

# BALANCE DE ENERGÍA EN EL CULTIVO DE CHILE MORRÓN BAJO ACOLCHADO PLÁSTICO

## Energy Balance of Pepper under Plastic Mulch

Juan Munguía-López<sup>1‡</sup>, Alejandro Zermeño-González<sup>2</sup>, Alexander Gil-Marín<sup>2</sup>,  
Ma. del Rosario Quezada-Martín<sup>1</sup>, Luis Ibarra-Jiménez<sup>1</sup> y Marco Antonio Arellano-García<sup>1</sup>

### RESUMEN

Estudios previos se han enfocado a evaluar el efecto del acolchado plástico sobre la temperatura del perfil superior del suelo y su relación con el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Sin embargo, el acolchado plástico, en la superficie del suelo, afecta todos los componentes del balance de energía (radiación neta, Rn; flujo de calor sensible, H; flujo de calor latente, LE y flujo de calor en el suelo, G). En este estudio se midieron los componentes del balance de energía a través de las diferentes etapas de crecimiento del cultivo de chile morrón y se evaluó la distribución de energía diaria y a través de las etapas de desarrollo del cultivo. Los resultados obtenidos mostraron que la Rn fue el componente dominante y que durante la etapa inicial de crecimiento, la mayor parte de la Rn se disipó como H, esto debido a que el cultivo cubrió solo una pequeña parte de la cama. Cuando el cultivo alcanzó su máximo desarrollo foliar, la Rn se escapó principalmente como LE. Durante la senescencia la mayor parte de la Rn se transformó en H y en menor proporción en G seguido de LE.

**Palabras clave:** *evapotranspiración, flujos de energía, riego por goteo, covarianza de remolinos.*

### SUMMARY

Previous studies have been conducted to evaluate the effect of plastic mulch on the upper soil profile and its relation to the growth and yield of crops. However,

<sup>1</sup> Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. Enrique Reyna 140. 25250 Saltillo, Coahuila, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (munguia@ciqa.mx)

<sup>2</sup> Departamento de Riego y Drenaje, UAAAN. 25200 Saltillo, Coahuila, México.

the plastic mulch on the soil surface affects all components of the energy balance (net radiation, Rn; sensible heat flux, H; latent heat flux, LE; and soil heat flux, G). In this study, the energy balance components through the different growth stages of the bell pepper crop were measured and the daily and seasonal partitioning of the energy balance was evaluated. The results showed that Rn was the major term of the energy component and during the early stage of growth most of Rn was dissipated in sensible H, due crop covered only a small part of the bed. Once the crop reached the highest foliage growth, Rn was escaped mainly in LE. During senescence, most Rn was transformed in H and in a lower rate in G, followed by LE.

**Index words:** *evapotranspiración, energy flux, drip irrigation, eddy covariance.*

### INTRODUCCIÓN

México es el segundo productor de chile (*Capsicum annuum* L.) a nivel mundial (FAOSTAT 2008, Bancomext, 2008). En la actualidad el chile es la tercera hortaliza en importancia en México, precedida únicamente por la papa y el tomate. Dicha importancia, se origina porque el chile ocupa el 15.3 % de la superficie cosechada entre las principales hortalizas y genera el 11.7% del volumen total hortícola. Los datos de SAGARPA (2002) muestran que la producción de pimienta tienen mayor presencia en los mercados de exportación, representa un 20% de la superficie dedicada a la producción de chiles, se requieren de 120 a 150 jornales por hectárea durante todo el ciclo agrícola y su exportación constituye una importante entrada de divisas al país (SAGARPA, 2002).

El impacto generado por los constantes cambios climatológicos a través del tiempo está impulsando cada día más el desarrollo de una agricultura protegida (Gómez, 2008). La implementación de las técnicas de plasticultura, entre las que se encuentran el acolchado plástico de suelos, el cual consiste en cubrir las camas

o surcos de cultivo con películas plásticas, responden a la necesidad de incrementar el rendimiento de los cultivos así como hacer más eficiente el uso de los recursos naturales (agua y suelo) y mejorar la calidad de los productos (Kasperbauer, 2000).

El acolchado plástico impacta directamente en el microclima que rodea a la planta debido a que modifica el balance de radiación absorbida y reflejada por la superficie acolchada además de reducir las pérdidas de la humedad de suelo por efecto de evaporación, el color del plástico determina en gran medida su comportamiento de energía radiante y su influencia en el microclima afectando la temperatura del aire y del suelo. (Lamont, 2005). La mayoría de las investigaciones realizadas que demuestran los beneficios del acolchado plástico de suelo se han realizado en parcelas pequeñas y únicamente se ha medido la temperatura del suelo, o se han realizado mediciones puntuales de humedad en el suelo, para determinar los consumos de agua de los cultivos con acolchado plástico de suelos.

El balance de energía sobre una superficie determina en gran parte, el microclima sobre la misma. El balance de energía controla procesos biológicos e hidrológicos en dicha superficie. De acuerdo con Oke (1978) y Twine *et al.* (2000) los componentes principales de la ecuación del balance de energía se pueden representar como

$$R_n = H + LE + G + S + PH \quad (1)$$

Donde:  $R_n$  es la radiación neta ( $W m^{-2}$ );  $H$  es el flujo de calor sensible ( $W m^{-2}$ );  $LE$  es el flujo de calor latente ( $W m^{-2}$ );  $G$  es el flujo de calor en el suelo ( $W m^{-2}$ );  $S$  es el almacenamiento o liberación de energía (calor) por cambios de temperatura ( $W m^{-2}$ ); y  $PH$  es la energía usada en el proceso de fotosíntesis, o liberada en el de respiración ( $W m^{-2}$ ).

El método de la covarianza de remolinos para determinar los flujos de masa y energía como  $H$ ,  $LE$  y flujo de bióxido de carbono ( $FCO_2$ ) consiste en expresar el flujo vertical de una entidad transportada en un determinado punto como una covarianza entre las fluctuaciones de la concentración de esta entidad con las fluctuaciones de la velocidad vertical del viento (Itier y Brunet, 1996).

Muchos estudios de intercambio de materia que se reportan están basados en técnicas de cámara cerrada. Los métodos micrometeorológicos proveen una forma alternativa de medir esas tasas de intercambio material

entre la biosfera y la atmósfera y se espera que sean usadas cada vez más en futuros estudios ambientales, dado que tienen muchas ventajas sobre las técnicas de cámara: las mediciones se hacen *in situ* sin alterar ni perturbar el ambiente, permiten mediciones continuas y las mediciones promedio realizadas en un punto proporcionan el promedio de las tasas de intercambio entre la superficie y la atmósfera de un área integral de estudio (Baldocchi *et al.*, 1988). Además, se pueden obtener registros horarios de evapotranspiración y de asimilación de bióxido de carbono de los cultivos, de forma tal que es posible evaluar los efectos de las variaciones climáticas instantáneas en la tasa de evapotranspiración (ET) de los cultivos y los volúmenes de riego por aplicar en sistemas agrícolas de alta frecuencia de riego.

Papale *et al.* (2006) afirman que el método de la covarianza de remolinos para medir el flujo de vapor de agua y de otros gases entre la biosfera y atmósfera es usada en varias redes regionales y que existen más de 250 sitios en el mundo en los que se hacen este tipo de mediciones para diferentes biomas y condiciones climáticas.

El método de la covarianza de remolinos es el más directo para medir los flujos superficiales de calor latente y calor sensible (Prueger *et al.*, 1998; Jones, 1992; Kizer y Elliott, 1991; Drexler *et al.*, 2004). Por lo tanto Kanemasu *et al.* (1979) precisan que el método de la covarianza de remolinos debe ser más exacto que los métodos que confían en las mediciones de gradientes verticales. El principio del método de la covarianza de remolinos es detectar las contribuciones de todos los movimientos turbulentos responsables del transporte vertical de los flujos (Itier y Brunet, 1996). Esto requiere mediciones de flujos a una tasa suficientemente alta (típicamente 10 - 20 Hz) y promediando las covarianzas en un periodo suficiente razonable (típicamente 15-30 min) (Villaman *et al.*, 2001).

La presencia del acolchado plástico en la superficie del suelo de cultivo tiene efecto en todos los componentes del balance de energía. En varios estudios se han medido los componentes del balance de energía en cultivos agrícolas sin acolchado plástico (Dugas *et al.*, 1991; Malek *et al.*, 1992; Mc Ananey *et al.*, 1994 ). La utilización de películas de polietileno para el acolchado de suelos cambia el albedo o el índice de reflectividad a la radiación solar, se reduce la superficie evaporativa e incrementa la temperatura del perfil superior del suelo

(Ham *et al.*, 1993). Este cambio afectará la radiación neta ( $R_n$ ), el flujo de calor latente (LE), el flujo de calor sensible (H) y el flujo de calor en el suelo (G).

El objetivo de esta investigación fue analizar el comportamiento de los componentes del balance de energía en el cultivo de pimiento bajo condiciones de 2 acolchados plásticos con diferentes propiedades ópticas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y Características del Sitio Experimental

El trabajo experimental se realizó durante el ciclo agrícola primavera verano del 2006 (marzo-junio) en el rancho Santa Rita, en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, ubicado a 40 km al norte de Saltillo, Coahuila. Las coordenadas geográficas del sitio son: 25° 40' 50" N, 101° 07' 25" O y una altura de 1140 m.

El clima de la región es semiseco templado, la temporada de lluvias se presenta en primavera y verano, con un rango de 300 a 400 mm anuales. La temperatura media anual oscila entre 14 y 18 °C y los vientos predominantes son de la dirección norte, con una velocidad promedio de 22.5 km h<sup>-1</sup>.

### Establecimiento del Experimento

El sitio de estudio corresponde a una superficie de 10 ha recién incorporadas a la producción agrícola, utilizándose 6 ha para el experimento. El marco de plantación fue de 1.8 m de centro a centro de camas, sembradas a doble hilera con una separación entre hileras de plantas de 0.40 y 0.30 m entre plantas. Las camas fueron de un ancho promedio de 0.67 m y un pasillo de 1.13 m, y se acolcharon con 2 películas de polietileno coextruido negro/plata (AN) y plata/ negro (AP).

La irrigación del cultivo se realizó con un sistema de riego por goteo, colocado una cinta de riego por debajo del acolchado plástico. Los riegos se aplicaron con una frecuencia promedio de 3 días. El gasto de de la cinta de riego por goteo fue de 325 L h<sup>-1</sup>, con goteros cada 30 cm. El tiempo promedio de riego fue de 6 h, de tal forma que para el ancho de camas considerado, se aplicó una lámina promedio de 10 mm por riego. El control de plagas y enfermedades se realizó siguiendo las normas establecidas para la región y no se tuvieron problemas que afectan el crecimiento y desarrollo de las plantas.

### Instrumentación y Mediciones

El flujo de calor sensible y latente se obtuvieron con el método de la covarianza de remolinos, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$H = \rho_a C_p \overline{w'T_a'} \quad (2)$$

$$LE = \lambda \overline{w'\rho_{wv}'} \quad (3)$$

Donde:  $\rho_a$ ,  $C_p$  y  $T_a$  son la densidad, capacidad calorífica y temperatura del aire, respectivamente,  $\rho_{wv}$  es la densidad del vapor de agua en el aire,  $w$  es la velocidad vertical del viento,  $\lambda$  es el calor de vaporización del agua. Las variables con símbolo de prima significan desviaciones respecto a la media y la barra horizontal sobre 2 variables denota la covarianza entre las variables para un determinado segmento de tiempo (20 min). La frecuencia de las mediciones de  $w$  y  $T_a$  fue de 10 Hz, la velocidad vertical del viento se obtuvo con un 3-D anemómetro sónico y la temperatura del aire con un termopar de alambre fino de chromel-constantan de 12.7  $\mu$ m de diámetro, que se colocaron a una altura de 1 m sobre el dosel de cultivo de pimiento. El sistema de la covarianza de remolinos se colocó en la parte sur del lote experimental (Figura 1). Para el análisis de datos se utilizó la integración de los valores instantáneos desde las 8 hasta las 20 h y, únicamente se consideraron vientos con dirección menor de 90° y mayor de 270° eliminado los datos de vientos que provenían de la parte posterior del sistema de la covarianza de remolinos (Figura 1). Las mediciones se realizaron durante todo el ciclo de cultivo.

Para el registro de datos de todos los sensores se conectaron a 4 datalogger 23X (CampbellSci Inc.), 2 en cada tipo de plástico, que operaron a una frecuencia de 10 Hz en la toma de datos y generó promedios cada 20 min. Los datos se bajan a una computadora portátil cada 15 días.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A toda la información recavada por los 2 sistemas de la covarianza de remolinos se le realizaron las correcciones correspondientes para cada uno de los flujos de los componentes del balance de energía. El flujo de calor en el suelo se midió a una profundidad

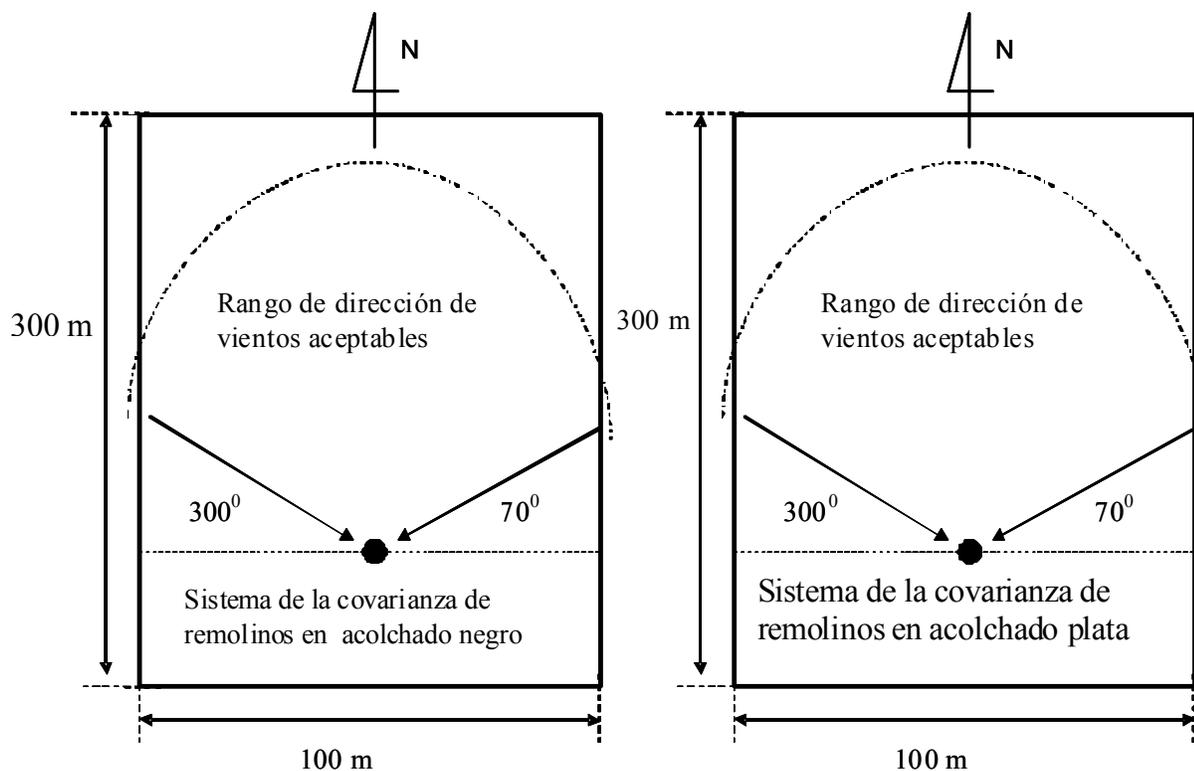


Figura 1. Ubicación de los sistemas de la covarianza de remolinos en los dos tipos de acolchado plástico en el cultivo de chile pimienta.

de 8 cm ( $G_g$ ), y se corrigió su valor correspondiente a la superficie del suelo  $G_0$ . La radiación neta ( $R_n$ ) se corrigió por efecto de la velocidad del viento. Para el flujo de calor sensible y el flujo de calor latente se realizaron correcciones por cambio en la densidad del vapor de agua y absorción de oxígeno.

Con la finalidad de determinar la confiabilidad de los datos, se calculó el índice del balance de energía ( $E.B.$ ), el cual se define como el resultado de la suma del flujo de calor latente más el flujo de calor sensible entre la radiación neta menos el flujo de calor en el suelo. Esto es la sumatoria de todos los elementos de la ecuación del balance de energía que representan un consumo entre los elementos de una fuente de energía:

$$EB = \frac{H + LE}{Rn + G} \tag{4}$$

Este índice se basa en el principio de conservación de la energía, que corresponde a la primera ley de la termodinámica, de tal manera que su valor es aproximadamente uno. En promedio, el error del cierre del balance de energía de los flujos integrados ( $R_n$ ,  $H$ ,  $LE$ , y  $G$ ) desde las 8 hasta las 20 h fue menor de 15%,

lo que indica que los datos son confiables (Foken *et al.*, 2006; Foken, 2008).

Para obtener el valor de la evapotranspiración real del cultivo a partir de los datos del flujo de calor latente ( $LE$ ) se realizó la integral de los valores de  $LE$  durante todo el día para obtener el total de energía consumida de las 8 a las 20 h. Si esta cantidad de energía consumida se divide por el calor latente de vaporización del agua ( $\lambda = 2.44 \times 10^6 \text{ JKg}^{-1}$ ) se obtiene la tasa de evapotranspiración diaria en mm, lo cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$\int_{t_1}^{t_2} LE dt = \frac{J}{sm^2} s = Jm^{-2} \tag{5}$$

$$ET_{diaria} \frac{LE_{diario}}{\lambda} = \frac{LE_{total}}{2.44 \cdot 10^6 \text{ JKg H}_2\text{O}^{-1}} = \text{Kg H}_2\text{O m}^{-2} \text{ día}^{-1} = \text{mmdía}^{-1}$$

Durante todo el ciclo de cultivo el componente dominante siempre fue la radiación neta y siempre mayor

en el acolchado plástico de color negro con valores integrados diarios de hasta 16 MJ contra 15 MJ del acolchado plástico de color plata. Se esperaría que se tuviera valores más bajos en el acolchado de color plata dado que presenta un valor más alto de reflectancia a la radiación de onda corta (Ham *et al.*, 1993). Ham *et al.* (1993) reportan valores de reflectancia para el acolchado plástico aluminizado de  $\rho_{sw} = 0.39$ , mientras que el acolchado plástico de color negro presenta una reflectancia  $\rho_{sw} = 0.03$ , valores significativamente muy diferentes pero que no reflejan su efecto en el comportamiento de la radiación neta, dado que el efecto mayor se dio en el flujo de calor latente (H) que presentó valores integrados máximos de 8 MJ por día para el acolchado plástico de color negro, mientras que para el acolchado plástico plata se registraron valores integrados máximos de 6 MJ por día.

El análisis diario de los componentes del balance de energía y el consumo de agua del cultivo de chile pimiento en los 2 tratamientos AN y AP fue graficado en los días 67 y 113 después del trasplante (DDT) (Figuras 2 y 3). En el día 67 DDT, para la etapa fenológica de desarrollo del cultivo, se presentan valores instantáneos mayores de radiación neta en el acolchado de color negro que en el acolchado de color plata (640 contra 627  $W m^{-2}$ , respectivamente), debido a que la superficie del acolchado de color negro se calienta más que

el acolchado de color plata como consecuencia de sus propiedades ópticas de mayor absorción de radiación solar ( $\alpha_{sw} = 0.96$ ) y para el caso del acolchado plástico plata menor absorción de radiación solar ( $\alpha_{sw} = 0.60$ ) (Ham *et al.*, 1993). El componente del balance de energía que disipa mayor cantidad de radiación neta es el flujo de calor sensible se observan valores de 283.6  $W m^{-2}$  para el acolchado plástico negro y 202.3  $W m^{-2}$  para el acolchado plástico plata, esto debido a que el cultivo estaba en la etapa de desarrollo y su cobertura foliar era poca, por lo que la radiación solar cayó sobre el acolchado plástico, incrementando su temperatura. Los valores integrados de flujo de calor sensible para el día 67 DDT fueron también mayores para el acolchado plástico negro con 5.31 MJ por día y para el acolchado plástico plata 3.71 MJ por día, los que representa un 30 % menos energía en forma de calor sensible en el acolchado plástico plata que mejora las condiciones de desarrollo del cultivo evitando un estrés por golpe de calor en el cultivo.

El efecto del color de acolchado plástico en el flujo de calor latente no es significativo debido que presentan la misma tendencia y con valores máximos de 200.0  $W m^{-2}$  para el acolchado plástico negro y 183.6  $W m^{-2}$  para el acolchado plástico plata. La lámina evapotranspirada fue de 1.81 mm por día para AN y 1.79 mm por día para el AP. La mayor variación de

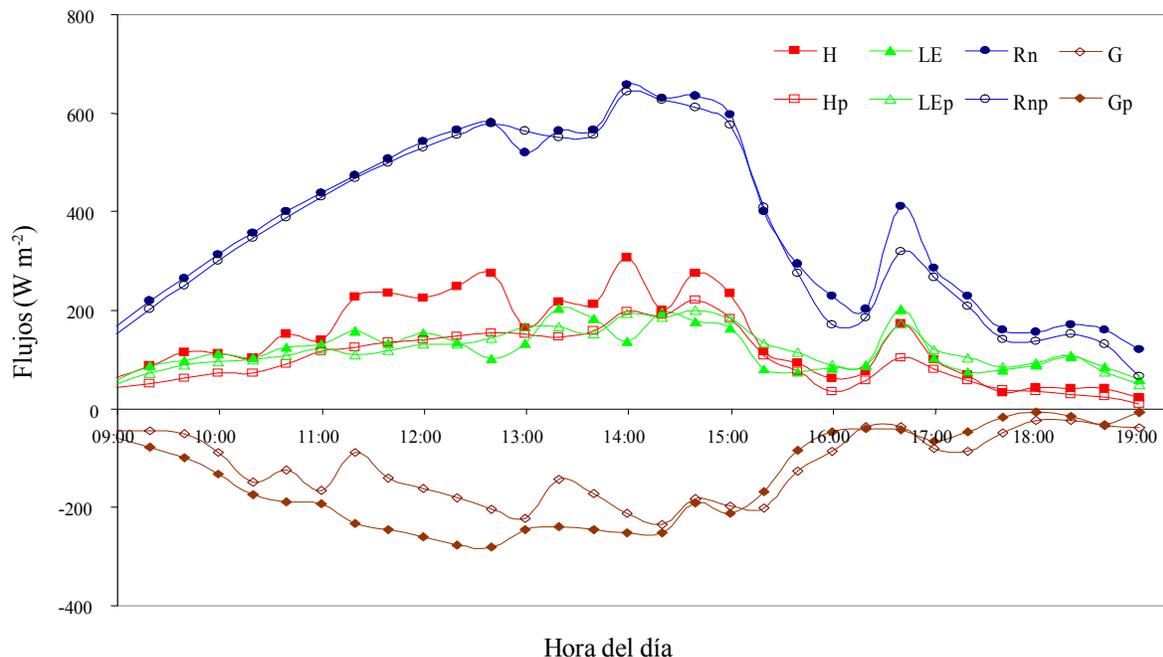


Figura 2. Radiación neta (Rn), flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente (LE), y flujo de calor en el suelo (G) a los 67 días después del trasplante en el cultivo de chile pimiento con acolchado plástico negro y plata (p).

los componentes del balance de energía se presentan en el flujo de calor sensible, debido a las propiedades ópticas de absorción y reflectancia que presentan los 2 tratamientos; mientras que para el acolchado negro el valor de la absorción a la radiación solar es de un 96%, en un acolchado plata es de un 60% (Ham *et al.*, 1993).

En la Figura 3 se observan las fluctuaciones de los componentes del balance de energía y la capacidad de respuesta del sistema de la covarianza de remolinos a las variaciones climáticas que permiten medir valores de los componentes del balance de energía en periodos cortos de tiempo de 20 ó 30 min. Se puede apreciar la presencia de nublado en el periodo de tiempo de las 15 a las 16 h debido a que caen los valores de los componentes del balance de energía y como se recuperan después de las 16 h.

A los 113 días después del trasplante el cultivo estaba en la etapa fenológica de cosecha y de nuevo el componente dominante fue la radiación neta, con valores instantáneos de  $600 \text{ W m}^{-2}$  aproximadamente a las 14 h y un valor integrado de 11.29 MJ para el acolchado plástico negro y 11.28 MJ para el acolchado plástico plata. Estos valores tan parecidos son debidos a la degradación del plástico y la acumulación de polvo sobre la superficie de los acolchados que no permite que se manifieste sus propiedades ópticas al final del ciclo de cultivo (Kluitenberg *et al.*, 1993), además se presentan

valores instantáneos más altos para el flujo de calor sensible de  $350 \text{ W m}^{-2}$  para el acolchado plástico negro y  $250 \text{ W m}^{-2}$  para el acolchado plástico plata y con valores acumulados de 6.61 MJ para el acolchado plástico negro y 4.63 MJ para el acolchado plástico plata, debido a la acumulación de calor por la presencia del acolchado plástico durante todo el ciclo de cultivo; además, se tuvo un sistema de riego por goteo que solo moja una fracción de la superficie de cultivo, de aproximadamente un 33%, por lo que una gran parte de la superficie del cultivo permaneció seca y caliente, siendo una fuente de calor sensible (Tarara, 2000).

El efecto de los tratamientos en la variación estacional de los componentes del balance de energía presentó la misma tendencia para los 2 acolchados, y sólo se observó un incremento de los componentes del balance de energía por el cambio de estación del año, valores más bajos durante la primavera (10.7 MJ) y valores más altos en el verano (16 MJ) para radiación neta.

Los valores de flujo de calor sensible fueron mayores en la sección con acolchado plástico negro con respecto a la sección con acolchado plástico plata durante todo el ciclo de cultivo, lo cual indica que las propiedades espectrales de la película de polietileno negro utilizada en el acolchado plástico de suelos afecta el balance de radiación de onda corta y larga, los valores máximos de flujo de calor sensible en el acolchado plástico de color

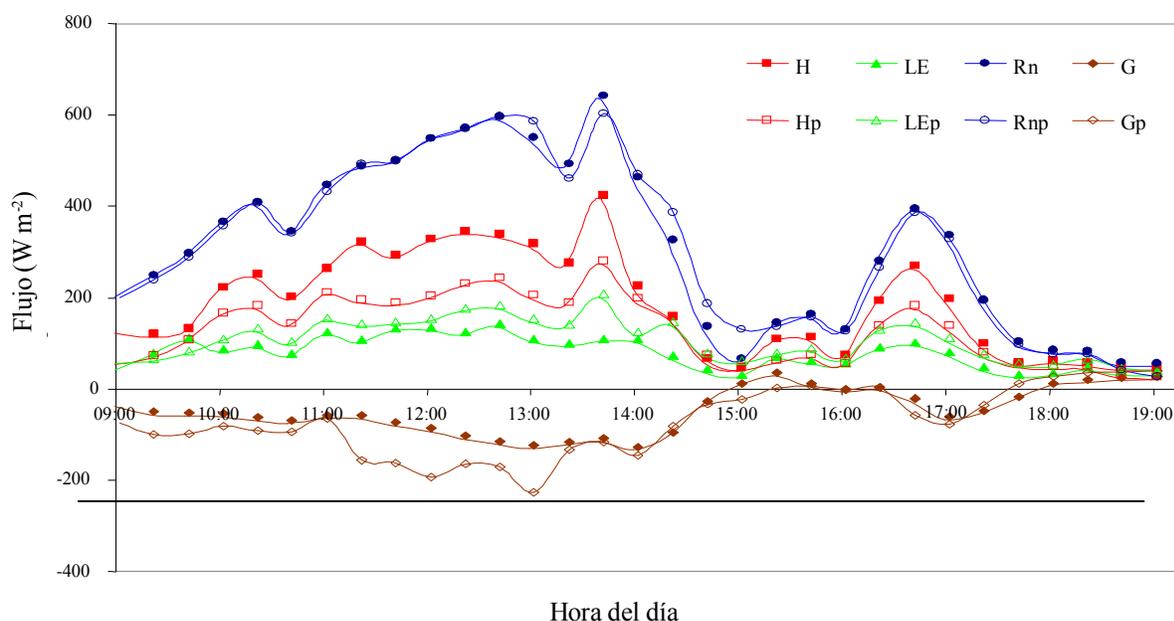


Figura 3. Valores medidos de la radiación neta (Rn), flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente LE, y flujo de calor en el suelo (G) a los 113 días después del trasplante en el cultivo de chile pimienta con acolchado plástico negro y plata (p).

negro fue de 8 MJ por día mientras que en el acolchado plata el valor máximo fue de 6 MJ por día .

La partición de energía de los componentes del balance de energía (Cuadro 1 y 2) muestra que

el consumo mayor de radiación neta es debida al flujo de calor sensible ya que en promedio en todo el ciclo de cultivo presentó un consumo de 51%, seguido por el flujo de calor latente con un consumo de un 28% para

**Cuadro 1. Valores integrados de los componentes del balance de energía, evapotranspiración y la relación de flujo de calor sensible/ radiación neta (H/Rn), flujo de calor latente/ radiación neta (LE/Rn) y flujo de calor en el suelo/radiación neta (G/Rn), para cinco periodos del ciclo de cultivo de chiles pimiento con acolchado plástico de suelos de color negro y riego por goteo en Ramos Arizpe, Coahuila.**

DDT	Intervalo de tiempo	Componentes del balance de energía				Lam ET	H/Rn	LE/Rn	G/Rn
		H int. <sup>†</sup>	LE int.	Rn int.	G int.				
		MJ m <sup>-2</sup>				mm			
60	12:40 - 19:00	4.53	2.95	10.71	3.22	1.20	0.42	0.28	0.30
61	09:00 - 19:00	7.63	2.99	13.91	3.30	1.22	0.55	0.21	0.24
62	10:00 - 17:20	6.17	3.10	13.34	4.06	1.27	0.46	0.23	0.30
63	09:00 - 16:20	5.48	3.24	12.28	3.56	1.32	0.45	0.26	0.29
66	10:40 - 19:00	7.22	2.74	13.94	3.98	1.12	0.52	0.20	0.29
67	09:00 - 19:00	5.31	4.39	14.01	4.31	1.79	0.38	0.31	0.31
69	09:00 - 19:00	7.6	2.98	12.97	2.38	1.22	0.59	0.23	0.18
70	09:20 - 19:00	6.71	3.99	13.36	2.66	1.63	0.50	0.30	0.20
71	09:00 - 19:00	7.23	4.22	14.99	3.54	1.72	0.48	0.28	0.24
72	09:00 - 19:00	8.25	4.09	16.24	3.90	1.67	0.51	0.25	0.24
73	09:40 - 19:00	7.5	4.40	15.94	4.04	1.79	0.47	0.28	0.25
74	09:40 - 19:00	6.46	4.77	15.19	3.96	1.95	0.43	0.31	0.26
75	09:20 - 19:00	7.48	4.76	16.33	4.09	1.94	0.46	0.29	0.25
76	09:40 - 19:00	7.67	4.06	15.47	3.74	1.66	0.50	0.26	0.24
77	09:00 - 19:00	8.34	4.14	16.53	4.05	1.69	0.50	0.25	0.24
78	09:00 - 19:00	7.67	4.68	16.66	4.32	1.91	0.46	0.28	0.26
79	09:00 - 19:00	7.27	5.01	16.41	4.13	2.04	0.44	0.31	0.25
80	09:00 - 11:20	1.30	1.04	2.82	0.49	0.42	0.46	0.37	0.17
105	09:20 - 19:00	7.15	5.69	15.98	3.14	2.32	0.45	0.36	0.20
106	09:00 - 19:00	7.05	5.56	16.2	3.58	2.27	0.44	0.34	0.22
107	09:00 - 17:20	7.51	4.02	14.52	2.99	1.64	0.52	0.28	0.21
108	09:00 - 18:40	6.90	3.68	13.02	2.44	1.50	0.53	0.28	0.19
109	09:00 - 19:00	7.51	4.06	14.42	2.86	1.66	0.52	0.28	0.20
110	09:00 - 19:00	7.63	3.05	12.72	2.04	1.24	0.60	0.24	0.16
111	09:00 - 19:00	5.74	2.27	9.08	1.08	0.93	0.63	0.25	0.12
112	09:00 - 11:40	0.52	0.44	1.07	0.11	0.18	0.48	0.41	0.10
113	09:00 - 19:00	6.61	2.76	11.29	1.93	1.12	0.59	0.24	0.17
114	09:00 - 17:40	6.45	2.32	10.61	1.84	0.95	0.61	0.22	0.17
115	9:40 - 15:40	5.87	2.11	9.92	1.94	0.86	0.59	0.21	0.20
116	09:00 - 19:00	7.94	3.05	13.18	2.2	1.24	0.60	0.23	0.17
117	11:00 - 19:00	4.38	1.76	7.30	1.16	0.72	0.60	0.24	0.16
118	09:40 - 19:00	6.27	2.57	11.30	2.46	1.05	0.55	0.23	0.22
119	09:00 - 12:20	1.85	1.95	4.41	0.61	0.80	0.42	0.44	0.14
120	09:00 - 16:00	5.88	2.15	10.24	2.21	0.88	0.57	0.21	0.22
121	09:20 - 19:00	9.29	2.34	14.48	2.86	0.95	0.64	0.16	0.20
122	09:00 - 12:20	1.00	0.70	1.88	0.18	0.29	0.53	0.37	0.09
123	09:00 - 18:40	4.98	4.69	11.19	1.52	1.91	0.45	0.42	0.14
125	09:00 - 12:00	2.25	0.61	3.82	0.95	0.25	0.59	0.16	0.25

<sup>†</sup> int. = valores integrados, DDT = días después del transplante, H = flujo de calor sensible, LE = flujo de calor latente, Rn = radiación neta, G = flujo de calor en el suelo, Lam ET = lámina evapotranspiración.

**Cuadro 2. Valores integrados de los componentes del balance de energía, evapotranspiración y la relación de flujo de calor sensible/ radiación neta (H/Rn), flujo de calor latente/ radiación neta (LE/Rn) y flujo de calor en el suelo/radiación neta (G/Rn), para cinco periodos del ciclo de cultivo de chiles pimiento con acolchado plástico de suelos de color negro y riego por goteo en Ramos Arizpe, Coahuila.**

DDT	Intervalo de tiempo	Componentes del balance de energía				Lam ET	H/Rn	LE/Rn	G/Rn
		H int. <sup>†</sup>	LE int.	Rn int.	G int.				
		----- MJ m <sup>-2</sup> -----				mm			
60	13:20 - 19:00	2.77	2.60	8.11	2.75	1.06	0.34	0.32	0.34
61	10:00 - 19:00	5.37	3.47	12.87	4.03	1.42	0.42	0.27	0.31
62	10:20 - 17:40	4.55	3.20	12.56	4.81	1.30	0.36	0.25	0.38
63	09:40 - 19:00	0.42	0.75	2.13	0.96	0.30	0.20	0.35	0.45
66	10:40 - 19:00	5.41	3.32	13.32	4.58	1.36	0.41	0.25	0.34
67	09:00 - 19:00	3.71	4.43	13.42	5.28	1.81	0.28	0.33	0.39
68	09:00 - 19:00	5.79	3.33	12.40	3.28	1.36	0.47	0.27	0.26
69	10:00 - 19:00	5.36	3.74	12.35	3.28	1.53	0.43	0.30	0.27
70	09:00 - 18:20	5.44	4.22	13.75	4.50	1.72	0.40	0.31	0.30
72	09:00 - 19:00	5.73	5.02	15.64	4.89	2.05	0.37	0.32	0.31
73	10:00 - 19:00	4.95	4.90	14.91	5.06	2.00	0.33	0.33	0.34
74	11:40 - 19:00	3.83	3.93	11.95	4.19	1.61	0.32	0.33	0.35
75	10:40 - 19:00	5.22	4.43	14.25	4.60	1.81	0.37	0.31	0.32
76	10:20 - 19:00	5.66	4.22	14.18	4.30	1.72	0.40	0.30	0.30
77	10:20 - 19:00	5.79	4.29	14.52	4.44	1.75	0.40	0.30	0.31
78	09:20 - 19:00	6.01	4.73	15.54	4.80	1.93	0.39	0.30	0.31
79	09:00 - 19:00	5.79	4.90	15.51	4.82	2.00	0.37	0.32	0.31
80	14:00 - 19:00	3.06	1.90	6.12	1.10	0.78	0.50	0.31	0.18
105	09:20 - 19:00	5.70	5.65	15.75	4.40	2.31	0.36	0.36	0.28
106	09:00 - 19:00	5.89	5.43	16.05	4.73	2.22	0.37	0.34	0.29
107	09:00 - 17:20	6.12	4.37	14.48	4.35	1.78	0.41	0.29	0.29
108	09:00 - 18:40	5.71	4.39	13.58	3.48	1.79	0.42	0.32	0.26
109	09:00 - 19:00	6.09	4.62	14.46	3.75	1.89	0.42	0.32	0.26
110	09:00 - 19:00	5.71	3.81	12.28	2.76	1.55	0.47	0.31	0.22
111	09:00 - 19:00	4.28	2.91	8.99	1.81	1.19	0.48	0.32	0.20
112	09:00 - 19:00	2.55	2.18	6.39	1.67	0.89	0.40	0.34	0.26
113	09:00 - 19:00	4.63	3.77	11.28	2.89	1.54	0.41	0.33	0.26
114	09:00 - 19:00	4.72	3.21	10.83	2.90	1.31	0.44	0.30	0.27
115	09:00 - 19:00	4.63	2.93	10.53	2.97	1.20	0.44	0.28	0.28
116	09:00 - 19:00	6.19	4.31	13.74	3.24	1.76	0.45	0.31	0.24
117	09:00 - 19:00	3.86	2.78	8.65	2.02	1.13	0.45	0.32	0.23
118	10:00 - 19:00	4.41	3.42	11.10	3.27	1.40	0.40	0.31	0.29
119	09:00 - 11:20	0.95	1.31	3.41	1.15	0.53	0.28	0.38	0.34
120	09:00 - 19:00	4.20	2.83	10.48	3.46	1.15	0.40	0.27	0.33
121	09:00 - 19:40	6.97	3.52	14.52	4.02	1.44	0.48	0.24	0.28
122	09:00 - 19:00	1.45	1.94	4.73	1.34	0.79	0.31	0.41	0.28
123	11:40 - 19:00	6.57	3.41	13.51	3.52	1.39	0.49	0.25	0.26
125	09:00 - 12:00	1.73	0.97	4.12	1.42	0.40	0.42	0.24	0.35

<sup>†</sup> int. = valores integrados, DDT = días después del transplante, H = flujo de calor sensible, LE = flujo de calor latente, Rn = radiación neta, G = flujo de calor en el suelo, Lam ET = lámina evapotranspiración.

el acolchado plástico de color negro, mientras que para el acolchado plástico de color plata el consumo de flujo de calor sensible fue de un 41% y un 31% para el flujo de calor latente, lo que implica mejores condiciones para

el cultivo bajo acolchado plástico de color plata (Tarara, 2000).

Se esperaría que el flujo de calor latente se incremente conforme avance el ciclo de cultivo debido

a que las necesidades hídricas aumentan conforme se desarrolla y alcanza su cobertura máxima, lo cual no sucedió en este trabajo dado que se tuvo valores de 4 a 5 MJ por día en los 2 acolchados en la mayor parte del ciclo de cultivo, lo que ocasionó condiciones de estrés en el cultivo. Los valores de evapotranspiración máxima que se presentaron en el cultivo fueron de 2.32 mm para el acolchado plástico negro y de 2.31 mm para el acolchado plástico plata, datos muy bajos debido a que se presentaron problemas de abatimiento de la fuente de agua de riego, por lo que se tuvo que reducir al 50% el tiempo de riego.

### CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio sugieren que las características espectrales de la película de polietileno utilizada en el acolchado afectaron significativamente el balance de radiación de onda corta y larga que incrementa la radiación neta sobre el cultivo de chile pimiento manifestándose en un mayor flujo de calor sensible en el acolchado plástico de color negro.
- El flujo de calor sensible es significativamente mayor en la sección con acolchado plástico negro que en el acolchado plástico plata debido a que la temperatura de la superficie del plástico negro es mayor que la temperatura de la superficie del acolchado plástico plata
- El flujo de calor latente es igual en los 2 tratamientos de acolchado. La lámina evapotranspirada diaria máxima que se encontró fue de 2.3 mm en los 2 tratamientos, lo que indica que el cultivo estuvo bajo condiciones de déficit de humedad en el suelo durante todas las etapas del ciclo de cultivo.
- Cuando el cultivo alcanza su máximo desarrollo foliar, el flujo de calor latente es mayor que el flujo de calor en el suelo durante la mayor parte del día. Durante la etapa de senescencia, la mayor parte de la radiación neta se disipa en flujo de calor sensible y una magnitud mucho menor y en aproximadamente la misma proporción en flujo de calor en el suelo y en flujo de calor latente.

### LITERATURA CITADA

- Baldocchi, D. D., B. B. Hincks, and T. P. Meyers. 1988. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. *Ecology* 69: 1331-1340.
- Bancomext- ITESM (Banco Nacional de Comercio Exterior- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey). 2008. Guía para la exportación de productos hortícolas a la Unión Europea. México, D. F.
- De Santiago, J. 1996. Programación de siembra de chiles verdes. *Productores de hortalizas. Publicaciones periódicas de Meister* 2: 75-78.
- Drexler, J. Z., R. L. Snyder, D. Spano, and K. T. Paw U. 2004. A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrol. Process.* 18: 2071-2101.
- Dugas, W. A., L. J. Fritschen, L. W. Gay, A. A. Held, A. D. Matthias, D. C. Reicosky, P. Steduto, and J. L. Steiner. 1991. Bowen ratio, eddy correlation and portable chamber measurements of sensible and latent heat flux over irrigation spring wheat. *Agric. For. Meteorol.* 56: 1-20.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database). 2008. Statistical database. <http://apps.fao.org/faostat>. (Consulta: octubre 20, 2009).
- Foken, T. 2008. The energy balance closure problem: An overview. *Ecol. Applic.* 18: 1351-1367.
- Foken, T., F. Wimmer, M. Mauder, C. Thomas, and C. Liebenthal. 2006. Some aspect of the energy balance closure problem. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.* 6: 3381-3402.
- Gómez P., G. 2008. Pros y contras de la agricultura protegida. II Symposium Internacional de Invernaderos. Asociación Mexicana de Construcción de Invernaderos (AMCI). Toluca, edo. de México.
- Ham, J. M., G. J. Kluitenberg, and W. J. Lamont. 1993. Optical properties of plastic mulch affect the field temperature regime. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 118: 188-193.
- Itier, B. and Y. Brunet. 1996. Recent developments and present terms in evapotranspiration research: A partial survey. pp. 1-20. *In: C. R. Camp, E. J. Sadler, and R. E. Yorder (eds.). Evapotranspiration and irrigation scheduling, Proc. of the International Conference. San Antonio, Texas, USA.*
- Jones, H. G. 1992. *Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental physiology.* Cambridge University Press. UK.
- Kanemasu, E. T., M. L. Wesely, B. B. Hicks, and J. L. Heilman. 1979. Techniques for calculating energy and mass fluxes. modification of the aerial environment of crops. *Am. Soc. Agric. Engineers. St. Joseph, MI, USA.*
- Kasperbauer, M. J. 2000. Strawberry yield over red versus black plastic mulch. *Crop Sci.* 40: 171-174.
- Kizer, M. A. and R. L. Elliott. 1991. Eddy correlation systems for measuring evapotranspiration. *Trans. ASAE* 34: 387-392.
- Kluitenberg, G. J., J. M. Ham, and W. J. Lamont. 1993. Effects of aging on the optical properties of plastic mulch. *Proc. Natl. Agr. Plast. Congr.* 23: 149-154.
- Lamont, W. J. 2005. Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology* 15: 477-481.
- McAneny, K. J., Y. Brunet, and B. Itier. 1994. Downwind evolution of the transpiration by two irrigated crops under conditions of local advection. *J. Hydrol.* 161: 375-388.
- Malek, E., G. E. Bingham, G. D. McCurdy, and R. J. Hanks. 1992. Determination of alfalfa Evapotranspiration irrigation with saline waste from electrical power plant. *Irrig. Sci* 13: 73-80.
- Oke, T. R. 1978. *Boundary layer climates.* Methuen London. England.

- Papale, D., M. Reichstein, E. Canfora, M. Aubinet, C. Bernhofer, B. Longdoz, W. Kutsch, S. Rambal, R. Valentini, T. Vesala, and D. Yakir. 2006. Towards a more harmonized processing of eddy covariance CO<sub>2</sub> fluxes: algorithms and uncertainty estimation. *Biogeosciences Discuss.* 3: 961-992.
- Prueger, J. H., T. J. Sauner, and J. L. Hatfield. 1998. Turbulence flux estimates of sensible and latent heat near shelterbelts during low wind conditions. *Trans. ASAE* 4: 1643-1650.
- Rodríguez, J. L. 2002. Mil quinientas hectáreas dedicadas a la producción de chiles picosos. *Productores de hortalizas. Publicaciones periódicas de Meister* 1: 29.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2002. Sistema de información agroalimentaria y de consulta (SIACON). SAGARPA, SIAP. México, D. F.
- Tarara, J. M. 2000. Microclimate modification with plastic mulch. *HortScience* 35: 169-180.
- Twine, T. E., W. P. Kustas, J. M. Norman, D. R. Cook, P. R. Houser, T. P. Meyers, J. H. Prueger, P. J. Starks, and M. L. Wesely. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agric. For. Meteorol.* 103: 279-300.
- Villaman, R., L. Tijerina., A. Quevedo y G. Crespo 2001. Comparación de algunos métodos micro-meteorológicos para estimar la evapotranspiración en el área de Montecillo, México. *Terra* 19: 281-291.