

TEMPERATURA DE UN SUELO SOLARIZADO DURANTE LA TRANSICION ESTACION SECA-ESTACION LLUVIOSA EN LA ESTACION EXPERIMENTAL FABIO BAUDRIT

*Marco Vinicio Gutiérrez*¹

RESUMEN

Temperatura de un suelo solarizado durante la transición Estación seca-Estación lluviosa en la Estación Experimental Fabio Baudrit. Se evaluó el régimen de temperatura de un suelo solarizado y su contraparte no tratado durante la transición estación seca-estación lluviosa de 1995 (15 de abril-18 de junio), en la Estación Experimental Fabio Baudrit. La temperatura promedio del suelo medida a 5, 15 y 25 cm de profundidad fue sustancialmente mayor en el suelo solarizado y decreció marcadamente con la profundidad. Las máximas temperaturas registradas oscilaron alrededor de 45 °C a 5 cm de profundidad durante días soleados. Las variaciones observadas a 25 cm de profundidad fueron muy pequeñas o inexistentes tanto en suelos solarizados como los no tratados, por lo que la solarización efectivamente modificó la temperatura del suelo solo en los estratos superficiales. Esto fue evidente tanto bajo condiciones de alta como de baja radiación solar. En esta última situación, la solarización impidió el desarrollo de inversiones del perfil de temperatura del suelo, observadas en suelos no tratados durante días nublados. El desarrollo de un método sencillo y práctico para la cuantificación de la producción y la acumulación de unidades térmicas basado en el concepto de grados día, permitió demostrar la eficacia de la solarización en la modificación de la temperatura del suelo aún después del inicio de la estación lluviosa. En suelos solarizados, la producción de unidades térmicas continuó de manera inalterable durante todo el periodo de observación.

Palabras clave: cubiertas de plástico, cubrimiento del suelo, energía solar, calentamiento del suelo, control ambiental, Costa Rica.

ABSTRACT

The temperature regime of solarized and non-solarized soils was evaluated during the dry season-rainy season transition of 1995 at the Fabio Baudrit Experiment Station. Average soil temperature measured at 5, 15 and 25 cm depth was substantially higher in the solarized plot, and decreased markedly with depth. Maximum temperatures recorded fluctuated around 45°C at 5 cm depth during sunny days. Variations in temperature recorded at 25 cm depth were very small or non-existing in solarized as well as in non-solarized soils. Solarization effectively modified temperature of superficial soil layers only. This was evident under conditions of both high and low solar radiation. Under low radiation regimes, solarization impeded the development of soil temperature profile inversions, typically observed in non-treated soils during cloudy days. The availability of a simple, practical method to quantify the production and accumulation of thermal units based on the degree-day model demonstrated the effectiveness of solarization in modifying soil temperature even during the rainy season. In solarized soils, production of thermal units continued unabated throughout the length of the observation period.

Keywords: plastic film covers, mulching, solar energy, soil heating, environmental control, Costa Rica.

¹ Ph.D., Programa de Agroambiente, Estación Experimental Fabio Baudrit M., Universidad de Costa Rica.

INTRODUCCION

El uso de coberturas plásticas en agricultura (Plasticultura) es un área de activa investigación (Am. Soc. for Plasticulture, 1993; Stapleton 1991). Uno de los principales campos de aplicación de la Plasticultura es el control integrado de plagas.

En contraste con las prácticas tradicionales de desinfección química, el uso de coberturas plásticas presenta las ventajas de controlar las poblaciones de patógenos y plagas sin el uso de compuestos químicos potencialmente tóxicos. Adicionalmente, existe la posibilidad de desarrollar la tecnología adecuada para el reciclaje de los materiales utilizados y para la producción de plásticos foto y biodegradables.

El uso de desinfectantes químicos, el método más comúnmente empleado en la actualidad, consume un porcentaje considerable del costo de la producción de almárgos y de cultivos intensivos de alta rentabilidad, y puede causar efectos de toxicidad y residualidad en los suelos, las plantas y el agua.

La solarización es un método hidrotérmico de desinfección de suelos húmedos, basado en la modificación del balance de energía del suelo mediante el uso de coberturas plásticas de alta transmisividad a la radiación solar (Katan 1981; Stapleton 1991). Las altas temperaturas alcanzadas en el suelo solarizado efectivamente contribuyen a reducir la población de plagas, malezas, patógenos y sus estructuras reproductivas. La solarización también puede inducir cambios en las propiedades químicas del suelo, tales como el pH, la mineralización de la materia orgánica, el contenido de materiales orgánicos con actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes minerales. Estos cambios a su vez pueden manifestarse como estímulos para el crecimiento vegetal (Chen y Katan 1980; Katan 1981).

Previos ensayos de solarización realizados en la Est. Exp. Fabio Baudrit han demostrado la efec-

tividad de esta práctica en el control de enfermedades y en cierta extensión de malezas (Navarro *et al.*, 1991; Lizano y Moreira 1993; Herrera 1995). Estos trabajos han señalado la necesidad de generar información cuantitativa acerca de los regímenes de temperatura del suelo a nivel local y su relación con la efectividad de los tratamientos de solarización.

Esto incluye la determinación de los tiempos óptimos de exposición a los tratamientos de solarización, la efectividad en el control de diversos organismos del suelo y malezas, los umbrales de tolerancia de diferentes especies y la generación de modelos sencillos para cuantificar y programar el desarrollo de la solarización en el campo.

El objetivo de este estudio fue caracterizar el régimen de temperatura de un suelo sometido a la solarización en relación con un contraparte no tratado, y desarrollar un método de cuantificación de la solarización basado en el concepto de unidades térmicas (Zalom *et al.* 1983).

MATERIALES Y METODOS

La investigación se desarrolló en terrenos de la Estación Experimental Fabio Baudrit (EEFB), ubicada en Barrio San José de Alajuela (840 msnm), perteneciente a la zona de vida de bosque húmedo premontano, con un clima sub-húmedo, caliente y una estación seca larga (más de 70 días con déficit hídrico) (Herrera 1985). Las mediciones se realizaron en parcelas establecidas en el campo para evaluar los efectos de la solarización en almárgos de chile dulce (*Capsicum* sp.).

Materiales y tratamientos

El material utilizado fue plástico transparente de 0,0038 cm (1,50 milésimas de pulgada) de grosor, tratado para soportar la radiación ultravioleta. Este material fue evaluado en parcelas de 1,2 x

2 m. Los tratamientos consistieron de suelo solarizado y no solarizado. Las unidades experimentales estaban separadas por 1,5 m. El área total del campo experimental fue de 520 m².

Variables climáticas

Se midieron las siguientes variables climáticas en una estación meteorológica situada en las cercanías de las parcelas observadas: a) radiación solar total, b) condiciones atmosféricas (humedad y temperatura del aire, velocidad del viento) y c) precipitación.

La temperatura del suelo se midió a 3 profundidades: 5, 15 y 25 cm, utilizando geotermógrafos (modelo MC-302, SoilTest, II) durante 63 días de observación, del 15 de abril al 18 de junio de 1995. Los geotermógrafos fueron colocados permanentemente en dos de las parcelas experimentales, una testigo y otra seleccionada para recibir aproximadamente 8 semanas de solarización.

La exactitud de los geotermógrafos fue constatada mediante inmersión de los sensores en un baño de agua caliente, cuya temperatura fue medida con un termómetro regular de mercurio.

Las unidades térmicas fueron computadas según el concepto de grados-día (Zalom *et al.* 1983). En éste, se cuantifica el número de días requeridos para acumular la cantidad de unidades térmicas necesarias para reducir la población de una especie en un 50%. El modelo empleado, descrito sobre una base diaria, fue:

$$\text{No. Unidades Térmicas} = ((T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})/2) - T_{\text{base}}$$

donde, $T_{\text{máx}}$ es la temperatura diaria máxima, $T_{\text{mín}}$ es la temperatura diaria mínima y T_{base} es la temperatura a la cual se inhibe el metabolismo en un organismo específico. Todos los cálculos de grados día involucraron el uso de 3 diferentes valores de T_{base} : 25, 30 y 35 °C, seleccionado de acuerdo a la amplitud alcanzada en el suelo solarizado.

RESULTADOS

Condiciones climáticas

Los 63 días de observación coincidieron con la transición de la estación seca a la estación lluviosa de 1995. Durante este periodo, la precipitación se incrementó sustancialmente alrededor de los 35 días de observación, lo que se reflejó en un aumento en el número de días con bajos niveles de radiación solar total diaria (Figura 1).

La temperatura promedio del aire varió predominantemente, entre 23 y 26 °C durante los primeros 35 días de observación, y entre 22 y 24 °C, durante la segunda mitad del mismo (Figura 1). La humedad relativa, por su parte, fluctuó entre 60 y 80% durante el periodo de observación correspondiente a la estación seca y aumentó hasta alcanzar con frecuencia valores de 90% durante el periodo de observación correspondiente a la estación lluviosa (Figura 1). La velocidad del viento alcanzó valores promedio diarios máximos cercanos a los 30 m s⁻¹, y se redujo sustancialmente con el establecimiento de la estación lluviosa (Figura 1). La temperatura promedio diaria del suelo medida a 5 cm de profundidad descendió en aproximadamente 3°C con el inicio de la estación lluviosa (Figura 1).

Patrones de temperatura del suelo

La temperatura promedio del suelo medida a tres profundidades mostró una alta dependencia de la radiación solar total, tanto en el suelo solarizado como en el no tratado (Figura 2). La temperatura promedio del suelo descendió con la profundidad en la mayoría de los días evaluados y estas diferencias se acentuaron como una consecuencia de la solarización (Figura 2).

En el suelo no solarizado, la temperatura promedio medida en las tres profundidades fue sustancialmente menor que la medida en el suelo solarizado y disminuyó claramente, con el inicio de la estación lluviosa ocurrido alrededor de los 35 días de observación (Figura 2). A partir de este mo-

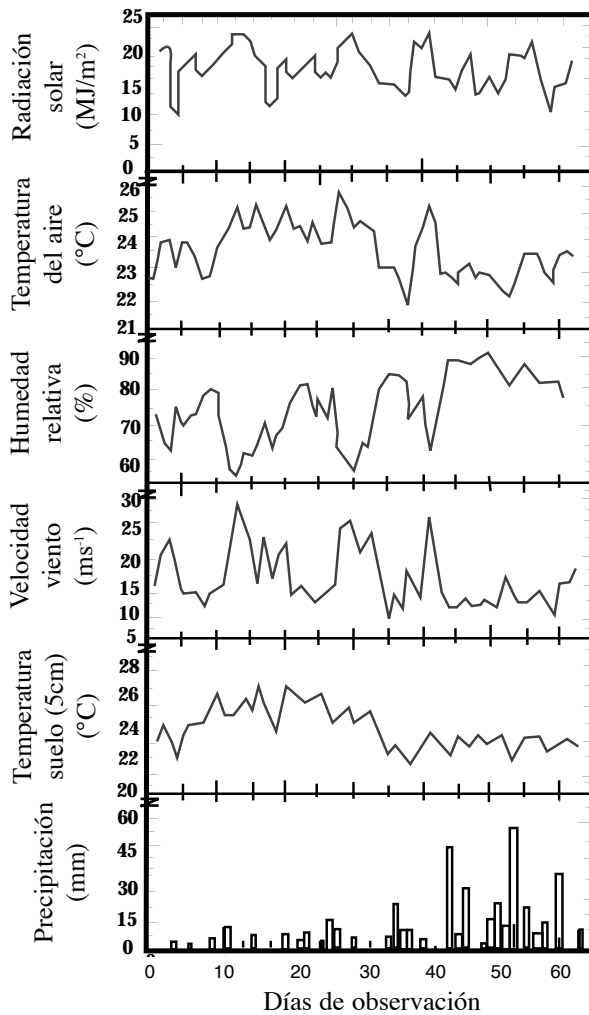


Figura 1. Condiciones climáticas predominantes durante el periodo de observación, del 15 de abril al 18 de junio de 1995 en la Estación Experimental Fabio Baudrit

mento, la temperatura promedio a 15 cm de profundidad en el suelo no tratado, fue muy frecuentemente mayor que a 5 cm; aunque la diferencia entre ambas fue de apenas unas fracciones de grado (Figura 2). La temperatura promedio medida a 25 cm, por su parte, disminuyó marcadamente en varios grados con el inicio de la estación lluviosa.

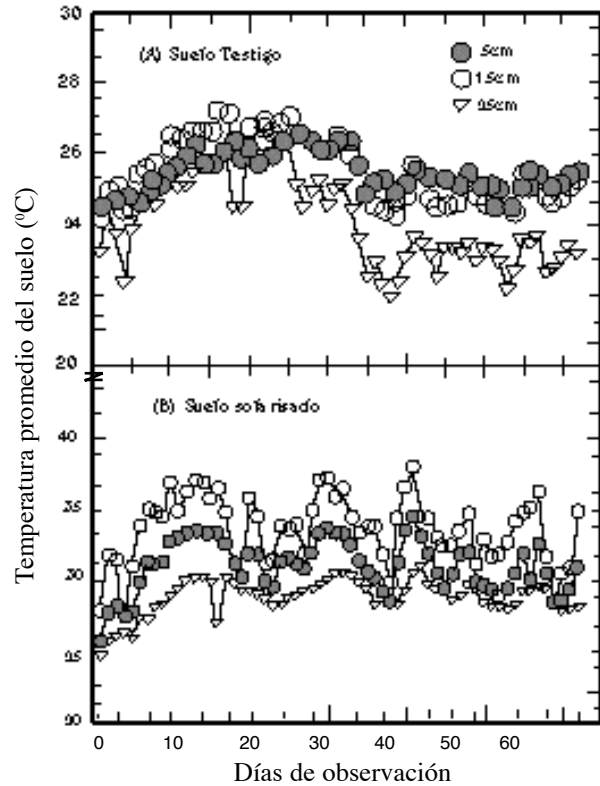


Figura 2. Temperatura promedio diaria medida a tres profundidades en suelos testigo (A) y solarizado (B), durante el periodo de observación, del 15 de abril al 18 de junio de 1995, en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

En el suelo solarizado (Figura 2), la temperatura diaria promedio alcanzada a las tres profundidades evaluadas mostró una marcada semejanza antes y después del inicio de la estación lluviosa; aunque se observó una reducción en la frecuencia con que la temperatura del suelo alcanzó valores típicos de la estación seca.

El efecto de las variaciones en la radiación solar al inicio de la estación lluviosa fue más pronunciado en el suelo solarizado, en el que se observaron marcadas fluctuaciones en temperatura a lo largo de todo el periodo de observación.

En el suelo no solarizado, la temperatura también fluctuó en concordancia con la disponibilidad de radiación; pero estas fluctuaciones fueron mucho menos pronunciadas que en el suelo solarizado, particularmente durante los últimos 25 días de observación.

Los cursos diarios de temperatura del suelo medidos a diferentes profundidades y bajo condiciones climáticas contrastantes (Figura 3) demostraron la efectividad de la solarización en la modificación de la temperatura del suelo. Estas

variaciones en temperatura fueron evidentes solo a 5 y 15 cm de profundidad, pero no a 25 cm.

Durante días soleados, la temperatura de los suelos testigo y solarizado fluctuó marcadamente en función de la radiación solar, observándose las mayores fluctuaciones a 5 cm de profundidad (Figuras 3A, 3B). Las máximas temperaturas fueron observadas entre las 12 y las 14 horas del día, a 5 cm de profundidad, con valores de 32,5°C y 47,5°C en el suelo testigo y en el solarizado, respectivamente. La temperatura medida a 15 cm fluctuó de manera menos pronunciada y comparada con el patrón registrado a 5 cm, mostró un claro retraso de aproximadamente 4 horas causado por el mecanismo del flujo de calor en el suelo (Mayocchi y Bristow 1995).

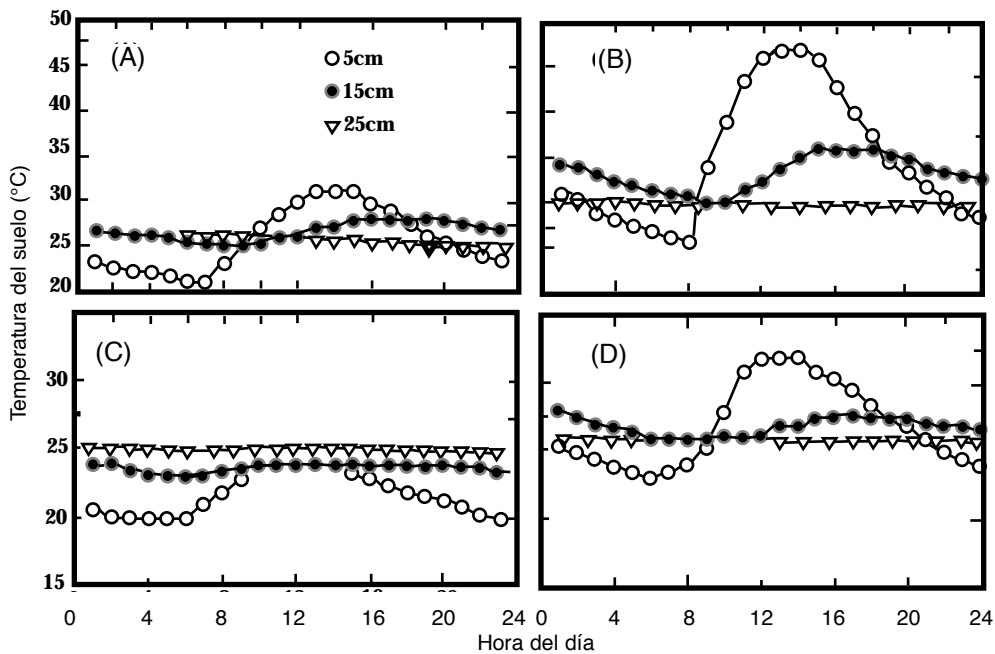


Figura 3. Curso diario de la temperatura medida a tres profundidades en suelos testigo y solarizado bajo condiciones climáticas contrastantes: el día más soleado (29 de marzo) (A, B) y el día más nublado (19 de marzo) (C, D) registrados durante el periodo de observación (15 de abril- 18 de junio de 1995), en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

Como una consecuencia de estas fluctuaciones en la temperatura, tanto los valores máximos como mínimos fueron medidos a 5 cm de profundidad, seguidos en magnitud por los valores medidos a 15 cm. Las fluctuaciones en la temperatura medidas a 25 cm de profundidad fueron muy pequeñas en la mayoría de los días evaluados. Durante la noche se invirtió el patrón de la temperatura del suelo observado durante el día (enfriamiento de la superficie del suelo), lo que resultó en menor temperatura a 5 cm de profundidad y mayor temperatura a 25 cm; la temperatura a 15 cm invariablemente, mostró valores intermedios.

Durante días nublados (Figura 3D), el suelo no solarizado mostró ciclos diurnos caracterizados por la inversión del perfil de temperatura observado durante días soleados, lo que resultó en el enfriamiento del suelo a lo largo del ciclo de 24 horas (Figura 3C, 3D). Bajo las mismas condiciones climáticas y en marcado contraste con el suelo no tratado, el suelo solarizado mostró el patrón de temperatura típicamente observado en días soleados, solo que de menor magnitud (Figura 3D), pero comparable al observado en suelos no solarizados durante días soleados (Figura 3A).

La temperatura máxima alcanzada por el suelo solarizado fue hasta 10 °C mayor que la medida en el suelo no solarizado. Aún bajo condiciones de poca radiación solar (Figura 3C, 3D), bajo las cuales se observó una inversión del perfil de temperatura del suelo no solarizado (Figura 3C); el plástico transparente fue capaz de producir altas temperaturas en la superficie del suelo.

Acumulación de unidades térmicas

La producción de unidades térmicas en el suelo no solarizado (Figura 4) mostró una clara dependencia de la temperatura alcanzada a las tres profundidades evaluadas. En el suelo no solarizado, la temperatura a 15 y 25 cm de profundidad nunca excedió la $T_{base} = 30$ °C, por lo que el cálculo de la producción y acumulación de unidades térmicas fue posible solo para $T_{base} = 25$ °C.

La mayor producción diaria de unidades térmicas se registró a 5 cm de profundidad durante los primeros 35 días de observación, correspondientes a la estación seca (Figura 4A). La producción de unidades térmicas descendió progresivamente conforme la profundidad aumentó a 15 y a 25 cm. Durante días nublados, la acumulación de unidades térmicas fue con frecuencia mayor a 25 cm que a 15 cm de profundidad (Figura 4A).

El cálculo de la acumulación de unidades térmicas en el suelo no solarizado reflejó claramente el patrón descrito anteriormente (Figura 4B). Con una $T_{base} = 25$ °C, se acumularon un total de 45, 35 y 15 unidades térmicas a 5, 15 y 25 cm de profundidad, respectivamente.

En el suelo no solarizado, la acumulación de unidades térmicas fue importante únicamente durante los primeros 35 días de observación y disminuyó drásticamente, con el inicio de la estación lluviosa. El efecto de la reducción en la radiación solar fue especialmente pronunciado a 25 cm de profundidad. A partir de los 25 días de observación no se registró ningún cambio en la producción y acumulación de unidades térmicas (Figura 4B).

En el suelo solarizado (Figura 5), la producción de unidades térmicas contrastó marcadamente con lo observado en el suelo no tratado (Figura 4). La producción de unidades térmicas en el suelo solarizado continuó aún después de los 35 días de observación, cuando en el suelo no solarizado, ésta prácticamente, había cesado.

Además de registrarse una producción diaria de unidades térmicas sustancialmente mayor en el suelo solarizado (con frecuencia 12 por día a $T_{base} = 25$ °C) que en el testigo (1,5 a 2 por día a $T_{base} = 25$ °C), las mayores temperaturas medidas a las tres profundidades evaluadas permitió el cálculo de la producción y la acumulación de unidades térmicas usando tres T_{base} de 25, 30 y 35 °C.

La producción de unidades térmicas fue invariablemente mayor a 5 cm de profundidad del suelo y siguió un ritmo constante aún después del ini-

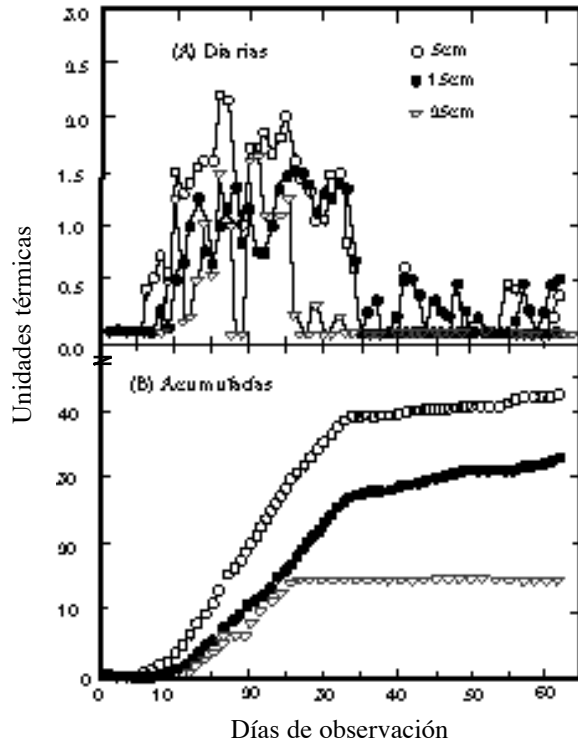


Figura 4. Producción diaria (A) y acumulada (B) de unidades térmicas a tres profundidades en un suelo no solarizado durante el periodo de observación (15 de abril-18 de junio de 1995) en la Estación Experimental Fabio Baudrit. $T_{base} = 25^{\circ}\text{C}$.

cio de la estación lluviosa (Figura 5A). Esta fue seguida por las profundidades de 15 y 25 cm, respectivamente (Figura 5B,5C). Con una $T_{base} = 25^{\circ}\text{C}$, la producción de unidades térmicas fue sustancial en las tres profundidades evaluadas. Conforme T_{base} aumentó de 25°C a 35°C , la producción de unidades térmicas declinó marcadamente con la profundidad. A $T_{base} = 30^{\circ}\text{C}$ (Figura 5B), la producción de unidades térmicas fue importante solo a 5 y a 15 cm de profundidad del suelo. A $T_{base} = 35^{\circ}\text{C}$ (Figura 5C), la producción de

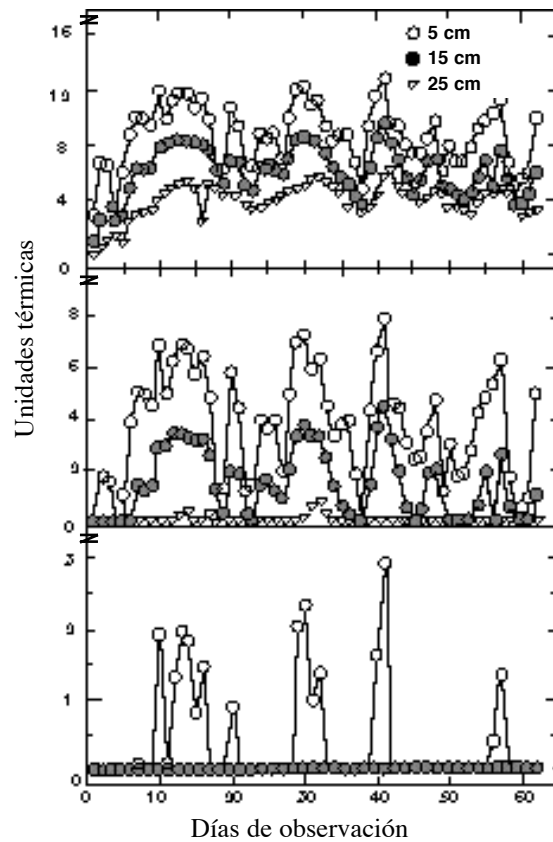


Figura 5. Producción diaria de unidades térmicas a tres profundidades en un suelo solarizado, utilizando tres T_{base} de 25°C (A), 30°C (B) y 35°C (C) a lo largo del periodo de observación (15 de abril-18 de junio de 1995) en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

unidades térmicas (de 2 a 3 por día) pudo ser detectada solo esporádicamente a 5 cm de profundidad del suelo.

En contraste con lo encontrado en el suelo testigo, en el suelo solarizado se registró una acumulación de unidades térmicas marcadamente superior (Figura 6). A $T_{base} = 25^{\circ}\text{C}$, se acumuló un total de 550, 400 y 250 unidades térmicas a 5, 15 y 25 cm de profundidad del suelo, respectivamente. A $T_{base} = 30^{\circ}\text{C}$ se acumularon 250 y 100 unidades

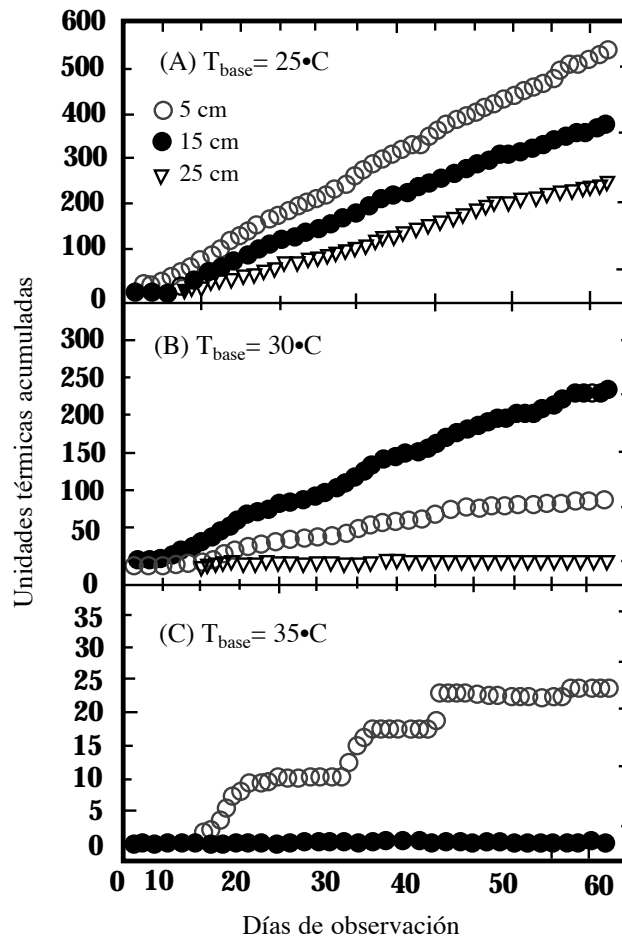


Figura 6. Acumulación de unidades térmicas a tres profundidades en un suelo solarizado, utilizando tres T_{base} de 25°C (A), 30°C (B) y 35°C (C) a lo largo del periodo de observación (15 de abril - 18 de junio de 1995) en la Estación Experimental Fabio Baudrit.

térmicas a 5 y 15 cm de profundidad del suelo, mientras que a $T_{base} = 35^{\circ}\text{C}$ se acumularon un total de 25 unidades térmicas solo a 5 cm de profundidad.

A $T_{base} = 30^{\circ}\text{C}$ no se detectó acumulación de unidades térmicas a los 25 cm de profundidad, y a $T_{base} = 35^{\circ}\text{C}$ no se detectó acumulación de unidades térmicas a 15 ni a 25 cm de profundidad del suelo.

DISCUSION

Las condiciones climáticas prevaletientes durante el periodo de observación, coincidente con la transición de la estación seca a la estación lluviosa, permitió comparar la eficacia de la solarización en la modificación de la temperatura del suelo bajo condiciones contrastantes.

Tanto en suelos solarizados como no tratados, las fluctuaciones en temperatura observadas a 25 cm de profundidad fueron muy pequeñas o inexistentes en muchos casos, e indican que la efectividad de la solarización se restringe a los estratos más superficiales del suelo. La solarización parece presentar el potencial de controlar únicamente organismos del suelo cercanos a la superficie e incapaces de migrar, coincidente con otras observaciones (Herrera 1995).

En el suelo no solarizado, los ciclos diarios de temperatura observados a las tres profundidades evaluadas coincidieron con los patrones esperados con base en la teoría del flujo de calor en el suelo (Mayocchi y Bristow 1995). De acuerdo con la ley de Fourier y sus derivaciones, la tasa a la cual el calor viaja a través del suelo es directamente proporcional al gradiente vertical de temperatura. La amplitud de las ondas térmicas que se propagan en el suelo disminuye exponencialmente con la profundidad y la hora del día a la cual se alcance la temperatura máxima, ocurre progresivamente más tarde en capas más profundas del suelo.

Estos ciclos se caracterizaron por un retraso en las fluctuaciones de la temperatura conforme aumentó la profundidad y por la ocurrencia de inversiones del patrón diario durante la noche, asociado al enfriamiento de la superficie. Este último efecto fue también evidente durante días nublados.

El tratamiento de solarización fue marcadamente efectivo, en el mantenimiento de altas temperaturas en el suelo, aún bajo condiciones de muy baja radiación solar. Durante días nublados observados a lo largo de la segunda parte del periodo de observación (estación lluviosa), la solarización impidió la ocurrencia de inversiones del patrón de temperatura durante las horas del día, observadas en el suelo no solarizado.

La solarización alteró el patrón normal descrito y permitió la ocurrencia de temperaturas superiores a 30 °C aún durante días de alta nubosidad.

Las máximas temperaturas registradas en el suelo solarizado evaluado en este estudio (47 °C a 5 cm de profundidad) difieren en algunos casos (62°C en la interface plástico-suelo, Herrera (1995) y coinciden en otros mayores a 45 °C a 5 cm de profundidad (Herrera y Ramírez 1995) con las encontradas por otros autores en terrenos de la Estación Experimental Fabio Baudrit. Esto señala la necesidad de uniformizar criterios y de utilizar instrumentación adecuada durante la evaluación de la temperatura del suelo y sus efectos sobre los organismos del suelo.

La solarización permitió la acumulación de unidades térmicas aún durante la estación lluviosa, lo que respalda las observaciones de Navarro *et al.* (1991) sobre la efectividad de esta técnica durante periodos de reducida radiación solar.

La producción y acumulación de unidades térmicas como un método para la cuantificación de la solarización parece sencillo y efectivo. Su potencial como un método práctico para la programación de la solarización en el campo depende del conocimiento de la sensibilidad de diferentes organismos habitantes del suelo a la temperatura, de su interacción con el tiempo de exposición a temperaturas fluctuantes típicamente observadas en el suelo y del número de unidades térmicas necesarias para inducir su inactivación y muerte.

La mayoría de los organismos habitantes del suelo (hongos, bacterias, virus, larvas) y sus propágulos (esclerocios, semillas, hifas) se inactivan cuando son expuestos a temperaturas entre 45 y 80°C por periodos cortos (30 minutos), pero su comportamiento a nivel de campo bajo condiciones tropicales en suelos solarizados es virtualmente desconocido. Esta representa una línea de investigación de enorme interés teórico y práctico.

Agradecimiento

Este estudio se financió por medio del proyecto No. 736-95-216 de la Vicerrectoría de Investiga-

ción de la Universidad de Costa Rica. Se agradece al Mag. Sc. Hugo Herrera y al Instituto Meteorológico Nacional por el aporte de los geotermógrafos, a Dagoberto Soto por su asistencia técnica, al Ing. Carlos Gutiérrez por su asistencia en el procesamiento de los datos y a YANBER S.A. por la donación de los materiales plásticos.

LITERATURA CITADA

- AMERICAN SOCIETY FOR PLASTICULTURE. 1993. *In: Proceedings, III Annual Meeting, St. Agustín, Florida.* 435 p.
- CHEN, Y.; KATAN, J. 1980. Effect of solar heating of soils by transparent polyethylene mulching on their chemical properties. *Soil Sci.* 130:271-277.
- HERRERA, W. 1985. Clima de Costa Rica. *In: Gómez, L.D. Vegetación y Clima de Costa Rica, Vol. 2.* San José, Costa Rica, EUNED. 118 p.
- HERRERA, F. 1995. Efecto de la solarización en el control de *Cyperus rotundus* L. (Coyolillo) y otras malezas en el banco de semillas del suelo. *Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit M. (C.R.)* 28: 35-46.
- HERRERA, F.; RAMIREZ, C. 1995. Efecto de la interrupción de la solarización y adición de gallinaza sobre la supervivencia de propágulos de *Cyperus rotundus*, *Rottboelia cochinchinensis* y *Bidens pilosa*. *Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit M. (C.R.)* 28: 47-59.
- KATAN, J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soilborne pests. *Ann. Rev. Phytopathol.* 19:211-236.
- LIZANO, J.; MOREIRA, M. 1993. Evaluación de diferentes métodos de desinfestación del suelo para el establecimiento de almácigos de espárrago (*Asparagus officinalis* L.). *Boletín Técnico Estación Experimental Fabio Baudrit M. (C.R.)* 26(1):69-86.
- MAYOCCHI, C.L.; BRISTOW, K.L. 1995. Soil surface heat flux: some general questions and comments on measurements. *Agric. For. Meteorol.* 75:43-50.
- NAVARRO, J.R.; MORA D.; DIAZ, J.; VILCHEZ, H.; CORRALES, E. 1991. Efecto de la solarización del suelo sobre la población de malezas y del hongo *Rhizoctonia solani* durante la estación lluviosa en Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Costarricense (C.R.)* 15(12):93-98.
- STAPLETON, J.J. 1991. Use of soil solarization for the control of soil pests. *In: Brown, J.E. (ed.), Proceedings of the 23rd. National Agricultural Plastics Congress. Mobile, Alabama. Am. Soc. Plastic.* p. 266-271.
- ZALOM, F.G.; GOODELL, P.B.; WILSON, L.T.; BARNETT, W.W.; BENTLEY, W.J. 1983. Degree-Days: the calculation and use of heat units in pest management. USA, University of California, Div. Agriculture and Natural Resources, Leaflet 21373. 10 p.