

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE**



**Dinámica de los Flujos de Energía y de Bióxido de Carbono
Sobre una Huerta de Nogal Pacanero (*Carya Illinoensis* Koch.)
del Norte de Coahuila**

**Por:
Said Hernández Medina**

**TESIS
Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Enero de 2009**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Dinámica de los Flujos de Energía y de Bióxido de Carbono
Sobre una Huerta de Nogal Pacanero (*Carya Illinoensis* Koch.)
del Norte de Coahuila

POR:
SAID HERNÁNDEZ MEDINA

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador
como requisito parcial para obtener el título de:
Ingeniero Agrónomo en irrigación.

Aprobada

El presidente del jurado

Dr. Alejandro Zermeño González
Asesor Principal

Dr. Juan P. Munguía López
Asesor Externo

M.C. Oscar Lemus Ramírez
Sinodal

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"

Dr. Raúl Rodríguez García



Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Enero de 2009
Ingeniería

DEDICATORIA

A mis padres:

Albina Medina Marín y Martín Hernández Cruz

Este documento es el fruto de su incondicional apoyo y del gran esfuerzo que durante estos años han realizado en bien de mi superación.

Muchas Gracias.

*“No seas sabio en tu propia opinión; teme a
Jehová y apártate del mal”*

Proverbios 2:7

*“Porque Jehová da la sabiduría, y de su boca
viene el conocimiento y la inteligencia”*

Proverbios. 3:6

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la bendición de haberme dado la fortaleza física y espiritual para lograr un propósito más en la vida; y por el maravilloso regalo de vivir en mi corazón.

Al Centro de Investigación en Química Aplicada por permitir hacer mi trabajo de Tesis en uno de sus proyectos de Investigación, del Departamento de Plásticos en la Agricultura.

Al Fondo Mixto de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y Gobierno del Estado de Coahuila a través del Proyecto “Estimación del consumo de agua del cultivo de nogal en la región norte y laguna de Coahuila en base a los componentes del balance de energía” con clave COAH- 2006-C05- 62029.

Al Dr. Alejandro Zermeño González, por el tiempo dedicado a asesorarme en este trabajo, y por aquel que en cada clase y extra clase dispuso amablemente durante mi estancia en la universidad. En este mismo sentido al Dr. Juan P. Munguía López y al MC. Oscar Lemus Ramírez por la disposición de tiempo durante el proceso del proyecto y la evaluación.

A quienes debo la vida, el amor y el cariño; esto no hubiera sido posible sin su apoyo. Gracias papá, mamá y hermanos (Deysi y Misael).

A mí amada familia en la fe, de la CIEMAR “La Hermosa” y de la IB “Cordero de Dios”, por su apoyo moral y espiritual durante toda mi carrera.

A ti, mi amada princesa; por ser el aliento y las fuerzas, cuando mi mente y cuerpo ansiaban desistir.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Importancia económica y nutrimental del nogal pecanero (<i>Carya Illinoensis</i> Koch)	5
2.1.1 a) Características botánicas	5
2.1.2 b) Composición y usos	6
2.2 Superficie y rendimiento en México y en el mundo.....	8
2.2.1 a) Superficie y rendimiento en México	8
2.2.2 b) Superficie y rendimiento a nivel mundial	10
2.3 Demanda de agua por el nogal.....	10
2.4 Manejo agronómico del cultivo	12
2.4.1 a) Requerimientos edafoclimáticos	12
2.4.2 b) Irrigación.....	14
2.4.3 c) Poda	14
2.4.4 d) Nutrición y fertilización	14
2.4.5 e) Manejo de Plagas y Enfermedades.....	15
2.5 Flujos de masa y energía sobre superficies vegetales	16
2.6 Flujos eddy covariance sobre huertas de nogal pecanero	19
III. MATERIALES Y MÉTODOS	22
3.1 Ubicación y características del sitio experimental	22
3.2 Consideraciones teóricas	23
3.3 Instrumentación y medición	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29

4.1 Flujos de energía entre la superficie vegetal y la atmósfera	29
4.2 Flujos de bióxido de carbono entre la superficie vegetal y la atmósfera	32
4.3 Disipación de la radiación neta en los flujos de la superficie	34
V. CONCLUSIONES.....	36
VI. RESUMEN.....	37
VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	39

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 2.1 Diurnal energy budgets and CO ₂ flux of the pecan orchard for June 21–24, 2002. LE: latent heat flux, Rn: net solar radiation, G: soil heat flux, and H: sensible heat flux.....	20
Fig. 3.1 Torre donde se instalaron los sensores Eddy-Covariance en la huerta de nogal pecanero en Zaragoza Coahuila, agosto de 2007.....	26
Fig. 3.2 Orientación de los sensores del sistema Eddy-Covariance en la huerta de nogal pecanero en Zaragoza Coahuila.....	26
Fig. 4.1 Flujos de energía sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (<i>Carya Illinoensis</i> Koch) a diferentes horas del día, observados en el día del año 122, en Zaragoza, Coahuila, México.....	30
Fig. 4.2 Flujos de energía sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (<i>Carya Illinoensis</i> Koch) a diferentes horas del día, observados en el día del año 127, en Zaragoza, Coahuila, México.....	30
Fig. 4.3 Flujos de energía sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (<i>Carya Illinoensis</i> Koch) a diferentes horas del día, observados en el día del año 129, en Zaragoza, Coahuila, México.....	31
Fig. 4.4 Flujos de bióxido de carbono (CO ₂) sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (<i>Carya Illinoensis</i> Koch) a diferentes horas del día (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), observados en el día del año 122, en Zaragoza, Coahuila, México.....	33
Fig. 4.5 Flujos de bióxido de carbono (CO ₂) sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (<i>Carya Illinoensis</i> Koch) a diferentes horas del día (valores negativos representan asimilación y	

positivos liberación), observados en el día del año 127, en Zaragoza, Coahuila, México..... 33

Fig. 4.6 Flujos de bióxido de carbono (CO₂) sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch) a diferentes horas del día (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), observados en el día del año 129, en Zaragoza, Coahuila, México..... 34

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 2.1 Nutrientes en 100 gramos de nuez pecanera (USDA National Nutrient Database for Estándar Refernece, Release 15, august 2002).....	7
Cuadro 2.4.1 Efecto de la salinidad del extracto de saturación del suelo en el rendimiento del nogal pecanero.....	13
Cuadro 2.4.4 Referencia de extracción de nutrientes de nogal pecanero, modificado de la publicación original (Jones Benton Jr. 1999).....	15
Cuadro 3.3 Instrumentación Eddy-Covariance en la huerta del pecanero en Zaragoza Coahuila.....	27
Cuadro 4.1 Flujos integrados de flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente (LE), radiación neta (Rn), flujo de calor en del suelo (G), flujo de bióxido de carbono (CO ₂) y la relación entre el flujo de CO ₂ y la lámina evapotrasnpirada, observados durante los días evaluados a diferentes intervalos de hora del día.....	35
Cuadro 4.2 Relación de la los flujos de calor sensible (H), calor latente (LE) y calor en el suelo (G), con la radiación neta (Rn).....	35
Cuadro 4.3 Láminas de riego aplicadas durante el periodo evaluado.....	35

I. INTRODUCCIÓN

En México las zonas productoras de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch) se localizan en la parte Norte en los estados de Chihuahua, Coahuila, Sonora, Durango y Nuevo León. La superficie establecida con este cultivo es aproximadamente 78,500 hectáreas y su producción total fluctúa alrededor de las 79 mil toneladas anuales; lo que le permite ubicarse en el segundo lugar a nivel mundial en cuanto a producción, después de los Estados Unidos de América (SIACON en línea, 2007).

La producción de nogal pecanero en México, tiene un alto potencial de desarrollo, ya que la calidad del producto obtenido se encuentra dentro de los estándares internacionales, permitiendo exportar el producto a los Estados Unidos de América principalmente. El estado de Coahuila tiene un rendimiento promedio en la producción de nuez, de 1.3 toneladas por hectárea, siendo Parras de la Fuente, San Pedro, Saltillo y Zaragoza los principales municipios productores, con 3,222, 3,007, 1,025 y 755 toneladas respectivamente (SIAP en línea, 2007).

La nuez, ha adquirido gran importancia a nivel mundial en cuanto a su consumo. Los beneficios que aporta en la salud, han propiciado que forme parte de los alimentos funcionales más importantes para la salud (Ros, 2003). Es el segundo alimento más rico en elementos antioxidantes (Halvorsen et al., 2002). Además sus aceites tienen un alto nivel de insaturación superior al de otros aceites vegetales. Los aceites saturados provocan la formación de colesterol en la sangre, consumir nuez ayuda a evitar problemas del corazón. El contenido de proteína de la nuez es bueno y por el alto nivel de aceite y por su alto contenido de calorías es un alimento que proporciona buena cantidad de energía.

Otra importancia que el nogal adquiere es por su madera. En Europa se le conoce como “árbol de oro” y por su alta calidad se encuentra dentro de las maderas nobles más cotizadas a nivel mundial (Brison, 1992).

El manejo adecuado del agua en el nogal pecanero, es uno de los factores más importantes para lograr una alta eficiencia fotosintética de las hojas y en consecuencia una alta calidad y producción de nuez (Godoy y Torres, 2000). Las prácticas de riego son fundamentales para este cultivo; en nuestro país el 97% de la superficie cultivada se encuentra bajo riego por gravedad (Godoy y López, 2000). Con la finalidad de obtener una mayor eficiencia en el uso del agua, algunas huertas jóvenes han implementado otras alternativas de riego como micro aspersión y goteo. Debido a que el uso consuntivo de agua por el nogal pecanero es alto (1000 a 1300 mm anuales), y las zonas productoras son áridas, es necesario hacer más eficiente el uso del agua; aplicando la cantidad necesaria y en el tiempo propicio que el cultivo la requiere. Para ello, es necesario conocer la medida de la evapotranspiración (ET) en tiempo real. Desde el punto de vista energético, la ET del nogal pecanero, representada por el flujo de calor latente (LE) (Domingo et al., 2003), puede determinarse utilizando el sistema Eddy-Covariance, al igual que el flujo de calor sensible (H), la radiación neta (R_n), el flujo de calor en el suelo (G) y el flujo de bióxido de carbono en la canopy del cultivo (Wang et al., 2007; Sammis et al., 2004; Simmons L. J., et al., 2007).

En el Valle de la Mesilla, Nuevo México; se realizó una investigación utilizando el sistema Eddy-Covariance, con el objetivo de obtener un modelo simple, basado en las condiciones climatológicas locales para medir el uso eficiente del agua de los pecaneros regados por inundación. Por otro lado, al sur de Las Cruces, Nuevo México; también se desarrolló una investigación utilizando el sistema Eddy-Covariance, enfocando las mediciones en obtener los coeficientes de cultivo (K_c) para los nogales de la región, encaminados a lograr un buen uso eficiente del agua (Wang et al., 2007; Sammis et al., 2004).

Actualmente, debido a las múltiples emisiones de CO₂ a la atmósfera hechas por el hombre, se ha generado el fenómeno conocido como calentamiento global. Las altas concentraciones de CO₂ y otros gases en la atmósfera propician que se genere el efecto invernadero. Mitigar el calentamiento global implica frenar el incremento de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Esto se puede lograr reduciendo la emisión de estos gases, entre los cuales el CO₂ es uno de los principales, pero también con acciones dirigidas a incrementar la fijación del CO₂ ya emitido. En este sentido, las huertas de nogal se pueden ver como sumideros de CO₂. Wang et al., 2007, midieron tasas de asimilación de bióxido de carbono de hasta 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que la tasa promedio de liberación nocturna no fue mayor de 10 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Además de contribuir a la restauración del medio ambiente, la inversión en este cultivo es altamente redituable a largo plazo por la comercialización de la nuez y de la madera.

OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue analizar la dinámica de los flujos de energía y de bióxido de carbono sobre una huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis Koch*); y la eficiencia fotosintética de la huerta al uso del agua, en el Norte de Coahuila,

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia económica y nutrimental del nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch)

2.1.1 a) Características botánicas

La nuez pecanera es originaria del Norte de México y sureste de los Estados Unidos de América. Los colonizadores españoles llamaron “Nogal” al árbol pecanero y a su fruto la “pecana” le llamaron “nuez” (Brison, 1992).

Pertenece a la familia: **Juglandaceae** y su nombre científico es: *Carya Illinoensis* Koch (Brison, 1992).

El árbol de nogal pecanero, es un árbol caducifolio, vigoroso de gran porte que puede llegar a medir de 15 a 20 metros de altura (Núñez, 2001a). Posee una **raíz** principal pivotante, la profundidad que esta alcance, depende de la profundidad del manto freático (Herrera, 1996); aunque su principal fuente de humedad y nutrientes los recibe de las extensas ramificaciones laterales en el estrato de 0 a 90 cm (Brison, 1992; Godoy, 2000). Su **tallo** es leñoso y dependiendo la variedad y la edad del árbol, este produce una corteza corchosa o agrietada; las **hojas** son compuestas, tienen un eje central con 11 a 15 foliolos lanceolados y aserrados.

El nogal es una especie monoica, la **flor** masculina se le denomina amento, tiene forma cilíndrica y mide de 8 a 10 cm; por otro lado, las flores femeninas o pistiladas, aparecen como inflorescencia terminales en los brotes jóvenes del año en curso. La nuez, el **fruto** del nogal, es una drupa que consta de pericarpio, mesocarpio, endocarpio y semilla; pueden medir de 2 a 6 cm de largo y pesan de 4 a 12 gramos cada una. La semilla presenta dos cotiledones

separados por un tabique central los cuales provienen de los carpelos florales (Núñez, 2001a).

2.1.2 b) Composición y usos

La nuez, ha adquirido gran importancia a nivel mundial en cuanto a su consumo. Los beneficios que aporta en la salud, han propiciado que forme parte de los alimentos funcionales más importantes para la salud (Ros, 2003). Es el segundo alimento más rico en elementos antioxidantes (Halvorsen et al., 2002). Además posee otras características significativas para la salud, como disminuir los niveles de colesterol total y colesterol LDL, y mejorar de manera más marcada el perfil lipídico (Sabate et al., 1993).

El Lyon Diet Heart Study ofrece datos interesantes sobre el tema, resultados muestran una disminución de entre un 50 a 70% de riesgo de muerte por enfermedad cardiovascular, siendo esta según la OMS, la principal causa de muerte en el mundo.

En el cuadro 2.1 se muestra su alto valor nutritivo, donde se señala que es una importante fuente de lípidos, proteínas e hidratos de carbono. Además aporta al organismo una gran cantidad de calorías.

Cuadro 2.1 Nutrientes en 100 gramos de nuez pecanera (USDA National Nutrient Database for Estándar Refernece, Release 15, august 2002).

Nutriente	Unidad	Valor cada 100 gramos
Calorías	Kcal	690
Proteínas	g	9
Grasas totales	g	72
Grasas saturadas	g	6
Grasas mono insaturadas	g	41
Grasas poli insaturadas	g	22
Ácido linoleico	g	21
Ácido linolenico	g	1
Colesterol	mg	0
Carbohidratos	g	14
Fibra	g	10
Calcio	mg	70
Hierro	mg	2.53
Magnesio	mg	121
Fósforo	mg	277
Potasio	mg	410
Sodio	mg	0
Zinc	mg	4.53
Cobre	mg	1.20
Manganeso	mg	4.50
Selenio	mcg	6
Vitamina C	mg	1.10
Tiamina	mg	0.66
Riboflavina	mg	0.13
Niacina	mg	1.17
Ácido pantoténico	mg	0.86
Vitamina B6	mg	0.21
Folatos	mcg	22
Vitamina B12	mcg	0
Vitamina A	IU	77
Vitamina E	mg ATE	4.05
Tocoferol, alfa	mg	1.40
Tocoferol, beta	mg	0.39
Tocoferol, gamma	mg	24.44
Tocoferol, delta	mg	0.47
Fitosteroles totales	mg	102
Estigmasterol	mg	3
Campesterol	mg	5
Beta-sitosterol	mg	89

Aunque la importancia del nogal radica principalmente en su fruto, por las aportaciones benéficas asociadas con la salud, también se destaca su alto contenido de grasa que supera el 60% de su peso; debido a ello, adquiere otra

importancia económica para quienes extraen el aceite; tradicionalmente se produce en las regiones francesas de Perigord y Burgundy (Parra, 2008).

Del epicarpio y mesocarpio (ruezno), se obtiene un colorante denominado “nogalina”, es un aceite que se utiliza como base de distintos colorantes y tintes. Sirve para teñir muebles (Parra, 2008). Por otro lado, estas dos capas externas del fruto, junto con las hojas, contienen abundantes taninos que le confieren una propiedad fuertemente astringente; así como también, derivados quinónicos, de donde la “glucona” es la más importante. Esta sustancia es amarga lo que le permite tener propiedades antisépticas, cicatrizantes, tonificantes, vermífugas e hipoglucemiantes (Pamplona, 2006).

Otra importancia que el nogal adquiere es por su madera. Ya que está, toma tonalidades marrones veteadas de negro según el árbol va envejeciendo; estas características le dan un alto valor a la madera, pero esto se consigue hasta los 60 a 80 años de vida del árbol (Luna, 1990). En Europa se le conoce como “árbol de oro” y por su alta calidad se encuentra dentro de las maderas nobles más cotizadas a nivel mundial. La Bolsa de Chicago reporta referente a las maderas nobles, que han sido la materia prima con mayor revaloración en los últimos 25 años, por arriba de un 2% con respecto a otros materiales.

2.2 Superficie y rendimiento en México y en el mundo

2.2.1 a) Superficie y rendimiento en México

Según Brison (1992), la primera plantación de nogal pecanero en México se estableció en el estado de Nuevo León en el año de 1904. La Comisión Nacional de Fruticultura, reportó en 1980 la existencia de 48 mil hectáreas plantadas de nogal. Para 1996 había 59,695 hectáreas de nogal pecanero plantadas en México; para 1999 había un total de 60,335 hectáreas y

actualmente existen 78,516 hectáreas sembradas en la república mexicana, de las cuales 47,367 corresponden al estado de Chihuahua que representan el 60% de la superficie nacional; 13,261 a Coahuila, 7,360 a Sonora, 4,291 a Durango y 3,989 a Nuevo León; con porcentajes de 18, 9.4, 5.5 y 5.1% respectivamente de la superficie nacional sembrada (SIACON en línea, 2007). En menor escala de superficie sembrada están Hidalgo, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Oaxaca, Baja California Norte, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Tamaulipas y Zacatecas.

La producción nacional hasta el 2007 se distribuyó de la siguiente manera: Chihuahua con 44,463.57 Toneladas, para Coahuila fueron 13,260.95, Sonora, Durango y Nuevo León, obtuvieron 8,856.5, 5,425.16 y 2,436.27 respectivamente del total de la producción nacional para este año que fue de 79,161.55 toneladas (SIACON en línea, 2007).

La producción de nogal pecanero en México, tiene un alto potencial de desarrollo; la calidad del producto obtenido se encuentra dentro de los estándares internacionales. Los rendimientos promedio de producción de nuez pecanera, son de 2000 kg ha⁻¹; en México este valor ha venido fluctuando a través de los años en un 30 a 40%, gracias al desarrollo de tecnología adecuada para el manejo de los insumos y conservación de la densidad de plantación de 70 a 100 árboles por hectárea. Los principales estados productores anteriormente mencionados, actualmente tienen un rendimiento promedio de 1.4 toneladas por hectárea (SIACON en línea, 2007).

En el estado de Coahuila, los principales municipios productores de nuez son: Parras de la Fuente, San Pedro, Saltillo y Zaragoza; con 3,222, 3,007, 1,025 y 755 toneladas cosechadas respectivamente. Obteniendo un rendimiento de 1.65, 1.55, 1.56 y 0.6 toneladas por hectárea respectivamente (SIAP en Línea 2007).

2.2.2 b) Superficie y rendimiento a nivel mundial

Los Estados Unidos de América es el país productor de nuez más grande del mundo (Herrera y Clevenger, 1996). En el 2007 aportó el 36.1% de la producción mundial, seguido de México, quien participó con el 29.4% de las 326,812 toneladas producidas a nivel mundial; y en tercer lugar Australia produjo el 11.6%. (ProdSTAT en línea, 2008). El rendimiento promedio a nivel internacional es de 2 toneladas por hectárea según la misma fuente.

La superficie total cosechada de nogal pecanero en el mundo es de 178,681 Has, donde los Estados Unidos de América, México y Australia tienen el 33.6%, 31.9%, y 8.4% respectivamente. (ProdSTAT en línea, 2007).

2.3 Demanda de agua por el nogal

Es necesario disponer de agua de buena calidad y en suficiente cantidad para establecer una huerta de nogal pecanero (Herrera, 1996); debido a que, las deficiencias de agua durante todo el desarrollo del cultivo, afectan el rendimiento, desarrollo y calidad de la nuez (Valdez, 2001).

El agua es el principal factor de manejo que permite alcanzar una alta eficiencia fotosintética de las hojas y en consecuencia una alta calidad y producción de nuez (Godoy y Torres, 2000).

La falta de agua afecta algunas etapas fenológicas importantes como son: la elongación del fruto, que ocurre durante los meses de abril y mayo; la expansión, desde principios de julio a principios de agosto; produciendo nueces pequeñas (Godoy y Torres, 2000).

Por otro lado, el suministro de agua es fundamental durante el llenado de la almendra, si ésta es insuficiente, se presentará germinación y falta de llenado

de la nuez. En un estudio realizado en la Comarca Lagunera, Godoy y López (2000), detectaron que el 100% de las huertas de nogal pecanero tenían problemas de llenado de fruto y en el 68% se presenta germinación en un 15%. La causa de estos problemas quedó claramente identificada por la deficiencia en el suministro de agua durante el llenado de la almendra que corresponde a los meses de agosto y parte de septiembre.

Respecto a lo anterior, se demostró, que aplicar 3 ó 4 riegos durante la etapa de llenado de la almendra, se obtienen nueces de buen peso y buena calidad; así como también, disminuye la germinación de las nueces y promueve la apertura normal del ruezno (Godoy y López, 2000).

Godoy et al. (2000), cita a Avalos, 1994; Ávila, 1991; Godoy, 1996, Godoy, 1994; Godoy, 1987; Reyes, 1989 y Villalobos, 1990, quienes en sus estudios realizados, han determinado que desde la brotación hasta el inicio del estado acuoso, los nogales usan alrededor del 50% de agua evaporada en el tanque evaporímetro clase "A"; del inicio del estado acuoso hasta el fin de este e inicio en el endurecimiento de la cáscara, los nogales usan el 70% del agua evaporada y del inicio del endurecimiento de la cáscara, hasta el fin del llenado de la almendra, los nogales usan del 80 al 90% del agua evaporada.

También menciona que en el periodo de mayor crecimiento del brote y expansión de las hojas, el consumo de agua se incrementa de manera significativa y se considera que el contenido de humedad en el suelo no debe descender más allá del 50% de la humedad aprovechable para no afectar estos eventos. De igual forma se debe considerar el mismo contenido de humedad durante los primeros 35 días del periodo de receptividad del estigma para evitar el aborto de frutos.

Estudios realizados, demuestran que el uso consuntivo de agua por el nogal, se encuentra en un rango de 1000 a 1300 mm año⁻¹ (Bustamante, 1978 y Miyamoto, 1983).

Según Valdez (2001), el nogal pecanero, requiere de 7500 litros para producir un kilogramo de nuez; también se aplica un riego de pre brotación y uno de pos cosecha, en este periodo se requieren de 50 litros árbol⁻¹ día⁻¹. Los nogales en plena producción consumen de 120 a 135 litros árbol⁻¹ día⁻¹, sin embargo, un nogal adulto con el 70% de cobertura puede transpirar hasta 680 litros día⁻¹ durante el verano.

2.4 Manejo agronómico del cultivo

El establecimiento de un huerto de nogal pecanero puede llevar a cabo un periodo de siete u ocho año, y se consideran amortizaciones a partir del octavo o noveno año; y pagar completamente la inversión hasta el doceavo. Por lo que es necesario tener una buena planeación para evitar errores durante esta etapa. En principio se deben considerar las condiciones climáticas y de suelo, así como el abastecimiento de agua. Posteriormente seleccionar las variedades y las plantas más adecuadas y sanas (Núñez, 2001b).

2.4.1 a) Requerimientos edafoclimáticos

Los árboles de nogal necesitan de un periodo de 205 a 233 días libres de heladas para que las nueces se produzcan y alcancen a madurar (Herrera y Clevenger, 1996), las temperaturas medias óptimas durante el verano van de los 25 a 30 °C, y de 7.2 a 12.3 °C en los meses más fríos; para romper el periodo de reposo se requieren de entre 400 y 800 horas frío para iniciar la brotación (Medina y Cano, 2002).

La humedad relativa alta favorece las enfermedades que atacan principalmente las flores, los tallos jóvenes, las hojas y la madera expuesta de los nogales; así como también, limita la polinización efectiva (Brison, 1992).

El tipo de suelo que el nogal requiere, debe ser profundo, es decir, mayor de 2 metros de profundidad; con buen drenaje y de textura media ya sea franca o franco arenosa, que le proporcione una buena aireación, retención de humedad y nutrientes y resistencia al desarrollo de las raíces. Los suelos compactos, traen efectos negativos en el transporte de agua, difusión de gases y limitan el espacio de exploración radicular (González et al. 2000).

Estos suelos no deben tener más de 2 mmhos cm^{-1} de CE y no presentar más de 10 meq de sodio por litro (Núñez, 2001c). En cuanto a la salinidad, el nogal es altamente sensible, según van aumentando los niveles de salinidad, se disminuyen las cosechas (Cuadro 2.4.1).

Cuadro 2.4.1. Efecto de la salinidad del extracto de saturación del suelo en el rendimiento del nogal pecanero.

<i>Conductividad eléctrica en extracto de saturación del suelo (mmhos cm^{-1})</i>	<i>Disminución de la cosecha (%)</i>
2.3	10
3.3	30
4.3	50
5.3	70
6.6	90

El rango de pH para el nogal pecanero es de 6 a 7.5 (Brison, 1992).

La preparación del suelo para el cultivo de nogal, comprende las labores de: roturación mediante subsoleo, cruza, barbecho profundo y rastreo, así como nivelación para el trazo de riego cuando éste sea por gravedad (Arreola y Lagarda, 2002).

2.4.2 b) Irrigación

El desarrollo de la planta, el rendimiento y la calidad tienen mucho que ver con el abastecimiento de agua, por lo que es necesario asegurarse de suministrar dicho recurso durante las etapas de mayor demanda y los periodos críticos del cultivo. Otro aspecto importante en este sentido es la calidad del agua, se recomienda utilizar aguas con menos de 640 ppm de sales solubles y con una Relación de Adsorción de Sodio (RAS) menor de 3 (Núñez, 2001c).

Las prácticas de riego son fundamentales para este cultivo y en nuestro país el 97% de la superficie cultivada se encuentra bajo riego por gravedad (Godoy y López, 2000), sin embargo, debido a la necesidad de eficientar el uso del agua, los riegos presurizados se han implementado en huertas jóvenes (Valdez, 2001). Estas técnicas también permiten la aplicación de agroquímicos, principalmente de fertilizantes (Valdez, 2001).

En un trabajo de investigación, Mendoza et al. (2005), observaron que el patrón de humedecimiento con micro aspersion, correspondiente a 47 y 58 m², es el más eficiente ya que mantiene un equilibrio entre la disponibilidad de humedad y la mayor concentración de raíces.

2.4.3 c) Poda

La poda en el nogal, tiene como propósito, mantener la relación entre la fructificación y el crecimiento vegetativo para obtener los mejores rendimientos; propiciando la mayor penetración de la luz dentro del huerto, y logrando la formación estructural del árbol, para facilitar las labores culturales con maquinaria (Núñez, 2001d).

2.4.4 d) Nutrición y fertilización

Un nogal bien nutrido, tiene menos posibilidades de abortar sus frutos, se ser atacado por plagas y enfermedades, de padecer los efectos negativos debido a sequias, heladas, podas, y sobre todo, mantienen sus reservas nutritivas para arrancar de manera más vigoroso los ciclos de producción (Molina y Araiza. 2005).

Cuadro 2.4.4. Referencia de extracción de nutrientes de nogal pecanero, modificado de la publicación original (Jones Benton Jr. 1999).

Elemento	Kg Ha ⁻¹ año ⁻¹	Producto comercial	Kg Ha ⁻¹ año ⁻¹
Nitrógeno	196	Sulfato de amonio	960.53
Fósforo	81	MAP	155.76
Potasio	196	Sulfato de potasio	392
Calcio	122	Sulfato de calcio	381.23
Magnesio	23	Sulfato de magnesio	150
Hierro	0.800	Sulfato ferroso	4
Manganeso	2.250	Sulfato de manganeso	9
Zinc	0.826	Sulfato de zinc	2.4
Cobre	0.236	Sulfato de cobre	0.93
Boro	0.120	Tetraborato de sodio	1

2.4.5 e) Manejo de Plagas y Enfermedades

Las plagas son uno de los factores limitantes en la productividad del nogal. Naba y Morales (2005), muestran el complejo de plagas de las principales regiones productoras de nuestro país. El gusano barrenador de la nuez GBN (*Acrobasis nuxvorella*), gusano barrenador del ruezno GBR (*Cydia caryana*), el barrenador ambrosial de la madera BAM (*Euplatypus segnis*), el pulgón amarillo (*Monelliopsis pecanis*), el pulgón negro (*Melanocallis caryaefoliae*), y las chinches (*Nezara viridula* y *Euchistus servus*).

El GBN es la plaga del nogal más ampliamente distribuida en el Norte de México y sur de Estados Unidos (Nava y Fu, 2007). Las larvas se alimentan de las yemas para completar su desarrollo, después barrenan los brotes en desarrollo provocando que se sequen y se caigan. Una sola larva puede destruir un racimo completo, cuando las nueces crecen, una sola es suficiente para completar el desarrollo de la larva (Nava y Ramírez, 2002)

La larva del GBR hace túneles en el ruezno, interrumpiendo el flujo de agua y nutrientes que impiden el desarrollo normal de la almendra, además produce cicatrices en las nueces reduciendo la calidad de las mismas. Los rueznos dañados, se adhieren a la cascara dificultando la cosecha (Núñez y Martínez, 2001).

El pulgón amarillo succiona savia de las hojas y excreta una mielecilla que favorece el desarrollo de la fugamina; por otro lado el pulgón negro también succiona la savia de las hojas pero este provoca áreas cloróticas alrededor del sitio de alimentación las que posteriormente se necrosan causando defoliaciones severas y prematuras (Fu et al 2007).

El efecto general de los pulgones es una reducción en el área foliar fotosintética, a través de la defoliación, reducción del tamaño de las hojas, del contenido de clorofila y de la captación de luz (Nava y Ramírez, 2002).

Las chinches dañan las nueces por punción, esto ocasiona que se formen manchas oscuras en la almendra y da un sabor desagradable (Nava y Ramírez, 2002). Tarango et al. (2005), mostraron que los daños a las nueces ocasionados por chinches, inician desde la fase de llenado de fruto hasta la apertura del ruezno; por lo que sugieren como periodo crítico de protección, desde el inicio del llenado de la almendra hasta la recolección de la nuez.

2.5 Flujos de masa y energía sobre superficies vegetales

En una superficie vegetal, la incidencia de la radiación neta (R_n) provoca evapotranspiración, calentamiento del aire y del suelo, a través del flujo de calor latente (LE), calor sensible (H), y calor en la superficie del suelo (G) respectivamente. H representa tanto el calor que es emitido desde las superficies al aire por conducción y convección (Domingo et al., 2003).

Varias investigaciones se han realizado para determinar los flujos de masa y energía (R_n , G , H , LE) sobre distintas superficies vegetales, utilizando el enfoque meteorológico del balance de energía. Este método utilizado para medir la evapotranspiración real (flujo de calor latente) de diversas superficies vegetales; se aplica a superficies extensas y consiste en medir los flujos de energía y masa sobre una superficie vegetal (Jiyane y Zermeño-González, 2003). Los valores de S y PH generalmente no se consideran, debido a que su valor es muy pequeño comparado con el resto de los flujos del balance de energía.

En las cubiertas vegetales, las transferencias de masa y energía son afectadas por su composición específica, la arquitectura de los mismos, el momento temporal considerado y la posición de la cubierta (Gómez, 2004).

Montemayor et al (2006), demostraron que la penetración de la radiación solar en el dosel del maíz (*Zea mays*), es afectada por la densidad de población y la orientación de las hojas; en su experimento, colocaron una malla agrícola de un metro de ancho a ambos lados del surco, para favorecer la penetración de la radiación a los estratos inferiores y mantener una posición más vertical de las hojas, manifestándose en una mayor altura de la planta, diámetro y peso del elote.

En un estudio realizado por Munguia et al. (2004), ubicaron sensores Eddy-Covariance para medir la dinámica de los flujos de calor latente (LE), calor sensible (H), calor en el suelo (G), radiación neta (R_n) y resistencia estomática (R_s), en el cultivo de melón (*Cucumis melo*) con acolchado plástico y sin acolchado. Los resultados muestran que las características de la película de polietileno negro afectaron el balance de radiación de onda corta y larga, incrementando ligeramente la radiación neta (R_n) sobre el cultivo con acolchado; también se observó que hubo una mayor resistencia estomática (R_s)

en la sección con acolchado. Por otro lado, el flujo de calor latente (LE) también se vio modificado por la presencia de la película plástica, pues fue mayor en la sección sin acolchar y en las primeras etapas de desarrollo del cultivo; sin embargo, se observó que el flujo de calor latente (LE) fue mayor en la sección acolchada cuando el cultivo llegó a su máximo desarrollo de área foliar. Martínez (1997) y Wang et al (2007), reportaron resultados similares y establece que el flujo de calor latente (LE) se incrementa a través del ciclo del cultivo, conforme aumenta el área foliar y existe mayor área de transpiración de las plantas.

García (2007), evaluó la asimilación de CO₂ en el cultivo de chile morrón (*Capsicum annuum* L) con acolchado plástico negro y concluyó que las tasas de asimilación de CO₂ también fueron afectadas directamente por el desarrollo foliar del cultivo, ya que los mayores flujos de CO₂ integrados de la superficie se observaron cuando el cultivo alcanzó su desarrollo foliar máximo.

El balance de energía se vuelve extremadamente complejo cuando la superficie vegetal tiene algún elemento de heterogeneidad como por ejemplo cuando la vegetación es dispersa (Domingo et al., 2003), que es el caso de las huertas de diversos cultivos como el del nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch).

El efecto que tienen los doseles vegetales sobre el comportamiento micro climático de una localización, incide en los dos elementos básicos del balance energético: el balance de radiación neta (Rn), dado que cualquier cuerpo opaco que se sitúa en el camino de los flujos de radiación proyecta una sombra que modifica drásticamente la energía radiante recibida en el área ensombrecida, esto provoca una mayor complejidad en los patrones de comportamiento de la Rn; así también, el reparto energético asociado al balance de radiación neta se ve alterado, considerándose como principales efectos: la deflexión mecánica del viento, la creación de un juego de ensombramientos-manchas de luz, el

aumento sensible de la humedad atmosférica, la disminución de los flujos de calor en el suelo, y el incremento de los flujos metabólicos, tanto de asimilación como consumo (Gómez, 2004).

Garatuza et al. (2001), construyeron una torre a 10 m de altura en un bosque de Mesquite (*Prosopis sp.*) y la instrumentaron con sensores micro meteorológicos para medir los componentes del balance de energía (Rn, G, H, LE). Los datos fueron analizados en función de un modelo de resistencia superficial, invirtiendo la ecuación de Penman-Monteith, en función de variables ambientales y el índice de área foliar. Los resultados muestran que el mezquite tiene un consumo diario de 1.75 mm día^{-1} de transpiración, cantidad que extrae directamente del acuífero. Los parámetros del modelo de resistencia superficial fueron optimizados para ajustarse a las mediciones de evapotranspiración con buenos resultados.

En otro estudio realizado por Spano et al. (2005), utilizaron la técnica Eddy Covariance (EC) y de Renovación Superficial (SR) para medir los componentes del balance de energía y flujos de CO_2 en la canopy de un viñedo (*Vitis vinífera L.*); los datos de H y LE fueron mejores con la técnica SR, sin embargo en la medición del flujo de CO_2 , la técnica EC resultó mucho mejor.

2.6 Flujos eddy covariance sobre huertas de nogal pecanero

En el nogal pecanero, el método Eddy Covariance ha sido utilizado por algunos investigadores (Wang et al., 2007; Sammis et al., 2004; Simmons L. J., et al., 2007) para medir los componentes del balance de energía, enfocados en lograr un uso eficiente del agua en los pecaneros.

Wang et al. (2007), en su estudio realizado en el Valle de la Mesilla, Nuevo México; construyó e instrumentó una torre con sensores micrometeorológicos para medir los componentes de la ecuación del balance de

energía sin considerar los términos menores (S y PH), y desarrolló un modelo simple en función de las variables climáticas locales para estimar el uso eficiente del agua mensual de la huerta regada por inundación. En el experimento, los sensores estuvieron ubicados en la torre a 16.5 m de altura a excepción de los platos de flujo calor que fueron enterrados a 0.1 m de profundidad. También midieron la asimilación y liberación del bióxido de carbono, graficando tasas de hasta $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de CO_2 asimilado, y una tasa promedio de CO_2 liberado no mayor de $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 2.1).

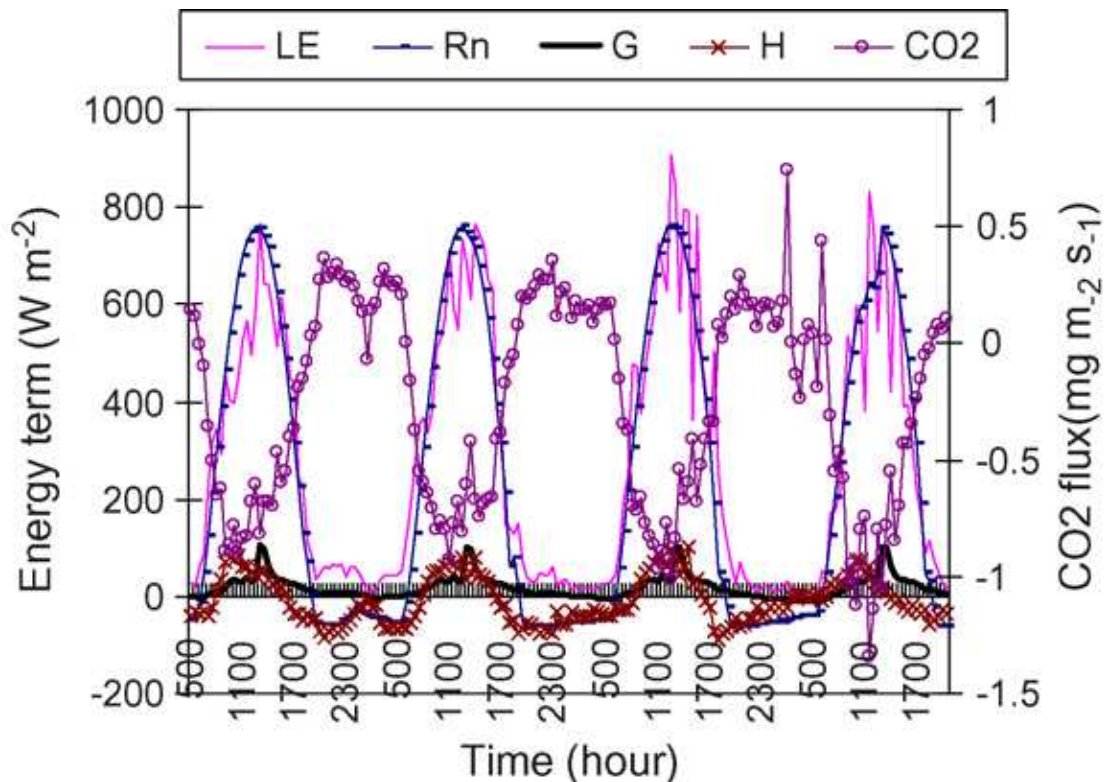


Figura 2.1 Diurnal energy budgets and CO_2 flux of the pecan orchard for June 21–24, 2002. LE: latent heat flux, Rn: net solar radiation, G: soil heat flux, and H: sensible heat flux.

Por otro lado Sammis et al. (2004), al sur de Las Cruces, Nuevo México; instaló dos sistemas One-Propeller Eddy-Covariance (OPEC) en una torre a 16.5 m y de la misma forma midió los componentes del balance de energía

mayores para determinar la evapotranspiración (ET) de la huerta y determinar los coeficientes del cultivo. El valor promedio diario de evapotranspiración (LE) fue de 8 mm; mientras que los coeficientes del cultivo (K_c) estuvieron en el rango de 0.2 a 1.1.

De igual forma, en un experimento realizado en el Valle de la Mesilla (Nuevo México), Simmons et al. (2007), instaló un sistema OPEC en una huerta de nogal pecanero, con el objetivo de comparar los resultados del sistema con los de otro sistema Eddy-Covariance Sónico (SEC) ya que este último, la instrumentación es muy costosa y complicada. En los resultados, cuando el flujo de calor sensible (H) fue positivo, hubo subestimaciones en un 13% y cuando el flujo de calor sensible (H) fue negativo, las subestimaciones fueron de 124%; mientras que en los valores del flujo de calor latente (LE), las subestimaciones fueron del 8%.

Wang et al. (2007), también utilizaron los dos sistemas OPEC y SEC para medir ET_c y así calcular el K_c de las huertas con doseles abiertos, de acuerdo al tamaño del árbol y el espaciamiento (cubierta de copa efectiva, ECC). Los resultados permitieron obtener una relación de regresión que fue estadísticamente significativa y coherente con datos de literatura.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación y características del sitio experimental

El trabajo experimental se realizó en la huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch.), las tres Marías en el municipio de Zaragoza al Norte de Coahuila, ubicado a 409 km de Saltillo. Las coordenadas geográficas del sitio son: 28° 28' 31" de latitud Norte, 100° 55' 10" de longitud Oeste a una elevación de 360 m.

La huerta donde se realizó el estudio es de 40 has y los árboles tenían una edad de 28 años, una altura promedio de 12 m y una plantación de 15 m X 15 m en marco real .

La huerta estuvo irrigada por un sistema de riego por aspersión a intervalos variados, con una frecuencia promedio de 9 días, aplicando una lámina promedio de 37 mm.

El clima de la región es de tipo seco semicálido, con una temperatura media anual de 23.0 °C. La precipitación es media anual se encuentra en el rango de 300 a 500 mm anuales. Los vientos predominantes son de dirección SE y velocidad promedio de 15.0 km h⁻¹.

3.2 Consideraciones teóricas

La ecuación del balance de energía sobre una cubierta vegetal, se define como:

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

Donde R_n es la radiación neta, G es el flujo de calor en el suelo, H es el flujo de calor sensible, LE es el flujo de calor latente, S es la energía almacenada o liberada por los cambios de temperatura en la capa (aire y vegetación) y PH es la energía utilizada en el proceso de la fotosíntesis, todos dados en $W m^{-2}$. R_n , G , H y LE se consideran como los términos mayores del balance energético, mientras que S y PH son los menores y generalmente son despreciados debido a sus valores pequeños en comparación con los otros términos.

En este experimento fueron considerados los términos S y PH para obtener el balance de energía sobre la superficie vegetal. PH fue medida directamente y S se calculó por medio de la siguiente expresión.

$$S = S_a + S_v + S_q \quad (2)$$

Dónde S_a es la energía almacenada o liberada por los cambios de temperatura en el aire, S_v es la energía almacenada o liberada por los cambios de temperatura en la vegetación y S_q es la energía almacenada o liberada por cambios en la humedad específica del aire, utilizando las siguientes relaciones.

$$S_a = \rho a C_p \frac{dT}{dt} \Delta z \quad (3)$$

Donde ρ_a es la densidad del aire, C_p es la capacidad calorífica del aire, dT/dt es el cambio de temperatura del aire con respecto al tiempo en el segmento de tiempo considerado (30 min) y Δz es la altura de la capa de aire donde crece la vegetación.

$$S_v = M_{wv} C_w \frac{dT_{leaves}}{dt} \quad (4)$$

Donde M_{wv} es la contenido de agua en la capa vegetal (kg m^{-2}), C_w es la capacidad calorífica del agua, dT_{leaves} es el incremento en la temperatura de las hojas ($^{\circ}\text{C}$) y dt es el incremento en el tiempo (s).

$$S_q = \rho_a \lambda \frac{dq}{dt} \Delta z \quad (5)$$

Donde ρ_a es la densidad del aire, λ es el calor de vaporización del agua, dq es el incremento en la humedad del aire, dt es el incremento en el tiempo (s) y Δz es el espesor de la capa de aire (m),

Los términos de la ecuación del balance de energía, son obtenidos mediante mediciones de los sensores del Sistema Eddy-Covariance. En este método, el flujo vertical de una entidad transportada en un determinado punto se obtiene correlacionando las fluctuaciones de la concentración de esa entidad con las fluctuaciones en la velocidad vertical del viento. Por ejemplo, los flujos de calor sensible (H), calor latente (LE) y bióxido de carbono (F_{CO_2}) sobre una superficie vegetal horizontal están dados por:

$$H = \rho C_p \overline{w' T'} \quad (7)$$

$$LE = \lambda \rho \overline{w' q'} \quad (8)$$

$$FCO_2 = \overline{w' \rho CO_2'} \quad (9)$$

Donde w es la velocidad vertical del viento, T es la temperatura del aire ($^{\circ}C$), ρ es la densidad del aire, C_p es la capacidad calorífica del aire a presión constante, λ es el calor de vaporización del agua, ρ_{CO_2} es la densidad del CO_2 ($mg\ m^{-3}$), las barras horizontales superiores indican un promedio en un intervalo de tiempo y las primas denotan desviaciones de la media.

3.3 Instrumentación y medición

Una torre de 14 m de altura fue construida en el centro del huerto e instrumentada con sensores micrometeorológicos (figura 3.1) para realizar las mediciones correspondientes. El cuadro 3.3 lista información de los sensores, incluyendo la marca, cantidad instalada, variables de medición así como también la unidad de medida.

Los sensores fueron orientados al sureste (figura 3.2), con la finalidad de obtener el mayor fetch posible y tener datos confiables del área bajo estudio

La velocidad vertical del viento fue medida con anemómetro sónico tridimensional (CSAT3, Campbell Scientific, Inc) en promedios de 30 minutos; el sensor se instaló a 14 m de la superficie del suelo para posicionarse sobre el dosel de los árboles. A esta misma altura se instalaron el Open Path (LI-7500, LI-COR), el Net Radiometer (Q7.1, Campbell Scientific, Inc), el anemómetro de copa (RM Young), la veleta (RM Young), el Pyranómetro (Apogge-Inst) y el

Higrotermómetro (Vaisala); censando y promediando al mismo periodo que el anemómetro sónico tridimensional.



Figura 3.1. Torre donde se instalaron los sensores Eddy-Covariance en la huerta de nogal pecanero en Zaragoza Coahuila, agosto de 2007.



Figura 3.2. Orientación de los sensores del sistema Eddy-Covariance en la huerta de nogal pecanero en Zaragoza Coahuila.

Cuadro 3.3. Instrumentación Eddy-Covariance en la huerta del nogal pecanero en Zaragoza Coahuila.

Instrumento	Marca	Cantidad	Variable medida	Unidades de medición
3D Anemómetro Sónico	Campbell SCI	Uno	Velocidad del viento en tres direcciones (XYZ)	ms ⁻¹
Open path CO ₂ /H ₂ O LI-7500	LI-COR	Uno	Vapor de Agua y CO ₂	μmolm ² s ⁻¹ de H ₂ O/CO ₂
Radiómetro neto Q*6	Campbell SCI	Uno	Radiación neta	Wm ⁻²
Anemómetro de copa	RM Young	Uno	Velocidad horizontal del viento	ms ⁻¹
Veleta	RM Young	Uno	Dirección del viento	0 a 360
Pyranometro	Apogee-Inst. Texas Electronic	Uno	Radiación Total	Wm ⁻²
Pluviometro	Electronic	Uno	Precipitación pluvial	Mm
Higrotermomentro	Avísala	Tres	Temperatura y Humedad Relativa	°C y %
Termómetro Infrarrojo	Apogge-Inst	Dos	Temperatura de la hoja	°C
TDR	Campbell SCI	Dos	Contenido de humedad en el suelo (Pv)	%
Plato de flujo de calor en el suelo	REBS	Dos	Flujo de calor en el suelo	Wm ⁻²
Termopar tipo E de temperatura promedio	Campbell SCI	Dos	Temperatura promedio del perfil del suelo	°C
Datalogger 23X	Campbell SCI	Dos	Ejecutar el programa y almacenar los datos	Kbite
Panel Solas de 64 Watts		Dos	Proporcionar Corriente Eléctrica	Watts
Panel Solar de 20 Watts		Uno	Proporcionar Corriente Eléctrica	Watts
Batería de Ciclo profundo	Trojan	Dos	Acumulador	Volts
Resguardo para Datalogger		Dos	Protección	

A seis y tres metros, se colocaron un Hygrotermómetro (Vaisala) y un termómetro infrarrojo (Apogge-Inst) para medir la temperatura de las hojas.

El flujo de calor en la superficie del suelo se determinó en las dos condiciones prevalecientes en la huerta, una sección húmeda o sombreada y una sección seca o soleada. En cada una de estas secciones se colocó a 8 cm

de profundidad, un plato de flujo de calor (REBS) y un termopar de chromel constantan (Campbell Scientific Inc), para la temperatura promedio evaluada a 2 y 6 cm de profundidad del suelo y un sensor TDR (Campbell Scientific Inc) para medir el contenido de humedad del perfil superior del suelo. Todo este proceso se realizó con la finalidad de ponderar el valor del flujo de calor en el suelo (G) en toda la huerta debido al efecto de contenido de humedad y sombreado por los nogales.

Un Data Logger Campbell Scientific 23x fue utilizado para controlar y grabar los datos de los sensores que se encontraban ubicados a 14 m y para el control y resguardo de los sensores ubicados a 6 y 3 m de altura, se utilizó otro datalogger 23X. El resguardo de los datos fue en promedios de 30 minutos y cada 30 días los datos eran bajados a una computadora portátil para el análisis posterior de datos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Flujos de energía entre la superficie vegetal y la atmósfera

En la Figura 4.1 se muestran los flujos de energía observados el día 122 (1 de mayo, 2008), que corresponden a condiciones de cielo despejado. Bajo estas condiciones, la radiación neta (R_n) es el término dominante de los flujos de energía, seguido por el flujo de calor latente (LE), flujo de calor sensible (H) y flujo de calor en la superficie del suelo (G). Los valores mayores de los flujos ocurren de las 13:00 a las 15:00 hrs, coincidiendo con las horas de mayor incidencia de radiación solar. Nótese que H es negativo a partir de las 17:00 hrs, indicando la presencia de advección local, esto es una fuente adicional de energía a la superficie, y LE fue mayor que R_n después de las 18:00 hrs. La lámina de agua evapotranspirada en este día fue de 11.7 mm, que corresponde a un valor muy alto, ya que este día se aplicó un riego de 37 mm. El flujo de calor hacia el interior del suelo durante este día fue muy pequeño, debido a que la superficie estuvo húmeda y relativamente fría, lo que limita el flujo de calor desde la superficie hacia el interior del suelo.

El día del año 127 (6 de mayo, 2008) se tuvieron condiciones de nubosidad intermitente y la radiación neta, flujo de calor sensible y flujo de calor latente tuvieron cambios bruscos durante el día (Figura 4.2). Nuevamente, R_n es componente dominante de la ecuación del balance de energía, seguido del flujo de calor latente. H y G son menores y aproximadamente iguales de las 10:30 a las 16:00 hrs. La lámina de agua evapotranspirada de las 10:30 a las 19:00 hrs fue de 4.848 mm. El flujo de calor en la superficie del suelo fue positivo de las 10:30 a las 19:00 hrs, indicando que el flujo de calor fue de la superficie hacia el interior del suelo.

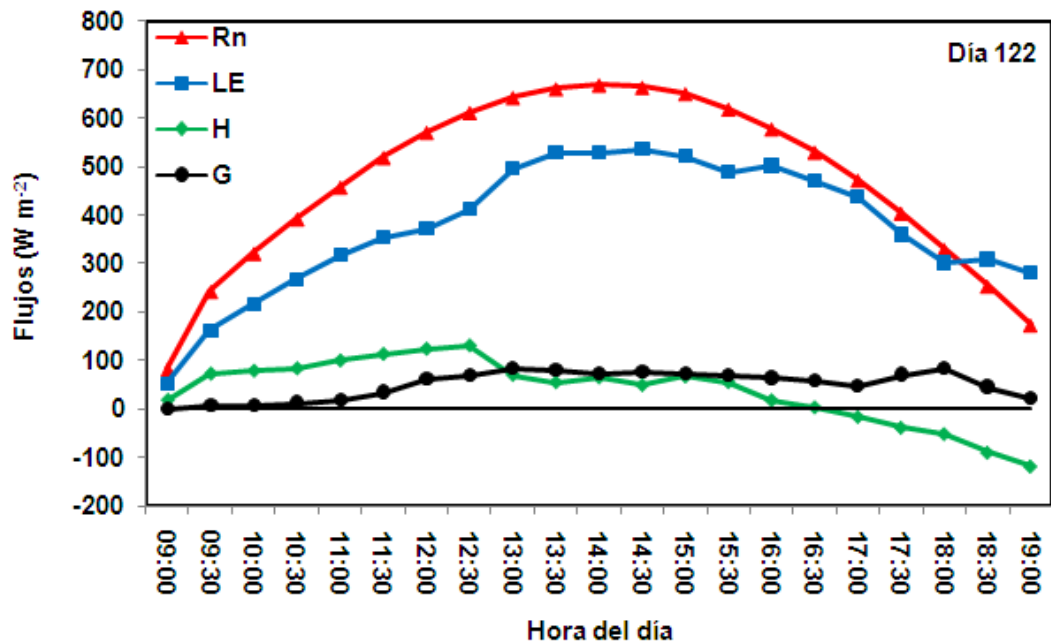


Figura 4.1 Flujos de energía sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch) a diferentes horas del día, observados el día del año 122, en Zaragoza, Coahuila, México.

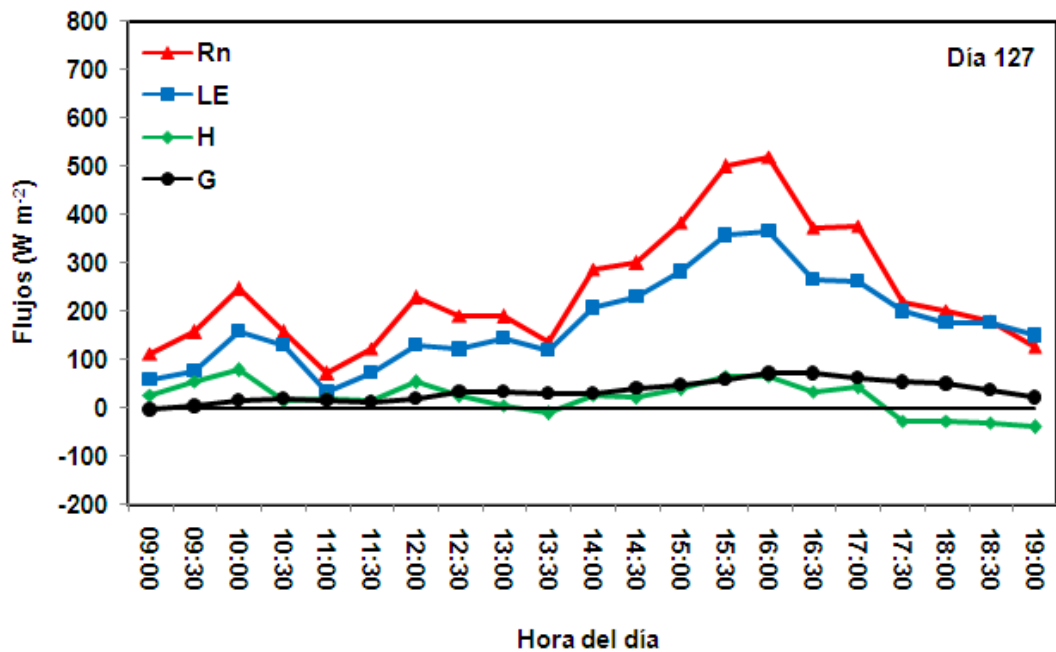


Figura 4.2 Flujos de energía sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch) a diferentes horas del día, observados en el día del año 127, en Zaragoza, Coahuila, México.

La figura 4.3 muestra los flujos ocurridos en el día del año 129 (8 de mayo de 2008), donde el cielo estuvo despejado hasta las 15:00 hrs y parcialmente nublado después. De igual forma que en los días anteriores, el término dominante del balance de energía es R_n , seguido de LE , mientras que H y G son mucho menores y muy similares. H es negativo a partir de las 16:30 hrs asumiendo que hubo influencia de la advección local. La lamina de agua evapotranspirada (ET) de las 10:30 a las 19:30 hrs fue de 10.3 mm. Esta alta tasa de ET , se debió a que en ese día se aplicó un riego de 37 mm.

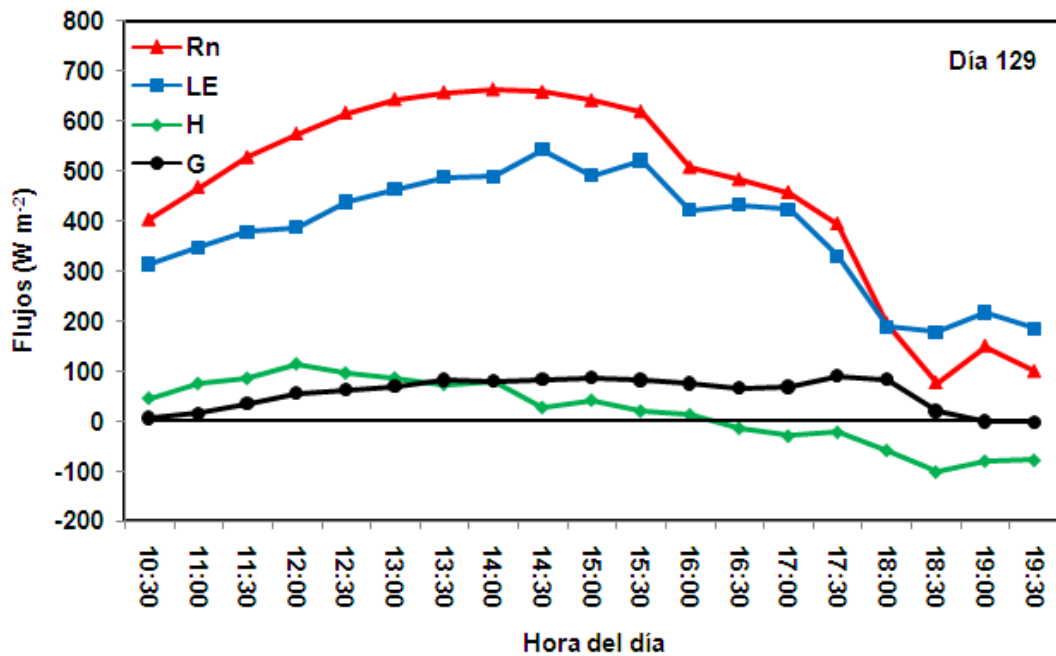


Figura 4.3 Flujos de energía sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch) a diferentes horas del día, observados en el día del año 129, en Zaragoza, Coahuila, México.

4.2 Flujos de bióxido de carbono entre la superficie vegetal y la atmósfera

De las 0 a las 23:00 hrs del día del año 122 se tuvieron buenas coediciones de dirección del viento, esto permitió evaluar la dinámica del flujo de CO₂ entre la superficie vegetal durante la noche y el día (Figura 4.4). De las 0:00 a las 8:30 hrs, la canopy estuvo liberando bióxido de carbono a la atmósfera con un valor promedio de 3.90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. De las 9:00 hasta las 19:30 hrs la superficie asimiló CO₂. La asimilación integrada para este periodo fue de -587 mmol CO₂ m⁻². La máxima tasa de asimilación ocurrió de las 11:00 a las 14:30 hrs, con un valor promedio para este segmento de -11.2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A partir de las 20:00 hrs la canopy nuevamente empezó a liberar CO₂.

En la figura 4.5 se muestra que el día del año 127 (6 de mayo de 2008), la superficie estuvo asimilando bióxido de carbono de las 10:30 a las 19:00 hrs, con una tasa promedio de -10.90 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, y su flujo total integrado fue de -706 mmol CO₂ m⁻². También se observa que la mayor tasa de asimilación ocurre de las 15:00 a las 16:00 hrs con un valor promedio de -18.07 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A partir de las 19:30 hrs la canopy comienza a liberar CO₂. Similarmente, el día del año 129 (8 de mayo de 2008) la canopy estuvo asimilando CO₂ de las 10:30 hasta las 19:30 hrs con un valor promedio de -10.98 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un flujo total integrado de -727 mmol CO₂ m⁻². A partir de las 20:00 hrs la canopy comenzó a liberar CO₂.

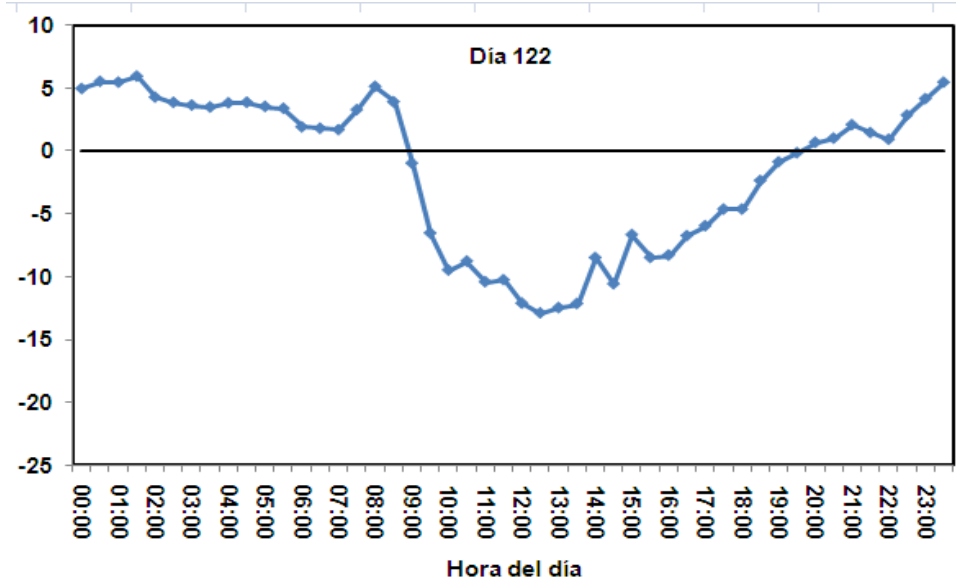


Figura 4.4 Flujos de bióxido de carbono (CO₂) sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch) a diferentes horas del día (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), observados en el día del año 122, en Zaragoza, Coahuila, México.

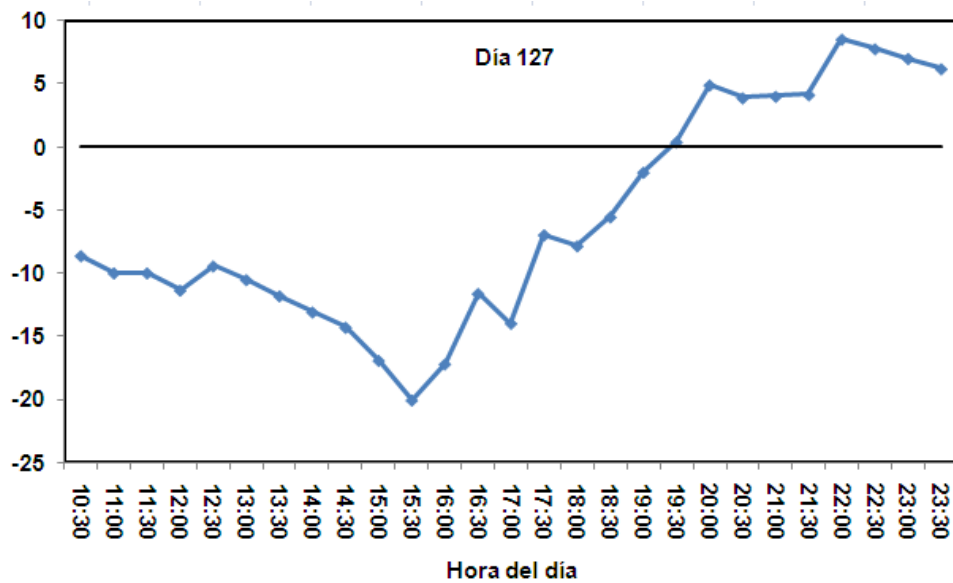


Figura 4.5 Flujos de bióxido de carbono (CO₂) sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch) a diferentes horas del día (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), observados en el día del año 127, en Zaragoza, Coahuila, México.

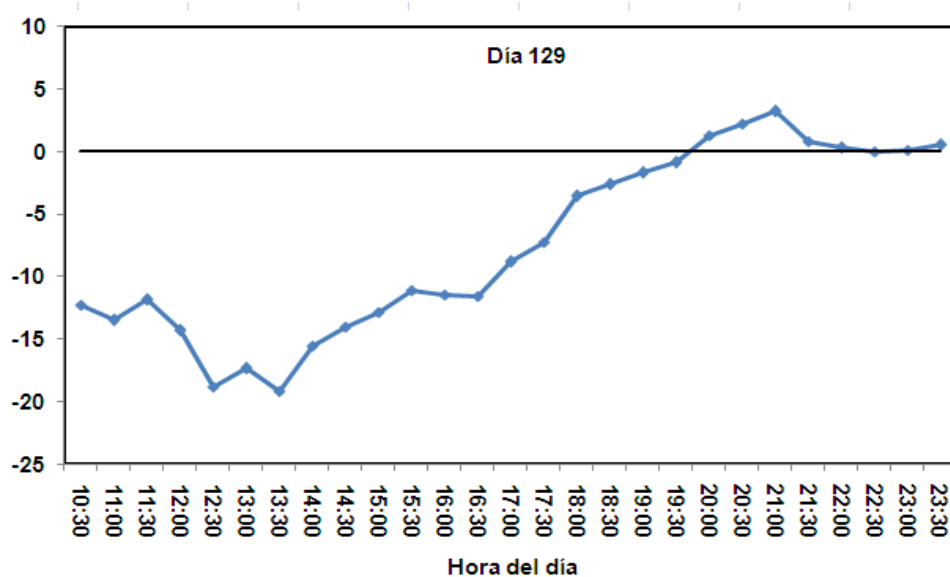


Figura 4.6 Flujos de bióxido de carbono (CO₂) sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch) a diferentes horas del día (valores negativos representan asimilación y positivos liberación), observados en el día del año 129, en Zaragoza, Coahuila, México.

4.3 Disipación de la radiación neta en los flujos de la superficie

La máxima tasa de asimilación de CO₂ ocurrió el día del año 129 (8 de mayo de 2008) con un valor de -727 mmol CO₂ m⁻², el valor más bajo correspondió para el día del año 125 (4 de mayo de 2007) con -357 mmol CO₂ m⁻². El día menos eficiente fue el 122, teniendo el mayor valor de ET y de Rn y solamente fijó -587 mmol CO₂ m⁻², mientras que los demás días tienen una relación directa entre la lámina evapotranspirada, la radiación neta y la fijación de bióxido de carbono (Cuadro 4.1)

Cuadro 4.1 Flujos integrados de flujo de calor sensible (H), flujo de calor latente (LE), radiación neta (Rn), flujo de calor en del suelo (G), flujo de bióxido de carbono (CO₂) y la relación entre el flujo de CO₂ y la lámina evapotrasnpirada, observados durante los días evaluados a diferentes intervalos de hora del día

DDA	Segmento de Tiempo (hr)	H_Integ kJ m ⁻²	LE_integ kJ m ⁻²	Rn_integ kJ m ⁻²	G_integ kJ m ⁻²	Lam_ET (mm)	FCO ₂ _integ mmol CO ₂ m ⁻²	FCO ₂ /LamET mmol CO ₂ L ⁻¹ m ⁻²	FCO ₂ /Rn mmol CO ₂ Mj ⁻¹
122	9:00 - 19:30	2.611	28.555	35.206	3.735	11.70	-587	-50.121	-16.660
125	10:00 - 16:00	0.475	3.682	4.504	-0.047	1.51	-357	-236.834	-79.358
126	12:00 - 17:00	2.582	5.981	10.445	1.541	2.45	-488	-198.906	-46.679
127	10:30 - 19:00	1.062	11.828	15.912	2.432	4.85	-706	-145.589	-44.355
129	10:30 - 19:30	1.384	25.129	30.996	3.804	10.30	-727	-70.605	-23.459

El Cuadro 4.2 muestra la relación que tienen cada uno de los flujos mayores del balance de energía y puede observarse claramente como la mayor cantidad de radiación neta fue utilizada en el flujo de calor latente durante los días evaluados; y la restante se distribuyó en H y G.

Cuadro 4.2 Relación de la los flujos de calor sensible (H), calor latente (LE) y calor en el suelo (G), con la radiación neta (Rn).

DDA	H/Rn	LE/Rn	G/Rn
122	0.074	0.811	0.106
125	0.106	0.818	-0.011
126	0.247	0.573	0.148
127	0.067	0.743	0.153
129	0.045	0.811	0.123

Cuadro 4.3 Láminas de riego aplicadas durante el periodo evaluado.

Fecha	Lámina de riego aplicada (mm)
01/05/2008	37
08/05/2008	37

V. CONCLUSIONES

El término dominante del balance de energía fue la radiación neta, y esta se disipó principalmente en flujo de calor latente (evapotranspiración) y en menor proporción en flujo de calor sensible y flujo de calor en la superficie del suelo. Debido a que la huerta se riega con un sistema de aspersión, las máximas láminas de agua evapotranspirada se observaron en los días con riego y alta incidencia de radiación solar.

La huerta de nogal pecanero estudiada, mostró un alto potencial de secuestro de carbono, ya que se midieron tasas de asimilación de bióxido de carbono de hasta $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que la tasa de liberación nocturna no fue mayor de $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Estos valores son parecidos a los presentados por Wang et al., 2007, quienes midieron tasas de asimilación de bióxido de carbono de hasta $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, mientras que la tasa promedio de liberación nocturna no fue mayor de $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La superficie vegetal muestra una buena eficiencia fotosintética del uso del agua, ya que se tuvieron valores mayores de $200 \text{ mmol CO}_2 \text{ L}^{-1}$ por m^{-2} de superficie; observándose una relación directa entre la lámina evapotranspirada, la incidencia de radiación neta y la fijación de dióxido de carbono.

VI. RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo para evaluar la dinámica de flujos de energía y de bióxido de carbono sobre la canopy de una huerta de nogal pecanero del Norte de Coahuila, utilizando el sistema Eddy-Covariance, con la finalidad de abrir el campo a investigaciones posteriores en este mismo sentido, utilizando los resultados obtenidos.

Todos los términos de la ecuación del balance de energía (R_n , G , H , LE , S y PH) fueron medidos directa e indirectamente por el sistema Eddy-Covariance a través de una torre instrumentada con sensores micrometeorológicos ubicados a 14, 6 y 3 m de altura y en la superficie del suelo, censando cada 30 minutos y resguardando la información en dos Data Loggers.

Los resultados mostraron que durante el experimento, se observó que la radiación neta fue el término que en mayor cantidad estuvo presente, disipándose principalmente el flujo de calor latente y de manera proporcional en flujo de calor sensible y flujo de calor en el suelo.

Debido a que la huerta se riega con un sistema de aspersion, las máximas láminas de agua evapotranspirada se observaron en los días con riego y alta incidencia de radiación solar, sin embargo, la superficie vegetal de la huerta, presentó valores que indican un buen uso eficiente del agua ($200 \text{ mmol CO}_2 \text{ L}^{-1}$ por m^{-2} de superficie); observándose una relación directa entre la lámina evapotranspirada, la incidencia de radiación neta y la fijación de dióxido de carbono.

De acuerdo a las mediciones de CO_2 asimilado y liberado, se puede apreciar que la huerta tiene una gran capacidad para asimilar CO_2 , pues se

podieron registrar tasas de hasta $20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y solamente alcanzó a liberar hasta $9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Arreola G. J. G. y Lagarda M. A. 2002. Tecnología de producción en nogal pecanero. México. CELALA, CIRNOC, INIFAP. p. 15-26, ISBN: 968-800-542-8.
- Brisson, F. R. 1992. Cultivo del Nogal Pecanero. 2ª ed. México. CONAFRUT. 349 p.
- Bustamante G., M. A. 1978. Respuesta del nogal (*Carya Illinoensis* K.) a tres niveles de humedad en la región de Saltillo, Coahuila. México. Tesis profesional. UAAAN, Saltillo, Coahuila 87 p.
- Centro de Estadística Agropecuaria (C.A.A). SIACON 1.1 [en línea]: Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. D. F., México. SAGARPA. 2007. Actualizado: 29 de agosto de 2008. Disponible en: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/> (25 de octubre de 2008).
- Domingo F., L. Villagarcía y A. Were. 2003. Informes ¿Cómo se puede medir y estimar la evapotranspiración?: estado actual y evolución. ECOSISTEMAS Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente 11(1):1-7.
- Fu C. A. A., Villa B. B. Del Real V. A. A. y Armenta A. R. B. 2007. Dinámica poblacional del gusano barrenador de la nuez *Acrobasis nuxvorella* Neunzig en trampas con feromona sexual en la Costa de Hermosillo, Sonora. 2006. En: Memoria técnica No. 24. Seminario de nogal pecanero abril del 2007. Campo Experimental Costa de Hermosillo, Sonora, México. INIFAP, CIRN, CECH. p. 46-50.
- Garatuza J. P., García G. S. y Watts C. J. 2001. Medición y modelación de los flujos de energía y vapor en un bosque de mezquite (*Prosopis* sp.). ITSON-DIEP. Instituto Tecnológico de Sonora. México. p. 29-38.
- García F, Y.C, 2007, Evaluación de asimilación de bióxido de carbono del chile morrón bajo acolchado plástico negro. Tesis Licenciatura. U.A.A.A.N, Saltillo, Coahuila 54 p.

- Godoy A. C. 2000. Caracterización del ambiente del suelo. Tecnología de riego en nogal pecanero. México. CELALA, CIRNOC, INIFAP. p. 5-10.
- Godoy A. C. y M. I López. 2000. Desarrollo de la almendra y germinación del fruto del nogal pecanero bajo cuatro calendarios de riego. TERRA Latinoamericana. 18(4):305-311. ISSN: 0187-5779.
- Godoy A. C., Reyes J. I., Torres E. C. A., Huitrón R. M. V., Chiquito J. C. y Morales V. J. 2000 Tecnología de riego en nogal pecanero. México. CELALA, CIRNOC, INIFAP. p. 1-4.
- Godoy A. C., Reyes J. I. y Morales V. J. 2000. Tecnología de riego en nogal pecanero. México. CELALA, CIRNOC, INIFAP. p. 21-36.
- Gómez S. V. 2004. Cubiertas forestales y respuesta microclimática. Invest. Agrar: Sist. Recur. For. 10(3):84-100.
- Gonzales C. G., Sánchez C. I. y Villanueva D. J. 2004. Relación entre la disponibilidad de agua y la formación de anillos de crecimiento anual en huertos de nogal pecanero. XII Simposium Internacional Nogalero. NOGATEC 2004. Tecnológico de Monterrey Campus Laguna. Agosto de 2004.
- González C. G., C. R. López., M. J. Silveira y M. A. Lagarda. 2000. Compactación del suelo y nogal pecanero (*Carya Illinoensis* Koch). AGRARIA UAAAN 16(1):46-59. ISSN: 0186-8063.
- Halvorsen B. L., K. Holte., M. C. W. Myhrstad., I. Barikmo., E. Hvattum., S. F. Remberg., A. B. Wold., K. Haffner., H. Baugerød., L. F. Andersen., J. O. Moskaug., D. R. Jr. Jacobs and R. Blomhoff. 2002. A Systematic Screening of Total Antioxidants in Dietary Plants. The Journal of Nutrition. p. 461-471.
- Herrera, E, 1996. Selección del Suelo y Lugar para un Huerto Nogalero. Servicio Cooperativo de Extensión Agrícola. NMSU. Guía H-614.
- Herrera, E., Clevenger, T. 1996. Importancia Económica de la Industria Nogalera en E.U.A. NMSU. Guía Z-501.

- Jiyane J. y A. Zermeño-González. 2003. Aplicación del enfoque de evapotranspiración a equilibrio en la agricultura de riego en zonas áridas. *Agrociencia* 37:553-563.
- Luna L. F. 1990. EL NOGAL Producción de fruto y de madera. 2a ed. España. Ediciones Mundi-Prensa. 155 p. ISSN: 84-7114-239-2.
- Martínez FR, 1997, Efecto del acolchado en la temperatura superficial del suelo y su relación con el desarrollo y rendimiento del cultivo del melón (*Cucumis melo* L.). Tesis Maestría. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila 56 p.
- Medina M. M. C. y Cano R. P. 2002. Tecnología de producción en nogal pecanero. México. CELALA, CIRNOC, INIFAP. p. 1-14, ISBN: 968-800-542-8.
- Mendoza M. S. F., I. M. A. Inzunza., L. A. Román., C. M. Villa., V. E. A. Catalán y M. A. Lagarda. 2005. Patrón de distribución de humedad óptimo en nogal con riego por microaspersión. AGROFAZ Publicación semestral de investigación científica 5(1):725-731. ISSN: 1665-8892.
- Miyamoto S. 1983. Consumptive water use of irrigated pecans. *J. Amer. Hort. Sci.* 108:676-681.
- Molina M. J. C. y Araiza M. S. E. 2005. La nutrición ante la alternancia en nogal pecanero. XIII Simposium Internacional Nogalero. NOGATEC 2005. Tecnológico de Monterrey Campus Laguna. Agosto de 2005.
- Molina M. J. C. y Araiza M. S. E. 2005. La nutrición ante la alternancia en nogal pecanero. XIII Simposium Internacional Nogalero. NOGATEC 2005. Tecnológico de Monterrey Campus Laguna. Agosto de 2005.
- Montemayor T. J. A., A. Zermeño-González., R. J. Olague., N. R. H. M. Aldaco, Fortis., S. E. Salazar., R. J. C. Rodríguez y C. Vázquez-Vázquez. 2006, Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. *Botánica experimental* 75:47-53.
- Munguia J., A. Zermeño., R. Quezada., M. De La Rosa., L. Ibarra y A. Torres. 2004. Relación entre los componentes del balance de energía y la resistencia estomática en el cultivo de melón bajo acolchado plástico. *Botánica Experimental*. p 181-192.

- Naba C. U. y Ramírez D. M. 2002. Manejo integrado de plagas. En: Tecnología de producción en nogal pecanero. México. CELALA, CIRNOC, INIFAP. p. 145-176, ISBN: 968-800-542-8
- Nava C. U. y Fu C. A. A. 2007. Manejo del gusano barrenador de la nuez (GBN) y perspectivas del uso del control químico en nogal: Memoria técnica No. 24. Seminario de nogal pecanero abril del 2007. Campo Experimental Costa de Hermosillo, Sonora, México. INIFAP, CIRN, CECH. p. 70-85
- Nava C. U. y Morales O. E. 2005. Manejo integrado de plagas del nogal en la Comarca Lagunera: Situación actual de plagas y antecedentes de investigación. XIII Simposium Internacional Nogalero. NOGATEC 2005. Tecnológico de Monterrey Campus Laguna. Agosto de 2005.
- Núñez M. J. H. 2001a. El nogal pecanero en Sonora. México. SAGARPA, INIFAP. Libro técnico No. 3. p. 11-22, ISSN: 1405-597X
- Núñez M. J. H. 2001b. El nogal pecanero en Sonora. México. SAGARPA, INIFAP. Libro técnico No. 3. p. 39-62, ISSN: 1405-597X
- Núñez M. J. H. 2001c. El nogal pecanero en Sonora. México. SAGARPA, INIFAP. Libro técnico No. 3. p. 63-91, ISSN: 1405-597X
- Núñez M. J. H. 2001d. El nogal pecanero en Sonora. México. SAGARPA, INIFAP. Libro técnico No. 3. p. 113-122, ISSN: 1405-597X
- Núñez M. J. H. y Martínez D. G. 2001. El nogal pecanero en Sonora. México. SAGARPA, INIFAP. Libro técnico No. 3. p. 123-174, ISSN: 1405-597X
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). ProdSTAT [en línea]: FAOSTAT. 2008. Actualizado: mayo de 2008. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx> (27 de Octubre de 2008).
- Pamplona R. J. D. 2006. Salud por las plantas medicinales. España. Safeliz S. L. p. 379. Colección Nuevo estilo de vida. ISBN: 84-7208-106-0.
- Parra P. A. 2008. Nuez de nogal en Argentina. Desempeño 2000-2007 y perspectiva. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Dirección Nacional de Alimentos. Dirección de Industria Alimentaria.
- Ros E. 2003. Alimentos funcionales y salud. N+D Nutrición y Dietética 1(8):1-7.

- Sabate J., G. E. Fraser., K. Burke., S. F. Knutsen., H. Bennett and K. D. Lindsted. 1993. Effects of Walnuts on Serum Lipid Levels and Blood Pressure in Normal Men. *The New England Journal of Medicine* 318(9):603-607.
- Sammis T.W., J.G. Mexal and D. Miller. 2004. Evapotranspiration of flood-irrigated pecans. *Agricultural Water Management* 69:179-190.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2007. SIAP en Línea, con información de las delegaciones de la SAGARPA. <http://www.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=1147&tipo=1> (16 de enero, 2009).
- Simmons L. J., J. Wang., T.W. Sammis and D.R. Miller. 2007. An evaluation of two inexpensive energy-balance techniques for measuring water use in flood-irrigated pecans (*Carya illinoensis*). *Agricultural Water Management* 88:181-191.
- Spano D., C. Sirca., S. Marras., P. Duce., P. Zara., A. Arca and R. Snyder. 2007. Energy and CO₂ Exchanges Over Vineyard Using Micrometeorological Techniques. *E-VITICULTURE Quaderni di Scienze Viticole ed Enologiche*. 29:43-52.
- Tarango R. S. H., García B. M. L. y González H. A. 2005. Especies y daños de chinches en nogal pecanero. XIII Simposium Internacional Nogalero. NOGATEC 2005. Tecnológico de Monterrey Campus Laguna. Agosto de 2005.
- Valdez G. B. 2001. El nogal pecanero en Sonora. México. SAGARPA, INIFAP. Libro técnico No. 3. p. 93-112, ISSN: 1405-597X
- Wang J., D. R. Miller., W. T. 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. *Agricultural Water Management* 91:92-101.
- Wang, J., T. W Sammis., Andales A. A., Simmons L. J., Gutschick V. P. y Miller D. R. 2007. Crop coefficients of open-canopy pecan orchards. *Agricultural Water Management* 88:253-262.