COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL SUELO BAJO CUBIERTAS PLÁSTICAS I. EFECTO DE DIFERENTES TIPOS DE LÁMINAS[1]

Soil thermal response under plastic covers. I. Effect of different types of films

Enrique Misle A.[2] y Aldo Norero Sch.[3]

ABSTRACT

An experiment was carried out during November 1996 at the Universidad Católica del Maule, Talca (35°26' S lat, 71°26' W long), in a Haplanthrept soil, to determine the soil's thermal response at 7 cm depth under four different plastic covers: transparent polyethylene (TRA), white/black film (OPA), brown AL-OR film (CAF) and orange polyethylene (NAR). TRA and OPA films were selected because of their opposite transmissibility, and NAR and CAF films as plastic mulch options in the market. TRA achieved the highest temperature (mean maximal = 39.1 °C), accumulating more heat than CAF. Both treatments produced thermal increases higher than OPA, which maintained the soil temperature slightly below that of the uncovered unit (mean maximal = 27.3 °C), though this difference was not significant (Tukey 5%). The lower temperature accumulated by OPA, however, showed a compensation at night, with a higher minimum temperature than uncovered soil. CAF was not different from NAR, demonstrating that their advantages are not related to the thermal increase of the soil. According to the thermal rise of TRA, it would be possible to solarize at this latitude, obtaining possibly lethal maximum temperatures for mesothermal organisms after 15 days treatment in November, with 6 hours per day over 40 °C. With the observed results, it is possible to conclude that the current utilization of plastic covers in Chile is deficient and, sometimes, contrary to the proposed objective. The information obtained is useful to verify a model that describes the thermal behavior of soil under a plastic cover.

Key words: soil temperature, plastic mulch, solarization.

RESUMEN

Se realizó un experimento durante noviembre de 1996 en la Universidad Católica del Maule, Talca (35°26' lat. Sur, 71°26' long. Oeste), en un suelo Haplanthrepts, para determinar la conducta térmica del suelo bajo cuatro cubiertas plásticas diferentes a 7 cm de profundidad: polietileno transparente (TRA), film blanco/negro (OPA), film AL-OR café (CAF) y polietileno naranja (NAR). Se seleccionaron las láminas TRA y OPA por ser opuestas en transmisividad, y NAR y CAF como alternativas de acolchados (mulch) ofrecidas en el mercado. TRA alcanzó la temperatura más alta (máxima promedio = 39,1 °C), acumulando más calor que CAF y produciendo ambos tratamientos incrementos térmicos superiores a OPA, que mantuvo el suelo ligeramente por debajo de la temperatura del suelo descubierto (máxima promedio = 27,3 °C), aunque esta diferencia no resultó significativa (Tukey 5%). La menor temperatura acumulada por OPA mostró una

[1]Recepción de originales: 20 de julio de 2000 (reenviado).
[2]Universidad Católica del Maule, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Agronomía, Casilla 278, Curicó, Chile. E-mail: emisle@hualo.ucm.cl
[3]Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Escuela de Agronomía.

compensación nocturna, con una temperatura mínima más alta que el suelo descubierto. CAF no acusó diferencia con NAR, lo que reveló que sus ventajas no se relacionan con el incremento térmico del suelo. De acuerdo con el alza térmica mostrada por TRA sería posible solarizar en esta latitud, obteniendo temperaturas máximas posiblemente letales para los organismos mesotérmicos después de 15 días de tratamiento en noviembre, con 6 horas diarias sobre 40 °C. Según los resultados observados, es posible asegurar que la utilización actual de cubiertas plásticas en Chile es deficiente y, a veces, hasta contradictoria con el objetivo propuesto. La información obtenida es de utilidad para verificar un modelo que describa la conducta térmica del suelo bajo una cubierta plástica.

Palabras clave: temperatura del suelo, acolchado plástico, solarización.

INTRODUCCIÓN

La utilización de plásticos sobre el suelo con diferentes fines, es una práctica que ha adquirido creciente importancia desde que se inició la aplicación del polietileno (PE) en la agricultura, a mediados del siglo XX. El acolchado (mulch) del suelo se ha utilizado principalmente debido a que permite lograr mayor temperatura, menor evaporación de agua y mejor control de malezas; también se obtiene mayor limpieza de frutos en cultivos como la frutilla (*Fragaria* sp.). Además, durante la década de los '70 surgió una nueva aplicación orientada a la desinfección del suelo: la solarización. Esta técnica aplica el efecto acumulador de calor debajo de una delgada cubierta (film) de polietileno de alta transparencia, para incrementar la temperatura del suelo a niveles letales para muchos organismos mesotérmicos.

Existe amplia información relacionada con los efectos de los acolchados sobre los cultivos. Entre los componentes modificados, están el crecimiento, el rendimiento y la calidad de numerosas especies hortícolas. El efecto es más marcado en aquéllas de enraizamiento superficial y alto requerimiento térmico, como las cucurbitáceas. Otro de los beneficios logrados con las cubiertas plásticas es el incremento de la masa radical y de la absorción de nutrientes (Wien *et al.*, 1993). En control de malezas se ha observado efectividad incluso sobre ciperáceas, utilizando PE transparente (Gabriel *et al.*, 1994).

La posibilidad de cultivar más temprano puede ser crítica para algunas especies en ciertas condiciones climáticas, en las cuales resulta interesante evaluar la utilización de estas técnicas. En Polonia, Felczynski *et al.* (1994) estudiaron el uso efectivo de cubiertas de PE y polipropileno (PP) como túneles con acolchado de PE negro y transparente para el cultivo de maíz dulce (*Zea mays* L.). En forma similar, Siwek *et al.* (1994) encontraron un 6,1% de incremento en el rendimiento comercial de pimentones (*Capsicum* sp.) cultivados en túnel plástico con mulch blanco y un 10,3% cuando utilizaron una lámina negra. Estos autores concluyeron que aun cuando la lámina blanca redujo en 0,5 °C la temperatura del suelo con respecto al suelo desnudo, la mayor calidad del producto fue atribuida a que incrementó en 187% la reflexión de radiación fotosintéticamente activa en el túnel, con respecto al suelo desnudo. En tomate (*Lycopersicon esculentum*) se ha argumentado que el color de la lámina plástica induciría modificaciones en el desarrollo de la planta al afectar el reparto de asimilados, provocado por el efecto que tendría la calidad de la luz que rodea la planta sobre el sistema fitocromo (Gabriel *et al.*, 1994). Libik *et al.* (1994) obtuvieron resultados igualmente interesantes en el cultivo de sandía (*Citrullus lanatus*), con un efecto en rendimiento de más de tres veces en relación al suelo descubierto; el acolchado de PE negro no sólo se aproximó al efecto de un túnel sino que llegó a superar al túnel de PP, el mejor tratamiento estudiado, en uno de los años de la investigación.

El color de la cubierta plástica ha sido bastante investigado, así, se han demostrado sus cualidades en cultivos muy diferentes, como frutilla o tomate (Gabriel *et al.*, 1994; Himelrick *et al.*, 1993). En ambos casos, se han encontrado respuestas diferentes por variedad. Además, el color puede modificar las conductas de poblaciones de insectos hacia los cultivos, encontrándose que bajo altas presiones poblacionales el efecto repelente de algunas cubiertas es claro, incrementando el rendimiento comercial en tomates (Csizinszky *et al.*, 1995).

La mayor parte de estos estudios se han centrado en los efectos de la práctica del acolchado sobre los cultivos, los agentes patógenos, las plagas o las malezas (Pullman *et al.*, 1981; Gutkowski y Terranova, 1991; Montealegre *et al.*, 1997). La búsqueda de un conocimiento cuantitativo es más reciente, disponiéndose en Chile sólo del trabajo desarrollado por Contreras *et al.* (1992) donde se cuantificó la evolución de la temperatura del suelo bajo algunas cubiertas de PE. Aún más, pocos investigadores han elaborado modelos de aplicación (Gutkowski y Terranova, 1991; Bussière y Cellier, 1994; Ham y Kluitenberg, 1994; Wu *et al.*, 1996). Entre las aplicaciones en las que interesan los modelos para calcular la temperatura del suelo, figuran la simulación de la germinación y emergencia de cultivos (Luo *et al.*, 1992; Weaich *et al.*, 1996) así como la solarización (Gutkowski y Terranova, 1991; Wu *et al.*, 1996).

En este contexto, la utilización de plásticos como acolchado o para solarizar se hace cada día una práctica más común, sin que exista un medio cuantitativo aceptable que oriente al agricultor para categorizar la variedad de la oferta de materiales en el mercado. Tampoco es posible hacer algún pronóstico de los efectos que tendrá un determinado tipo de material sobre un suelo bajo determinadas condiciones meteorológicas, ni de los efectos que tendrá sobre el cultivo establecido.

La presente investigación tuvo como objetivo estudiar el comportamiento térmico del suelo bajo cuatro cubiertas plásticas, para obtener información necesaria para el desarrollo de un modelo que incorpore estos efectos y que permita, por vía de la simulación, la predicción de la temperatura del suelo modificada por esta práctica.

MATERIALES Y MÉTODOS

El medio físico

El desarrollo experimental de esta investigación se llevó a cabo durante noviembre de 1996 en un suelo adyacente a la estación meteorológica de la Dirección General de Aguas ubicada en el Campus San Miguel de la Universidad Católica del Maule en la ciudad de Talca (35°26' lat. S., 71°26' long. O, 110 m.s.n.m). Se seleccionó este lugar porque se requería simultáneamente de información climática del sitio experimental y contar con un suelo característico de la localidad. El suelo corresponde a un Haplanthrepts, en el cual la acción antrópica ha mejorado la infiltración en los primeros 30 cm, con textura algo más ligera. El sitio presenta hidromorfismo estacional, con nivel freático que fluctúa entre 30 cm en invierno y más de 100 cm en verano. Esta restricción se ha considerado favorable para la investigación, puesto que contribuyó a mantener la humedad del suelo bastante uniforme.

Diseño

Se midió la evolución de la temperatura y la humedad del suelo en parcelas de 1,25 por 0,8 m bajo cuatro cubiertas plásticas diferentes y con suelo descubierto (SUE). Las láminas plásticas utilizadas como mulch fueron: polietileno transparente de 50 micrones (μ) (TRA), film blanco/negro, opaco, de 60 μ (OPA) y film AL-OR, café, de 20 μ (CAF). Se seleccionaron las láminas transparente y opaca por ser opuestas en transmisividad y film café, como otra alternativa de mulch ofrecida en el mercado. Se estableció un diseño de bloques completos al azar, con tres cubiertas diferentes y suelo descubierto como tratamientos (SUE, TRA, OPA, CAF), con cuatro repeticiones. Los termómetros de máxima y

mínima se ubicaron en el centro de cada bloque, en un soporte de madera blanco al interior de cuatro cilindros protectores blancos ubicados a 20, 40, 80 y 160 cm sobre la superficie del suelo. Una de las repeticiones incluyó tensiómetros en los cuatro tratamientos, y tres de ellas llevaron bloques de Bouyoucos en dos tratamientos: transparente y testigo. Durante todo el período se midió además, la temperatura del aire, máxima, mínima y actual a la hora de registro, a 20, 40, 80 y 160 cm sobre la superficie del suelo. En una unidad independiente de los tratamientos se ubicaron el termómetro y el tensiómetro de profundidad. Complementariamente al diseño del experimento principal se comparó el film café con el PE naranjo de 50 μ (NAR) como la cuarta cubierta, debido a que este último, en diversos espesores, es el más frecuentemente empleado por los agricultores (n = 2).

El análisis estadístico consistió en análisis de varianza y prueba de significancia para los tratamientos. Debido a que el fenómeno en estudio fue registrado en su evolución temporal, se presentó la necesidad de construir un indicador para realizar la prueba estadística. En otro caso, podría demostrarse la significancia para los valores finales, cuyas magnitudes serían producto de cada tratamiento. Esta opción ha sido ampliamente utilizada en muchas investigaciones donde interesa el valor final de un tratamiento que transcurre. Dado que en este caso es de interés la tasa con que se acumula energía en el suelo bajo las diferentes cubiertas plásticas, se construyó el registro de temperatura acumulada, indicador directo del calor acumulado, puesto que es el producto de la temperatura por el calor específico del suelo. La prueba de hipótesis fue planteada así para la pendiente de cada curva de temperatura media acumulada (Claudio Aguilar, Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, comunicación personal).

La superficie de cada unidad fue definida de acuerdo a la investigación realizada por Gutkowski y Terranova (1991), quienes definieron una área de 1 m^2, y sus dimensiones se acomodaron con aquéllas de los plásticos utilizados comercialmente con mayor frecuencia.

El ensayo se organizó en cinco fases, cubriendo un período total de 38 días. Fase 1: comportamiento térmico bajo tres láminas plásticas (TRA, OPA, CAF) y suelo descubierto (SUE) con medición de temperatura a 7 cm de profundidad; Fase 2: comportamiento térmico con medición de temperatura a cuatro profundidades: 1, 3, 7 y 15 cm en el tratamiento SUE; Fase 3: comportamiento térmico con medición de temperatura a cuatro profundidades: 1, 3, 7 y 15 cm en el tratamiento TRA; Fase 4: comparación de PE NAR con CAF con medición de temperatura a 3 y 7 cm de profundidad; y Fase 5: evaluación de movimiento térmico transversal bajo TRA. Los cambios de fase se realizaron sin remover las láminas plásticas, ni alterar la condición original de la superficie del suelo con el objeto de continuar registrando los efectos acumulativos de los tratamientos.

Instrumentación

Para medir la temperatura se utilizaron 16 termómetros digitales de máxima y mínima con sensor interno y externo. Se registró la evolución de la temperatura del suelo y del aire. Se dispuso de 16 termómetros de mercurio para suelo para comprobar la exactitud de los termómetros electrónicos y para comparar el efecto de las láminas café y naranja. Se utilizó, además, un termómetro de suelo de vástago metálico largo (0,6 m) para el control de la temperatura a 30 cm, en un bloque independiente bajo suelo descubierto.

Los termómetros digitales almacenan sólo las temperaturas extremas del ciclo diario, por eso y para obtener información de la evolución continua de la temperatura, se emplearon dos capturadores de temperatura con sensor externo, con capacidad de almacenamiento para 1800 registros (Onset Computer Corp., Stowaway XTI), los cuales fueron recogidos con un computador portátil 486, 8 M RAM vía puerta serial al software Logbook para Windows.

Efecto de diferentes tipos de láminas

Para proceder con la Fase 1, se insertó un sensor de máxima y mínima (–40 +50 °C) a una profundidad de 7 cm en el centro de cada tratamiento. Un registro paralelo se realizó con termómetros de mercurio a 3 y a 7 cm para comparar la cubierta AL-OR café con PE naranja, en los bloques 2 y 3. Por un período de 15 días se anotó en forma diaria la temperatura máxima, mínima y actual a la hora de registro, 18:00 h, hora local de invierno. Esta hora se determinó a través del registro de los capturadores durante el tiempo previo, en espera de capacidad de campo, de modo de registrar a esta hora la máxima y la mínima del mismo día. Entre los días 13 y 14 se realizó un registro del ciclo diario, anotando la temperatura a intervalos de una hora en el día y dos horas en la noche (12 y 13 de noviembre). Este registro se hizo al final del estudio puesto que investigaciones anteriores han mostrado que tratamientos de este tipo se estabilizan aproximadamente a partir del décimo día (Pullman *et al.*, 1981). Los dos capturadores se instalaron en forma equivalente a 7 cm de profundidad, para obtener una contraparte de los registros manuales. Se seleccionaron para esto los tratamientos extremos, es decir, cubierta blanco/negro (opaco a la radiación) y transparente.

Un aspecto experimental que es necesario mencionar, es la saturación de los termómetros digitales durante los registros de máximas bajo el PE transparente cuando la temperatura se aproximaba a su límite en el rango de operación (50 °C). Con el fin de salvar esta dificultad se dispuso un seguimiento con termómetros de mercurio cuando se detectó el problema. Se pudo observar una diferencia creciente a partir de los 40 °C, con una diferencia máxima en la zona de 50 °C con una magnitud de alrededor de 2 °C. Por lo tanto, para que la información recogida fuera útil, se debió considerar una corrección: los gráficos fueron elaborados utilizando una corrección simple, sustituyendo todo valor mayor o igual a 48,5 °C por su valor más 2 °C, la diferencia aproximada en esa zona térmica (Misle, 1998).

RESULTADOS

La evolución de la temperatura del suelo a la profundidad de 7 cm, bajo los diferentes tratamientos, se observa en la Figura 1.

El análisis de varianza mostró que la variación debida a los tratamientos es significativa, mientras que a los bloques no lo es. Para discriminar entre los tratamientos se realizó la prueba de Tukey, revelando que son diferentes el tratamiento transparente del café y del testigo y el opaco, sin que pueda reconocerse diferencia entre estos últimos (Cuadro 1).

El incremento progresivo de la temperatura que se observa en la Figura 1, se manifiesta en ciclos diarios de aspecto sinusoidal, dependientes del ciclo solar. Durante los días 13 y 14 del ensayo (12 y 13 de noviembre) se registró un ciclo diario, bajo el supuesto que los efectos de la lámina plástica se habían hecho más estables, comenzando a las 18:00 h. Éste reveló que las diferencias entre tratamientos son expresadas principalmente por la diferente acumulación de calor durante el día. La Figura 2 ilustra los resultados obtenidos.

Se diseñó la Fase 4 para investigar el comportamiento de la lámina AL-OR café en relación al PE naranjo, de amplia difusión y por lo tanto, la alternativa con que compite en el mercado. Durante 11 días se registró la temperatura a 3 y a 7 cm, llevando dos repeticiones, de acuerdo a los recursos instrumentales. El curso de la temperatura se presenta en la Figura 3.

El ciclo diario de temperatura en este caso se ha graficado en la Figura 4. Se observa la similitud en el comportamiento de ambas cubiertas.

DISCUSIÓN

La humedad del suelo fue uniforme en todos los tratamientos cubiertos con plásticos, pero pese a los esfuerzos por mantenerla constante, después de la Fase 1 el suelo descubierto comenzó a

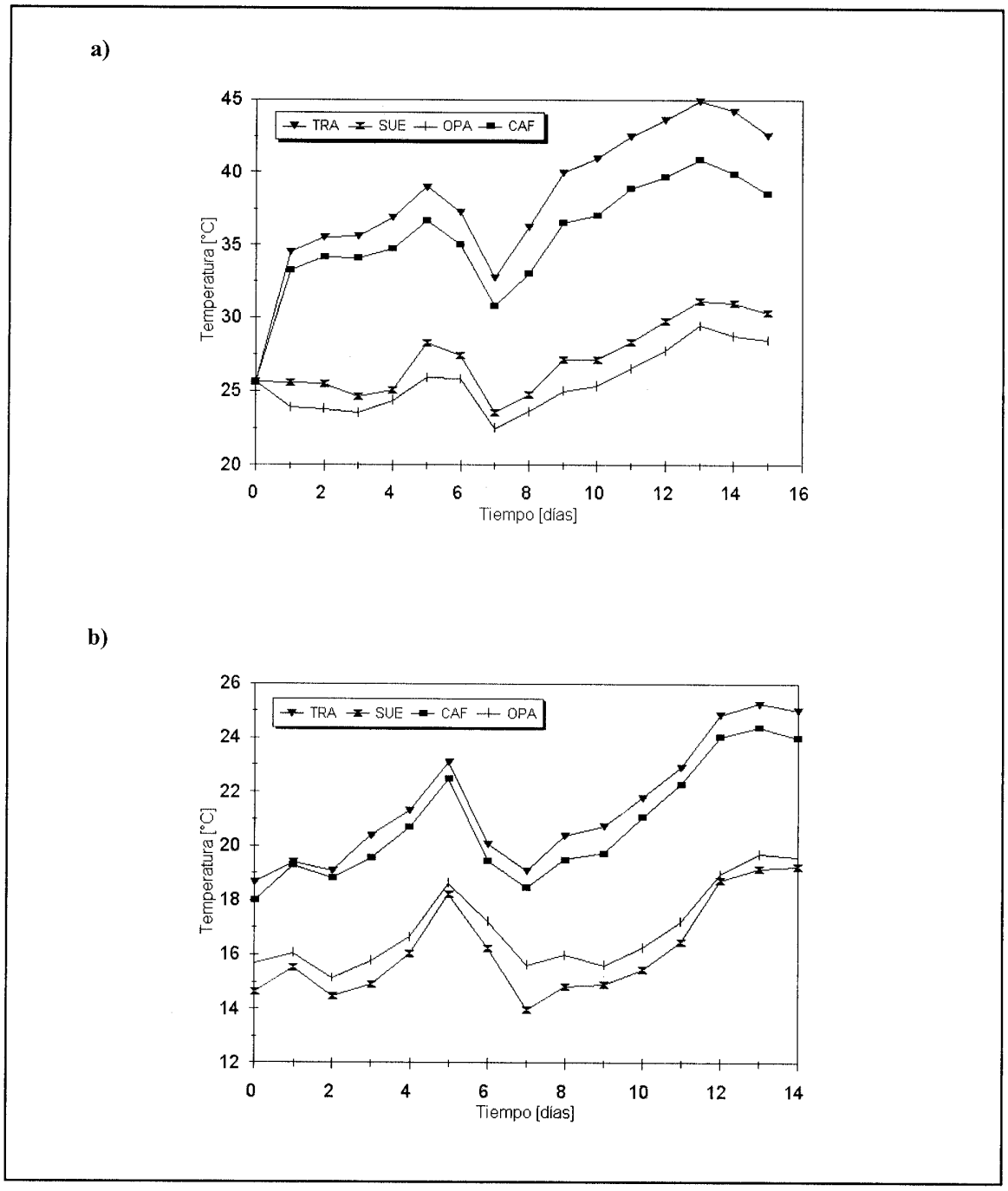

Figura 1. Temperatura máxima (a) y mínima (b) del suelo a 7 cm de profundidad bajo diferentes tratamientos. Promedio de repeticiones. Entre el día 6 y 7 se presentó una precipitación de 0,1 mm lo que redujo la temperatura del suelo.
Figure 1. Maximal (a) and minimal (b) temperature of soil at 7 cm depth under different treatments. Mean of replicates. Between days 6 and 7 occurred 0.1 mm rainfall that reduced soil temperature.

TRA: lámina transparente. SUE: suelo descubierto.
CAF: lámina café. OPA: lámina opaco blanco/negro.

Cuadro 1. Temperatura promedio del suelo durante la Fase 1 bajo tres cubiertas plásticas diferentes, durante 15 días de tratamiento. Se indica significancia bajo la prueba de Tukey para la pendiente de la temperatura media acumulada

Table 1. Mean soil temperature during Phase 1 under three plastic films, during 15 days treatment. Tukey test significance for accumulated mean temperature slope is indicated

Tratamiento	Repeticiones	Temperatura promedio °C	Media de la pendiente Temperatura acumulada	Grupos
Transparente	4	30,2925	30,35598	a
Café	4	28,5100	27,79607	b
Opaco	4	21,2986	20,63715	c
Testigo	4	21,7514	21,38135	c
Coeficiente variación:	3,707%		Significación: 0,05	

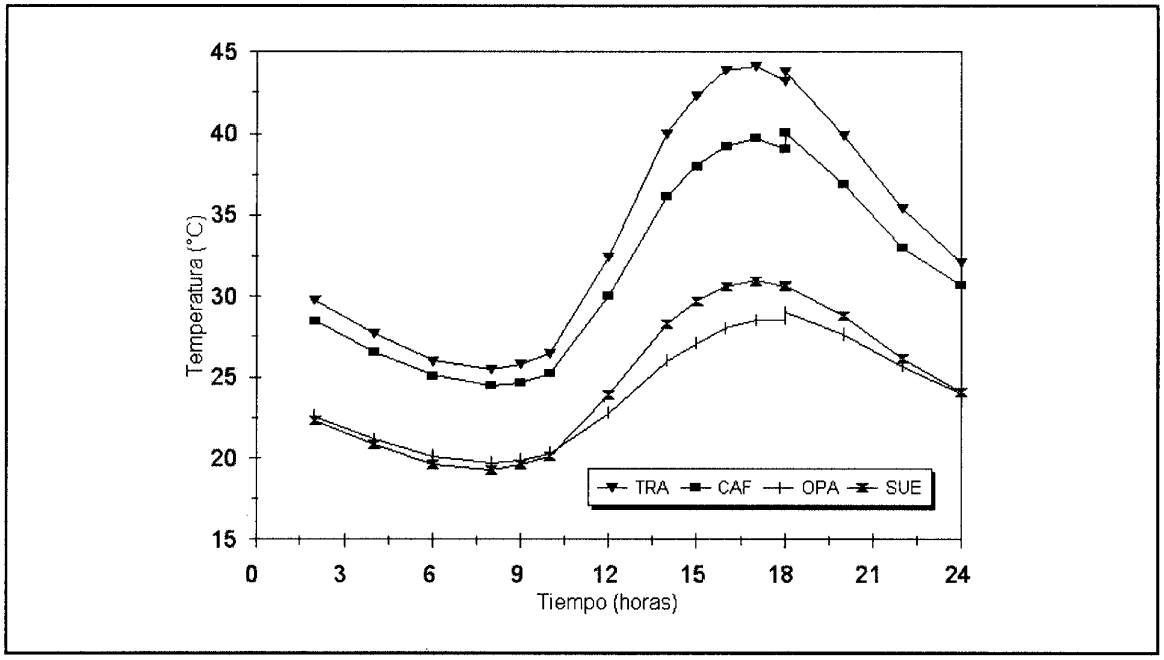

Figura 2. Evolución de la temperatura del suelo a 7 cm de profundidad en un ciclo diario bajo diferentes tratamientos. El tiempo expresa hora del día. La hora 18 corresponde a la hora de registros por día y por lo tanto, la hora de inicio y fin de anotaciones en el ciclo (punto de quiebre en la curva).

Figure 2. Soil temperature evolution at 7 cm depth in a daily cycle under different treatments. Time is expressed as hour of day. Since the results were recorded at 18:00 h, this is the time for beginning and end of cycle (break point in the curve).

TRA: lámina transparente. SUE: suelo descubierto.
CAF: lámina café. OPA: lámina opaco blanco/negro.

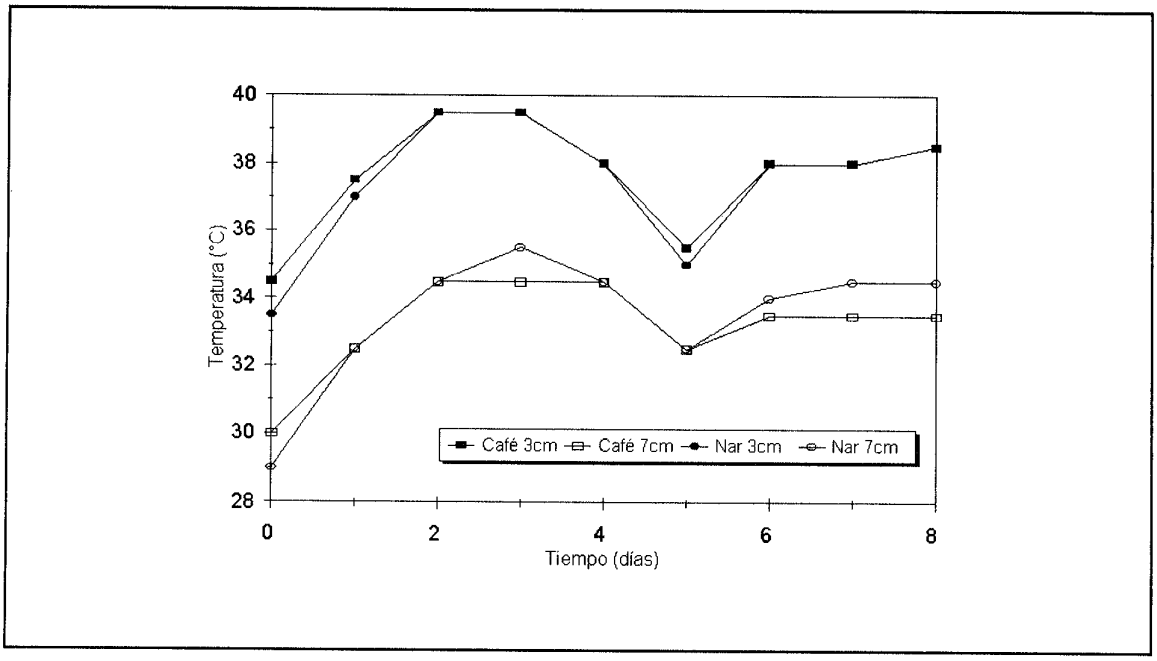

Figura 3. Evolución diaria de la temperatura a la hora de registro 11:00 h en los tratamientos café y naranja (Nar) a dos profundidades de suelo. Promedio de dos repeticiones.

Figure 3. Daily evolution of temperature at recording time 11:00 in brown and orange (Nar) treatments at two soil depths. Mean of two replicates.

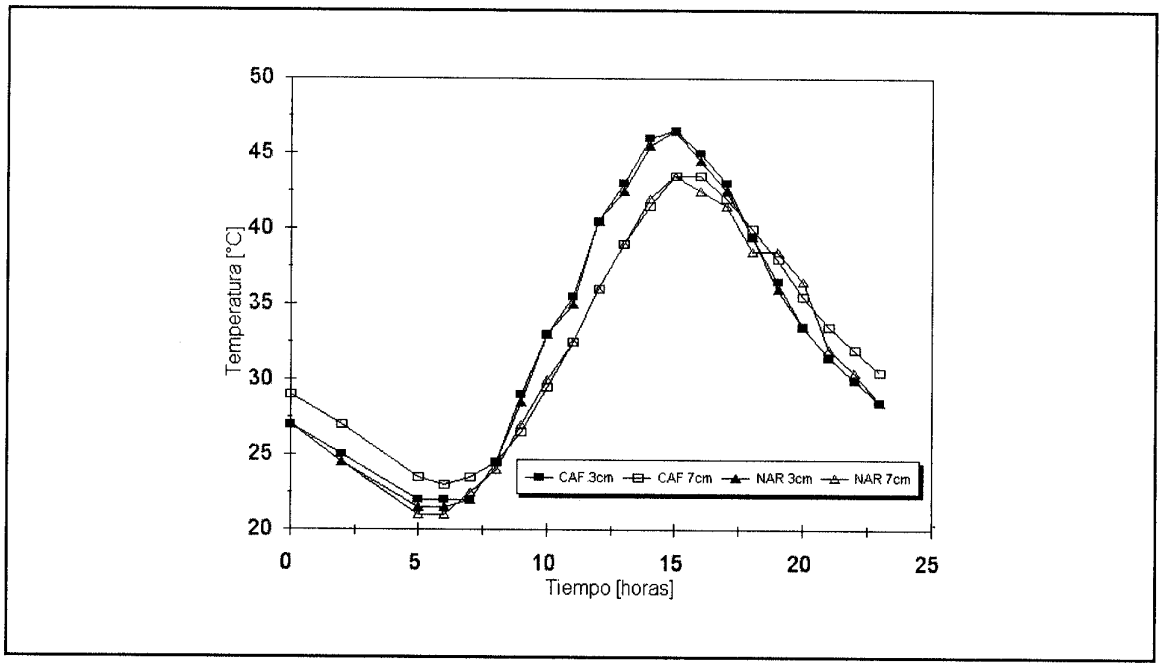

Figura 4. Evolución horaria de la temperatura en los tratamientos CAF y NAR a dos profundidades. Se registró desde las 11:00 h.

Figure 4. Hourly evolution of temperature in CAF and NAR treatments at two depths. Records were made from 11:00 h.

diferir de ellos (día 14). Por lo tanto, debe considerarse que las comparaciones que se hacen entre el PE transparente y el testigo están ligeramente afectadas por la diferencia en el contenido de humedad, aunque ya se ha indicado que en el rango de humedad aprovechable la conductividad térmica no cambia demasiado (Misle, 1998).

El diseño de un experimento con 4 repeticiones ha permitido hacer un análisis estadístico aceptable al utilizar las pendientes de la temperatura acumulada como datos a comparar. Una herramienta similar ha sido utilizada antes por Montealegre *et al.* (1997). Resultaría poco práctico realizar análisis de regresión por cada día del experimento. El interés que tal análisis puede tener es determinar a partir de qué momento comienza a diferir la temperatura bajo los diferentes tratamientos. En la Figura 1 se observa que desde el comienzo del ensayo la distancia entre los tratamientos se mantiene proporcional y al graficar la temperatura acumulada, se observan unas rectas que se abren de modo uniforme durante el transcurso del período experimental (Figura 5). Por otra parte, obtener conclusiones a partir de las diferencias de los valores finales parece poco confiable. Lo que interesa distinguir es, precisamente, la tasa a la cual se acumula calor en el suelo bajo los diferentes acolchados.

Es interesante destacar que el PE blanco sobre negro (OPA) evita que el suelo a 7 cm alcance una temperatura similar a la del suelo desnudo. Dado que el análisis estadístico no diferencia entre estos dos tratamientos, no podría afirmarse el efecto que se menciona; no obstante, debe tenerse presente que el menor incremento diurno se ha compensado con protección nocturna, tal como se evidencia en la Figura 1b. De esta manera, en el registro obtenido durante varios días, a escala diaria, no pueden discriminarse diferencias si se analiza la temperatura media. En observaciones realizadas en un bloque estable-

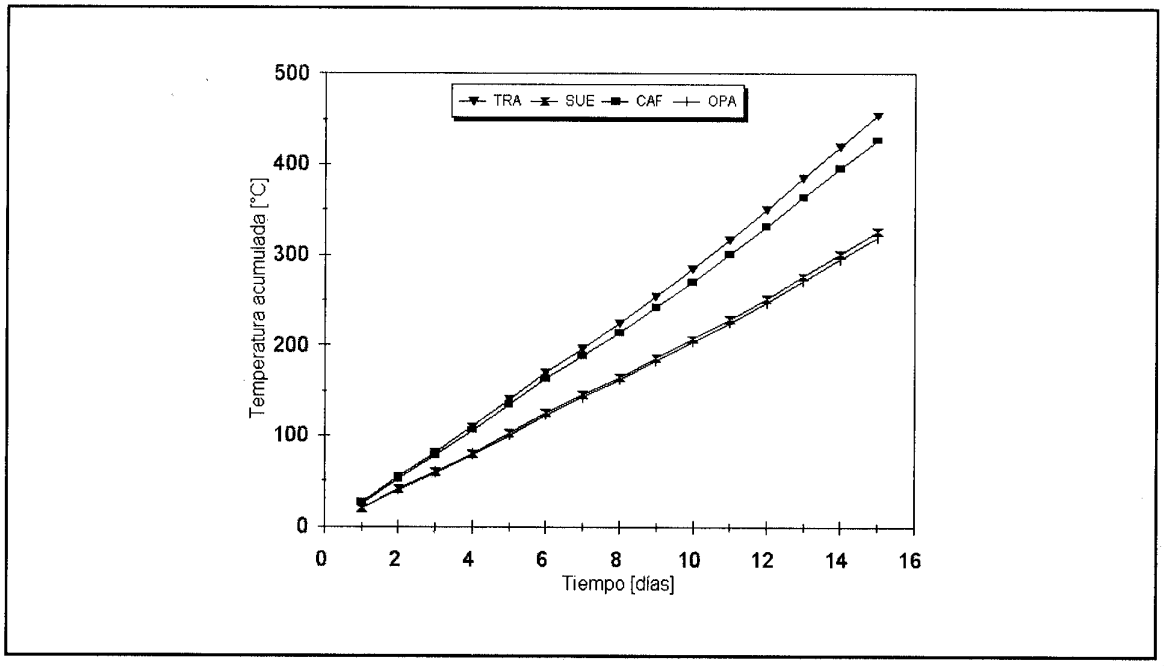

Figura 5. Temperatura media acumulada para cuatro coberturas de suelo. Profundidad 7 cm.
Figure 5. Accumulated mean temperature for four soil covers. Depth 7 cm.
TRA: lámina transparente. SUE: suelo descubierto.
CAF: lámina café. OPA: lámina opacò blanco/negro.

cido paralelamente al ensayo, desde el inicio de la investigación principal, como control vegetal con plantas de zapallo italiano (*Cucurbita pepo*), la planta sobre PE opaco expresó un mayor crecimiento que sobre el suelo descubierto, mostrando efectos no explicados por la temperatura media. Precisamente las temperaturas extremas del día resultan decisivas y así, la utilización de PE transparente en época cálida puede llegar a imponer restricciones al desarrollo vegetal, al superar por algunas horas la temperatura óptima fisiológica del cultivo, pudiendo aproximarse incluso a la temperatura máxima y disminuyendo en consecuencia el crecimiento de la planta con relación a una situación más favorable.

Como se observa en las Figuras 3 y 4, el PE café no difiere significativamente del PE naranja, y esto podría conducir a un menor costo para el agricultor con una menor contaminación por desechos plásticos si el precio por unidad de peso del material fuese el mismo, puesto que se utilizó una cubierta café con un espesor de sólo un 40% del PE naranja. Desde el punto de vista de la temperatura obtenida su utilización resultaría ventajosa sólo para un control de malezas más efectivo, puesto que al parecer a un mismo espesor el PE café presentaría menor transmisión de radiación fotosintéticamente activa que el PE naranja.

En una investigación de características similares, Contreras *et al.* (1992), en un ensayo realizado en Temuco, encontraron un comportamiento similar entre el PE transparente y el PE gris humo, lo cual difiere con los resultados obtenidos durante esta investigación, ya que al parecer, cualquier cubierta de menor transparencia debe producir temperaturas de suelo menores que el PE transparente. Es posible que la diferencia en la declinación solar con respecto a la zona en que se realizó la investigación citada, produzca un mayor albedo (fracción de radiación reflejada), haciendo más parecidos el PE transparente con el gris humo. Tal argumento parecería aceptable si se considera que ya ha sido necesario utilizar el albedo en función de la hora del día para la construcción de un modelo a partir de los datos obtenidos durante esta investigación (Misle, 1998). Se debe tener presente que existen 5 °C de diferencia en la máxima media del mes de noviembre entre Talca y Temuco, además del breve período asignado al seguimiento de la temperatura, durante el cual probablemente los tratamientos de Contreras *et al.* (1992) no se habían estabilizado.

Los resultados y conclusiones obtenidos por Contreras *et al.* (1992) son comparables a los obtenidos en la presente investigación, y sugieren la necesidad de un modelo para discutir más sólidamente especulaciones de este tipo, de gran importancia práctica, ya que se suele difundir la utilización de un material en una zona, sin que necesariamente sea adecuado para otra, ni para otros cultivos o épocas de establecimiento. Dado que en la actualidad es común observar en la práctica una utilización de cubiertas diferente a la que cabría esperar de acuerdo al objetivo propuesto, como el uso de PE OPA con el propósito de anticipar cosechas, es posible asegurar, conforme a los resultados observados, que la utilización actual de cubiertas plásticas en el país es deficiente y hasta contradictoria.

Con relación a la temperatura obtenida bajo TRA, se estima que es practicable la solarización en Talca dado que los resultados muestran temperaturas sobre 40 °C durante seis horas diarias, con una temperatura máxima promedio de 39,1 °C en el experimento de la Fase 1 (Figuras 1 y 2). Para ello, debe conocerse la profundidad a la cual se alcanza una temperatura adecuada en un tiempo aceptable de tratamiento (Fase 3). Para realizar la práctica de la solarización, es posible obtener en esta latitud temperaturas máximas posiblemente letales para los organismos mesotérmicos después de 15 días de tratamiento, en noviembre, siendo presumible extender la posibilidad a los meses siguientes que presenten una radiación solar mayor o similar.

La mayor parte de la investigación que ha intentado cuantificar el efecto de cubiertas plásticas

discrimina sus efectos directos sobre el suelo tal como se ha mostrado en los resultados anteriores. No obstante, se debería considerar además el efecto que tendrá sobre los cultivos el ambiente luminoso producido por el tipo de luz reflejada por los plásticos, así como el efecto del follaje sobre el mulch y la temperatura del suelo.

CONCLUSIONES

1. El PE transparente produjo la temperatura más alta entre las diferentes láminas. Además, mostró incrementos importantes de la temperatura en el interior del suelo, aún a 15 cm de profundidad.

2. El PE café alcanza altas temperaturas, unos grados más bajo que el PE transparente, siendo la temperatura media promedio de TRA = 30,3 °C y de CAF = 28,5 °C para los 15 días de la Fase 1.

3. El PE café no difiere significativamente del PE naranja, de amplia utilización en el país.

4. El suelo cubierto por PE blanco/negro se mantuvo a una temperatura similar que el suelo descubierto, con una temperatura media promedio de OPA = 21,3 °C y de SUE = 21,75 °C para los 15 días de la Fase 1.

5. De acuerdo con las temperaturas alcanzadas bajo el PE transparente, es practicable la solarización en Talca (35°26' lat. Sur) puesto que los resultados muestran temperaturas sobre 40 °C durante seis horas diarias, con una temperatura máxima promedio de 39,1 °C.

6. Se cuantificó el comportamiento térmico del suelo bajo diferentes cubiertas plásticas, mostrando sus diferencias, sometidas a pruebas de hipótesis, las cuales elevan la confiabilidad de los resultados para utilizarlos en la validación de un modelo capaz de describir la conducta térmica del suelo bajo cubiertas plásticas, dadas sus características ópticas.

LITERATURA CITADA

Bussière, F., and P. Cellier. 1994. Modification of the soil temperature and water content regimes by a crop residue mulch: experiment and modelling. Agric. For. Meteorol. 68:1-28.

Contreras, A., P. Acevedo, L. Pastor, y C. Eyzaguirre. 1992. Variaciones térmicas de suelo cubierto por acolchado (mulch) de polietileno. Agricultura Técnica (Chile) 52:456-461.

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

Felczynski, K.; Babik, I., and Rumpel, J. 1994. Plant and soil covers in direct seeded and transplanted sweet corn. Acta Horticulturae 371: 317-321.

Gabriel, E.L., H. Lotti, R.M. Benito, and O.R. Larroque. 1994. Effect of mulch color on yield of fresh-market tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). Acta Hortic. 357:243-250.

Gutkowski, D., and S. Terranova. 1991. Physical aspects of soil solarization. Paper 109. p. 48-68. *In* Soil solarization. Proceedings of the First International Conference on Soil Solarization, Amman, Jordan. FAO Plant Production and Protection, Rome, Italy.

Ham, J.M., and G.J. Kluitenberg. 1994. Modelling the effect of mulch optical properties and mulch-soil contact resistance on soil heating under plastic mulch culture. Agric. For. Meteorol. 71:403-424.

Himelrick, D.G., W.A. Jr. Dozier, J.R. Akridge, J.L. Maas, and G.J. Galletta. 1993. Effect of mulch type in annual hill strawberry plasticulture systems. Acta Hortic. 348:207-212.

Libik, A., P. Siwek, I. Babik, and J. Rumpel. 1994. Changes in soil temperature affected by the application of plastic covers in field production of lettuce and water melon. Acta Hortic. 371:269-273.

Luo, Y., R.S. Loomis, and T.C. Hsiao. 1992. Simulation of soil temperature in crops. Agric. For. Meteorol. 61:23-38; 1 appendix.

Misle, E. 1998. Comportamiento térmico del suelo bajo cubiertas plásticas. 70 p. Tesis Magister Scientia. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Santiago, Chile.

Montealegre, J.R., B. Defilippi, y J.L. Henríquez. 1997. Uso de la solarización y de bromuro de metilo en el control de *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* en un suelo con monocultivo de frutillas. Fitopatología 32:18-31.

Pullman, G.S., J.E. DeVay, and R.H. Garber. 1981. Soil solarization and thermal death: a logarithmic relationship between time and temperature for soil borne plant pathogens. Phytopathology 71:959-964.

Siwek, P., S. Cebula, A. Libik, J. Mydlarz, K.E. Cockshull, Y. Tuzel, and A. Gul. 1994. The effect of mulching on changes in microclimate and on the growth and yield of sweet pepper grown in plastic tunnels. Acta Hortic. 366:161-167.

Weaich, K., K.L. Bristow, and A. Cass. 1996. Simulating maize emergence using soil and climate data. Agron. J. 88:667-674.

Wien, H.C., P.L. Minotti, and V.P. Grubinger. 1993. Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient uptake of transplanted tomatoes. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 118:207-211.

Wu, Y., K.B. Perry, and J.B. Ristaino. 1996. Estimating temperature of mulched and bare soil from meteorological data. Agric. For. Meteorol. 8:299-323.