

INTERCAMBIO DE BIÓXIDO DE CARBONO EN CHILE MORRÓN CULTIVADO EN ACOLCHADO PLÁSTICO

Carbon Dioxide Exchange of a Bell Pepper Crop Grown in Plastic Mulch

Alejandro Zermeño-González^{1‡}, Juan Munguía-López², J. Alexander Gil-Marín¹,
Luis Ibarra-Jiménez², Rosario Quezada-Martín², Martín Cadena-Zapata³,
Miguel A. García-Delgado⁴ y Mario Cantú-Sifuentes⁵

RESUMEN

Se utilizó el método de la covarianza eddy para realizar mediciones de flujo de bióxido de carbono (CO₂) y flujo de calor latente (LE) entre la atmósfera y 2 superficies de 3 ha de chile morrón (*Capsicum annuum* L.), una con acolchado plástico negro y la otra con acolchado plástico coextruido plata/negro. También se midió la radiación neta en cada superficie. Con estas mediciones se determinó la capacidad de asimilación de CO₂ de la superficie vegetal con cada tipo de acolchado plástico, y se determinó la eficiencia intrínseca del uso del agua (mmol CO₂ L⁻¹) por cada superficie, dividiendo la asimilación integrada de CO₂ en un determinado segmento del día entre la evapotranspiración (LE/2.44) integrada en el mismo segmento de tiempo. De igual forma se determinó la eficiencia del uso de la radiación neta (Rn), dividiendo para los mismos segmentos de tiempo la asimilación integrada de CO₂ entre la Rn integrada. Los resultados de este estudio indicaron que en el cultivo con acolchado coextruido plata/negro, la asimilación integrada de CO₂ durante el día fue 44.21% mayor que en el cultivo con acolchado plástico negro. De igual forma, la eficiencia intrínseca del uso del agua y de la radiación neta fueron 23.04 y 53.47% respectivamente mayores en el cultivo con acolchado coextruido plata/negro.

Palabras clave: *Capsicum annuum*, covarianza eddy, eficiencia del uso del agua, flujo de CO₂.

SUMMARY

The eddy covariance method was used for measuring carbon dioxide flux (CO₂) and latent heat flux (LE) between the atmosphere and 2 surfaces of 3 ha of bell pepper, one under black plastic mulch and the other under silver/black plastic mulch. Net radiation was also measured at each surface. With this information, the CO₂ assimilation capacity of each surface was determined. The intrinsic water use efficiency (mmol CO₂ L⁻¹) of each surface was obtained by dividing the integrated assimilation of CO₂ on a given time segment of a day by the integrated evapotranspiration (LE/2.4) on the same time segment. In the same way, the net radiation (Rn) use efficiency was determined by dividing on the same time segments the integrated assimilation of CO₂ by the integrated Rn. The results of this study indicated that for the crop with silver/black plastic mulch, daytime integrated assimilation of CO₂ was 44.21% higher than the crop with black plastic mulch. Likewise, the intrinsic water use efficiency and net radiation use efficiency were 23.04 and 53.47% higher in the crop with silver/black plastic mulch.

Index words: *Capsicum annuum*, eddy covariance, water use efficiency, CO₂ flux.

INTRODUCCIÓN

El chile (*Capsicum annuum* L.) es una de las hortalizas de mayor consumo en México. Las agroindustrias han incrementado notablemente la demanda de esta hortaliza para la producción de salsas, ensaladas y otros derivados. México produce chiles de una gran diversidad de formas, aromas y sabores. El cultivar de chile morrón produce un sabor muy suave y es muy consumido en el país. México ocupa el segundo

¹ Departamento de Riego y Drenaje; ³ Departamento de Maquinaria Agrícola, ⁵ Departamento de Estadística y Cálculo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

[‡] Autor responsable (azermeno@uaaan.mx)

² Departamento de Plásticos en la Agricultura, Centro de Investigación en Química Aplicada. Blvd. E. Reyna No.140. 25210 Saltillo, Coahuila, México.

⁴ Unidad Académica Multidisciplinaria-Mante Centro. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Matamoros 8 y 9 zona Centro. 87000 Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

lugar mundial en exportación de chiles de diferentes variedades y abastece el 80% de las importaciones norteamericanas (Macías-Macías, 2010). En 2007, las exportaciones de chile morrón tuvieron un valor de 626 millones de pesos (CNA, 2008)

El chile morrón se adapta a diversas condiciones de clima, suelo y altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2500 m y se puede producir bajo diversos sistemas de tecnificación (Lesur, 2006). El acolchado plástico con riego por goteo es ampliamente usado en la producción de cultivos hortícolas (Brown y Channel-Butcher, 2001; Amayren y Al-Abed, 2005). Se ha demostrado ampliamente que el acolchado plástico incrementa la temperatura del perfil superior del suelo, reduce la evaporación del suelo y reduce la incidencia de malezas (Ibarra-Jiménez *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2004), lo que induce precocidad, incrementa el rendimiento y calidad de las cosechas (Ibarra y Rodríguez, 1991; Ibarra y Díaz, 2001; Kasperbauer, 2000).

Actualmente se han desarrollado acolchados plásticos de diferentes colores, espesores y formulaciones que pueden tener efectos diversos en la temperatura del perfil superior del suelo y en las propiedades espectrales de la radiación reflejada, que pueden afectar la tasa de asimilación de bióxido de carbono y el desarrollo y rendimiento de las plantas (Díaz-Pérez y Batal, 2002; Kasperbauer *et al.*, 2001). Por ejemplo, Kasperbauer (2000) encontró que la mayor reflectancia de radiación de longitud de onda del color rojo y del lejano infra-rojo del acolchado plástico rojo, indujo un mayor rendimiento de fresa comparado con el rendimiento obtenido con el acolchado plástico de color negro, que tiene menor reflectancia de la radiación de onda corta. De manera similar, Kasperbauer y Hunt (1989) reportan que una mayor reflectividad del lejano infra-rojo causado por el acolchado plástico rojo produjo un mayor rendimiento de tomate que el obtenido con acolchado plástico negro, y que las plantas con acolchado plástico plateado desarrollaron más follaje. Hutton y Handley (2007) reportaron un mayor rendimiento de plantas de chile morrón con acolchado plástico plateado que con acolchado plástico negro. Otros estudios han mostrado una reducción de la incidencia de insectos patógenos en el cultivo de frijol con acolchado plástico plateado (Smith *et al.*, 2000).

La película plástica que es impermeable al flujo de gases modifica el intercambio gaseoso entre el aire y el suelo, ya que las raíces liberan CO₂ que se acumula debajo del mismo y se canaliza a través de

las perforaciones concentrándose alrededor de la planta. De acuerdo con Serrano (1990), la pequeña cantidad de bióxido de carbono liberado por las perforaciones del plástico podría inducir mayor actividad fotosintética.

Las investigaciones realizadas a la fecha se han enfocado a evaluar el efecto de los acolchados plásticos en la tasa de crecimiento y el rendimiento de las plantas y pocos estudios se han dirigido a analizar el efecto del acolchado plástico en la tasa de asimilación de bióxido de carbono (Ibarra-Jiménez *et al.*, 2005). El color y formulación del acolchado plástico también modifican el balance de radiación y de energía sobre el cultivo (Munguía *et al.*, 2004). Debido a que los acolchados plásticos de colores claros reflejan más radiación de onda corta que los de color oscuro (Ngouajio y Ernest, 2005; Lamont, 2005), esto puede afectar la tasa de asimilación de bióxido de carbono y la eficiencia intrínseca del uso del agua de los cultivos. Por esta razón, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del acolchado negro y coextruido plata/negro en el intercambio de bióxido de carbono con la atmósfera y en la eficiencia intrínseca del uso del agua y la radiación neta por del cultivo de chile morrón.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el rancho Santa Rita, 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 elevación de 1140 m. El clima de la región es semiseco templado, con una temporada de lluvia que 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 dirección norte, con velocidad promedio de 22.5 km h⁻¹.

El trabajo se estableció en 2 superficies de aproximadamente 3 ha de chile morrón, con un marco de plantación de 1.8 m entre centro de camas a doble hilera. Las camas fueron de un ancho promedio de 0.67 m (las plantas se establecieron a doble hilera en arreglo triangular a 0.30 m entre plantas y 0.20 m entre hileras), y un ancho de pasillos de 1.10 m en dirección norte-sur. Una de las superficies se acolchó con una película de polietileno coextruido plata/negro y la otra con polietileno negro, ambas películas fueron de un espesor de 25 µm.

La irrigación del cultivo se realizó con riego por cintilla, colocado por debajo del acolchado plástico.

Los riegos se aplicaron a una frecuencia promedio de 3 días. El gasto de aplicación fue de 325 L h⁻¹ por 100 m de cinta, el tiempo promedio de riego fue de 6 h, de tal forma que para el ancho de camas considerado, se aplicó una lámina de 10 mm por riego. El control de plagas y enfermedades las realizó el productor siguiendo las normas establecidas para la región; no se tuvieron problemas fitosanitarios que afectaran el crecimiento y desarrollo de las plantas.

El flujo de bióxido de carbono (FCO₂) y calor latente (LE) entre la superficie vegetal y la atmósfera se determinó con el método de la covarianza eddy (Baldocchi, 2003), para lo cual los sensores de un sistema eddy se instalaron en el extremo norte de cada superficie a una altura de 0.90 m sobre el follaje de las plantas y orientados al sur.

Debido a que únicamente se dispuso de un sistema eddy, las mediciones se realizaron alternando el sistema en cada superficie aproximadamente cada dos semanas durante el ciclo de crecimiento del cultivo. Para tener la certeza de que los flujos verticales medidos correspondieron a la superficie vegetal bajo estudio, en el análisis de datos únicamente se consideraron los flujos cuando la dirección del viento se mantuvo entre 70 y 300°.

Los flujos instantáneos FCO₂ y LE entre las superficies vegetales y la atmósfera se determinaron con el método de la covarianza eddy, utilizando las siguientes ecuaciones (Ham y Heilman, 2003):

$$FCO_2 = \overline{(w' \rho_{CO_2}')} \quad (1)$$

$$LE = L \overline{(w' \rho_{wv}')} \quad (2)$$

Donde: L es el calor de vaporización del agua, el producto $w' \rho_{CO_2}'$ y $w' \rho_{wv}'$ representan la covarianza entre la velocidad vertical del viento (w) y la densidad del bióxido de carbono (ρ_{CO_2}), y la densidad del vapor de agua (ρ_{wv}) respectivamente. La barra horizontal representa el promedio de las desviaciones en un determinado segmento de tiempo (20 min).

La velocidad vertical del viento se midió con un anemómetro sónico tridimensional (CSAT3, Campbell, Sci, Inc, Logan, Utah, USA), mientras que ρ_{wv}' y ρ_{CO_2}' se determinaron con un analizador de CO₂ y vapor de agua de sendero abierto (open path CO₂/H₂O analyzer, LI-7500; LI-COR, Lincoln, NE, USA).

Estos sensores se instalaron a una altura de 0.90 m sobre el follaje de la vegetación. Las mediciones se realizaron a una frecuencia de 10 Hz, y las covarianzas se calcularon para segmentos de 20 min (en forma continua) durante el tiempo del estudio.

La radiación neta sobre la superficie (Rn) se obtuvo ponderando la Rn media sobre el follaje del cultivo y sobre el suelo desnudo, con dos radiómetros netos (modelo NR-LITE, Keep and Zonen, Inc.): uno al centro de una cama de cultivo y otro al centro de un pasillo, ambos a una altura de 0.90 m. Las mediciones se realizaron a una frecuencia de 1 s y se obtuvieron promedios de 20 min. Todos los sensores mencionados se conectaron a un registrador electrónico de datos (modelo CR 23X, Campbell, Sci. Inc.), para realizar las mediciones de los flujos indicados.

Los flujos de vapor de agua y CO₂ se corrigieron por efectos de densidad (Webb *et al.*, 1980). Posteriormente, se corrigió LE para establecer el balance de energía, considerando que el método de la covarianza eddy realiza una buena determinación de la relación Bowen (Ham y Heilman, 2003). El flujo de CO₂ se corrigió con el mismo factor.

Para evaluar el efecto del acolchado plástico en la eficiencia del uso del agua y de la radiación sobre cada superficie vegetal, se determinó la eficiencia intrínseca del uso del agua y la eficiencia del uso de la radiación neta. La eficiencia intrínseca del uso del agua por la superficie vegetal se obtuvo dividiendo el flujo integrado de bióxido de carbono, en un determinado segmento de tiempo, entre la lámina de agua evapotranspirada en el mismo segmento de tiempo (FCO₂/LamET). De igual forma, la eficiencia del uso de la radiación neta por la superficie se obtuvo dividiendo el flujo integrado de bióxido de carbono, en un determinado segmento de tiempo, entre la radiación neta integrada en el mismo segmento de tiempo (FCO₂/Rn). La lámina de agua evapotranspirada en un determinado intervalo de tiempo se obtuvo dividiendo el valor de LE integrado en dicho tiempo por el calor de vaporización del agua (2.54 MJ kg⁻¹).

La comparación de los valores integrados de la tasa de asimilación de CO₂, eficiencia intrínseca del uso del agua y eficiencia del uso de la radiación por la superficie de chile morrón con acolchado plástico negro y coextruido plata/negro, se realizó con la prueba no paramétrica de Wilcoxon ($\alpha \leq 0.05$) ya que los datos mencionados correspondieron a series de tiempo no estacionarias con correlación serial.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Intercambio de CO₂

En la Figura 1 se muestra la tasa de flujo instantáneo de bióxido de carbono (FCO₂) entre la superficie con acolchado plástico coextruido plata/negro y la atmósfera, en diferentes días después de transplante (ddt) y diferentes horas del día y la noche. Únicamente se presentan segmentos de tiempo donde la dirección del viento (WD) fue en el rango establecido ($70^\circ < WD < 300^\circ$). Se observó que la superficie (suelo y cultivo) asimiló CO₂ (valores negativos) de 08:00 a 20:00 h y liberó (valores positivos) CO₂ a la atmósfera durante las horas de la noche. Del día 49 al día 94 ddt, la tasa promedio máxima de asimilación instantánea de CO₂ fue $4.461 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y se presentó entre las 11 y las 14 h, mientras que la tasa promedio máxima de liberación (respiración nocturna) fue $1.969 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y se presentó entre las 21 y las 6 h. Patrones similares de la dinámica del flujo de CO₂ entre la superficie vegetal y la atmósfera se observaron a través del desarrollo del cultivo. A partir de las 16 h la tasa de asimilación

disminuyó marcadamente, y después de las 20 h la superficie liberó CO₂ a la atmósfera. Las tasas de asimilación instantáneas de CO₂ observada en este estudio fueron pequeñas comparadas con las reportadas para superficies vegetales que tienen una cobertura total o casi total ($> 80\%$) de la superficie, como la reportada por Wang *et al.* (2007) en una huerta de nogal ($30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y las reportadas por Asseng y Hsiao (2000) en alfalfa ($39 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y Saliendra *et al.* (1996) en caña de azúcar ($25 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Esto se debió a que las camas de cultivo (con acolchado plástico) cubrieron únicamente el 37.7% de la superficie total. El resto de la superficie (62.3%) fue suelo desnudo (sin cultivo y sin irrigación).

A partir de las 17:20 h 49 ddt y hasta las 19:20 h 51 ddt (Figura 1) se presentaron condiciones de dirección del viento en el rango establecido, de tal forma que se pudo evaluar dos ciclos continuos de asimilación-liberación. El valor integrado de flujo de CO₂ en los 2 ciclos de liberación fue $74.271 \text{ mmol m}^{-2}$, mientras que el valor integrado correspondiente a los dos ciclos de asimilación fue $63.249 \text{ mmol m}^{-2}$. Lo que representó una liberación neta de $11.022 \text{ mmol m}^{-2}$ de la superficie

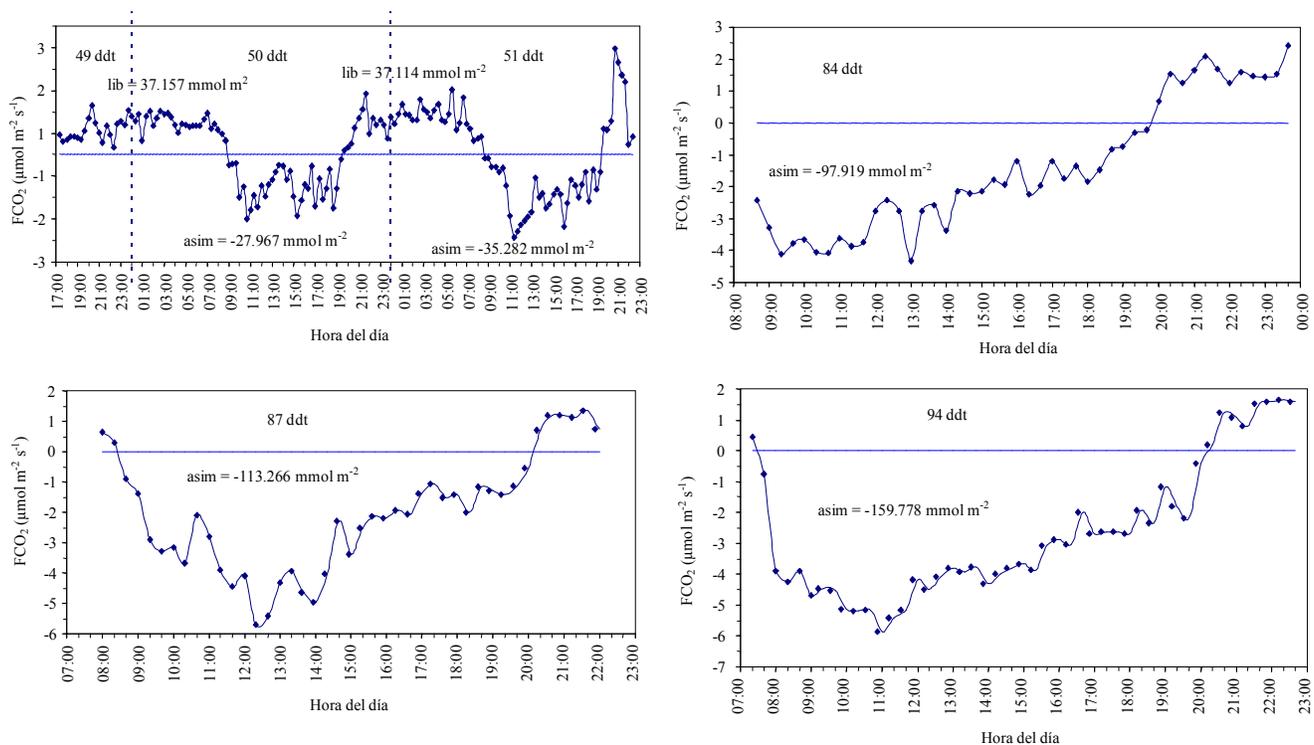


Figura 1. Flujos instantáneos de CO₂ (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) y la asimilación o liberación de CO₂ integrada en los intervalos de tiempo correspondientes, sobre una superficie de chile morrón con acolchado coextruido plata/negro, en varios días después de transplante (ddt). Santa Rita, Ramos Arizpe, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano de 2006. lib = liberación; asim = asimilación.

a la atmósfera en el lapso de tiempo mencionado, debido a que la magnitud de la asimilación de CO_2 por el cultivo durante el día fue menor que la magnitud de la respiración nocturna del suelo y el cultivo. Esto ocurrió porque el cultivo solo cubrió una pequeña parte de la superficie total (37.7%), y todavía no alcanzaba su máximo desarrollo foliar. Sin embargo, a los 94 ddt la asimilación integrada de las 8 a las 19:30 h fue mayor ($159.778 \text{ mmol m}^{-2}$) que la observada a los 50 ddt ($27.967 \text{ mmol m}^{-2}$) debido a un mayor desarrollo foliar del cultivo. En cultivos de cobertura total la magnitud de la asimilación de CO_2 es mayor que la respiración nocturna (Baldochi, 1994; Anthoni *et al.*, 2004; Jacksic *et al.*, 2006).

Intercambio de CO_2

La tasa de flujo de CO_2 entre la superficie con acolchado plástico negro y la atmósfera a diferentes ddt y diferentes horas del día y la noche se muestra en la Figura 2. De igual forma que en la Figura 1, sólo se graficaron las tasas de flujo de CO_2 para la dirección del viento previamente establecida. De los 77 a los 118 ddt la tasa promedio máxima de asimilación de

CO_2 fue $4.812 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2), mientras que la tasa promedio máxima de liberación fue $1.812 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Estos valores fueron similares a los observados en la superficie con acolchado plástico coextruido plata/negro. También se observó que las máximas tasas de asimilación de CO_2 se presentaron entre las 11 y las 14 h. A partir de las 16 h la tasa de asimilación de CO_2 disminuyó considerablemente, debido al calentamiento de las hojas del cultivo y la disminución de la radiación (Jones, 1992; Nobel, 2009). A partir de las 20:00 h el flujo de CO_2 fue de la superficie a la atmósfera.

A los 111 y 118 ddt se tuvieron condiciones de viento favorable durante el día y se pudo obtener el valor integrado de asimilación de CO_2 por la superficie (Figura 2). Los valores correspondientes fueron 85.997 y $48.097 \text{ mmol m}^{-2}$, respectivamente que fueron menores a los observados en la superficie con acolchado coextruido plata/negro en aproximadamente la misma fase de crecimiento del cultivo. Esto probablemente se debió a una mayor reflectividad del acolchado coextruido plata/negro que resultó en una mayor tasa de fotosíntesis. Estudios previos han mostrado un mayor desarrollo foliar

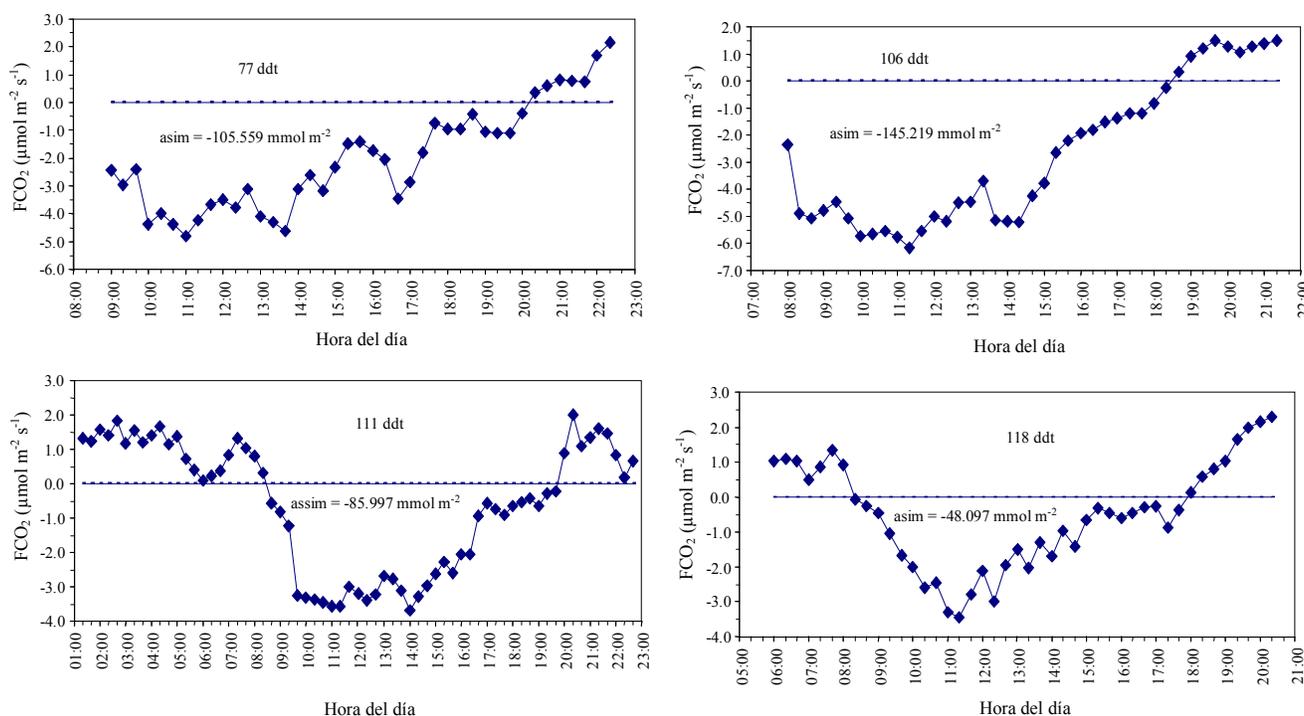


Figura 2. Flujos instantáneos de CO_2 (valores negativos representan asimilación y positivos liberación) y la asimilación o liberación de CO_2 integrada en los intervalos de tiempo correspondientes, sobre una superficie de chile morrón con acolchado plástico negro, en varios días después de transplante (ddt). Santa Rita, Ramos Arizpe, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano de 2006. lib = liberación; asim = asimilación.

del cultivo de tomate con acolchado plástico plateado (Kasperbauer y Hunt, 1989).

Eficiencia Intrínseca del Uso del Agua y la Radiación por la Superficie Vegetal

En la superficie con acolchado coextruido plata/negro, la asimilación integrada de CO₂ (flujo de CO₂ negativo) mostró una tendencia creciente de 54 a 95 ddt, y una tendencia aproximadamente estable o ligeramente decreciente del 95 al 103 ddt (Cuadro 1). Esto se debió a un mayor crecimiento foliar del cultivo del 54 al 95 ddt, respecto al periodo del 95 al 103 ddt (Cuadro 1). De igual forma, debido a un menor desarrollo foliar del cultivo, los valores integrados de la eficiencia intrínseca del uso del agua (FCO₂/LamET) fueron comparativamente menores del 54 al 84 ddt, que del 85 al 103 ddt (Cuadro 1).

La eficiencia intrínseca del uso del agua y de la radiación neta fue relativamente mayor a niveles bajos de radiación neta (Rn) y mostraron una tendencia decreciente con relación al incremento de Rn. Esto se debió a que una mayor absorción de Rn por la superficie vegetal, indujo un mayor calentamiento foliar, que afectó la eficiencia intrínseca del uso del agua y de la Rn. La eficiencia intrínseca del uso del agua fue relativamente mayor a niveles menores del flujo de calor latente integrado (LE), mientras que la eficiencia del uso de la Rn (FCO₂/Rn) fue relativamente mayor a valores mayores de LE. Estudios previos han mostrado que cambios en la apertura de los estomas afectan más la tasa de transpiración que la de asimilación de CO₂ (Jones, 1992; Nobel, 2009).

En la superficie de chile morrón con acolchado plástico negro (Cuadro 2), la asimilación integrada de CO₂ también fue creciente del día 66 al 79 ddt. La

Cuadro 1. Flujos integrados de bióxido de carbono (FCO₂), radiación neta (Rn), flujo de calor latente (LE) y la eficiencia intrínseca del uso del agua (FCO₂/LamET) y de la radiación neta (FCO₂/Rn) por la superficie vegetal con acolchado coextruido plata/negro en diferentes días después de transplante. Santa Rita, Ramos Arizpe, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano de 2006.

Días después de transplante	Intervalo	Flujo integrado de bióxido de carbono	Radiación neta	Flujo de calor latente	FCO ₂ / LamET	FCO ₂ / Rn
		mmol m ⁻²	- - - - MJ m ⁻² - - - -		mmol L ⁻¹	mmol MJ ⁻¹
54	09:00 - 20:00	-30.27	14.34	3.68	-20.06	-2.11
56	08:20 - 17:00	-36.69	13.17	3.05	-29.31	-2.79
83	09:00 - 20:00	-72.31	16.05	5.61	-31.43	-4.50
84	08:40 - 19:40	-97.92	15.74	4.91	-48.64	-6.22
85	08:00 - 20:00	-101.09	13.51	3.90	-63.21	-7.48
86	09:00 - 18:20	-89.12	10.64	2.96	-73.48	-8.38
87	08:40 - 20:00	-113.27	8.68	2.86	-96.76	-13.05
88	08:00 - 18:40	-105.90	13.47	3.57	-72.34	-7.86
89	08:40 - 18:20	-104.90	13.79	3.78	-67.75	-7.61
90	08:00 - 18:20	-109.04	14.64	4.26	-62.43	-7.45
91	08:00 - 19:20	-113.25	15.75	4.62	-59.83	-7.19
92	08:20 - 20:00	-109.99	15.75	4.86	-55.26	-6.98
93	07:40 - 20:00	-119.56	15.96	4.65	-62.78	-7.49
95	08:00 - 19:40	-168.23	15.83	5.17	-79.39	-10.62
96	07:20 - 19:40	-152.17	16.35	5.69	-65.25	-9.30
97	09:00 - 20:00	-127.56	15.66	5.16	-60.32	-8.15
98	07:40 - 17:40	-140.08	15.44	4.58	-74.67	-9.07
99	08:20 - 20:00	-125.75	15.67	5.25	-58.42	-8.02
100	08:00 - 20:00	-130.14	16.21	5.69	-55.86	-8.03
101	08:00 - 19:40	-154.63	16.22	5.62	-67.09	-9.53
102	08:00 - 20:00	-141.75	15.90	5.70	-60.71	-8.91
103	07:40 - 19:40	-148.15	15.15	4.79	-75.55	-9.78
Promedio		-113.26	14.73	4.56	-60.93	-7.75

Cuadro 2. Flujos integrados de bióxido de carbono (FCO_2), radiación neta (Rn), flujo de calor latente (LE) y la eficiencia intrínseca del uso del agua ($\text{FCO}_2/\text{LamET}$) y de la radiación neta (FCO_2/Rn) por la superficie vegetal con acolchado plástico negro en diferentes días después de transplante. Santa Rita, Ramos Arizpe, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano de 2006.

Días después de transplante	Intervalo	Flujo integrado de bióxido de carbono	Radiación neta	Flujo de calor latente	$\text{FCO}_2/\text{LamET}$	FCO_2/Rn
		mmol m^{-2}	MJ m^{-2}		mmol L^{-1}	mmol MJ^{-1}
66	10:40-19:20	-32.28	14.06	2.79	-28.23	-2.30
67	8:00-18:00	-40.56	13.79	4.36	-22.69	-2.94
69	8:20-17:40	-35.56	12.98	3.02	-28.73	-2.74
70	9:20-19:00	-58.05	13.36	3.99	-35.52	-4.35
71	8:40-17:40	-56.11	14.56	4.03	-33.99	-3.85
72	8:20-19:00	-64.53	16.48	4.27	-36.91	-3.92
73	8:20-19:00	-46.19	14.82	3.98	-28.32	-3.11
75	9:20-20:00	-65.03	16.52	4.96	-31.99	-3.94
76	9:20-19:40	-76.40	16.02	4.35	-42.90	-4.77
77	9:00-20:00	-105.57	16.74	4.34	-59.42	-6.31
78	9:00-19:40	-91.79	16.88	4.82	-46.50	-5.44
79	8:20-20:00	-98.11	16.95	5.43	-44.12	-5.79
105	9:20-20:40	-109.03	16.16	5.97	-44.54	-6.75
106	8:00-18:20	-145.22	16.21	5.56	-63.72	-8.96
107	7:20-17:20	-137.80	14.88	4.23	-79.44	-9.26
108	7:40-18:40	-138.09	13.42	3.87	-86.99	-10.29
109	7:40-19:40	-120.36	15.10	4.36	-67.39	-7.97
110	8:20-19:00	-88.31	13.03	3.16	-68.11	-6.78
111	8:40-19:40	-81.67	9.19	2.33	-85.43	-8.89
113	8:00-17:20	-71.19	11.23	2.67	-64.96	-6.34
116	8:00-20:00	-51.66	13.84	3.32	-37.95	-3.73
118	08:20-17:40	-48.10	10.88	2.54	-46.30	-4.42
121	09:00-16:20	-44.72	11.83	1.99	-54.81	-3.78
Promedio		-78.54	14.30	3.93	-49.52	-5.05

asimilación fue mayor y aproximadamente uniforme de 105 a 109 ddt. De 110 a 121 ddt, la asimilación integrada de CO_2 fue decreciente (debido a la senescencia del cultivo). Al igual que en la superficie de cultivo con acolchado coextruido plata/negro, la eficiencia intrínseca del uso del agua ($\text{FCO}_2/\text{LamET}$) y la eficiencia del uso de la radiación neta (FCO_2/Rn) en la superficie con acolchado plástico negro fueron relativamente mayores a valores menores de Rn, mostrando una tendencia decreciente con el incremento de Rn. De manera similar, la eficiencia intrínseca del uso del agua fue relativamente mayor a valores menores de LE, mientras que la eficiencia del uso de la Rn fue ligeramente mayor a valores mayores de LE. La gran variabilidad en los datos observados se debió, a que como se menciono anteriormente, la superficie con cultivo solo ocupó el 37.7% de la superficie total, por lo que las relaciones entre la eficiencia del uso del agua y de la radiación

neta con respecto al flujo de calor latente y la radiación neta, son difíciles de establecer cuando se tiene un 62.3% de la superficie sin cultivo y sin riego.

Con base en los resultados de este estudio (Cuadros 1 y 2), el cultivo con acolchado plástico coextruido plata/negro mostró mayor capacidad de asimilación de CO_2 , mayor eficiencia intrínseca del uso del agua y mayor eficiencia del uso de la radiación neta que el cultivo con acolchado plástico negro ($\alpha \leq 0.05$). La asimilación integrada promedio diaria de CO_2 por el cultivo con acolchado coextruido plata/negro (Cuadro 1) fue $-113.26 \text{ mol m}^{-2}$, y por el cultivo con acolchado negro (Cuadro 2) fue $-78.54 \text{ mol m}^{-2}$; la diferencia fue -34.72 , que correspondió a 44.21% mayor asimilación del cultivo con acolchado coextruido plata negro. De igual forma, la eficiencia intrínseca promedio diaria del uso del agua por el cultivo con acolchado coextruido plata/negro (Cuadro 1) fue $-60.93 \text{ mmol CO}_2 \text{ L}^{-1}$ y por el cultivo con

acolchado negro (Cuadro 2) fue $-49.52 \text{ mmol CO}_2 \text{ L}^{-1}$, de tal forma que con el acolchado coextruido plata/negro la eficiencia intrínseca del uso del agua fue 23.04% mayor. De manera similar, la eficiencia promedio diaria del uso de la radiación neta por el cultivo con acolchado coextruido plata negro (Cuadro 1) fue $-7.75 \text{ mmol CO}_2 \text{ MJ}^{-1}$, mientras que con el cultivo con acolchado negro (Cuadro 2) fue $-5.05 \text{ mmol CO}_2 \text{ MJ}^{-1}$, lo que representó 53.47% mayor eficiencia del uso de la radiación neta por el cultivo con acolchado coextruido plata/negro. Esto probablemente se debió a que la mayor reflectividad del acolchado coextruido plata/negro aumentó la tasa de asimilación de bióxido de carbono y la eficiencia del uso del agua y de la radiación del cultivo. Otros estudios han mostrado que el rendimiento de cultivos es mayor con acolchados plásticos de colores claros y de mayor reflectividad (Matheny *et al.*, 1992; Kasperbauer, 2000; Ibarra-Jiménez *et al.*, 2008).

CONCLUSIONES

- Las máximas tasas diurnas de flujo de CO_2 entre la superficie de cultivo de chile morrón con acolchado plástico negro y coextruido plata/negro y la atmósfera, se observaron durante las primeras horas del día (11 a 14 h). Después de las 16 h, la tasa de flujo disminuye, y a partir de las 19 ó 20 h, la superficie fue fuente de liberación de CO_2 a la atmósfera.
- La eficiencia intrínseca del uso del agua y de la radiación neta por la superficie vegetal, fue relativamente mayor a valores menores de radiación neta bajo las dos condiciones de acolchado plástico. En ambas superficies, la eficiencia intrínseca del uso del agua fue relativamente mayor a niveles menores de flujo de calor latente, mientras que la eficiencia del uso de la radiación neta fue ligeramente mayor a valores mayores del flujo de calor latente.
- La superficie de cultivo con acolchado plástico coextruido plata/negro mostró mayores niveles de asimilación de CO_2 , mayor eficiencia intrínseca del uso del agua y del uso de la radiación neta que la superficie de cultivo con acolchado plástico negro.

BIBLIOGRAFÍA

Amayren, J. and N. Al-Abed. 2005. Developing crop coefficients for field-grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under drip irrigation with black plastic mulch. *Agric. Water Manage.* 73: 247-254.

- Anthoni, P. M., A. Freibauer, O. Kolle, and E. D. Schulze. 2004. Winter wheat carbon exchange in Thuringia, Germany. *Agric. For. Meteorol.* 121: 55-67.
- Asseng, S. and T. C. Hsiao. 2000. Canopy CO_2 assimilation, energy balance, and water use efficiency of an alfalfa crop before and after cutting. *Field Crop Res.* 67: 191-206.
- Baldocchi, D. 1994. A comparative study of mass and energy exchange rates over a closed C3 (wheat) and an open C4 (corn) crop: II. CO_2 exchange and water use efficiency. *Agric. For. Meteorol.* 67: 291-321.
- Baldocchi, D. D. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biol.* 9: 479-492.
- Brown, J. E. and C. Channel-Butcher. 2001. Black plastic mulch and drip irrigation affect growth and performance of bell pepper. *J. Veg. Crop Produc.* 7: 109-112.
- CNA (Consejo Nacional Agropecuario). 2008. Statistics and information. www.mexbest.com (consulta: 23 de junio, 2010).
- Decoteau, D. R. M. J. Kasperbauer, D. D. Daniels, and P. G. Hunt. 1988. Plastic mulch color effects on reflected light and tomato plant growth. *Sci. Hortic.* 34: 169-175.
- Díaz-Pérez, J. C. and K. D. Batal. 2002. Colored plastic film mulches affect tomato growth and yield via changes in root-zone temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127: 127-136.
- Ham, J. M. and J. L. Heilman. 2003. Experimental test of density and energy-balance corrections on carbon dioxide flux as measured using open-path eddy covariance. *Agron. J.* 95: 1393-1403.
- Hutton, M. G. and D. T. Handley. 2007. Effect of silver reflective mulch, white inter-row mulch, and plant density on yield of pepper in Maine. *HortTechnology* 17: 214-219.
- Ibarra Jiménez, L. y A. Rodríguez Piña. 1991. Acolchado de suelos con películas plásticas. Limusa. México, D. F.
- Ibarra, L., J. Flores, and J. Díaz. 2001. Growth and yield of muskmelon in response of plastic mulch and row cover. *Sci. Hortic.* 87: 139-145.
- Ibarra-Jiménez, L., A. Zermeño-González, J. Munguía-López M. R. Quezada-Martín, and M. De La Rosa-Ibarra. 2008. Photosynthesis, soil temperature and yield of cucumber as affected by colored plastic mulch. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B-Plant Soil Sci.* 58: 372-378.
- Ibarra-Jiménez, L., J. Flores, M. R. Quezada y A. Zermeño. 2004. Acolchado, riego y microtúneles en tomate, chile anaheim y chile pimiento. *Rev. Chapingo Serie Hortic.* 10: 179-187.
- Ibarra-Jiménez, L., J. Munguía-López, A. J. Lozano-Del Río, and A. Zermeño-González. 2005. The effect of plastic mulch and row covers on the growth and physiology of cucumber. *Aust. J. Exp. Agric.* 45: 1653-1657.
- Jacksic, V., G. Kiely, J. Albertson, R. Oren, G. Katul, P. Leahy, and K. A. Bryne. 2006. Net ecosystem exchange of grassland in contrasting wet and dry years. *Agric. For. Meteorol.* 139: 323-334.
- Jones, H. G. 1992. *Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology.* Alden press Oxford. Oxfordshire, England.
- Kasperbauer, M. J. 2000. Strawberry yield over red versus black plastic mulch. *Crop Sci.* 40: 171-174.
- Kasperbauer, M. J. and P.G. Hunt. 1989. Far-red light affects photosynthate allocation and yield of tomato over red mulch. *Crop Sci.* 38: 970-974.

- Kasperbauer, M. J., J. H. Loughrin, and S. Y. Wang. 2001. Light reflected from red mulch to ripening strawberries affects aroma, sugar and organic acid concentrations. *Photochem. Photobiol.* 74: 103-107.
- Lamont, J. W. 2005. Plastics: Modifying the microclimate for the production of vegetable crops. *HortTechnology* 15: 477-481.
- Lesur, L. 2006. Una guía paso a paso: Manual del cultivo de Chile. Ed. Trillas. México, 80 p.
- Li, F. M., J. Wang, J. Z. Xu, and H. L. Xu. 2004. Productivity and soil response to plastic film mulching durations for spring wheat on entisols in the semiarid Loess Plateau of China. *Soil Tillage Res.* 78: 9-20.
- Matheny, T. A., P. G. Hunt, and M. J. Kasperbauer. 1992. Potato tuber production in response to reflected light from different colored mulches. *Crop Sci.* 32: 1021-1024.
- Munguía, J., A. Zermeño, R. Quezada, M. De La Rosa, L. Ibarra, y A. Torres-B. 2004. Relación entre los componentes del balance de energía y la resistencia estomática en el cultivo de melón bajo acolchado plástico. *Phyton* 73: 181-192.
- Ngouajio, M. and J. Ernest. 2005. Changes in the physical, optical and thermal properties of polyethylene mulches during double cropping. *HortScience* 40: 94-97.
- Nobel, P. S. 2009. *Physicochemical and environmental plant physiology*. Academic Press. Boston, MA, USA.
- Macías-Macias, A. 2010. Competitividad de México en el mercado de frutas y hortalizas de Estados Unidos de América 1989-2009. *Agroalimentaria* 16: 31-48.
- Saliendra, N. Z., F. C. Meinzer, M. Perry, and M. Thom. 1996. Associations between partitioning of carboxylase activity and bundle sheath leakiness to CO₂, carbon isotope discrimination, photosynthesis, and growth in sugarcane. *J. Exp. Bot.* 47: 907-914.
- Serrano C., Z. 1990. *Técnicas de invernadero*. PAO. Suministros gráficos. Sevilla, España.
- Smith, H. A., R. L. Koenig, H. J. McAuslane, and R. McSorley. 2000. Effect of silver reflective mulch and a summer squash trap crop on densities of immature *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) on organic bean. *J. Econ. Entomol.* 93: 726-731.
- Wang, J. M., D. R. Miller, T. W. Sammis, V. P. Gutschick, L. J. Simmons, and A. A. Andales. 2007. Energy balance measurements and a simple model for estimating pecan water use efficiency. *Agric. Water Manage.* 91: 92-101.
- Webb, E. K., G. I. Pearman, and R. Leuning. 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 106: 85-100.