

# EFFECTO DEL SISTEMA DE RIEGO Y CLIMA EN LA EFICIENCIA DEL USO DE AGUA DE NOGAL PECANERO

## Effect of Irrigation System and Climate on Water Use Efficiency of Pecan Trees

Alejandro Zermeño González<sup>1‡</sup>, Claudia Ivette Cruz Santes<sup>1</sup>, Juan Plutarco Munguía López<sup>2</sup>, Ernesto Alonso Catalán Valencia<sup>3</sup>, Santos Gabriel Campos Magaña<sup>4</sup> y Javier de Jesús Cortés Bracho<sup>1</sup>

### RESUMEN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* K.) es una especie frutícola de gran importancia para México, su cultivo se realiza en regiones de clima semidesértico donde el agua es el factor limitante de la producción, por lo que es necesario obtener la máxima eficiencia del uso de este recurso, que es función del sistema de riego y de las condiciones climáticas de la región. Sobre esta base, el objetivo de este estudio fue evaluar la eficiencia del uso del agua de dos huertas de nogal pecanero bajo dos sistemas de riego y diferentes condiciones climáticas. El estudio se realizó en el verano de 2008, en dos huertas de nogal pecanero del noreste de México: una de ellas ubicada en el sureste del estado de Coahuila (Mieleras, municipio de Matamoros) con riego por goteo subsuperficial, y la otra en el norte del mismo estado (Zaragoza) regada con aspersión. La eficiencia del uso del agua de las huertas del nogal pecanero se definió como la relación entre moles de CO<sub>2</sub> asimilados por mol de agua evapotranspirada por el dosel de los árboles. Los resultados del estudio mostraron que aunque la asimilación de CO<sub>2</sub> promedio diurna en la huerta de Mieleras (441.68 mmol m<sup>-2</sup>) fue estadísticamente igual a la observada en la huerta de Zaragoza (489.04 mmol m<sup>-2</sup>); la eficiencia promedio diaria del uso del agua (mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O) fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) en la huerta de Zaragoza (1.82) que la que se obtuvo en la huerta de Mieleras (1.42). Esto se debió a que las condiciones climáticas en Matamoros fueron de un

mayor déficit de presión de vapor y una mayor tasa de evapotranspiración, que tuvieron un efecto mayor en la eficiencia del uso del agua que el sistema de riego utilizado en cada huerta.

**Palabras clave:** riego por goteo subsuperficial, riego por aspersión, CO<sub>2</sub> asimilado, H<sub>2</sub>O evapotranspirada.

### SUMMARY

Pecan (*Carya illinoensis* K.) is an important fruit tree for Mexico. It is grown in arid regions where water availability is the limiting factor for its production. Therefore, it is necessary to obtain the highest possible water use efficiency, which is a function of the irrigation method and the climate conditions of the region. Thus, the objective of this study was to evaluate the water use efficiency of two pecan orchards, with different methods of irrigation and different climate conditions. The study was done during the summer of 2008 in two pecan orchards in northeastern Mexico. One of them is located in southeastern Coahuila (Mieleras, Municipality of Matamoros) irrigated with a subsurface drip irrigation system. The other in northern Coahuila (Zaragoza) has a sprinkler irrigation system. Water use efficiency of the two orchards was defined as the ratio between moles of CO<sub>2</sub> absorbed and moles of water vapor evapotranspired by the tree canopies. The results of this study showed that, although average daily CO<sub>2</sub> assimilation rate of the Mieleras orchard (441.68 mmol m<sup>-2</sup>) was statistically equal to that observed in the Zaragoza orchard (489.04 mmol m<sup>-2</sup>), the average daily intrinsic water use efficiency (mmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O) was higher ( $P \leq 0.05$ ) in the Zaragoza orchard (1.82) than that in the Mieleras orchard (1.42). This was due to the climate conditions of Mieleras that caused a higher water vapor pressure deficit and a higher evapotranspiration rate, whose effect on water use

<sup>1</sup> Departamento de Riego y Drenaje; <sup>4</sup> Departamento de Maquinaria Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. 25315 Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>‡</sup> Autor responsable (azermeno@uaaan.mx)

<sup>2</sup> CIQA. Blvd. Enrique Reyna 140. 25250 Saltillo, Coahuila, México.

<sup>3</sup> CENID-RASPA-INIFAP. Canal principal Sacramento km 6.5. 35140 Gómez Palacio, Durango, México.

Recibido: mayo de 2012. Aceptado: enero de 2014.

Publicado en Terra Latinoamericana 32: 23-33.

efficiency was greater than the effect of the irrigation system used.

**Index words:** *subsurface drip irrigation, sprinkler irrigation, absorbed CO<sub>2</sub>, evapotranspired water vapor.*

## INTRODUCCIÓN

El nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) es un frutal de gran importancia a nivel mundial, ya que se tiene establecida una superficie aproximada de 307 000 ha. Los principales países productores son: Estados Unidos (72%) y México (25%). En México la superficie de nogal sembrada aumentó de 48 000 ha en 1980 a 84 000 ha en 2009 (75%), de las cuales se tienen establecidas 820 001 ha en condiciones de riego (SAGARPA-SIAP, 2009).

En México, los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango y Nuevo León, representan el 97.39% del total de la producción nogalera (SAGARPA-SIACON, 2013). El estado de Coahuila tiene una superficie de 14 mil ha, que corresponde al 16.9% de la superficie total nacional, con una producción de 19 433 Mg y un rendimiento de 1.53 Mg ha<sup>-1</sup>. (SAGARPA-SIAP, 2009).

El riego por aspersión simula una lluvia donde la tasa de precipitación y de infiltración es constante. Se ha demostrado que el rendimiento y la eficiencia del uso del agua de los cultivos es mayor con riego por aspersión que el obtenido con riego por gravedad (Yang *et al.*, 2000; Liu y Kang, 2006) debido a que el riego por aspersión puede producir un microclima favorable para el crecimiento de los cultivos. Sin embargo, Chávez *et al.* (2008) reportaron una mayor eficiencia del uso del agua de una huerta de nogal pecanero bajo riego por goteo con relación a la eficiencia con riego por aspersión y microaspersión.

En el riego por goteo subsuperficial se aplican bajos volúmenes de agua con alta frecuencia, con el propósito de mantener el contenido de humedad en el suelo en un nivel que permita un crecimiento óptimo de la planta; el sistema consiste en una serie de tuberías, principales y secundarias, que conducen el agua hasta llegar a la planta mediante mangueras colocadas en hileras, a una profundidad promedio de 20 a 40 cm (Burt *et al.*, 1999). El agua llega a las raíces en forma subsuperficial, de manera que se evitan las pérdidas directas por

la evaporación de la superficie del suelo, al mantener un régimen de humedad más alto y uniforme en la zona de mayor actividad radicular, se reduce la evaporación de la superficie del suelo y se incrementa la tasa de transpiración, mejorando la apertura de los estomas y la actividad fotosintética, lo que resulta en una mayor eficiencia intrínseca del uso del agua. El empleo de esta técnica es una alternativa favorable en las regiones semiáridas ya que se mejora la eficiencia en el uso del agua (Romero *et al.*, 2004). Estudios realizados por Godoy-Ávila *et al.* (2004) indicaron un ahorro del 48.5 % en el agua de riego y un incremento del rendimiento de 37% en huertas de nogal con riego por goteo subsuperficial respecto a las huertas regadas por inundación. Estudios realizados en otros cultivos mostraron las ventajas del riego por goteo subsuperficial respecto al riego por goteo, aspersión, y superficial. Por ejemplo, Bryla *et al.* (2003) reportaron un mayor rendimiento y eficiencia del uso del agua en árboles de durazno regados con un sistema de riego por goteo superficial y por goteo subsuperficial, que los árboles regados con riego por aspersión. El sistema de riego por goteo subsuperficial ofrece beneficios significativos en el ahorro de agua para riego ya que tiene mayor eficiencia del uso del agua en comparación con el riego superficial (Bhattarai *et al.*, 2005). De manera similar Al-Omran *et al.* (2005) demostraron que la eficiencia del uso del agua y el rendimiento de un cultivo fue significativamente mayor con el riego por goteo subsuperficial que el obtenido con el sistema de riego por goteo superficial.

La eficiencia intrínseca del uso del agua es una importante característica de la productividad de un ecosistema vegetal, al relacionar la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> con la tasa de evapotranspiración (Blum, 2005; Kuglitsch *et al.*, 2008). Picon *et al.* (1997), encontraron que el aumento en la eficiencia intrínseca del uso del agua depende de un aumento en la concentración de CO<sub>2</sub>, independiente de los distintos niveles de humedad en que se encuentren las plantas. Estudios previos indican que la eficiencia intrínseca del uso del agua es mayor en cultivos de cobertura completa en condiciones de riego (Baldocchi, 1994; Zhao *et al.*, 2007).

Las condiciones climáticas de una determinada localidad, afectan la eficiencia intrínseca del uso del agua de los ecosistemas vegetales por su efecto en la tasa de evapotranspiración (Law *et al.*, 2002; Yu *et al.*, 2008). La eficiencia del uso del agua puede ser mayor en días

con abundante nubosidad debido a una menor radiación solar hacia la superficie, menor temperatura de las hojas, y menor déficit de presión de vapor (DPV), que reduce la tasa de evapotranspiración (Freedman *et al.*, 2001). Por ejemplo, Wang *et al.* (2007) reportaron que la eficiencia del uso del agua del nogal pecanero fue mayor a niveles bajos del déficit de presión de vapor.

Por lo anterior, se establece que la eficiencia intrínseca del uso del agua del nogal pecanero puede ser afectada por las condiciones climáticas de la localidad y por el sistema de riego utilizado. Por lo que el objetivo de este estudio fue comparar la eficiencia del uso del agua entre localidades y su relación con las condiciones climáticas y el sistema de riego (aspersión y goteo subsuperficial) utilizado en las huertas de nogal pecanero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación y Características del Sitio de Estudio

El estudio se realizó de mayo a julio de 2008, en dos huertas de nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch) del estado de Coahuila, México. Una de la huertas se ubica en la propiedad Tierra Blanca, del ejido Mieleras, municipio de Matamoros, Coahuila, México, cuyas coordenadas geográficas son 25° 25' N, 103° 18' O con una elevación de 1200 m. Las dimensiones del área de estudio dentro de la huerta fueron 1120 m en la dirección norte-sur por 400 m este-oeste. La huerta está formada por árboles de los cultivares Wichita y Western Schley, de 50 años de edad y altura promedio de 14 m. La distribución de los árboles en la huerta es en tresbolillo con una separación de 15 m. La huerta se riega diariamente entre marzo y noviembre con un sistema de riego por goteo subsuperficial, aplicando una lámina promedio diaria de 5 mm.

La otra huerta se encuentra en la propiedad Las Tres Marías, del municipio de Zaragoza, Coahuila; las coordenadas geográficas del sitio son: 28° 28' 31" N, 100° 55' 10" O a una elevación de 360 m. Las dimensiones promedio del área de estudio fueron 660 m norte-sur por 600 m este-oeste. Los árboles de la huerta son de los cultivares Wichita, Western Schley y Pawnee, de 28 años de edad y una altura promedio de 12 m, la distribución de los árboles es en marco real a una distancia de 15 m entre árboles, y se riega con un sistema de aspersión fijo, aplicando láminas promedio de 55 mm a intervalos de 10 días.

### Instrumentación y Mediciones

Los flujos de calor latente (LE), calor sensible (H) y de CO<sub>2</sub> (FCO<sub>2</sub>), entre el dosel de la vegetación y la atmósfera se obtuvieron con el método de la covarianza eddy, utilizando las siguientes ecuaciones: (Ham y Heilman, 2003):

$$LE = \overline{Lw' \rho_{wv}'} \quad (1)$$

$$H = \rho_a C_p \overline{w'Ts'} - 0.51Ta \frac{\rho_a C_p}{L} LE \quad (2)$$

$$FCO_2 = \overline{w' \rho_{CO_2}'} \quad (3)$$

donde:  $\rho_a$  y  $C_p$  son la densidad y capacidad calorífica del aire respectivamente,  $L$  es el calor de vaporización del agua,  $Ta$  es la temperatura del aire, los productos  $w' \rho_{CO_2}'$ ,  $w' \rho_{wv}'$  y  $w'Ts'$ , representan la covarianza entre la velocidad vertical del viento ( $w$ ) y la densidad del CO<sub>2</sub> ( $\rho_{CO_2}$ ), densidad del vapor de agua ( $\rho_{wv}$ ) y la temperatura sónica ( $Ts$ ), respectivamente. La barra horizontal representa el valor medio del producto de las desviaciones en un segmento de tiempo de 30 min.

La velocidad vertical del viento y la temperatura sónica se midieron con un anemómetro sónico tridimensional (CSI-CSAT3, Campbell, Sci, Inc, Logan, Utah, USA), mientras que  $\rho_{wv}$  y  $\rho_{CO_2}$  con un analizador de CO<sub>2</sub> y vapor de agua de sendero abierto (open path CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O analyzer, LI-7500, LI-COR; Lincoln, NE, USA). Ambos sensores se montaron en una torre (Figura 1) de 16 m de altura (Mieleras) y 14 m (Zaragoza) para lograr una distancia vertical mínima de 2 m sobre el dosel de los árboles.

El anemómetro sónico tridimensional se orientó hacia el noreste (Mieleras) y sureste (Zaragoza), para obtener una distancia horizontal desde la ubicación de los sensores al límite del área de estudio (fetch) de 200 m en un ángulo de 90° respecto a la orientación del anemómetro sónico tridimensional. La velocidad vertical del viento, la temperatura sónica, la densidad del vapor de agua y del CO<sub>2</sub> se midieron a una frecuencia de 10 Hz, y las covarianzas se calcularon cada 30 min.

Para evaluar la precisión de las mediciones del flujo de calor latente (flujo de vapor de agua) y CO<sub>2</sub>

(frecuencias de 10 Hz y promedios de 30 min) que se realizaron en las huerta de las dos localidades de mayo a julio de 2008, se obtuvieron todos los componentes del balance de energía sobre una superficie vegetal utilizando la Ecuación 4, (Turnipseed *et al.*, 2002):

$$R_n = H + LE + G + PH + S \quad (4)$$

donde:  $R_n$  es la radiación neta,  $H$  y  $LE$  definidos anteriormente,  $G$  es el flujo de calor en la superficie del suelo ( que se obtiene agregando al flujo de calor medido a 8 cm bajo la superficie del suelo, los cambios de temperatura del suelo entre la superficie y 8 cm de profundidad),  $PH$  es la energía utilizada en la fijación de  $CO_2$  (que corresponde al equivalente en términos de energía de la Ecuación 3) y  $S$  es la energía almacenada por cambios de temperatura del aire, la vegetación y



Figura. 1. Sistema de covarianza de remolinos sobre el dosel de un cultivo de nogal pecanero para medir el flujo de calor, vapor de agua y  $CO_2$ .

por cambios en la humedad específica de la capa del aire a la altura de los árboles (se obtiene con mediciones de temperatura utilizando termopares y mediciones de humedad relativa a diferentes elevaciones del dosel de la vegetación); las unidades de todos los términos de la Ecuación 4 son  $W m^{-2}$ .

Los flujos de vapor de agua y  $CO_2$  se corrigieron por efectos de densidad (Webb *et al.*, 1980). Posteriormente, los flujos de  $H$  y  $LE$  se corrigieron para cerrar el balance de energía, considerando que el método de la covarianza eddy proporciona una buena determinación de la relación Bowen ( $H/LE$ ). El flujo de  $CO_2$  se corrigió con el mismo factor (Ham y Heilman, 2003).

### Intercambio Neto de $CO_2$ y la Eficiencia Intrínseca del Uso del Agua

El intercambio neto de  $CO_2$  del ecosistema (NEE) formado por el suelo y los árboles de la huerta se obtuvo con la siguiente relación (Martens *et al.*, 2004):

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho CO_2}{\Delta t} * \Delta z \quad (5)$$

donde:  $FCO_2$ , es el flujo de  $CO_2$  medido con el método de la covarianza eddy,  $\Delta\rho CO_2$  es el cambio en la densidad del  $CO_2$  medido a la misma altura a la que se midió el flujo de  $CO_2$ , en el intervalo de tiempo considerado ( $\Delta t = 30$  min) y  $\Delta z$  es la altura a la que se realizaron las mediciones (14 m en la huerta de Zaragoza y 16 m en la de Mieleras). La retención neta diaria de  $CO_2$  por el ecosistema se estimó con la diferencia entre la integración de los valores negativos (durante el día) y positivos (durante la noche) de NEE obtenido cada 30 min.

La eficiencia intrínseca diaria del uso del agua ( $Ef_{H_2O}$ ) por el ecosistema, se obtuvo con la relación de los valores integrados entre las 8:00 y 20:00 h de los flujos (promedios de 30 min) de NEE y el agua evapotranspirada (ET) en el mismo intervalo de tiempo.

$$Ef_{H_2O} = \frac{NEE}{ET} \quad (6)$$

Para evaluar la relación del sistema de riego y las diferencias de clima de las localidades en la eficiencia

del uso del agua, se realizó una comparación estadística entre localidades de los valores promedio y totales diarios (entre las 8:00 y las 20:00 h; de mayo a julio) de la temperatura del aire, la radiación neta, el déficit de presión de vapor, la evapotranspiración, tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y la eficiencia del uso del agua. Utilizando la prueba t-student ( $\alpha \leq 0.05$ ) para muestras apareadas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Balance de Energía Sobre el Dosel de los Árboles de las Huertas

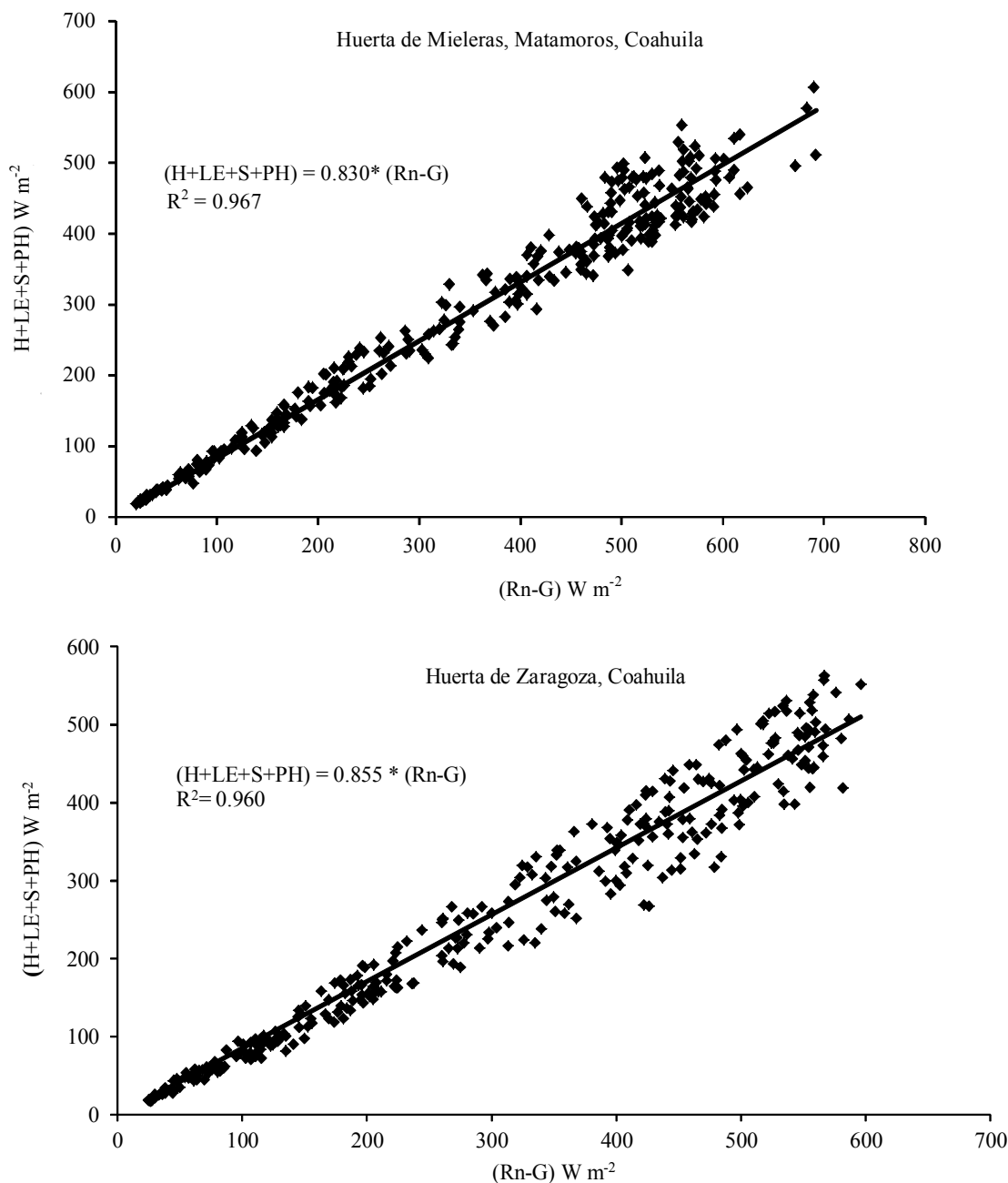
Al aplicar la ecuación del balance de energía sobre el dosel de los árboles de las huertas de nogal pecanero se observó que la suma de los flujos de calor sensible, calor latente, la energía utilizada en la fijación de CO<sub>2</sub> y la energía almacenada por cambios de temperatura del aire, vegetación y cambios en la humedad específica de la capa del aire (H+LE+PH+S) fueron en promedio 17 y 14.5% menores que la energía disponible (Rn-G) en la huerta de Mieleras y de Zaragoza, respectivamente (Figura 2), lo que concuerda con lo expuesto por Twine *et al.* (2000), quienes después de realizar varias pruebas en el cierre del balance de energía en diferentes sitios, afirmaron que los flujos por turbulencia son sistemáticamente de 10% a 30% menores que la energía disponible. Investigaciones amplias y detalladas realizadas por Wilson *et al.* (2002), en 22 sitios de la red de FLUXNET de los Estados Unidos, sobre varios tipos de vegetación y condiciones climáticas, reportaron que la suma de los flujos por turbulencia (H+LE) fueron en promedio 20% menores que la energía disponible (Rn-G). De manera similar Foken (2008), en una revisión de 20 años de investigaciones relacionadas con el problema del cierre del balance de energía sobre superficies vegetales, demostró que la suma de los flujos por turbulencia son aproximadamente 20% menores que la energía disponible. Para cerrar el balance de energía, Ham y Heilman (2003), consideran que la energía disponible (Rn-G) es correcta y que los flujos por turbulencia son subestimados, por lo que se deben corregir asumiendo que la relación Bowen (H/LE) es bien determinada con el método de la covarianza de remolinos. Al realizar esta corrección se cierra el balance de energía. Este procedimiento se aplicó a los datos de las dos huertas para cerrar el balance de energía de cada segmento de 30 min.

### Tasa Instantánea y Acumulada de Intercambio Neto de CO<sub>2</sub> por el Dosel de los Árboles de las Huertas

Tanto en la huerta de Mieleras como en la de Zaragoza, los valores de las tasas instantáneas de asimilación máxima de CO<sub>2</sub> en los diferentes días evaluados, se presentaron sistemáticamente entre las 11 y las 16 h, (Figuras 3 y 4) esto correspondió con las horas de la máxima incidencia de radiación solar y las máximas tasas de evapotranspiración. El promedio de las tasas de asimilación instantáneas máximas de CO<sub>2</sub> en los árboles de la huerta de Mieleras fue 17.028  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 3), y fue similar (17.957  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) a la observada en los árboles de la huerta de Zaragoza (Figura 4). Estos valores mostraron el potencial de asimilación de CO<sub>2</sub> que tienen las huertas de nogal pecanero, ya que fueron mayores que la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> reportadas para otros frutales. Por ejemplo, Rossi *et al.* (2007) observaron una tasa de 14  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en una huerta de kiwi [*Actinidia deliciosa* (A. Chev)], mientras que Ramírez y Pimienta (2003) reportaron una tasa de 10.7  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para una huerta de ciruelo (*Spondias purpurea* L.).

Durante la noche, la liberación de CO<sub>2</sub> instantánea máxima promedio fue menor ( $P \leq 0.05$ ) en la huerta de Mieleras (4.606  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Figura 3), que en la huerta de Zaragoza (6.66  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) (Figura 4). La frecuencia del riego en la huerta de Zaragoza fue de aproximadamente 10 días, (riego por aspersión), mientras que en la huerta de Mieleras fue diario (riego por goteo subsuperficial), los árboles de la huerta de Zaragoza en los días previos a la aplicación del siguiente riego probablemente estuvieron bajo estrés hídrico. Esto incrementó la temperatura foliar, de tal forma que al llegar la noche, la temperatura de las hojas en los árboles de la huerta de Zaragoza fue mayor, resultando en una mayor tasa de respiración nocturna. Estudios previos han mostrado relaciones directas entre la tasa de respiración y la temperatura foliar (Atkin y Tjoelker, 2003; Tcherkez *et al.*, 2003).

La retención promedio diaria de CO<sub>2</sub> por los árboles de las huertas observadas en los intervalos de tiempo de las Figuras 3 y 4, se obtuvo con la diferencia entre el intercambio neto integrado diurno de CO<sub>2</sub> (números negativos dentro de las Figuras 3 y 4) y el intercambio neto integrado nocturno (números positivos dentro de las mismas figuras). La retención promedio diaria de CO<sub>2</sub> fue mayor en la huerta de Mieleras con 389.19  $\text{mmol m}^{-2}$ , que en la huerta de Zaragoza



**Figura 2. Relación entre la energía disponible (Rn-G) y la suma de los flujos por turbulencia (H+LE+S+PH) sobre el dosel de los árboles de la huerta de nogal pecanero en Mieleras y Zaragoza, Coahuila.**

(281.92 mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>), debido a una mayor tasa de respiración nocturna por los árboles de la huerta de Zaragoza.

#### **Eficiencia Intrínseca del Uso del Agua por las Huertas de Nogal Pecanero**

El déficit de presión de vapor en las localidades tuvo un efecto mayor en la eficiencia del uso del agua, que

el método de riego utilizado en las huertas. La eficiencia promedio diaria del uso del agua en la huerta de Zaragoza (1.82 mmol CO<sub>2</sub>/mol H<sub>2</sub>O) fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) que la eficiencia observada en la huerta de Mieleras (1.42 mmol CO<sub>2</sub>/mol H<sub>2</sub>O) (Cuadro 1). La eficiencia de aplicación del sistema de riego por goteo subsuperficial utilizado en la huerta de Mieleras es mayor que la del sistema de riego por aspersión fijo utilizado en la huerta de Zaragoza, ya que el agua se aplica directamente a

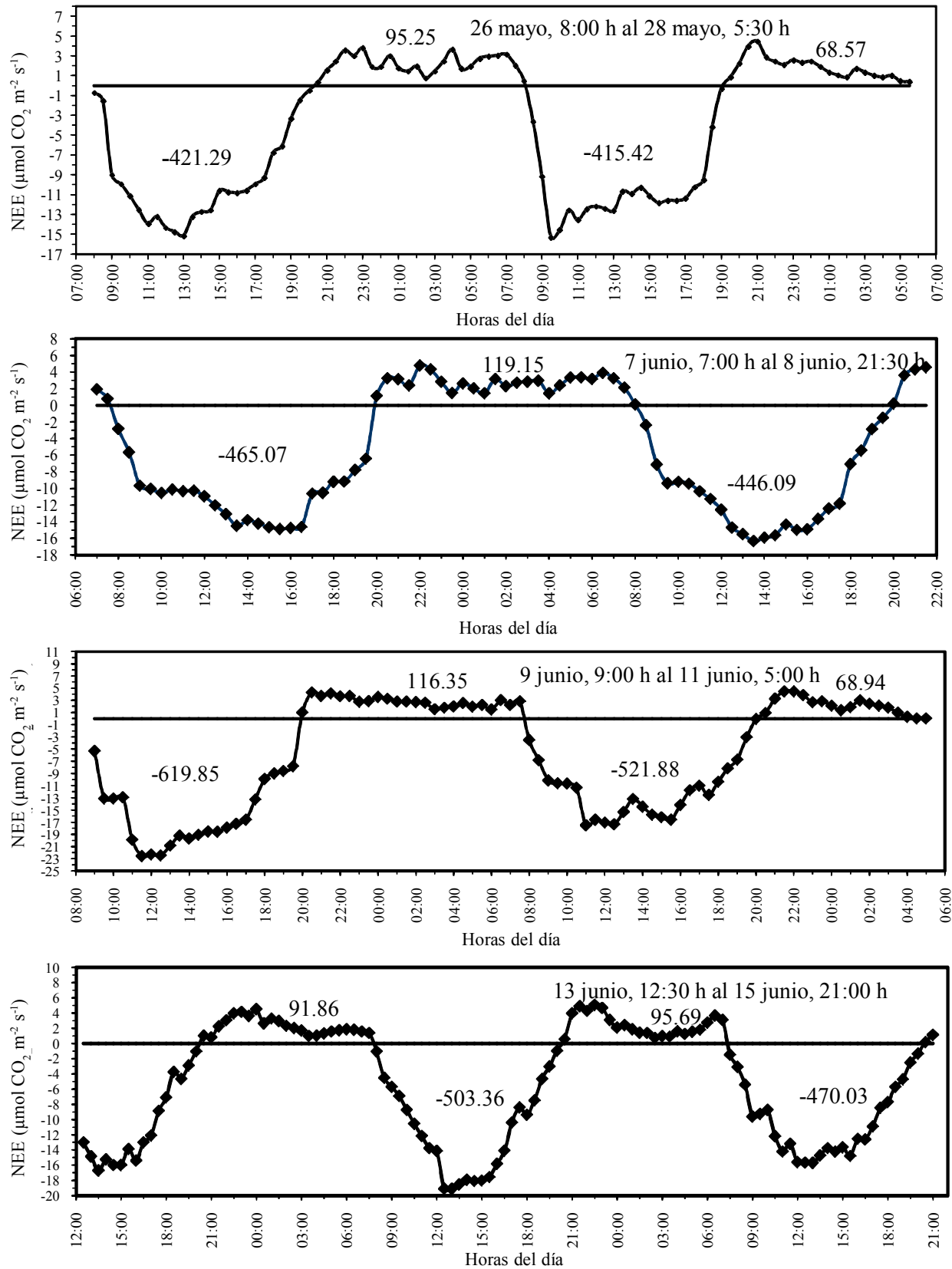


Figura 3. Tasas instantáneas de intercambio neto de  $\text{CO}_2$  por el dosel de los árboles de la huerta de Mieleras, Matamoras, Coahuila, observados entre el 26 de mayo y el 15 de junio de 2008.

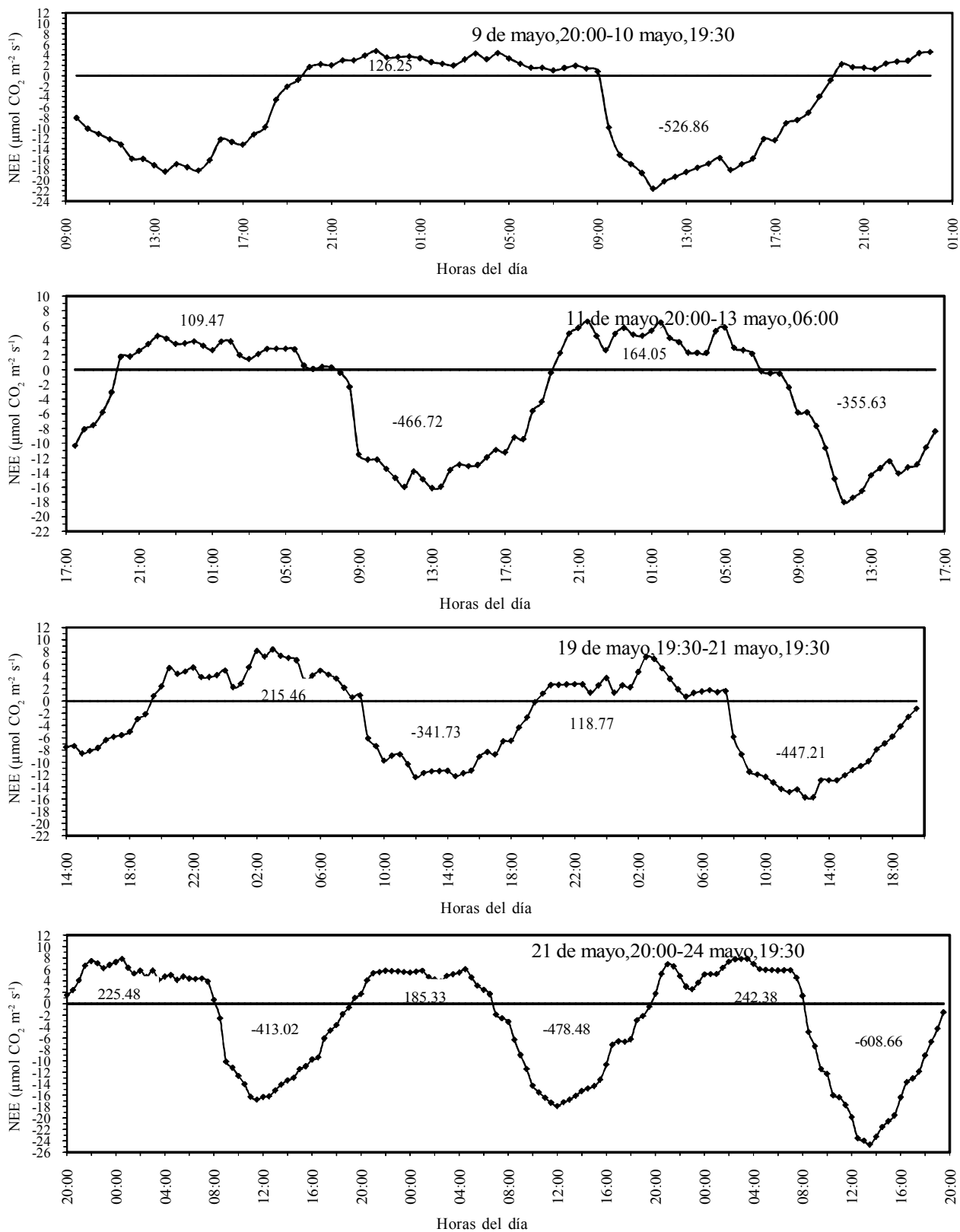


Figura 4. Tasas instantáneas de intercambio neto de  $\text{CO}_2$  por el dosel de los árboles de la huerta de Zaragoza, Coahuila, observados entre el 9 y el 24 de mayo de 2008.



**Cuadro 1.** Valores totales y promedio diarios de radiación neta (Rn), déficit de presión de vapor ( $\Delta e$ ), temperatura del aire (Ta), intercambio neto diurno de CO<sub>2</sub> (NEE), evapotranspiración (ET) y eficiencia intrínseca del uso del agua (EF<sub>H<sub>2</sub>O</sub>), observadas en una huerta de nogal pecanero en Mieleras, Matamoros, Coahuila (M) y en Zaragoza, Coahuila (Z), entre mayo y julio de 2008.

Rn		$\Delta e$		Ta		NEE		ET		EF <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	
M	Z	M	Z	M	Z	M	Z	M	Z	M	Z
- - - Mj m <sup>-2</sup> - - -		- - - Kpa - - -		- - - °C - - -		- mmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> -		- - - mm - - -		- mmol CO <sub>2</sub> /mol H <sub>2</sub> O -	
15.24	11.47	3.62	1.62	31.07	28.95	421.29	550.20	5.67	3.55	1.34	2.79
17.01	11.39	3.40	1.73	31.53	28.88	415.42	409.39	6.17	4.05	1.21	1.82
18.21	11.61	2.94	1.73	28.59	27.92	498.09	412.47	6.18	3.88	1.45	1.91
18.29	18.18	2.99	2.19	30.63	28.43	465.07	539.97	6.28	5.74	1.33	1.69
17.03	17.86	2.66	2.06	29.61	28.83	446.09	514.85	5.70	5.33	1.41	1.74
15.09	17.73	2.38	2.47	28.72	30.99	619.85	539.00	5.27	5.53	2.12	1.75
16.68	18.12	2.33	2.68	28.41	31.23	521.88	504.18	5.27	5.47	1.78	1.66
18.10	18.01	3.01	2.35	30.23	30.36	503.36	539.56	6.07	5.40	1.49	1.80
18.43	17.83	3.02	2.61	30.17	31.00	470.03	513.20	6.17	5.29	1.37	1.75
18.23	17.62	3.42	2.47	31.09	30.88	437.40	501.74	6.39	5.07	1.23	1.78
16.01	10.52	2.61	1.75	28.75	29.28	577.39	423.26	5.73	3.56	1.81	2.14
18.57	18.96	2.68	2.06	28.30	30.11	516.84	396.72	6.02	5.18	1.54	1.38
16.41	14.73	2.88	1.98	29.19	29.50	499.02	450.23	5.67	4.54	1.59	1.79
18.38	18.51	3.01	2.17	29.70	30.01	456.27	437.70	6.11	5.35	1.34	1.47
18.67	16.92	3.03	2.25	29.80	30.37	506.25	356.20	6.35	5.31	1.44	1.21
17.51	20.01	2.64	2.47	29.19	30.89	479.57	477.60	5.66	5.88	1.53	1.46
15.43	20.23	1.51	2.25	25.85	30.19	246.32	527.60	4.51	5.88	0.98	1.62
16.75	18.97	1.70	2.12	26.59	29.92	373.54	411.09	4.92	5.84	1.37	1.27
14.27	17.25	1.72	2.55	26.56	31.77	326.05	526.23	4.35	5.22	1.35	1.81
11.17	16.81	1.81	3.13	26.08	32.67	400.95	449.78	3.92	4.43	1.84	1.83
19.22	16.15	2.36	2.39	27.80	29.86	324.70	462.69	5.16	5.53	1.13	1.51
19.57	9.41	2.52	2.54	28.50	30.82	273.07	441.05	5.36	5.02	0.92	1.58
17.40	18.68	2.54	2.35	28.26	30.22	375.56	568.51	5.08	2.98	1.33	3.44
18.84	17.16	3.45	2.26	31.06	29.96	427.29	630.53	6.13	5.55	1.26	2.05
17.48	16.50	2.93	2.21	29.92	29.64	460.66	642.36	5.78	5.39	1.43	2.15
Promedio											
17.12a	16.43a	2.69a	2.26b	29.02a	30.11a	441.68a	489.04a	5.6a	5.0b	1.42a	1.82b

Medias con letra diferente en las columnas de la misma variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de t-student ( $P \leq 0.05$ ).

la profundidad del suelo de mayor actividad del sistema radicular de las plantas y se evita la evaporación del agua de la superficie del suelo (Romero *et al.*, 2004; Bhattarai *et al.*, 2005). Sin embargo, aunque los valores promedio diarios durante el tiempo del estudio (mayo a julio) de radiación neta (Rn) y temperatura del aire (Ta), fueron iguales en las dos localidades ( $P \leq 0.05$ ), que resultaron en valores iguales ( $P \leq 0.05$ ) del intercambio neto de CO<sub>2</sub> diurno (NEE); el déficit de presión de vapor

fue mayor ( $P \leq 0.05$ ) en la localidad de Mieleras, que resultó en una mayor tasa de evapotranspiración promedio diaria ( $P \leq 0.05$ ), por lo que hubo una menor eficiencia del uso del agua por los árboles de la huerta de Mieleras (Cuadro 1). Estudios previos (Freedman *et al.*, 2001; Wang *et al.*, 2007) muestran que la eficiencia intrínseca del uso del agua de las superficies vegetales es mayor a valores bajos de déficit de presión de vapor, ya que se reduce la tasa de evapotranspiración.

## CONCLUSIONES

- El efecto del déficit de presión de vapor en la eficiencia del uso del agua, fue mayor que el efecto del sistema de riego por goteo subsuperficial, comparado con el riego por aspersión. La eficiencia del uso del agua fue mayor en la huerta de Zaragoza (riego por aspersión) que en la huerta de Mieleras (riego por goteo subsuperficial). Esto se debió a un mayor déficit de presión de vapor en la localidad de Mieleras, que resultó en una mayor tasa de evapotranspiración y una menor eficiencia del uso del agua.
- El déficit de presión de vapor es la variable del clima que más efecto tiene en la eficiencia del uso del agua del nogal pecanero en una determinada localidad.

## LITERATURA CITADA

- Al-Omran, A. M., A. S. Sheta, A. M. Falatah, and A. R. Al-Harbi. 2005. Effect of drip irrigation on squash (*Cucurbita pepo*) yield and water-use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. *Agric. Water Manage.* 73: 43-55.
- Atkin, O. K. and M. G. Tjoelker. 2003. Thermal acclimation and the dynamic response of plant respiration to temperature. *TRENDS Plant Sci.* 8: 343-351.
- Baldocchi, D. 1994. A comparative study of mass and energy exchange rates over a closed C<sub>3</sub> (wheat) and an open C<sub>4</sub> (corn) crop: II. CO<sub>2</sub> exchange and water use efficiency. *Agric. For. Meteorol.* 67: 291-321.
- Bhattarai, S. P., A. D. Mchugh, D. J. Midmore, and G. Lotz. 2005. The response of cotton to subsurface drip and furrow irrigation in a vertisol. *Exp. Agric.* 42: 29-49.
- Blum, A. 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential -are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Aust. J. Agric. Res.* 56: 1159-1168.
- Bryla, D. R., T. J. Trout, and J. E. Ayars. 2003. Growth and production of young peach trees irrigated by furrow, microjet, surface drip, or subsurface drip systems. *HortScience* 38: 1112-1116.
- Burt, C. M. and S. W. Styles. 1999. Drip and micro irrigation for trees, vines and row crops. Design and management (with special sections on SDI). Irrigation Training and Research Center. California Polytechnic State University. San Luis Obispo, CA, USA.
- Chávez-Ramírez, E., G. González-Cervantes, M. A. Velásquez-Valle, M. C. Potisek-Talavera y H. Macías-Rodríguez. 2008. Relaciones entre el manejo del agua de riego, producción de nuez y crecimiento radial en nogal pecanero. *Producción Agrícola. Agrofaz* 8: 1-6.
- Foken, T. 2008. The energy balance closure problem: An overview. *Ecol. Applic.* 18: 1351-1367.
- Freedman, J. M., D. R. Firzjarrald, K. E. Moore, and R. K. Sakai. 2001. Boundary layer clouds and vegetation-atmosphere feedbacks. *J. Clim.* 14: 180-197.
- Godoy-Ávila, C., I. Reyes-Juarez y C. A. Torres-Estrada. 2004. Publicación (2). Fertirriego en cultivos anuales y perennes. Campo Experimental La Laguna. CIRNOC INIFAP. Matamoros, Coahuila, México.
- 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.
- Kuglitsch, F. G., M. Reichstein, C. Beer, A. Carrara, R. Ceulemans, A. Granier, I. A. Janssens, B. Koestner, A. Lindroth, D. Loustau, G. Matteucci, L. Montagnani, E. J. Moors, D. Papale, K. Pilegaard, S. Rambal, C. Rebmann, E. D. Schulze, G. Seufert, H. Verbeeck, T. Vesala, M. Aubinet, C. Bernhofer, T. Foken, T. Grünwald, B. Heinesch, W. Kutsch, T. Laurila, B. Longdoz, F. Miglietta, M. J. Sanz, and R. Valentini. 2008. Characterisation of ecosystem water-use efficiency of european forests from eddy covariance measurements. *Biogeosci. Discuss.* 5: 4481-4519.
- Liu, H. J. y Y. Kang. 2006. Effect of sprinkler irrigation on microclimate in the winter wheat field in the North China Plain. *Agric. Water Manage.* 84: 3-19.
- Martens, C., T. J. Shay, H. P. Mendlovitz, D. M. Mastross, S. S. Saleska, S. C. Wofsy, W. S. Woodward, M. C. Menton, J. M. S. De Moura, P. M. Crill, O. L. L. De Moraes, and R. L. Lima. 2004. Radon fluxes in tropical forest ecosystem of Brazilian Amazonia: night-time CO<sub>2</sub> net ecosystem exchange derived from radon and eddy covariance methods. *Global Change Biol.* 10: 618-629.
- Picon, C., A. Ferhi, and J. M. Guehl. 1997. Concentration and δ<sup>13</sup>C or leaf carbohydrates in relation to gas exchange in *Quercus robur* under elevated CO<sub>2</sub> and drought. *J. Exp. Bot.* 48: 1547-1556.
- Ramírez-Hernández, B. C and E. Pimienta-Barrios. 2003. Photosynthesis in Mexican plum [*spondias purpurea* L. (Anacardiaceae)]. *Rev. Chapingo Serie Hortic.* 9: 271-277.
- Romero, P., P. Botia, and F. García. 2004. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant Soil* 260: 169-181.
- Rossi, F., O. Facini, T. Georgiadis, and M. Nardino. 2007. Seasonal CO<sub>2</sub> fluxes and energy balance in a kiwifruit orchard. *Italian J. Agrometeorol.* 1: 44-56.
- SAGARPA-SIACON (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Sistema de Información Agroalimentario de Consulta). 2013. Informe de estadísticas a diciembre de 2013. México, D. F.
- SAGARPA-SIAP (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2009. Anuario estadístico de la producción agrícola. México, D. F.
- Tcherkez, G., S. Nogués, J. Bleton, G. Cornic, F. Badeck, and J. Ghashghaie, 2003. Metabolic origin of carbon isotope composition of leaf dark-respired CO<sub>2</sub> in French bean. *Plant Physiol.* 131: 237-244.
- Turnipseed, A. A., P. D. Blanken, D. E. Anderson, and R. K. Monson. 2002. Energy budget above a high-elevation subalpine forest in complex topography. *Agric. For. Meteorol.* 110: 177-201.

- Twine, T. E., W. P. Kustas, J. M. Norman, D. R. Cook, P. R. Hourser, T. P. Meyers, J. H. Prueger, P. J. Starks, and M. L. Wesley. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agric. For. Meteorol.* 103: 279-300.
- Wang, J., 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 vapour transfer. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 106: 85-100.
- Wilson, K., A. Goldstein, E. Falge, M. Aubinet, D. Baldocchi, P. Berbigier, C. Bernhofer, R. Ceulemans, H. Dolman, C. Field, A. Grelle, A. Ibrom., B. E. Law, A. Kowalski, T. Meyers, J. Moncrieff, R. Monson, W. Oechel, J. Tenhunen, S. Verma, and R. Valentini. 2002. Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agric. For. Meteorol.* 113: 223-243.
- Yang, X., F. Chen, F. Gong, and D. Song. 2000. Physiological and ecological characteristics of winter wheat under sprinkler irrigation condition. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.* 16: 35-37.
- Yu, G., X. Song, Q. Wang, Y. Liu, D. Guan, J. Yan, X. Sun, L. Zhang, and X. Wen. 2008. Water-use efficiency of forest ecosystems in eastern China and its relations to climatic variables. *New Phytol.* 177: 927-937.
- Zhao, F. H., G. R. Yu, S. G. Li, C. Y. Ren, X. M. Sun, N. Mi, J. Li, and Z. Ouyang. 2007. Canopy water use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Agric. Water Manage.* 93: 99-108.