$)	PF fruto[y] ($kg \cdot planta^{-1}$)
		Tratamiento Acolchado		
Suelo Desnudo	45 b[w]	16 c	1.35 bc	1.56 c
Negro	45 b	35 b	1.38 bc	2.46 ab
Negro/Plata	49 ab	28 bc	1.26 bc	2.36 b
Gris	52 a	26 bc	1.39 b	2.84 a
Rojo	46 b	23 bc	1.23 bc	2.64 ab
Plata/Negro	49 ab	33 b	1.41 b	2.46 ab
Plata-Pintado	47 ab	14 c	1.74 a	2.31 b
Blanco	44 b	70 a	1.19 c	1.36 c
		Cultivar		
Florida-91	45 b	38 a	1.40 a	1.80 c
BHN-444	49 a	12 b	1.37 a	2.79 a
Sun Chaser	46 b	42 a	1.34 a	2.15 b
		Valores P del ANOVA		
Acolchado	0.013	0.011	0.0001	0.0001
Cultivar	0.006	0.002	0.638	0.0001
Interacción	0.960	0.452	0.341	0.201

[z]Media de plantas sintomáticas.

[y]Media de plantas sintomáticas y asintomáticas, calculado de datos de plantas individuales.

[w]Separación de medias en columnas por DMS, $P \leq 0.05$.

Díaz-Pérez *et al.* (2007) realizaron un estudio con el objetivo de determinar el efecto de la temperatura de la zona de la raíz como un efecto del acolchado sobre la manifestación de síntomas del virus del bronceado del tomate (TSWV), y el crecimiento y rendimiento de plantas de tomate, inoculadas e infectadas naturalmente, observando que, el peso fresco del vástago (PFV) de la planta y el peso fresco del fruto, así como la producción comercial se incrementaron conforme transcurrió el tiempo después del transplante en que las plantas permanecieron libres de síntomas de la enfermedad. El peso fresco de la planta y la producción total se redujeron en un 2.1% y 2.3%, respectivamente, por cada día transcurrido que las plantas mostraron síntomas de TSWV antes de la cosecha.

La temperatura de la zona radical (TZR) fue más alta en el acolchado negro (media estacional = 27.5 °C), seguida por los acolchados gris (27.0 °C), plata (25.8 °C), y blanco (24.8 °C). Las plantas establecidas en el acolchado negro mostraron los primeros síntomas del TSWV, y mostraron un desarrollo vegetativo y rendimiento de fruto reducidos, comparado con las plantas bajo los demás acolchados. En conclusión, la utilización de acolchados plásticos creó condiciones de estrés debido a la alta TZR, que dio lugar a un crecimiento vegetal y producción reducidos y predispuso a las plantas a la expresión mas rápida de los síntomas del TSWV comparadas con las plantas crecidas bajo condiciones de TZR más favorables al crecimiento vegetal del tomate (TZR óptima = 26.1 °C).

Efecto del Acolchado Plástico en Nutrición, Uso del Agua y Rendimiento

Jones *et al.* (1977) durante 1975 y 1976 determinaron los requerimientos de nitrógeno (N) para tomate 'Walter' establecido, con y sin acolchado de polietileno. La máxima desviación de humedad del suelo se produjo en las parcelas sin acolchar a una profundidad de 60-75 cm. La humedad fluctuó entre el 3 y el 15%. La mayor concentración de N (15.8 ppm de NO_3-N) ocurrió en las parcelas acolchadas a una profundidad de 15 cm, mientras que la más baja concentración (11.5 ppm de NO_3-N) se presentó en las parcelas sin acolchar a 45 cm. El mayor rendimiento (29.8 $t \cdot ha^{-1}$) fue producido con 60 $kg \cdot ha^{-1}$ de N aplicado en las parcelas acolchadas. El mayor rendimiento obtenido de parcelas sin acolchar (25.6 $t \cdot ha^{-1}$) requirió 138

$kg \cdot ha^{-1}$ de N.

La cantidad de nutrientes transportados del suelo a las partes aéreas, el reparto selectivo de nutrientes entre diferentes órganos de la planta y la consecuente acumulación diferencial de carbohidratos o productos del metabolismo secundario, son regulados en buena parte por la radiación global y UV, el contenido relativo de luz azul respecto a la roja y por el balance entre rojo y rojo lejano (Ballare *et al.,* 1995). La tasa respiratoria y la acumulación de carbohidratos no estructurales dependen de la acción combinada de la temperatura y del enriquecimiento relativo de luz roja con respecto al azul o UV.

Korcak *et al.* (1993) realizaron estudios en plantas de tomate 'Sunny' bajo el sistema agrícola sostenible de acolchado, el cual consistió en aplicar los siguientes tratamientos: plástico negro, papel, *Vicia villosa* Roth, trébol carmesí, y *V. villosa* + centeno. Las plantas bajo los acolchados con *V. villosa*, trébol carmesí y, *V. villosa* + centeno recibieron la mitad de la dosis de N-P-K aplicada a los tratamientos restantes, vía fertirrigación. Cinco semanas después de trasplantar y al término de 12 semanas, se analizaron muestras de hojas para la determinación de macro y micro nutrientes. Los resultados de los análisis de las hojas de tomate 5 semanas después del transplante mostraron que entre los macro-nutrientes, sólo el K fue significativamente mayor en *V. villosa*, *V. villosa* + centeno, trébol carmesí y plástico negro que en los tratamientos de suelo desnudo y acolchado de papel. Al termino de la estación los análisis de hoja mostraron que los valores significativamente mas altos de K se encontraron en el tratamiento *V. villosa* + centeno, en comparación con los otros tratamientos. El rendimiento total obtenido fue más alto con *V. villosa* (85.8 $t \cdot ha^{-1}$) y el más bajo con acolchado de papel (30 $t \cdot ha^{-1}$).

Las zonas agrícolas de regadío son particularmente susceptibles a la contaminación de las aguas subterráneas debido a que los cultivos son, ocasionalmente, muy fertilizados y sobre regados. Con el objetivo de cuantificar el efecto de tres estrategias de riego sobre el rendimiento, drenaje y lixiviación de nitratos Vazquez *et al.* (2006) en el Valle del Ebro, realizaron un estudio en tomate industrial establecido con riego por goteo y acolchado plástico. Sus resultados muestran que el exceso de riego durante el período de establecimiento

del cultivo puede causar grandes pérdidas de nitrógeno por lixiviación. Determinaron que el riego de alta frecuencia garantiza un adecuado contenido de agua en el suelo, y una reducción de la cantidad de agua aplicada y pérdida por el drenaje. Los tratamientos que recibieron el riego al 80% del coeficiente de cultivo (Etc), registraron en un menor drenaje durante el periodo de crecimiento y no redujeron el rendimiento del cultivo. Esto sugiere que se necesitan más estudios para adaptar los coeficientes de cultivo a las necesidades reales de riego por goteo en tomate bajo condiciones de establecimiento con acolchado plástico.

La temperatura y la humedad del suelo, en asociación con la naturaleza físico-química de este último, condicionan la actividad de la flora microbiana y la reacción bioquímica y química del terreno, influyendo decididamente, en sentido positivo o negativo, sobre la nitrificación.

Por lo que respecta a la temperatura, su valor límite para retener la nitrificación se encuentra en el rango de 45-52 °C, con una situación óptima que varía, según el terreno (de muy suelto a muy compacto), entre 25-45 °C. Además, el terreno desnudo necesita de una saturación hídrica elevada, que varíe entre 60 y 80% para que exista una buena nitrificación. Estos límites de temperatura y humedad son fácilmente obtenibles por medio del acolchado; el abono nítrico queda a disposición de la planta en gran parte bajo el acolchado y con un suministro de agua de irrigación; la percolación, que es causa de fuertes pérdidas de abonos nítricos por lavado, es reducida al mínimo (Ibarra y Rodríguez, 1991).

En un trabajo desarrollado por Chen y Katan (1980) bajo condiciones semiáridas de Israel para observar en detalle como se ve modificada la concentración iónica de los suelos con acolchado plástico, se estudiaron 9 diferentes texturas de suelo, en cuyos resultados se observaron grandes alteraciones en los parámetros antes mencionados, pero el cambio mas notable fue el enorme incremento en la concentración de nitratos, mientras que los incrementos en la concentración de iones de amonio fueron menores, excepto para los dos suelos de montaña estudiados, también se obtuvieron incrementos considerables en la concentración de Cl^-, K^+, Na^+, Ca^{++} y Mg^{++}, lo cual indica que al presentarse una mayor

temperatura en la zona radical, la mayoría de los aniones y cationes tienden a disolverse con la humedad del suelo quedando mas disponibles para las plantas.

El pH no sufrió incrementos significativos debido al acolchado plástico, mientras que para carbonatos solubles se encontró una mayor concentración en suelos no acolchados, esto fue mas evidente en suelos con textura migajón arcillo limosa y en suelos francos. En general el incremento en la disponibilidad de elementos nutrimentales en la solución del suelo se atribuyó, al menos parcialmente, a la mayor temperatura en el suelo lo que provocó una mayor velocidad de reacción de los elementos químicos, lo cual repercutió en un mejor desarrollo y crecimiento de las plantas bajo el acolchado plástico aún en condiciones de concentraciones de sales relativamente altas.

Los acolchados protegen contra las gotas de lluvia, reduciendo la erosión de suelo y el "encostramiento", incrementando la penetración del agua al suelo. Además, mejoran la estructura del suelo, lo que incrementa la aireación y mejora las condiciones de humedad del suelo. Estas condiciones, estimulan el desarrollo adicional de raíces y la actividad de los microorganismos benéficos del suelo (Robledo y Martín, 1988).

La cantidad de agua bajo el plástico es generalmente superior a la del suelo desnudo, salvo en el momento inmediatamente posterior a una lluvia. Con el uso de cualquier tipo de plástico la mayor pérdida de agua es por percolación, tanto en el caso de agua de irrigación como después de una lluvia abundante, ya que con el acolchado se impide la evaporación casi totalmente. Cualquier pérdida de agua, fuera de la mencionada, se debe a las perforaciones practicadas en el plástico para hacer posible la siembra o el trasplante (Ibarra y Rodríguez, 1991).

Al igual que con la temperatura, los efectos del acolchado sobre la humedad del suelo se logran solamente si éste es lo suficientemente amplio en torno a la planta. Este efecto positivo no se determina sólo por la mayor cantidad de agua, sino además por su distribución sobre el perfil del suelo.

Las relaciones entre agua, suelo, planta y atmósfera son complejas ya que involucran procesos químicos, físicos y biológicos. Se cuenta con información respecto a estas relaciones para las prácticas de manejo tradicionales; sin embargo, cuando se emplea acolchado de suelo esta información resulta inconveniente debido a la barrera antievaporante de humedad creada por el plástico. Se han generado metodologías que permiten predecir el uso consuntivo del cultivo en suelo desnudo, siendo importante adecuar estas metodologías cuando se emplea el acolchado.

Pearson *et al.* (1959) señalan que el acolchado de color aluminio aumentó siempre la producción en comparación con suelo desnudo, pero el aumento era más notable en algunos años por la radiación y la precipitación, debido a la conservación de la humedad del suelo, en los cultivos de pimiento y tomate.

Los cambios en el porcentaje de humedad del suelo y la producción de fruto de tomate 'Fabulous' en respuesta a diferentes sistemas de acolchado y labranza fueron evaluados en experimentos realizados por Swenson *et al.* (2004) en 1999 y 2000 en Illinois, EE.UU. Los tratamientos aplicados fueron: (1) Labranza convencional; (2) Polietileno plástico negro + labranza convencional; (3) Cero labranza + cubierta de cultivos secados con glifosato al 1.5% una semana antes del trasplante; (4) Bandas de labranza + cubierta de cultivos secados con 1.5% glifosato una semana antes de trasplantar; (5) Sin labranza, en el cual el cultivo de cobertura fue cortado periódicamente durante la estación de crecimiento, y, (6) Franja de labranza con el cultivo de cobertura cortado y tratado similar al tratamiento 5.

Altas cantidades de fruto no comercial se produjeron en ambos años, independientemente de la humedad; sin embargo, la pudrición apical del fruto fue más severa entre los tratamientos durante el año 1999. Dadas las condiciones de sequía (estación de crecimiento de 1999), todos los tratamientos de labranza de conservación tuvieron las más altas lecturas de humedad del suelo 24 horas después de la lluvia que otros tratamientos, pero el acolchado plástico de polietileno negro tuvo niveles de humedad más altos que todos los demás tratamientos bajo los momentos de depleción excesiva del agua en el suelo. En condiciones de suficiente humedad del suelo (temporada de crecimiento de 2000), el plástico

negro provocó un incremento superior de la humedad del suelo a principios de la temporada, que los sistemas de labranza convencionales, una respuesta asociada con un mayor rendimiento total comercializable de fruto.

La pudrición apical del fruto (BER, por sus siglas en ingles) es un desorden fisiológico en el cultivo de tomate provocado por la deficiencia de Calcio (Ca) en el desarrollo temprano del fruto. El acolchado plástico es empleado en la producción agrícola porque ayuda a conservar y mantener la humedad del suelo, pero el uso de los acolchados plásticos impermeables ha sido asociado con un incremento en la incidencia del BER.

A este respecto, Elmer y Ferrandino (1991) investigaron el efecto del acolchado de papel y el acolchado plástico negro comparados con el suelo desnudo, en una etapa temprana y otra tardía de cosecha, sobre la aparición del BER en dos variedades de tomate ('San Marzano' y 'Better Boy'). La producción final de 'Better Boy' y 'San Marzano' promedió 10.7 y 6.5 kg·planta^{-1}, respectivamente, y no fue afectada significativamente por el acolchado.

La incidencia media global de BER para suelo desnudo, acolchado de papel y acolchado plástico fue de 4, 6, y 5% para 'Better Boy', y 18, 21 y 23% para 'San Marzano'; sin embrago, la incidencia de BER fue significativamente mas alta en los tomates cosechados temprano que en los tardíos en ambos cultivares (Cuadro 10).

El acolchado plástico negro incrementó significativamente la incidencia de BER en la estación temprana de crecimiento de tomate 'Better Boy' comparado con el suelo desnudo o el acolchado de papel, no obstante en la estación tardía no fue afectado por el acolchado. La incidencia de BER en 'San Marzano' durante la estación temprana no difirió entre tratamientos pero en la estación tardía el BER fue disminuido por el acolchado.

La marcada fluctuación en la humedad del suelo (déficit) es uno de los factores que favorecen el desarrollo de BER. Así, el acolchado puede disminuir la incidencia de BER, debido a que reduce las pérdidas de humedad. Los autores suponen que el intervalo de floración a cosecha fue entre 25 y 35 días, y que los primeros frutos se formaron a finales de

Junio y/o mediados de Julio. La humedad del suelo en Connecticut (EE. UU.) durante este período tiene grandes variaciones debido a lluvias copiosas pero infrecuentes. Por ello, sugieren que los acolchados pueden impedir la penetración directa de agua en el suelo durante las lluvias fuertes y explicar, así el aumento en la incidencia de BER a principios de la temporada.

Cuadro 10. Influencia del acolchado en la aparición de la pudrición apical del fruto (BER) en tomate.

Cultivar	Año	Tiempo de Cosecha	Acolchado			Media
			Suelo Desnudo	Papel	Plástico Negro	
			BER (%)[z]			
Better Boy	1988	Temprano	6.1 NS	8.9*	14.3*	9.7*
		Tardío	2.4	0.0	3.0	1.8
	1989	Temprano	10.3*	1.3*	18.8**	10.1NS
		Tardío	3.7	8.2	3.3	2.1
Promedio		Temprano	8.2 NS	5.1 NS	16.6**	10.0**
		Tardío	3.1	4.1	3.1	3.6
San Marzano	1989	Temprano	24.5*	27.3*	38.3**	30.0***
		Tardío	11.3	13.0	11.3	11.8
	1990	Temprano	42.5	57.6***	47.4***	52.5***
		Tardío	17.0	0.00	0.00	5.7
Promedio		Temprano	33.5**	42.5***	42.9***	39.6***
		Tardío	14.2	6.50	5.7	8.8

[z]Los datos de BER (%) fueron transformados por arco seno de la raíz cuadrada antes del análisis.

NS, *, **, ***Comparaciones pareadas no significantes o significantes a una P = 0.05, 0.01, y 0.001, respectivamente.

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

El estado actual del conocimiento respecto a la investigación realizada sobre el tópico "Factores que influyen sobre el rendimiento de tomate con acolchado plástico", se han encontrado los siguientes trabajos:

Para determinar la relación de la temperatura media estacional de la zona radical (por efecto de los diferentes colores de acolchado) en la respuesta al crecimiento de la planta y el rendimiento de fruto del tomate, Diaz-Perez y Batal (2002) realizaron un estudio de 3 experimentos llevados a cabo en tres estaciones: otoño de 1999 (cinco acolchados, un cultivar), primavera de 2000 (ocho acolchados y tres cultivares) y en el otoño de 2000 (cuatro acolchados y tres cultivares). Los tratamientos fueron acolchado negro (n=2), gris, rojo, plateado (n=3), blanco (n=2) y suelo desnudo.

Las medias de la temperatura de la zona radical (TZR) de todos los acolchados declinaron de 32 °C en la fecha de transplante hasta 24 °C al tiempo de cosecha durante ambas estaciones de crecimiento en otoño (Figura 3). En primavera de 2000, la media de TZR se incrementó (de 20 a 29 °C) para todos los tratamientos acolchados. El incremento de la TZR fue similar entre los tratamientos (rango: 1.2 a 1.5 °C por semana). Los valores de las temperaturas medias diarias de TZR durante la estación bajo acolchado plástico fueron mayores (1 a 5 °C) que las temperaturas del aire. Las mayores TZR ocurrieron al medio día bajo acolchado negro, y las más bajas en el suelo desnudo y el acolchado blanco. El suelo desnudo presentó la mayor fluctuación diurna. La TZR a medio día fue superior en 4 °C bajo el acolchado negro o gris comparadas con los otros acolchados o suelo desnudo.

Durante la estación, la media de la TZR decreció en el otoño (de 32 a 24 °C), y se incrementó en la primavera de 20 a 29 °C. Durante las tres estaciones, el suelo desnudo y los acolchados oscuros (negro 1, negro 2 y rojo) tuvieron una alta capacidad de calentamiento del suelo comparado con los acolchados de los colores claros (plateado 1, plateado pintado,

plateado 2 y blanco). La capacidad de calentamiento de suelo con el acolchado gris fue intermedia entre los acolchados oscuros y los colores claros.

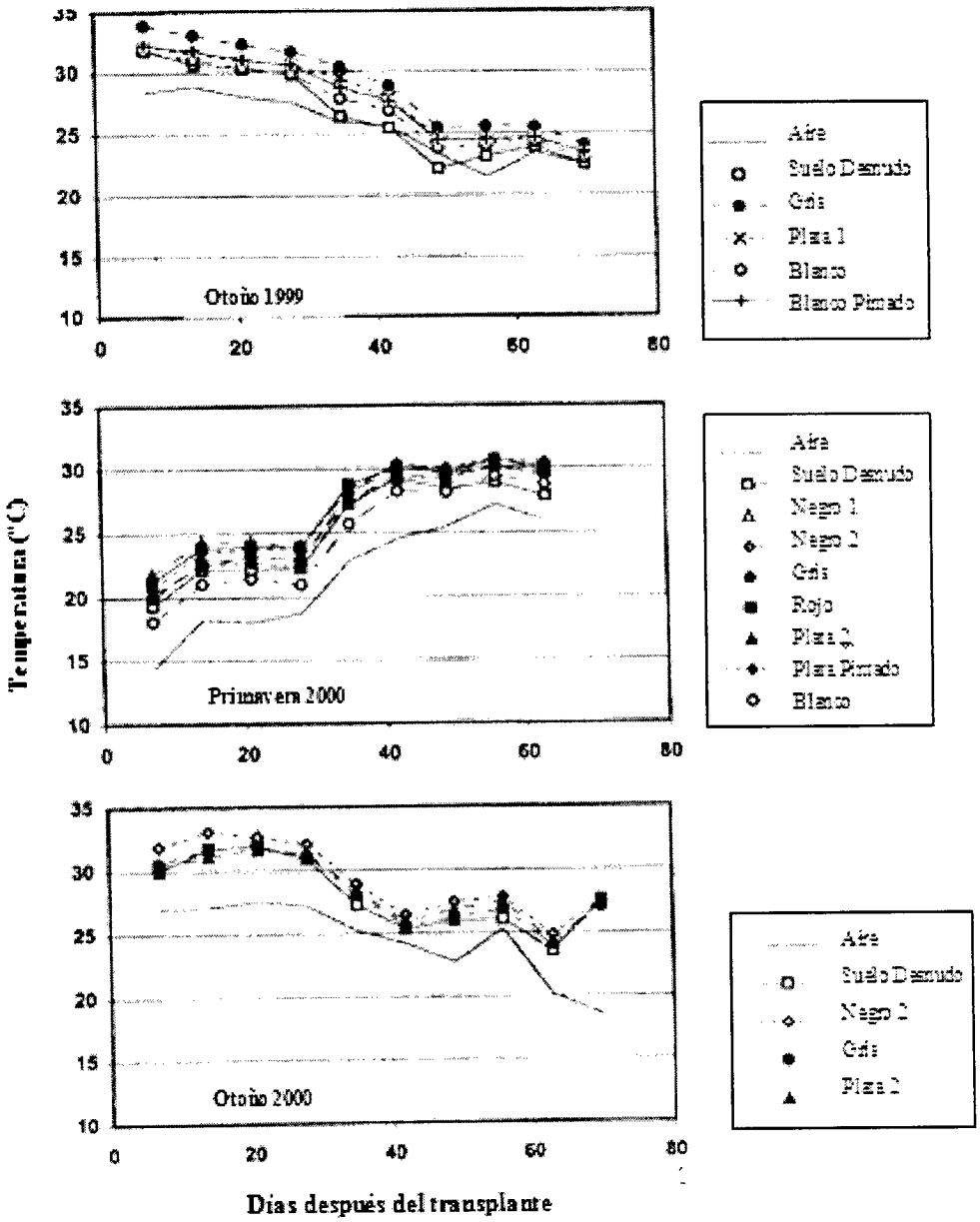

Figura 3. Tendencia estacional de la temperatura de la zona radical y aire bajo el acolchado de colores durante tres estaciones de crecimiento. Cada símbolo representa la media semanal de TZR bajo cada color de acolchado.

Las tendencias diurnas en la TZR de todos los acolchados fueron similares unos de otros, excepto en el plateado 1, que presentó las menores fluctuaciones diurnas de TZR (Figura 4). El plateado 1 calentó menos el suelo, pero retuvo el calor por más tiempo que los otros acolchados.

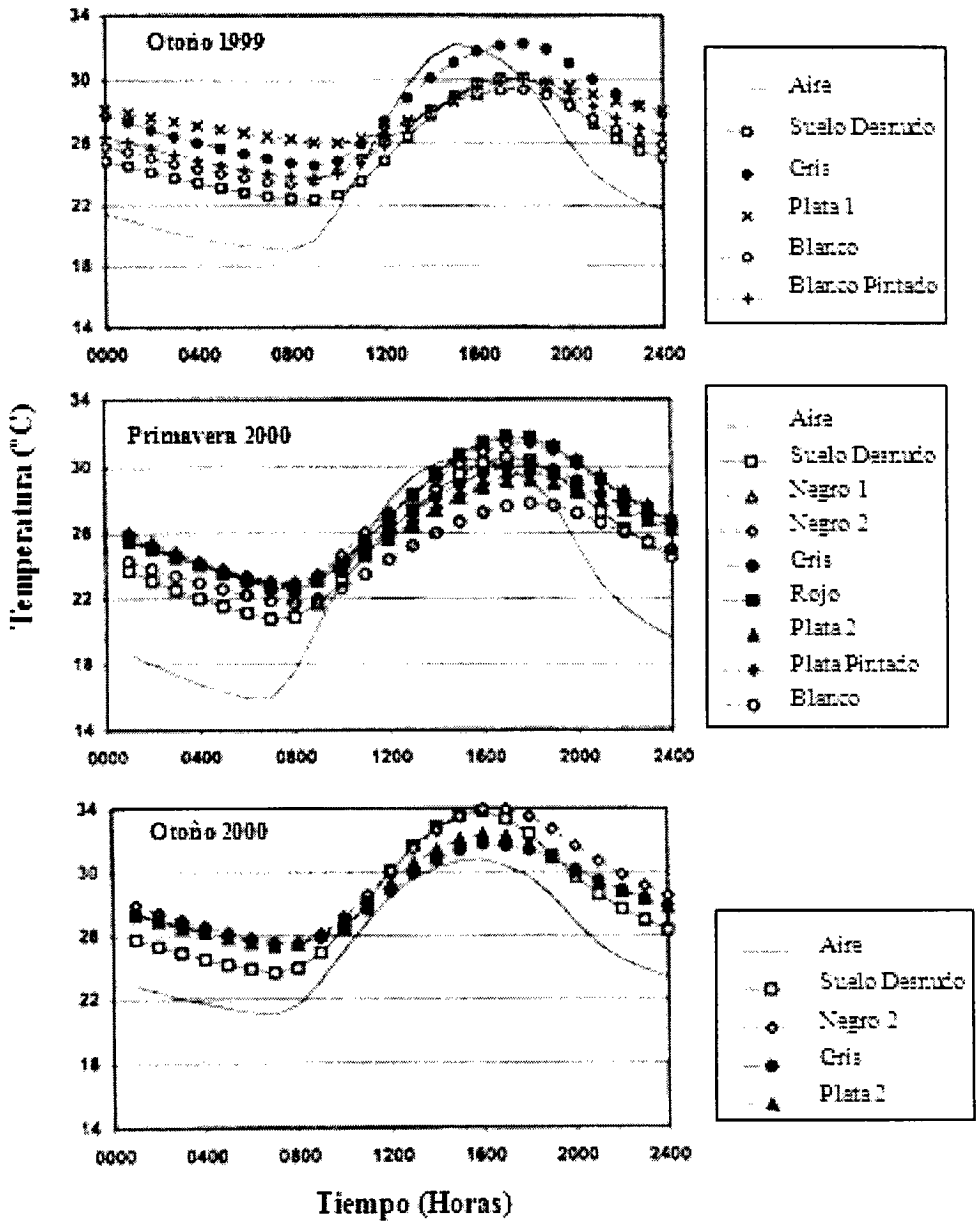

Figura 4. Tendencia diurna en la temperatura de la zona radical y aire con acolchado de colores durante tres estaciones de crecimiento. Cada símbolo representa la media de cada hora de la TZR de la estación de crecimiento completa.

La mayor TZR ocurrió a medio día bajo los acolchados negro1, negro 2, rojo y gris y los valores más bajos fueron para suelo desnudo y acolchado blanco (Figura 4). La TZR a medio día bajo los acolchados negro 1, negro 2, rojo o gris fue superior en 4 °C respecto a suelo desnudo o acolchado blanco. Durante la noche, el rango en la TZR entre los acolchados fue ≤ 1.5 °C, con la excepción del acolchado plateado 1, que presentó una mayor TZR respecto a los otros acolchados.

Los acolchados plásticos difieren ampliamente en la cantidad de luz que reflejan (RFA). Cada acolchado de color similar (por ejemplo, plateado 1 y plateado2) difieren en sus propiedades de reflexión de luz (Figura 5). Bajo una alta condición de irradiación (>1,900 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), los plásticos negro 1 y negro 2 reflejaron la menor RFA (10%), y plateado 1 reflejó la mayor cantidad (55% RFA). El suelo desnudo reflejo 12% de RFA (datos no presentados).

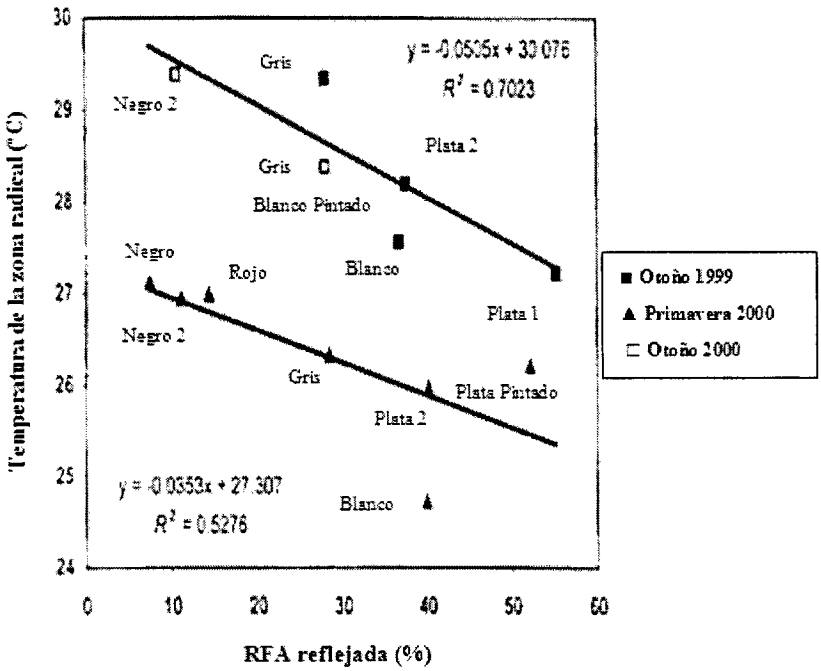

Figura 5. Relación de la temperatura de la zona radical en acolchado y la radiación fotosintéticamente activa reflejada por el acolchado. Cada símbolo representa una media de reflexión RFA ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) y mediciones de la TZR en cada unidad experimental dos veces por semana por 6 semanas. El promedio de la incidencia de la RFA para la estación fue 1900 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$. Las líneas sólidas fueron ajustadas por regresión lineal. El suelo desnudo no fue incluido en la relación.

Datos de las tres estaciones indican que la cantidad de luz reflejada por los acolchados de colores estuvo inversamente correlacionada con la TZR de los tratamientos acolchados. Los datos calculados en otoño de 1999 no fueron estadísticamente diferentes de los datos de otoño de 2000, se realizó una regresión lineal simple para todo el conjunto de datos. La reflexión de RFA con la relación de la TZR calculada de los datos de otoño, indica que en la reflexión de la RFA se explican en 70% ($y = -0.0505\ x + 30.076$; $r^2 = 0.702$; $F = 0.018$) las diferencias en TZR entre los tratamientos acolchados, mientras que en la relación de RFA en primavera se explica en 53% ($y = -0.0353\ x + 27.307$; $r^2 = 0.528$; $F = 0.0645$) las diferencias de la TZR.

Los resultados obtenidos indicaron que el crecimiento de tomate estuvo altamente relacionado con la TZR bajo acolchado. El número de frutos fue más sensible a los incrementos de TZR sobre el óptimo que el peso fresco de vástago (PFV) o el peso fresco de fruto (PFF). Particularmente durante las etapas tempranas de desarrollo, las plantas de tomates fueron expuestas a mayor número de días de TZR sobre el óptimo en el otoño que en la primavera, lo que probablemente explica los bajos valores del PFV y rendimiento de frutos en el otoño comparado con la primavera. El número de frutos y el PF de fruto individual determinan el rendimiento de la planta. Así, el decremento en el rendimiento fue atribuido primeramente a la reducción de número de frutos. El PFV y el PFF individual, número de frutos o rendimiento de frutos fueron altamente relacionados con la media estacional de la TZR al calcular la TZR óptima de cada atributo de crecimiento (25.4 a 26.3 °C).

De acuerdo a la relación cuadrática de la TZR vs. el modelo de crecimiento, el crecimiento será reducido más drásticamente con el incremento de la TZR por encima del óptimo. El incremento de la TZR sobre el valor óptimo; sin embargo, no afectó los atributos de crecimiento con la misma intensidad. El rendimiento y número de frutos fueron más sensibles al incremento en TZR comparados con el peso fresco de planta y el peso de cada fruto individual (Figura 6). Del modelo desarrollado se desprende que, a 1 °C de incremento en la TZR sobre el óptimo se reducen los valores de los atributos de crecimiento en promedio 9%, aunque la mayor reducción fue para el rendimiento de fruto y número de frutos comprados con el PF vegetativo o PF de fruto individual. A un incremento de 2 °C en la TZR sobre el óptimo se redujo el rendimiento de fruto y el número de frutos en 38%, y PF

vegetativo y PF de fruto en 18%. Un incremento de 3 °C en la TZR sobre el óptimo resultó en rendimiento y número de frutos insignificante, mientras que el PF vegetativo y PF de fruto individual se redujeron en un 31%.

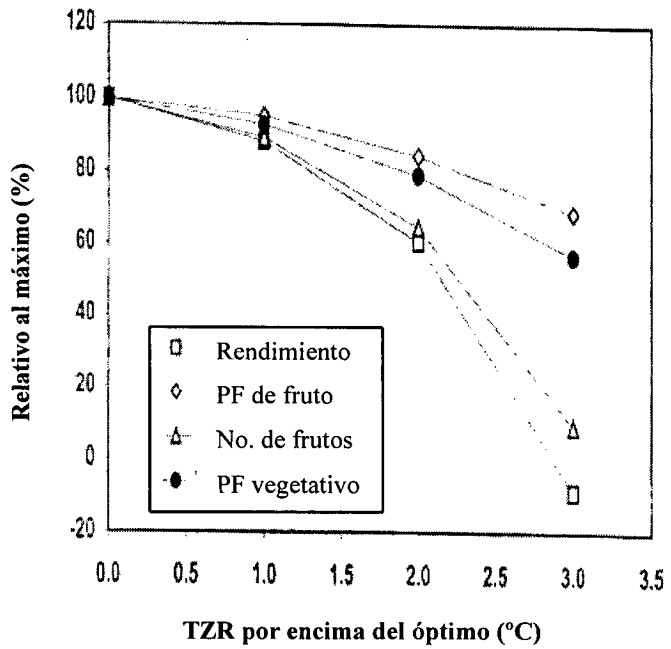

Figura 6. Modelo del efecto de la temperatura de la zona radical (TZR) sobre el óptimo para el crecimiento y rendimiento de tomate.

El incremento de la capacidad de calentamiento de los acolchados oscuros fue benéfico en la primavera. Bajo condiciones frescas, los acolchados oscuros mantuvieron la TZR cercana al óptimo por periodos largos de tiempo comparado con los acolchados de colores claros. Esta explicación ha sido reconocida desde el principio de la utilización de los plásticos (Lamont, 1993). En contraste a la primavera, en el otoño, cuando el patrón de calentamiento natural del suelo es revertido, la TZR bajo acolchados de colores claros fue cercana al óptimo en comparación con los acolchados oscuros. Así, bajo condiciones de calentamiento, las plantas bajo acolchados de colores claros tienen altos valores de PFV y rendimiento comparado con plantas bajo condiciones de acolchados oscuros.

La mayoría de los reportes sugieren que los acolchados de colores tienen influencia en el crecimiento y rendimiento de la planta debido a la modificación de la luz medio ambiental

que rodea a la planta (Kasperbauer, 1992). Los acolchados rojos reflejan la luz roja y modifican la relación rojo: rojo lejano y la acción del fitocromo en la planta (Decoteau *et al.*, 1988; Kasperbauer, 1992; Kasperbauer y Hunt, 1998). Kasperbauer y Hunt (1998), encontraron que plantas de tomate sobre acolchado rojo rindieron más que las crecidas en acolchado negro y concluyen que el incremento del rendimiento fue causado por la reflexión de la luz roja lejana a las plantas. Estos autores determinaron que la TZR bajo acolchado negro (≈ 27.9 °C) fue 0.2 a 0.9 más alta que bajo el acolchado rojo, y concluyen que las diferencias en la TZR entre los acolchados tienen menor efecto en el rendimiento de tomate. Sin embargo, es posible que estas diferencias en la TZR no fueran menores, de acuerdo al modelo propuesto, incrementos relativamente pequeños en la TZR pueden tener reducción substancial en rendimiento dependiendo de la desviación de la TZR sobre el óptimo. De las medias diarias de la TZR, calculadas de los datos en la mañana y al medio día por Kasperbauer y Hunt (1998), dicho modelo predice que una diferencia de 0.5 °C entre los acolchados rojos (27.4 °C) y negro (27.9 °C) resulta en una diferencia de rendimiento de alrededor de 15%. Además de los efectos de la luz, posiblemente los colores de los acolchados modifican la TZR que puede influenciar significativamente el crecimiento y rendimiento de la planta.

Los acolchados plásticos tienen un efecto positivo o negativo en el crecimiento y rendimiento de la planta de tomate dependiendo de las condiciones de calentamiento del suelo en las diferentes estaciones. El uso del color como un descriptor puede ser insuficiente para predecir como responderá la planta cuando se desarrolla en acolchado plástico de colores. Información de las propiedades ópticas y térmicas de los acolchados y el impacto de estas en la TZR probablemente contribuyan a una mejor predicción en la respuesta de los cultivos cuando se desarrollan en acolchado con películas plásticas de colores.

Ngouajio y Ernest (2004), estudiaron el efecto de la transmisión de luz, a través de diferentes colores de acolchado de polietileno (negro, gris, transmisor de radiación infrarroja café (IRT-café), IRT- verde, blanco, y blanco sobre negro (banco/negro)), con capacidades variables de reflectancia, absorbancia y transmitancia de luz, sobre la población malezas.

El tipo de acolchado afectó altamente el monto de transmisión de luz (Figura 7, Cuadro 11). Se transmitió en promedio 1%, 2%, 17%, 26%, 42% y 45% de luz en el rango de 400 a 1100 nm a través del acolchado negro, blanco/negro, gris, IRT-café, IRT-verde y acolchado blanco, respectivamente.

La transmisión de luz (RFA) en la longitud de onda estuvo entre 0% para el acolchado negro y 37% para el acolchado blanco (Cuadro 11). Los acolchados IRT transmiten menos luz en la longitud de onda RFA comparado con la longitud de onda de 400 a 1100 nm. La transmisión de luz decreció desde 42% a 16% en el acolchado IRT-verde cuando la longitud de onda de la RFA fue utilizada para comparar el espectro completo. La reducción fue de 26% a 6% para el acolchado IRT café.

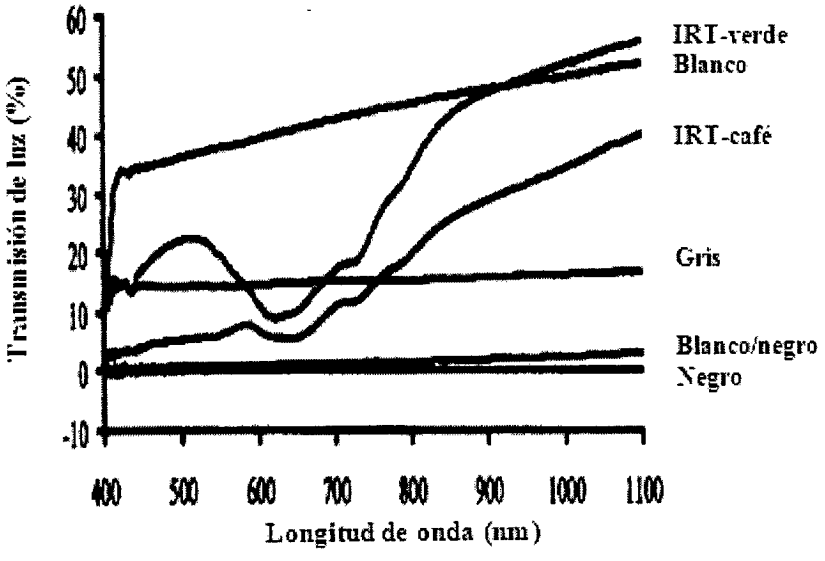

Figura 7. Cantidad de luz (%) transmitida a través de los acolchados plásticos de colores. Los acolchados son negro, blanco, gris, blanco sobre negro (blanco/negro), transmisor infrarrojo verde (IRT-verde) y transmisión infrarrojo café (IRT-café).

La densidad de la maleza y la biomasa es variable con el tipo de acolchado (Cuadro 11). En el año 2001 la densidad fue de 39.6 malezas·m^{-2}, con un peso seco de 159.7 g·m^{-2} en parcelas cubiertas con acolchado blanco, y para 2002 fue 155.9 plantas·m^{-2} con biomasa de 210 g·m^{-2}, seguido por el acolchado gris con 10.4 y 44.11 plantas de maleza·m^{-2} en 2001 y 2002, respectivamente. Todos los demás acolchados probados redujeron la infestación de

malezas. En estos acolchados la densidad de malezas fue menor a 25 plantas·m^{-2} en los dos años.

Cuadro 11. La transmisión luz a través de los colores del acolchado, la densidad y biomasa de malezas debajo de los plásticos (2001 y 2002).

Color de Película	Transmisión de Luz (%)[z]		Densidad (No·m^{-2})		Biomasa (g·m^{-2})	
	RFA	Total	2001	2002	2001	2002
Blanco	37	48	39.6 a	155.9 a	159.7 a	210.0 a
Negro	0	1	3.6 c	20.8 c	0.1 b	0.8 c
Blanco/negro	1	2	3.8 bc	21.7 c	0.1 b	16.7 bc
Gris	15	17	10.4 b	44.1 b	0.6 b	37.4 b
IRT- verde	16	42	6.7 bc	24.2 bc	1.7 b	7.7 c
IRT- cafe	6	26	9.2 bc	18.4 c	1.0 b	2.4 c

[z] La separación de medias está basada en la transformación de la raíz cuadrada (SQRT(X + 0.5)). Las medias en la misma columna seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes ($P \leq 0.01$). La transmisión luz es el promedio para las longitudes de ondas de 400 a 1100nm (total) o el promedio para la radiación fotosintéticamente activa (400 a 700 nm).

[y] IRT =transmisión del infrarrojo, NA = no aplica

Los zacates, principalmente (*Elytrigia repens*), fueron las especies más predominantes. El acolchado blanco tuvo una mayor población de zacate que limitó la producción del tomate (datos no presentados). No obstante, el acolchado fue capaz de resistir los efectos de levantamiento por esta especie a pesar de la fuerte infestación.

En este estudio, la temperatura de suelo bajo el acolchado blanco y blanco/negro, por ejemplo, fue similar y la población de las malezas bajo esos acolchados fue diferente. Esto sugiere que la gran población de malezas bajo el acolchado blanco fue debida a su alta transmisión de la luz y no a diferencias en la temperatura del suelo. La relación entre la transmisión de la luz y la población de malezas debe ser más compleja con acolchados

fotoselectivos. Por ejemplo, la transmisión total de luz para el acolchado IRT-verde y el acolchado blanco fue similar, pero la densidad de maleza y la biomasa fue significativamente menor bajo del acolchado IRT- verde (Cuadro 11). Esto sugiere que para la germinación de la maleza y su posterior desarrollo, la longitud de onda transmitida a través del plástico puede ser tan importante como monto total de la trasmisión de luz.

La infestación de malezas se correlacionó con la transmisión de luz en el acolchado blanco, negro, blanco/negro, y el acolchado gris. Sin embargo, fueron necesarias cantidad y calidad de luz para predecir la infestación de malezas con los tratamientos de acolchado IRT. La infestación de malezas bajo los acolchado IRT fue mejor estimada cuando se consideró la RFA.

El análisis de regresión lineal mostró poca relación entre el promedio de la transmisión de luz y la densidad de la maleza o la biomasa en el rango de luz de 400 a 1100 nm. Los coeficientes de determinación fueron 0.49 y 0.50 para la regresión entre la transmisión de luz y la densidad de malezas y la regresión entre la transmisión de luz y la biomasa de la maleza, respectivamente. Los datos de los dos acolchados IRT no se usaron porque tienen muy baja transmisión de RFA.

Los datos de los acolchados IRT fueron removidos de los análisis incrementando los coeficientes de determinación de 0.49 a 0.93 y de 0.50 a 0.96 para los datos de la densidad de malezas y la biomasa, respectivamente (Figura 8), esto es un indicador distinto a lo otros acolchados, la transmisión total de luz a través del acolchado IRT, no pueden ser usadas como un indicador exacto de las poblaciones de malezas en el campo. La regresión fue separada usando únicamente la luz de la longitud de onda de la RFA (Figura 9). Usando el rango promedio de la transmisión de la RFA, todos los datos de los demás acolchados fueron ordenados en un modelo de regresión. Los coeficientes de determinación fueron 0.91 para la regresión entre la transmitancia de luz y la densidad de maleza y 0.93 para la regresión entre la transmisión de luz y la biomasa de la maleza.

La baja cantidad de malezas y la alta transmisión de luz, podrían hacer a los acolchados IRT altamente efectivos en las áreas agrícolas donde tanto el control de malezas y el calentamiento del suelo son factores importantes que influyen en la producción.

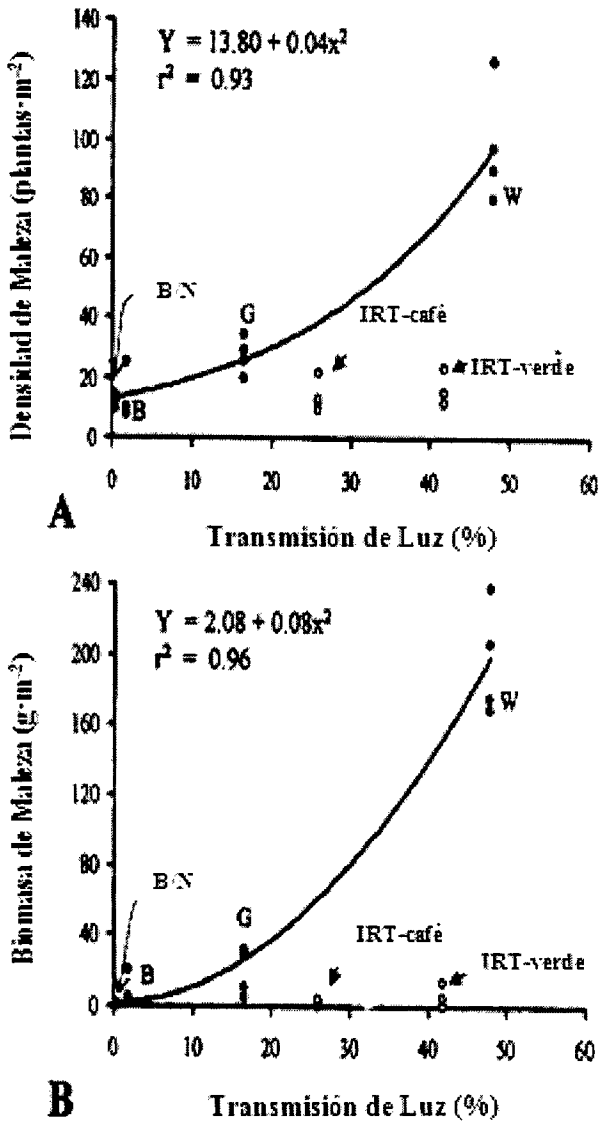

Figura 8. Regresión entre la transmisión de luz en el rango de 400 a 1100 nm a través de los acolchados plásticos de colores y la densidad de maleza (A) o biomasa de la maleza (B). Los acolchados fueron negro (B), blanco (W), gris (G), blanco/negro (B/N), IRT-verde y IRT-café. Los parámetros de regresión de la grafica fueron obtenidos del análisis sin los datos de los acolchados IRT.

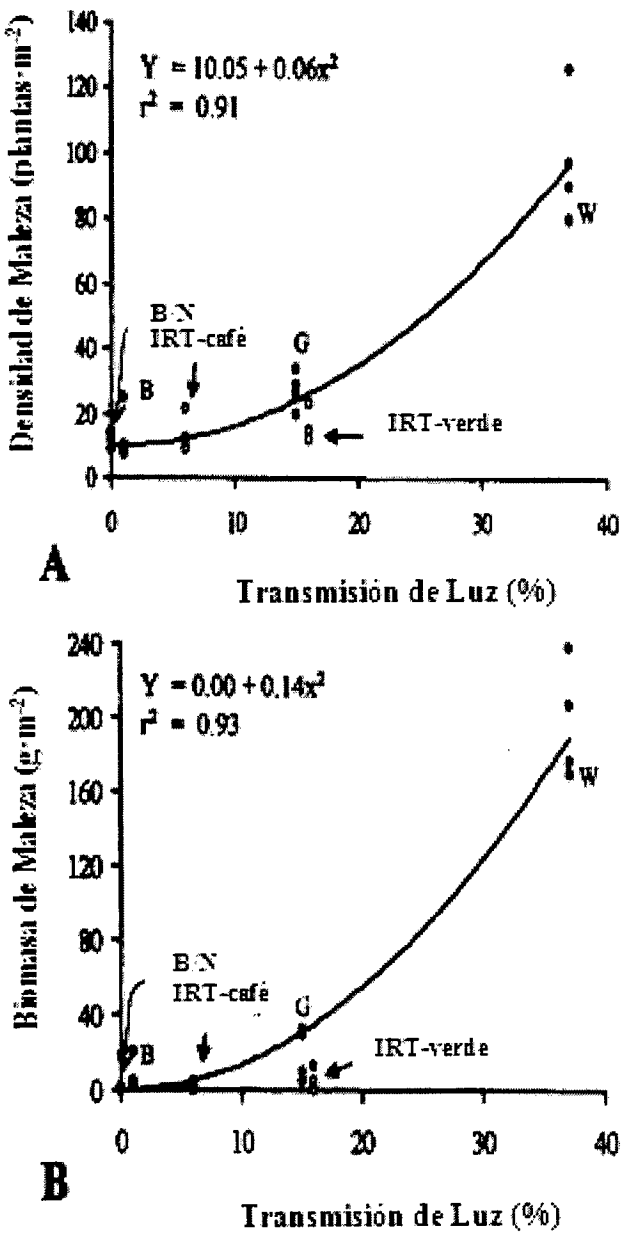

Figura 9. Regresión entre la transmisión de luz en el rango de 400 a 700 nm a través de los acolchados plásticos de colores y la densidad de malezas (A) o biomasa de la maleza (B). Los acolchados fueron negro (B), blanco (W), gris (G), blanco/negro (B/N), IRT-verde y IRT-café.

Decoteau *et al.* (1989), midieron la influencia de la luz reflejada en la superficie del acolchado (Cuadro 12) y determinaron el efecto de varios colores de acolchado en el rendimiento de tomate en dos localidades de estudio. Las plantas de tomate tratadas con (RL)

al final del día, crecieron más y tuvieron menor número de ramas que las plantas tratadas con luz roja (R).

Cuadro 12. Efectos del acolchado de colores sobre la radiación reflejada.

Color de Acolchado	Radiación reflejada[z]	
	R F A (400 a 700 nm)	R/RL[y]
Rojo	9.0	1.13
Negro	5.9	1.07
Plateado	24.5	0.96
Blanco	35.5	0.97

[z]Medidas tomadas al mediodía.

[y]Rojo/lejano rojo en proporción a la radiación directa del sol tiene un valor asignado de 1.00.

El color de la superficie del acolchado afectó el crecimiento de la planta de tomate (Cuadro 13). En general, los acolchados oscuros (rojo y negro) registraron rendimientos más altos que los de colores claros (plata y blanco) que reflejan más luz fotosintéticamente activa pero con una baja tasa de reflexión de la luz de RL:R, que actúa en el sistema fitocromo.

Las plantas que crecieron en los acolchados rojo y negro tuvieron rendimientos tempranos similares. El rendimiento temprano de los colores blanco y plata fue menor que en el tratamiento con acolchado rojo. El mayor rendimiento temprano con acolchado rojo respecto al acolchado negro, indica que el aumento en el rendimiento no fue únicamente debido al mayor calentamiento del suelo, si no a otras variables ambientales que se afectaron, tales como la distribución del espectro del reflejo de la luz que contribuyeron al mayor rendimiento.

Cuadro 13. Efectos del acolchado en el rendimiento temprano y total de tomate 'Mountain Pride' en la localidad de Clemson, SC.

Color del Acolchado	Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$)			
	Temprano[z]		Total	
	1986	1987	1986	1987
Rojo	18.2 a	15.1 a	45.3 a	45.9 a
Negro	14.3 a	12.3 ab	39.5 b	44.3 a
Plateado	7.9 b	12.0 b	36.7 b	43.1 a
Blanco	4.7 c	11.2 b	33.3 c	42.1 a

[z]Rendimiento de cosecha para las primeras dos semanas.

Se registró una tendencia similar en rendimiento temprano en los cultivos en las dos localidades de estudio (Cuadro 14). La producción de tomate obtenida con acolchado rojo y negro tuvo un mejor precio que los tomates producidos con acolchado blanco.

Cuadro 14. Efectos del acolchado de colores en el rendimiento temprano y total de tomate en el Centro de Investigación de Conservación del Agua (USDA), cerca de Florencia, Carolina del Sur, EE. UU..

Color del Acolchado	Rendimiento ($t \cdot ha^{-1}$)			
	Temprano[z]		Total	
	1987	1988	1987	1988
Rojo	42.3 a	63.3 a	53.7 a	72.7 a
Negro	40.8 ab	54.6 b	52.2 a	63.0 a
Plateado	37.5 ab	55.6 ab	51.2 a	67.4 a
Blanco	33.7 b	49.8 b	50.4 a	65.7 a

[z]Rendimiento de cosecha en las primeras dos semanas

El acolchado presentó influencia en el vigor del cultivo y el rendimiento temprano. Las plantas que crecieron sobre acolchado negro o rojo tuvieron más flores y un crecimiento más

rápido en comparación con las plantas de tomate bajo el acolchado de color blanco. Una floración temprana puede contribuir a aumentar el rendimiento. Se ha demostrado que la radiación del medio ambiente durante la etapa vegetativa temprana de la planta afecta la floración. El color en la superficie del acolchado afecta también la cantidad de follaje producido por la planta. Las plantas de tomate que crecieron en los acolchados blanco y plata tuvieron más follaje que aquellas que se desarrollaron sobre los acolchados rojo y negro. Pero los rendimientos fueron mayores sobre los acolchados negro y rojo. Esta relación parece indicar que el aumento en el rendimiento esta asociado con el color del acolchado y fue debido a la distribución de los fotosintatos.

Csizinszky (1999) condujo estudios de campo para tres estaciones (otoño de 1994, primavera de 1995, y otoño de 1995), para evaluar el efecto de las películas reflexivas de la radiación ultravioleta (UV) sobre la mosquita blanca *(Bemisia argentifolii* Bellows y Perring), la incidencia del virus del moteado del tomate (ToMoV, por sus siglas en ingles) y el rendimiento de tomates estacados para mercado en fresco.

La energía ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) más alta reflejada a las plantas, a 15 cm de la superficie del acolchado, fue medida en el acolchado aluminio, con o sin franja pintada blanca. La energía más baja fue reflejada de los controles (blanco o negro) y de los acolchados plata/negro, con o sin franja pintada negra.

En el otoño de 1994, el acolchado que tuvo la menor población de mosca blanca en promedio, a los 77 días después de la siembra, fue el acolchado de color aluminio con respecto al acolchado blanco con banda negra y al acolchado plata sobre negro. Para la primavera de 1995, el acolchado que tuvo la menor población de mosca blanca fue el acolchado de color aluminio sobre blanco y el acolchado aluminio sobre blanco con banda negra. En el otoño de 1995, el acolchado que tuvo la menor población de mosca blanca fue el acolchado de color plata sobre negro con banda blanca (Cuadro 15).

Cuadro 15. Promedio de número de adultos de mosca blanca por hoja terminal de tomate y porcentaje acumulativo de plantas con síntomas aparentes de virus en los días después del transplante seleccionados.

		Número de moscas blancas					Plantas con síntomas del ToMoV (%)			
Tratamiento	DDS	21	35	49	63	77	49	63	77	98
Otoño de 1994, variedad Florisette										
Testigo[T]		1.3	0.8	1.8	2.3	1.5	2	43	73	97
Aluminio sobre blanco		1.7	0.0	0.3	2.0	2.2	3	24	53	95
Aluminio sobre blanco con banda negra		0.3	0.8	0.8	1.1	2.1	0	22	50	89
Plata sobre negro		0.8	0.3	0.5	1.4	2.0	0	21	52	97
Plata sobre negro con banda blanca		0.8	1.5	1.0	2.8	1.4	<1	41	65	99
Plata sobre blanco		1.0	0.0	1.1	2.0	2.1	<1	38	66	96
Plata sobre blanco con banda negra		3.3	0.5	1.4	3.9	3.5	<1	38	71	99
$DMS_{0.05}$[x]		1.7	1.2	0.9	1.0	2.0	2	7	17	6
Primavera de 1995, variedad Sunbeam										
Testigo[T]		0	0	0	3	4	0	0	2	31
Aluminio sobre blanco		0	0	0	1	2	0	0	0	19
Aluminio sobre blanco con banda negra		0	0	1	0	2	0	0	1	22
Plata sobre negro		0	0	0	2	2	0	0	1	26
Plata sobre negro con banda blanca		0	0	0	1	4	0	1	3	23
Plata sobre blanco		0	0	1	0	5	0	0	0	18
Plata sobre blanco con banda negra		0	0	1	2	3	0	0	1	27
$DMS_{0.05}$[x]		NS	NS	1	2	3	NS	1	3	NS

Continuación del Cuadro15

Otoño de1995, variedad Sunbeam									
Testigo[T]	2	3	1	3	4	12	50	96	99
Aluminio sobre blanco	1	1	1	3	1	5	17	71	89
Aluminio sobre blanco con banda negra	1	2	1	0	4	7	31	92	97
Plata sobre negro	2	2	1	5	6	4	19	86	98
Plata sobre negro con banda blanca	1	1	1	1	1	17	57	94	99
Plata sobre blanco	0	2	1	5	4	5	28	87	99
Plata sobre blanco con banda negra	1	3	1	3	2	18	56	97	100
$DMS_{0.05}$[x]	2	2	NS	4	4	8	17	14	10

[T]Testigo: acolchado blanco/negro en otoño y acolchado negro en primavera.

[x]DMS es no significante (NS) o significante a $P \leq 0.05$.

Para el otoño de 1994, el acolchado que tuvo el menor porcentaje acumulado de plantas con síntomas del virus moteado del tomate (ToMoV) a los 98 días fue el acolchado color aluminio sobre blanco con banda negra. Para la primavera de 1995, el acolchado que tuvo el menor porcentaje acumulado de plantas con síntomas del ToMoV a los 98 días, fue el acolchado color plata sobre blanco. Para el otoño de 1995, el acolchado que tuvo el menor porcentaje acumulado de plantas con síntomas del ToMoV a los 98 días, fue el de color aluminio sobre blanco.

En la primavera de 1995, a 77 días después del transplante, solamente del 0 al 3% de las plantas tuvieron síntomas de virus, mientras que del 50 al 73% y del 76 al 97% de las plantas, fueron infectadas con el virus en el otoño de 1994 y en el otoño de 1995, respectivamente. En el otoño, las moscas blancas aparecieron en el transplante, por lo cual muchas plantas presentaron síntomas de virus en el inicio del ciclo. En la primavera, las poblaciones de mosca blanca se incrementaron lentamente a medida que fue aumentando la

temperatura, infectando las plantas tardíamente, cerca del primer corte. Consecuentemente, el virus fue menos perjudicial para los rendimientos en la primavera que en el otoño.

Los rendimientos en el otoño fueron similares con acolchados reflexivos UV o de control blanco. En la primavera, el tamaño del fruto y la producción comercial fueron mayores ($P \leq 0.05$) en las plantas con acolchado plata sobre blanco que en el acolchado negro de control.

ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Actualmente se ha investigado y sentado las bases para una mayor comprensión del grado de afectación de cada color de acolchado plástico sobre la temperatura del suelo y el papel de la radiación reflejada sobre el crecimiento y el rendimiento de los cultivos hortícolas. No obstante, en las investigaciones realizadas hasta ahora aun no se elucida completamente o se define la magnitud de los efectos que la radiación y la temperatura ejercen sobre el cultivo y que beneficios pueden aportar sobre el rendimiento por separado. La falta de claridad en este aspecto nos abre un área de oportunidad en investigación.

La aplicación de los acolchados plásticos bajo nuevos sistemas de producción, como son el uso de mallas y casas sombra, o invernaderos híbridos (mallas laterales y películas plásticas en la techumbre), existe oportunidad para investigar y determinar la conveniencia de aplicar la técnica de los acolchados plásticos en dichos sistemas, así como los colores de acolchados y mallas sombra más aptos para cada región agrícola.

De acuerdo con la información y la investigación disponible acerca de los acolchados plásticos de colores, y considerando que México posee una gran diversidad de climas, es necesario enfatizar un área de oportunidad detectada durante las prácticas de campo: la necesidad de diversificar e incrementar la disponibilidad de un amplio número de colores de acolchado podría solucionar problemas específicos, especialmente de temperatura de suelo, sobre todo donde el acolchado no está siendo usado o se aplica de manera inadecuada.

Dadas las tendencias de consumo actuales, enfocadas en los productos orgánicos y naturales, se vislumbra un área de oportunidad de investigación para determinar si la concentración de nutrientes y/o compuestos relacionados con la salud humana, presentes en productos hortícolas producidos bajo el sistema de acolchado plástico de suelos, podría verse afectada por la estación de crecimiento (régimen de temperatura) o por el color de la luz reflejada desde la superficie acolchada a las hojas de las plantas cultivadas. De esta manera se podría contribuir con un mayor beneficio económico a la producción por el valor agregado que estos consumibles presentan.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La aplicación de los acolchados plásticos en la horticultura ha tenido un gran desarrollo en los últimos 50 años. Entre las ventajas de su utilización se mencionan la anticipación a cosecha, los rendimientos y la mejora en la calidad del fruto producido bajo este sistema; el control parcial de malas hierbas, así mismo un uso más eficiente del agua y los fertilizantes, y la reducción de la erosión y compactación del suelo.

Muchos investigadores han demostrado que el rendimiento y la calidad del tomate se pueden mejorar por los efectos que el acolchado ejerce sobre la temperatura y la humedad del suelo. Otros sugieren que la calidad de la radiación reflejada por ciertos acolchados tiene un efecto directo sobre el crecimiento vegetal o disuade la inmigración de insectos vectores de enfermedades.

Los acolchados plásticos tienen un efecto, positivo o negativo, sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo, dependiendo de las condiciones de calentamiento del suelo en las diferentes estaciones. La mayoría de los reportes sugieren que los acolchados de colores tienen influencia en el crecimiento y rendimiento de la planta debido a la modificación de la luz medio ambiental que rodea a la planta.

El uso del color como un descriptor puede ser insuficiente para predecir como responderá la planta cuando se desarrolla en acolchado plástico de colores. El manejo adecuado de la información respecto a las propiedades ópticas y térmicas de los acolchados y su impacto en el microclima de la planta, contribuyen a una mejor predicción de la respuesta de los cultivos cuando se desarrollan en acolchado con películas plásticas de colores.

RECOMENDACIONES

Cuando se pretenda o decida aplicar la técnica de acolchado plástico de suelos en el cultivo de tomate, para poder realizar una acertada definición del tipo de acolchado a utilizar, se tendrá que considerar el área geográfica y la estación del año para el establecimiento del cultivo, debido a que el color del acolchado plástico mas adecuado para el cultivo está en función de estos factores.

Es necesario recalcar que el uso de los acolchados plásticos, *per se,* solamente proporciona los efectos benéficos deseados sobre el rendimiento del cultivo, si esta practica es considerada dentro de un plan de manejo agronómico, cuidando los detalles. Se recomienda realizar pequeñas pruebas en campo antes de introducir un color específico de acolchado a nivel comercial.

Respecto a los colores de acolchado es importante considerar que ningún acolchado cumple al 100% con nuestros requerimientos; así, al utilizar una película para acolchado color aluminio para repeler insectos vectores de virosis, cabe recalcar que este efecto perdura durante las etapas tempranas del cultivo y mientras permanezca el color en la película. Los acolchados negros u opacos, se recomiendan para su aplicación en las zonas con alta incidencia de malezas. El acolchado transparente, es aplicable en zonas templadas y sin problemas de malezas y para la solarización. Se aconseja el uso de las películas bicapa, debido a que podemos obtener una mayor efecto benéfico de su aplicación en campo, por ejemplo la película blanca/negra, mantiene el suelo fresco, brinda una excelente reflexión de luz fotosintética por el lado blanco e impide el paso de la luz por el lado negro, evitando el desarrollo de malezas por debajo del plástico.

Se deberá evaluar también, si el costo de la aplicación de películas para acolchado especializadas se compensa con el impacto de los beneficios obtenidos, puesto que estos materiales son más costosos que la película para acolchado negro estándar.

En esta revisión no se encontró el efecto del espesor de la película para acolchado de suelos sobre el crecimiento y rendimiento de tomate; por lo tanto, se sugiere disminuir el espesor de las películas para reducir el costo (de producción y adquisición) de estos materiales, cada día mas aplicados en la producción de hortalizas y, además reducir la cantidad de residuos plásticos que genera el aprovechamiento de esta técnica.

Puede considerarse la posibilidad de aplicación de las películas para acolchado por más de un ciclo de producción, con las debidas reservas y consideraciones. Se promueve la siembra de un cultivo de ciclo corto después de la estación de producción principal, incrementando de esta manera el margen de utilidad obtenido del cultivo por concepto del doble cultivo.

NOMENCLATURA

%: Por ciento

≤: Menor o Igual que

>: Mayor

-: Menos

≈: Aproximado

=: Igual

+: Más

°C: Grados Celsius

μmol: Micromol

μm: Micrómetro

nm: Nanómetro

m^2: Metro Cuadrado

mm: Milímetro

t: Tonelada

s: Segundo

g: Gramo

ha: Hectárea

cm: Centímetro

kg: Kilogramo

ppm: Partes Por Millón

vs: Contra

pH: Potencial Hidrógeno

n: Número

EE. UU.: Estados Unidos de América

LITERATURA CITADA

Ballare, C.L., A.L. Scopel and R.A. Sanchez. 1995. Plant photomorphogenesis in canopies, crop growth and yield. HortScience 30:1172-1181.

Benavides, M.A. 1998. Agroplásticos: control microambiental, control metabólico y morfogénesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila, México. Disponible On-Line (Junio 2009): http://www.abenmen.com/a/plastfot.pdf

Bhella, H.S. 1988. Effect of trickle irrigation and black mulch on growth, yield, and mineral composition of watermelon. HortScience 23:123-125.

Brandenberger, L. and B. Wiedenfeld. 1997. Physical characteristics of mulches and their impact on crop response and profitability in muskmelon production. HortTechnology 7:165-169.

Brault, D., K.A. Stewart and S. Jenni. 2002. Optical properties of paper and polyethylene mulches used for weed control in lettuce. HortScience 37: 87-91.

Chen, Y. and Katan, J. 1980. Effect of solar heating of soil by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. Soil Science 130:271-277.

Csizinszky, A.A, D.J. Schuster, and J.E. Poolston. 1999. Effect of ultraviolet-reflective mulches on tomato yields and on the silver leaf whitetly. HortScience 34:911-914.

Csizinszky, A.A., D.J. Schuster, and J.B. Kring. 1995. Color mulches influence yield and insect pest populations in tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120:778-784.

Decoteau, D. R., 2007. Leaf area distribution of tomato plants as influenced by polyethylene mulch surface color. HortTechnology 7(3):342-345.

Decoteau, D.R., M.J. Kasperbauer, and P.G. Hunt. 1989. Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114:216-219.

Decoteau, D.R., M.J. Kasperbauer, D.D. Daniels, and P.G. Hunt. 1988. Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. Scientia Horticulturae. 34:169-175.

Diaz-Perez, J.C., S.C. Phatak and J. Silvoy. 2008. Plastic film mulches as a means to modify root-zone temperature and improve crop performance. Recent Advances in Agriculture. ISBN: 978-81-308-0222-0. Eds. Stevens, C and Khan, V. Pp.331-346.

Diaz-Perez, J.C., Gitaitis, R. and Mandal, B. 2007. Effects of plastic mulches on root zone temperature and on the manifestation of tomato spotted wilt symptoms and yield of tomato. Scientia Horticulturae. 114(2):90-95. ISSN: 0304-4238. Eds. Elsevier, Amsterdam.

Diaz-Perez, J.C., S.C. Phatak, D. Giddings, D. Bertrand, and H.A. Mills. 2005. Root zone temperature, plant growth, and fruit yield of tomatillo as affected by plastic film mulch. HortScience 40:1312–1319.

Diaz-Perez, J.C., D. Granberry, D. Bertrand, and D. Giddings. 2004. Tomato plant growth - during establishment as effect by root zone temperature under colored mulches. Acta Hort. 631:119-124.

Diaz-Perez, J.C., K.D. Batal, D. Granberry, D. Bertrand and D. Giddings. 2003. Growth and yield of tomato on plastic mulches as affected by tomato spotted wilt virus. HortScience 38(3):395–399.

Diaz-Perez, J.C. and K.D. Batal. 2002. Colored plastic film mulches affect tomato growth and yield via changes in root-zone temperature. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127:127-136.

Elmer y Ferrandino. 1991. Early and late-season blossom-end rot tomato following mulching. HortScience, 26(9):1154-1155.

Eltez, R. y Tüzel, Y. 1994. Efecto de diferentes materiales utilizados en acolchamiento de suelo sobre el rendimiento y la calidad de los cultivos de tomate bajo invernadero. Plasticulture N° 103: 23 -25.

Fortnum, B.A., D.R. Decoteau, and M.J. Kasperbauer. 2000. Effect of mulch surface color on root-knot of tomato grown in simulated planting beds. J. Nematol. 32:101–109.

Fortnum, B.A., D.R. Decoteau, and M.J. Kasperbauer. 1997. Colored mulches affect yield of fresh-market tomato infected with *Meloidogyne incognita*. J. NematoI. 29:538-546.

García de A., J. 1996. Manual de Acolchados. 1ra Parte. Revista Productores de Hortalizas. Año 5, No. 4, Abril. México.

Greer, L. and J.M. Dole, 2003. Aluminum foil, aluminum-painted, plastic and degradable mulches increase yields and decrease insectvectored diseases of vegetables. HortTechnology, 13: 276-284.

Greenough, D.R., L.L. Black, and W.P. Bond. 1990. Aluminum-surfaced mulch: An approach to the control of tomato spotted wilt virus in solanaceous crops. Plant Dis. 74:805-808.

Guariento, M. 1983. El acolchado en diversas situaciones agro climáticas. IX congreso Internacional de Agricultura en Plásticos, Guadalajara, Jalisco, México.

Ham, J.M., G.J. Kluitenberg, and W.J. Lamont. 1991. Potential impact of plastic mulches on the aboveground plant environment. Natl. Agr. Plastics Congr. Proc. 23:63-69.

Ham, J.M., G.J. Kluitenberg, and W.J. Lamont. 1993. Optical properties of plastic mulches affect the field temperature regime. J. Amer. Soc. Hort. Science 228(2):188-193.

Hanna, H.Y. 2000. Black polyethylene mulch does not reduce yield of cucumbers double-cropped with tomatoes under heat stress. HortScience 35(2):190-191.

Hasan, M.F., Ahmed, B., Rahman, M.A., Alam, M.M. and Khan, M.M.H. 2005. Environmental effect on growth and yield of tomato. Journal of Biological Sciences 5(6):759-767.

Hemphill, D.D. and G.H. Clough. 1990. Tomato, melon and pepper production on degradable and infrared-transmitting mulches in Oregon. Proc. Natl. Agr. Plastics Congr. 22:7-12.

Ibarra, J. L. y A. Rodríguez P. 1982. Manual de Agroplásticos 1. Acolchado de cultivos agrícolas. Centro de Investigación en Química Aplicada. Saltillo, Coahuila, México.

Ibarra, J., L. y A. Rodríguez. 1991. Acochado de Suelos con Películas Plásticas. 1ra Edición. Ed. Limusa S.A. de C.V. México, D.F.

Jones, T.L., Jones, U.S. and Ezell, D.O. 1977. Effect of nitrogen and plastic mulch on properties of Troup loamy sand [soils] and on yield of 'Walter' tomatoes. J Amer. Soc. Hort. Sci. 102(3):272-275.

Kasperbauer, M.J., J.H. Loughrin, y S.Y. Wang. 2001. Light reflected from red mulch to ripening strawberries affects aroma, sugar and organic acid concentrations. Photochem. Photobiol. 74:103–107.

Kasperbauer, M.J. 1999. Colored mulch for food crops. ChemTech 29(8):45–50.

Kasperbauer, M.J. and P.G. Hunt. 1998. Far-red light affects photosynthate allocation and yield of tomato over red mulch. Crop Sci. 38:970-974.

Kasperbauer, M.J. 1992. Phytochrome regulation of morphogenesis in green plants: From the Beltsville spectrograph to colored mulch in the field. Photochem. Photobiol. 56:823-832.

Korcak, R.F., Abdul-Baki, A. and Teasdale, J. 1993. Foliar nutrition of tomatoes under sustainable systems using plant mulches and low-N input. HortScience. 28:507.

Kring, J.B. 1972. Flight behavior of aphids. Annu. Rev. Entomol. 17:461-492.

Lamont Jr., W.J. 2005. Plastics: modifying the microclimate for the production of vegetable crops. HortTechnology 15(3): 477-481.

Lamont Jr., W.J. 1993. Plastic mulches for production of vegetable crops. HortTechnology 3:35-39.

Liakatas, A., J.A. Clark, and J.L. Monteith. 1986. Measurements of the heat balance under plastic mulches. Agr. For. Meteorol. 36:227-239.

Lira-Saldivar R.H., Salas-Hernández M. A. y Coronado-Leza A. 2003. Efecto de la solarización de suelos e incorporación de estiércol caprino en el control de malezas y rendimiento de melón (*Cucumis melo* L.). Agrochimica 47:227-235.

Mahmoudpour, M.A. and J.I. Stapleton. 1997. Influence of sprayable mulch colour on yield of eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Millionaire). HortScience. 70:331-338.

Maiero, M., F.D. Schales, and T.J. Ng. 1987. Genotype and plastic mulch effects on earliness, fruit characteristics, and yield in muskmelon. HortScience 22:945-946.

Metcalf, C. y W. Flint. 1980. Insectos destructivos e insectos útiles. México, D.F. Compañía Editorial Continental S.A. 1208p.

Moore, W.D., F.F. Smith, G.V. Johnson, and D.O. Wolfenbarger. 1965. Reduction of aphid populations and delayed incidence of virus infection on yellow straight neck squash by the use of aluminum foil. Proc. Fla. State Hort. Soc. 78:187-191.

Moreno, M.M, A. Moreno and I. Mancebo. 2009. Comparison of different mulch materials in a tomato (*Solanum lycopersicum* L.) crop. Spanish Journal of Agricultural Research 7(2): 454-464.

Ngouajio M., R. Auras, R.T. Fernandez, M. Rubino, J.W. Counts Jr., and T. Kijchavengkul. 2008. Field performance of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films in a fresh market tomato production system. HortTechnology 18:605-610.

Ngouajio, M. and J. Ernest. 2005. Changes in the physical, optical, and thermal properties of polyethylene mulches during double cropping. HortScience 40:94–97.

Ngouajio, M. and J. Ernest. 2004. Light transmission through colored polyethylene mulches affects weed populations. HortScience 39:1302–1304.

Ngouajio, M., R. Goldy, S. Snapp, and B. Zandstra. 2003. Effect of colored polyethylene mulch on fresh market tomato growth and yield. Proc. 31st Natl. Agr. Plastics Congr. p. 100–105.

Ogutu, M. 2005. Effects of colored plastic mulches on tomato growth and yield. HortScience 40: 993-1147.

Orzolek, M.D., L. Otjen, and J.E. Fleck. 2000. Update: Effect of colored mulch on pepper and tomato production. Proc. Intl. Natl. Agr. Plastics Congr. 29:321–329.

Orzolek, M.D. and L. Otjen. 1996. Is there a difference in red mulch? Proc. 26 Natl. Agr. Plastic Congr. 26: 164-171.

Parks, R.J., W.S. Curran, G.W. Roth, N.L. Hartwig, and D.D. Calvin. 1995. Common lambsquarters (*Chenopodium album*) control in corn (*Zea mays*) with postemergence herbicides and cultivation. Weed Technol. 9:728–735.

Pearson, R.K., M.L. Odland, and C.J. Noll. 1959. Effect of aluminum mulch on vegetable crop yields. PA. State Univ. College Agr. Prog. Rpt. 205.

Robledo, F. y Martín, L. 1988. Aplicación de los plásticos en la agricultura. Madrid. Ediciones Mundi-Prensa. pp 573.

Schalk, J.M. and M.L. Robbins. 1987. Reflective mulches influence plant survival, production, and insect control in fall tomatoes. HortScience 22:30-32.

Schut, J. 2001. Mulch film goes high-tech, (On Line: Junio 2009). (http://www.plasticstechnology.com)

Smith, H. 1982. Light quality, photoreception and plant strategy. Annu. Rev. Plant Physiol. 33:481-518.

Summers, C.G., J.J. Stapleton, A.S. Newton, R.A. Duncan, and D. Hart. 1995. Comparison of sprayable and film mulches in delaying the onset of aphid-borne virus diseases in zucchini squash. Plant Dis. 79:1126-1131.

Swenson, Joyce A.; S. Alan Walters; She-Kong Chong. 2004. Influence of tillage and mulching systems on soil water and tomato fruit yield and quality. Journal of Vegetable Crop Production, ISSN:1049-6467, Volume 10, Issue 1, pp. 81 – 95.

Tarara, J.M. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. HortScience 35:169-180.

Vazquez, N.; A. Pardo; M.L. Suso and M. Quemada. Drainage and nitrate leaching under processing tomato growth with drip irrigation and plastic mulching. 2006. Agriculture, Ecosystems & Environment 112(4):313-323.

Wien, H.C. and P.L. Minotti. 1988. Increasing yield of tomatoes with plastic mulch and apex removal. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113:342-347.

Paginas de Internet

http://www.olefinas.com