

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



**Evaluación del intercambio Neto de Bióxido de Carbono entre la  
Atmósfera y una Huerta de Nogal Pecanero del Norte de México**

**Por:**

**Gildardo Méndez López**

**Tesis**

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

**Ingeniero Agrónomo en Irrigación**

**Buenavista, Saltillo Coahuila México**

**Mayo de 2010.**

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

**Evaluación del intercambio Neto de Bióxido de Carbono entre la Atmósfera y  
una Huerta de Nogal Pecanero del Norte de México**

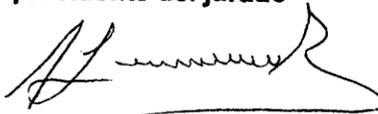
**POR:  
Gildardo Méndez López**

**TESIS**

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

**Aprobada**

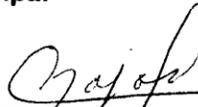
**El presidente del jurado**



**Dr. Alejandro Zermeño González  
Asesor Principal**



**Dr. Ernesto A. Catalán Valencia  
Asesor Externo**



**M.C. Carlos Rojas Peña  
Asesor**

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"  
Coordinador de la División de Ingeniería

  
  
**Dr. Raúl Rodríguez García**

**Coordinación de  
Ingeniería  
Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Mayo de 2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la oportunidad de existir en este mundo te agradezco por haberme creado de la nada y por hacerme un ser único, lleno de regalos que reflejan tu imagen y permitirme vivir la alegría de dominar satisfactoriamente esta etapa tan importante en mi vida.

A la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro” por brindarme la oportunidad de superarme y ser mejor cada día y abrigarme dentro de sus aulas en el cual pude formarme como profesionista.

Al Dr. Alejandro Zermeño González, por los conocimientos transmitidos, así como por sus aportaciones a este trabajo, gracias por el tiempo y la paciencia-

A mis asesores que intervinieron parte de su valioso tiempo en la dirección y revisión de este trabajo:

Dr. Alejandro Zermeño González.

Dr. Ernesto Catalán Valencia.

M.C. Carlos Rojas Peña.

A Sandino y Eder Emmanuel por el apoyo que me brindaron en mi tesis.

A Jazmín “Cosita”, Mi mejor compañera por alegrar parte de mi vida con su buen humor, por sus consejos y hacerme sentir siempre seguro de mi mismo.

A la banda por compartir conmigo alegrías y tristezas, éxitos y fracasos, por todos los momentos que necesite a un amigo desde el inicio de experiencia de ser estudiante, de esas noches de develo y todos estuvieron ahí presentes para apoyarme gracias a; Darwin González López, Daily News Vázquez Morales, David A. Velázquez López, Milton Vázquez Morales y a los buitres laguneros Cristian D. Morales Gómez, Adiel López Morales y Herlendi López Morales. Por estar siempre presentes en momentos oportunos.

A mis compañeros de generación CVII por los momentos compartidos a; Esmeralda, Areli, Guillermo, Iván, Eder.

A un ser querido que nunca olvidare, porque compartió conmigo tiempo de alegrías y diversiones y que siempre en cualquier lugar estará su presencia aunque no se nos cumplieron los propósitos que teníamos juntos siempre estarás en los míos, de todo corazón a un amigo que se fue Gustavo Trejo Borrallas que dios te tenga en su gloria.

## **DEDICATORIA**

### **A mis padres**

No sé si, sin los regaños de la primaria, la motivación de la secundaria o los ánimos de la prepa hubiera llegado hasta donde estoy. Los amo.

**Evaristo Méndez Ramos**

**Floriselda López Cruz**

Quienes con su ejemplo, confianza y cariño me han convertido en una persona de provecho; que me han guiado por el camino del bien con sus buenos consejos, por darme todo en la vida y enseñarme a luchar por lo que siempre se quiere con respecto a los demás.

### **A mis hermanos**

**Martha Isabel, Amelia Marina, Belisario, Teresa de Jesús y Ana Leticia**

Quienes me han brindado su apoyo incondicional, confianza y cariño en todo momento. Que se han portado muy bien conmigo, en situaciones en las que me he estancado, me han ayudado a seguir luchando y a no rendirme, me han demostrado que puedo contar con ellos para todo. Siendo además de mis hermanos mis mejores amigos.

### **A mis sobrinos**

**Daniel, Chavelita, Perla, Gordita (Méndez Aguilar) y Cesarin Camero Méndez**

Que no se me pueden olvidar por que son muy importantes en mi vida, ya que todas esas sonrisas me hacen crecer y sentirme muy afortunado de tenerlos conmigo.

### **A mis abuelitos**

Gracias a ustedes por darme la familia que tengo, y por sus sagrados consejos que echándolos a andar nunca fallan los quiero.

### **A mí cuñado (a)**

Porque son parte de la familia y por la buena relación que hemos tenido durante sus llegada y por la ayuda incondicional que me han brindado.

## INDICE DE CONTENIDO

	Pagina
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE CUADROS .....	x
RESUMEN .....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
Objetivo.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Importancia económica del nogal pecanero en México .....	3
Descripción botánica del nogal pecanero .....	7
Raíces.....	8
Tallos .....	8
Hojas.....	8
Yemas.....	9
Flores .....	10
Frutos.....	11
Requerimientos de Agua, Suelo y Clima del cultivar .....	12
Requerimiento de Agua .....	12
Requerimiento de Suelo.....	14
Requerimiento de Clima.....	16
Manejo Agronómico del Cultivo .....	16
Poda selectiva de ramas.....	16
Poda selectiva de producción .....	17
Fertilización .....	17

Riego.....	18
Descripción del intercambio neto del Ecosistema .....	19
Intercambio neto de bióxido de carbono en diferentes tipos de Ecosistemas Vegetales .....	20
Intercambio neto de bióxido de carbono CO <sub>2</sub> en cultivos.....	21
Intercambio neto de bióxido de carbono CO <sub>2</sub> en bosques .....	22
Intercambio neto de bióxido de carbono CO <sub>2</sub> en pastizales.....	25
Intercambio neto de bióxido de carbono CO <sub>2</sub> en sabana.....	28
Intercambio neto de bióxido de carbono CO <sub>2</sub> en cultivo de nogal pecanero...	29
Descripción de la Eficiencia Intrínseca del uso del Agua.....	29
Eficiencia intrínseca del uso del agua en diferentes tipos de Vegetación .....	30
Eficiencia intrínseca del uso del agua en cultivos .....	31
Eficiencia intrínseca del uso del agua en bosques .....	32
Eficiencia intrínseca del uso del agua en pastizales .....	32
Eficiencia intrínseca del uso del agua en cultivo de nogal pecanero .....	33
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	34
Ubicación y características del sitio de estudio.....	34
Instrumentación y Mediciones.....	35
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	41
Dinámica de flujos de bióxido de carbono .....	41
Relación entre los flujos integrados diurnos del intercambio neto de bióxido de carbono del ecosistema y la lamina de agua evapotranspirada.....	45
Eficiencia intrínseca del uso del agua por la Huerta de nogal.....	46
Potencial de secuestro de carbono de la Huerta de nogal .....	49
IV. CONCLUSIONES .....	52
IV. BIBLIOGRAFÍA .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Núm. Figuras	Página
Figura 3.1. Anemómetro sónico tridimensional y analizador de vapor de agua y bióxido de carbono de sendero abierto, sobre el dosel de la huerta de nogal pecanero en Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.....	38
Figura 4.1. Tasa de asimilación neta de CO <sub>2</sub> (NEE) del ecosistema (suelo-vegetación), de una huerta de nogal pecanero para varios ciclos día-noche del 26 de mayo al 15 junio de 2008. Valores negativos representan asimilación y valores positivos representan liberación de CO <sub>2</sub> por el ecosistema. Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.....	43
Figura 4.2. Tasa de asimilación neta de CO <sub>2</sub> (NEE) del ecosistema (suelo-vegetación), de una huerta de nogal pecanero para varios ciclos día-noche del 21 de junio al 18 julio de 2008. Valores negativos representan asimilación y valores positivos representan liberación de CO <sub>2</sub> por el ecosistema. Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.....	44
Cuadro 4.3. Relación del intercambio neto de bióxido de carbono CO <sub>2</sub> de los ecosistemas (NEE) y la lamina de agua evapotranspirada (ET), observada del 26 de mayo al 18 de julio, 2008 en una huerta de nogal pecanero de Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.....	46
Figura 4.4. Relación entre la eficiencia intrínseca del uso del agua (Ef_H <sub>2</sub> O) y la lamina de agua evapotranspirada (ET), observada del 26 de mayo al 15 de junio, 2008 en una huerta de nogal pecanero del ejido de Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.....	48
Figura 4.5. Relación entre la eficiencia intrínseca del uso del agua (Ef_H <sub>2</sub> O) y la lamina de agua evapotranspirada (ET), observada del 21 de junio al 18 de julio, 2008 en una huerta de nogal pecanero del ejido de Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.....	48

## ÍNDICE DE CUADROS

Núm. Figuras	Página
Cuadro 2.1 Efecto de la salinidad del extracto de saturación del suelo en el rendimiento del nogal pecanero .....	15
Cuadro 3.1. Volúmenes de agua mensuales aplicados ( $m^3 ha^{-1}$ ) durante 2008 en la huerta nogalera de Tierra Blanca, Municipio de Matamoros, Coahuila, México .....	35
Cuadro 4.1. Intercambio neto de bióxido de carbono $CO_2$ del ecosistema (NEE) para ciclos completos de asimilación y liberación en una huerta de nogal pecanero, del 26 de mayo al 18 de julio, 2008 en Mieleras Coahuila, México .....	50

# **Evaluación del intercambio Neto de Bióxido de Carbono entre la Atmósfera y una Huerta de Nogal Pecanero del Norte de México**

Gildardo Méndez López

## **RESUMEN**

Debido a que las huertas de nogal pecanero de México pueden tener una contribución importante en el secuestro del bióxido de carbono atmosférico, se utilizó el método de la covarianza eddy para realizar mediciones del intercambio neto de bióxido de carbono entre una huerta de nogal del Norte de México y la atmósfera. También se midió la tasa de evapotranspiración de los árboles de la huerta. La confiabilidad de estas mediciones se evaluó midiendo todos los componentes del balance de energía sobre una superficie vegetal. Las mediciones se realizaron en un huerta de nogal pecanero ubicada en la propiedad Tierra Blanca del ejido de Mieleras del municipio de Matamoros, Coahuila, México, durante el ciclo de producción de 2008. Los resultados de la investigación mostraron que La huerta de nogal pecanero evaluada, mostró una alta capacidad de asimilación de bióxido de carbono, ya que la tasa instantánea del intercambio neto de CO<sub>2</sub> de la huerta fue similar al observado en bosques de diferentes especies. Los valores mayores se observaron entre las 11:00 y las 14:00 hr. Además, la estimación por ciclo de crecimiento de la retención de carbono por la misma, fue igual o mayor a la tasa de secuestro de carbono reportada para bosques de diferentes especies. Se observó una relación lineal inversamente proporcional entre la  $E_f_{H_2O}$  y la lamina de agua evapotranspirada, y una relación cuadrática directamente proporcional entre la eficiencia intrínseca del uso del agua y la lámina de agua evapotranspirada.

**Palabras clave:** Nogal pecanero, secuestro de carbono, covarianza eddy, eficiencia del uso del agua, intercambio neto de bióxido de carbono.

## I. INTRODUCCIÓN

La producción de nuez pecanera en México, ha sido altamente redituable para los productores, por su excelente calidad de almendra que la ubica como una de las mejores del mundo, además de la buena adaptación del cultivo a los suelos y clima donde se produce. El nogal pecanero ocupa el sexto lugar de importancia económica de los cultivos que se establecen en el estado de Coahuila. La derrama de recursos por la producción anual de nuez es variable dependiendo del volumen y precio. Sin embargo, según datos oficiales se calcula un mínimo de aproximadamente 700 millones de pesos (SAGARPA, 2007).

El intercambio neto de bióxido de carbono de un determinado ecosistema vegetal NEE (suelo-vegetación) se define como la tasa neta de intercambio de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) entre la capa vegetal y la atmósfera (Martens *et al.*, 2004). Con más detalle, el NEE se define como el balance entre la captación de  $\text{CO}_2$  mediante fotosíntesis de las plantas y la emisión de  $\text{CO}_2$  a través de la respiración de las plantas y el suelo (respiración del ecosistema) (Chapín *et al.*, 2006).

El NEE se puede medir directamente mediante el método de covarianza eddy (CE), que proporciona un valor espacialmente integrado del intercambio neto de  $\text{CO}_2$  en forma continua con mínima perturbación de la vegetación circundante (Aubinet *et al.*, 2000; Baldocchi *et al.*, 2001).

Las plantas pierden agua a expensas de ganar carbón. La relación entre la tasa de fotosíntesis y la de transpiración es una medida de la eficiencia intrínseca del uso del agua (Baldocchi, 1994; Condon, 2004). Esta relación es función de la concentración interna de CO<sub>2</sub> en las hojas y la diferencia de presión de vapor entre el aire y la hoja (Jones, 1983).

Dado que en México se tiene establecida una superficie total (riego y temporal) de 77 582 ha de nogal pecanero (SAGARPA-SIAP, 2009), y que es un árbol caducifolio, vigoroso de gran porte que puede llegar a medir hasta 20 metros de altura (Núñez, 2001), donde el desarrollo foliar de los árboles en las huertas bien establecidas puede cubrir hasta el 80 % de la superficie del suelo. Esto sugiere que se pueden tener altas tasas de asimilación de bióxido de carbono en las huertas de nogal pecanero y tener una contribución importante en el secuestro de carbón atmosférico. Por lo que los objetivos del estudio fueron:

**Objetivos:**

Evaluar la dinámica de la tasa instantánea del intercambio neto de bióxido de carbono de una huerta de nogal pecanero del Norte de México.

Analizar la capacidad de asimilación de bióxido de carbono del cultivo de nogal y su relación con otros ecosistemas vegetales.

Determinar la eficiencia intrínseca del uso del agua del ecosistema vegetal y su relación con la tasa de evapotranspiración.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### **Importancia económica del nogal pecanero en México**

El Nogal (*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch) es uno de los árboles de frutas comestibles más antiguo del mundo. La nuez pecanera tiene sus orígenes en la prehistoria, ya que se han encontrado rastros fósiles en el norte de México y en el sur de EE.UU.

El nogal pecanero es un frutal (fruta seca) de gran importancia a nivel mundial, ya que se tiene establecida una superficie aproximada de 307 mil ha. Principales productores son Estados Unidos de América (72 %) y México (25 %). Otros productores a baja escala son Australia, Sudáfrica, Israel, Brasil, Argentina, Perú y Egipto. (Puente *et al.*, 2002).

En México, las primeras plantaciones comerciales de nogal se establecieron el año de 1946, desde entonces se han desarrollado sistemas de producción sustentables y muy competitivos y para el año 2000 se tenían plantadas más de 60 mil hectáreas a nivel nacional. (Tarango, 2004).

En México la producción de nuez promedio en condiciones de riego del año 2000-2007, se estima en aproximadamente  $1.41 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ , con una superficie sembrada con sistema de riego en el año 2007 de 75,332.94 ha y una producción de aproximadamente 77,822.09 ton. De temporal la producción de nuez se estima

0.85 ton.ha<sup>-1</sup> y la superficie sembrada de temporal en el 2007 fue 2,249 ha con una producción de 1,339.46 ton. (SAGARPA-SIAP, 2009).

Actualmente, la superficie cosechada del nogal pecanero se localiza en el norte del país y prácticamente en su totalidad en las áreas de riego (gravedad y bombeo), y en áreas muy marginales de temporal. Los principales distritos de riego con plantaciones de nogal en el país son los de Chihuahua, Delicias y Río Florido, en el estado de Chihuahua; y el de Costa de Hermosillo en Sonora (SIAP, 2009). Los estados con mayor producción de nuez en la República Mexicana son Chihuahua con 54,629 ton y un rendimiento por hectárea de 1.5 ton, seguido de Coahuila con una producción de 8,776 ton y un rendimiento de 0.71 ton/ha; Sonora con una producción de 7,075 ton y un rendimiento de 1.06 ton/ha; y Durango con una producción de 2,783 ton y un rendimiento de 0.78 ton/ha (SIAP, 2009).

El nogal se cultiva en menor medida en los estados de Jalisco, Nuevo León, Aguascalientes, Querétaro, Oaxaca e Hidalgo. Otros estados tienen superficies sembradas pero aún se encuentran en etapa de desarrollo (FIRA, 2005).

El cultivo del nogal pecanero ocupa el sexto lugar de importancia económica por su valor en pesos a nivel estatal (SAGARPA, 2007), dando a esta actividad productiva un peso económico específico y relevante en el estado, además de generar divisas para el país. La derrama de recursos por concepto de la producción anual de nuez es variable dependiendo del volumen y precio. Sin

embargo, según datos oficiales con base conservadora, se calcula en un mínimo de aproximadamente 700 millones de pesos (SAGARPA, 2007).

En la actualidad, con la superficie de árboles en desarrollo que se encuentran plantados en el norte de México, que paulatinamente serán incorporados a la producción, con tecnología de frontera, con incrementos en las medias de rendimiento, se espera que podrán producir una importante cantidad de nueces de variedades mejoradas e incrementar las exportaciones (Ojeda *et al.*, 2003).

Los sistemas de producción de nuez actualmente desarrollados en México, mantienen su competitividad por la alta calidad y cantidad de nuez producida por hectárea, desarrollada en regiones áridas de muy baja infestación de plagas y enfermedades, que permiten producir nueces de muy alta calidad ecológica (2-3 aplicaciones/año). Las plantaciones mexicanas con 70 a 100 árboles por hectárea y costos de producción promedio de 20 pesos/kg, han resultado ser muy competitivas, económicamente hablando, con relación a las de Estados Unidos de América (26 pesos/kg), lo cual explica la estabilidad y crecimiento del cultivo en México (Lagarda, 2005).

Otro tema de actualidad en la producción de nuez encarcelada es el de inocuidad, el cual ha cobrado una mayor importancia debido a normatividad sanitaria más estricta a nivel internacional y nacional (Ley Federal de Sanidad Vegetal, 2007), así como una mayor preocupación de los consumidores por su salud y el medio ambiente. La nuez, por ser un producto alimenticio que se puede

consumir en fresco, requiere la labor de todos y cada uno de los eslabones de la cadena agroalimentaria para asegurar que al ser ingerido no cause un daño o perjuicio a la salud. Esto incluye las etapas de producción, cosecha, lavado, selección, empaque, conservación, transporte, y distribución. Para ayudar a mantener una buena condición sanitaria de la nuez y reducir las probabilidades de que, bajo condiciones naturales o en el manejo del fruto, se presente un contaminante de origen físico, químico o biológico, se implementa lo que se conoce como un Sistema de Reducción de Riesgos de Contaminación. Este sistema incluye a las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y a las Buenas Prácticas de Manejo (BPM). Las BPA comprenden diversos métodos de cultivo, cosecha, selección, almacenamiento y transporte que ayudan a mantener y asegurar una buena condición sanitaria (Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera, 2006).

La actividad nogalera se ha desarrollado muy enfocada al sector primario, quedando por desarrollar las actividades de apoyo que deben tener las cadenas productivas hortícolas, como son la transformación, empaque, conservación del producto y con ello el desarrollo de mercados alternativos nuevos que permitan la consolidación de la industria nogalera a través del desarrollo de la infraestructura y organización integrada de los actores involucrados (Tarango, 2009).

La producción de nuez pecanera en México, ha sido altamente redituable para los productores, por su excelente calidad de almendra que la ubica como una de las mejores del mundo, y la buena adaptación del cultivo a los suelos y clima

donde se produce. Las soluciones se avizoran con la introducción de nuevas tecnologías que se están implementando, como son la incorporación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manejo (BPM), sistemas de manejo integrado del cultivo, nuevos agroquímicos de acción específica y de baja contaminación, la búsqueda de nuevas variedades con ventajas competitivas sobre las actuales (Western Schley y Wichita), la búsqueda de portainjertos que reduzcan el porte de los árboles, así como productos que nos permitan alcanzar mayor productividad, rentabilidad, competitividad. Como sistema de cultivo, es necesario contar con información económica que facilite el que los productores aborden la producción de nuez como una empresa, así como también fortalecer la organización entre los nogaleros para que incrementen las ventas a nivel nacional y se puedan desarrollar mercados alternativos tales como China y la Comunidad Europea. (Damaris *et al.*, 2005).

### **Descripción botánica del nogal pecanero**

La nuez pecanera es originaria del norte de México y sureste de Estados Unidos de América. Los colonizadores españoles llamaron “nogal” al árbol pecanero y a su fruto la “pecana” le llamaron “nuez”. El nogal pecanero pertenece a la familia: Juglandaceae y su nombre científico es: *Carya illinoensis* Koch (Brison, 1992).

El árbol del nogal pecanero, es un árbol caducifolio, vigoroso de gran porte que puede llegar a medir de 15 a 20 metros de altura (Núñez, 2001)

## **Raíces**

Las raíces de los nogales son pivotantes. Pueden alcanzar hasta 8 metros de profundidad. Las raíces laterales en una huerta plantada a 10 X 10 metros pueden cubrir la totalidad de la superficie del suelo. La mayor cantidad de raíces activas se localizan en la capa de 10 a 80 cm (Núñez y Uvalle, 1992).

## **Tallos**

Estos son leñosos y dependiendo de la variedad pueden producir una corteza corchosa y agrietada. El desarrollo estructural de los tallos principales de las variedades mejoradas de nogal es ramificado a partir de un metro y produce varios troncos principales. En cada nudo se pueden encontrar de una a tres yemas, sobre todo en los brotes juveniles (Brison, 1974).

## **Hojas**

Son deciduas, y caen durante el invierno. Los brotes juveniles provenientes de semillas tienen hojas simples, pero más tarde se producen exclusivamente hojas compuestas. Estas presentan un eje central con 11 a 15 folíolos. Estos son lanceolados y aserrados. Un brote puede producir de 5 a 7 hojas por año. Las hojas son vitales para el crecimiento y fructificación de todas las plantas debido a que en estas se lleva a cabo la fotosíntesis. Se considera que para producir una nuez se requiere de 6 a 10 hojas sanas. Estos números son arbitrarios ya que influye tanto el tamaño de la nuez, color de las hojas, tamaño de las hojas, tiempo que las hojas son eficientes, y el ambiente. Las hojas tienen que fabricar

carbohidratos tanto para los frutos, otros órganos en crecimiento, y además para acumular reservas en tallos y raíces para la brotación del siguiente año (Brison, 1974).

### **Yemas**

Los tallos se caracterizan por tener yemas organizadas, siendo en esto diferentes a las raíces. Una yema es un tallo rudimentario o no desarrollado. Las yemas de los nogales pueden clasificarse como terminales y laterales. Las terminales se forman de algunos puntos de crecimiento cuando cesa el crecimiento. No todos los puntos de crecimiento forman una yema terminal, esto ocurre cuando algunos puntos de crecimiento abortan dejando un talón sobresaliente o cuando se forman racimos terminales de nueces. Las laterales se forman en los nudos de los tallos, en las axilas de las hojas, por lo que también se les llama yemas axilares. El crecimiento de las yemas axilares produce la ramificación de los nogales. Las yemas axilares producen esencialmente grupos de yemas en el mismo nudo (Brison, 1974).

El número de yemas por nudo varía con la variedad, por ejemplo “Stuart” puede presentar de 4 a 5 yemas en un nudo. Lo normal es que se tengan de dos a tres yemas, como es “Succes”. Estas diferentes yemas se encuentran alineadas en forma vertical. La más superior es la primaria y normalmente es la más grande, la que probablemente brote la primavera siguiente y produzca flores masculinas y femeninas. Debajo de la primaria se encuentran las secundarias, las cuales tienen menor capacidad de fructificación. Normalmente las yemas no brotan en la misma

estación en que se forman, sin embargo, bajo condiciones de crecimiento acelerado y condiciones favorables o defoliación prematura pueden brotar.

## **Flores**

Las flores masculinas (estaminadas) pueden provenir de yemas laterales y terminales primarias. Las flores masculinas se encuentran en una estructura denominada como amento. Cada yema puede producir de 3 a 4 amentos florales las cuales contienen sésiles, generalmente en número mayor de 50. Cada flor consta de una bráctea foliar con tres a cinco anteras. Al alcanzar su madurez las anteras se dividen longitudinalmente debido a un desecamiento natural de las paredes de la antera. Cada antera puede producir alrededor de 2,000 granos de polen. Tomando en cuenta la cantidad de polen que produce un amento puede ser capaz de polinizar cerca de 20,000 flores, pero tomando en cuenta que gran parte de este polen cae en lugares donde no se encuentra una flor femenina, por lo que es necesario que los árboles lo produzcan en exceso para asegurar una efectiva polinización.

Las flores femeninas o pistiladas aparecen como inflorescencias terminales en los brotes jóvenes del año en curso. A diferencia de la mayoría de los frutales caducifolios, en los cuales la diferenciación de flores femeninas ocurre desde un año anterior, en los nogales este proceso ocurre el mismo año, durante el crecimiento del brote en la primavera. Los brotes que las producen pueden provenir de yemas terminales o laterales de una rama del ciclo anterior. Se

considera que tanto yemas terminales como laterales del año anterior son capaces de formar flores pistiladas.

Su formación depende del crecimiento inicial del brote. Este crecimiento proviene de las reservas de carbohidratos que se encuentran en los tallos y raíces. Conforme mayor es la cantidad de reserva mayor es la probabilidad de que se produzcan flores. El frío invernal también se porta como promotor de la floración femenina. La mayor proporción de yemas pistiladas se da principalmente en las yemas terminales por un efecto de dominancia apical, sin embargo se ha observado que cuando se elimina la yema terminal las laterales pueden producir flores pistiladas.

Las flores individuales son sésiles y constan de un perianto y el pistilo. El cáliz y la corola crecen juntos para formar el perianto. El pistilo está compuesto de estigma, un estilo extremadamente corto y un ovario bicarpelar. Las superficies estigmáticas de cada carpelo son pequeñas y aplanadas generalmente de color verde oscuro al inicio y después amarillo, (indicando receptividad) y finalmente café o negro (Milkie y True, 1979).

### **Fruto**

Por su estructura el fruto del nogal se considera una drupa que consta de pericarpio, mesocarpio, endocarpio, y semilla (almendra). El pericarpio y mesocarpio es una estructura segmentada en cuatro partes, que al deshidratarse se abre dejando libre al endocarpio y la semilla.

A la porción del mesocarpio y pericarpio se le conoce como ruezno el cual produce una sustancia muy oxidante que mancha los dedos de las personas que intentan abrirlos antes de que el ruezno se seque completamente. Las nueces compuestas por el endocarpio y la semilla, normalmente miden de 2 a 6 cm de largo y pesan de 4 a 12 gramos de cada una. La semilla presenta dos cotiledones separados por un tabique central los cuales provienen de los carpelos florales. (Núñez, 2001).

## **Requerimientos de agua, suelo y clima del cultivo de nogal pecanero**

### **Requerimiento de agua**

El agua es el factor principal de manejo agronómico que permite al nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangehn.) K. Koch] alcanzar una alta eficiencia fotosintética de las hojas, para un mayor rendimiento y calidad del fruto (Godoy-Ávila y López-Montoya, 2000), ya que el consumo de agua del nogal es alto comparado con el de otros cultivos (Wang *et al.*, 2007; Andales, *et al.*, 2006).

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 esta es insuficiente, se presentara 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 atapa 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 (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<sup>-1</sup> (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<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Los nogales en plena producción consumen de 120 a 135 litros árbol<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, sin embargo, un nogal adulto con el 70 % de cobertura puede transpirar hasta 680 litros día<sup>-1</sup> durante el verano.

### **Requerimiento de suelo**

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 franco o franco arenosa, que le proporcione una buena aireación radicular, retención de humedad y nutrientes y resistencia al desarrollo de las raíces. Los suelos

compactados, extraen 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  $\text{cm}^{-1}$  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).

Cuadro 2.1 Efecto de la salinidad del extracto de saturación del suelo en el rendimiento del nogal pecanero.

Conductividad eléctrica en extracto de saturación del suelo ( $\text{mmhos cm}^{-1}$ )	Disminución de la cosecha (%)
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 trazado de riego cuando éste sea por gravedad (Arreola y Lagarda, 2002).

Lo principal respecto del suelo, es que sea profundo, permeable, suelto y de buena fertilidad.

### **Requerimiento de clima**

Los arboles 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 fríos para iniciar la brotación (medina y Cano, 2002).

### **Manejo agronómico del cultivo**

El establecimiento de un huerto de nogal pecanero puede llevar a cabo un periodo de siete y ocho años, 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 las variedades y las plantas más adecuadas y sanas (Núñez, 2001b).

### **Poda selectiva de ramas**

La poda selectiva de ramas en arboles adultos es necesaria para mantener un equilibrio entre la cantidad de nueces y el follaje, para así tener una producción y calidad aceptable. El desarrollo de brotes se observa principalmente en la parte

apical de las ramas, situación que limita la formación de estos para una mayor producción. (Arreola *et al.*, 2002).

### **Poda de producción**

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).

En huertas adultas, esta poda tiene por objetivo renovar la copa de los arboles en un periodo de 5 años aproximadamente. Con esto se evita tener una disminución repentina en el rendimiento, por eliminación excesiva de madera. Esta práctica induce la formación de follaje denso en la periferia del árbol, provocando un sombreado notable en el interior de la copa algunos años después de efectuarla. (Arreola *et al.*, 2002).

### **Fertilización**

El nogal necesita de nutrimentos que obtiene del suelo, agua y atmosfera de manera natural, otros se complementan por medio de aplicaciones de fertilizantes vía foliar, al suelo o en el agua de riego. Estos nutrimentos son indispensables para el desarrollo del nogal y se clasifican en función de la cantidad en que son requeridos. Así se tienen los macronutrimentos que son los elementos que las plantas consumen en mayor cantidad y los micronutrimentos

que son los que utiliza en cantidades pequeñas pero no por ello son menos importantes.

Los macronutrientes son: carbono, hidrogeno, oxigeno, nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Los micronutrientes son: zinc, manganeso, fierro, boro, cobre, cloro y molibdeno. (Chávez *et al.*, 2002).

### **Riego**

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 agua con menos de 640 ppm de sales solubles y con una Relación de Absorción de Sodio (RAS) menor de 3 (Núñez, 2001c).

En un trabajo de investigación, observaron que el patrón de humedecimiento con micro aspersión, correspondiente a 47 y 58 m<sup>2</sup>, es el más eficiente ya que mantiene un equilibrio entre la disponibilidad de humedad y la mayor concentración de raíces (Mendoza *et al.*, 2005).

En las zonas productoras de nuez, el factor más importante para la producción de este frutal es el agua, este recurso no solo influye en las fases de crecimiento y desarrollo del fruto sino en todo su ciclo, incluyendo la dormancia. El nivel de disponibilidad de agua, junto con el nivel de nutrimento, afecta la cantidad y calidad de la almendra durante el año y el potencial para una buena cosecha en

los siguientes años. En una huerta que cuente con 70 árboles ha<sup>-1</sup>, con un diámetro de tronco de 7 cm su consumo de agua anual puede ser de 212 mm aproximadamente; mientras que otra huerta con el mismo número de árboles, pero con diámetro de tronco de 50 cm, su consumo de agua anual podría ser de 1429 mm. (Godoy *et al.*, 2000b).

### **Descripción del intercambio neto del ecosistema**

El intercambio neto de bióxido de carbono de un determinado ecosistema vegetal (suelo-vegetación) se define como la tasa neta de intercambio de CO<sub>2</sub> entre la capa vegetal y la atmósfera de acuerdo con la siguiente relación (Martens *et al.*, 2004):

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho_{CO_2}}{\Delta t} * \Delta z$$

Donde: FCO<sub>2</sub>, es el flujo de bióxido de carbono medido con el método de la covarianza eddy (negativo hacia la superficie vegetal), ΔρCO<sub>2</sub> es el cambio en la densidad del CO<sub>2</sub> medido a la misma altura a la que se midió el flujo de CO<sub>2</sub>, Δt es el intervalo de tiempo y Δz es la altura a la que se realizaron las mediciones. La retención de CO<sub>2</sub> 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.

El intercambio neto de CO<sub>2</sub> entre el ecosistema y la atmósfera, (NEE) depende de la actividad fotosintética que fija el CO<sub>2</sub> atmosférico y de la respiración que libera CO<sub>2</sub> a la atmósfera. La respiración total del ecosistema se compone de

la respiración de la cobertura foliar, del tejido leñoso y de las raíces de los árboles (respiración autotrófica del suelo) así como de la respiración de los microorganismos del suelo (respiración heterotrófica del suelo) (Janssens *et al.*, 2001).

El intercambio neta de los ecosistemas de CO<sub>2</sub> (NEE) se basa en el equilibrio entre la captación de CO<sub>2</sub> mediante fotosíntesis de las plantas y la emisión de CO<sub>2</sub> a través de plantas y la respiración del suelo generalmente se conoce como respiración del ecosistema (Chapin *et al.*, 2006). El NEE se puede medir directamente mediante el método de covarianza Eddy (CE), que proporciona un espacio de intercambio neto de carbono integrado de forma continua con el mínimo disturbio posible a la vegetación circundante (Aubinet *et al.*, 2000; Baldocchi *et al.*, 2001).

### **Intercambio neto de bióxido de carbono en diferentes tipos de ecosistemas vegetales**

La captura y el secuestro de carbono se han convertido en temas que son parte de la agenda ambiental global. Tal es el caso de su inserción en la agenda del cambio climático, fenómeno provocado por el aumento de gases de efecto invernadero, en especial el dióxido de carbono, en la atmósfera (Gay y Martínez, 1995).

Los sistemas vegetales tienen la capacidad para capturar el carbono atmosférico y convertirlo en moléculas orgánicas mediante la fotosíntesis (Sedjo, 1990; Perry, 1994); pero, al mismo tiempo que los vegetales capturan carbono de

ese reservorio, también lo liberan por los procesos naturales de respiración, declinación y muerte (Watson y Casper, 1984). De esta manera, las plantas participan activamente en el ciclo global del carbono. Cuando la tasa de captura por las plantas, o por el suelo o el mar, es mayor que la de liberación, este elemento se acumula temporalmente en cualquiera de esos medios. Si tal acumulación ocurre por periodos prolongados, el proceso se denomina secuestro de carbono (Sedjo, 1990).

La capacidad de secuestrar carbono varía en función de la naturaleza del ecosistema y sus componentes (Olson *et al.*, 1983).

### **Intercambio neto de bióxido de carbono CO<sub>2</sub> en cultivos**

La agricultura aporta alrededor del 10-12% de las emisiones antropogénicas mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), una cuota de espera que incrementa debido a un aumento en el uso del suelo y la intensidad de la gestión de la agricultura mundial (Smith *et al.*, 2007).

Verma *et al.* (2005) los valores medidos para regadío y de secano los cultivos de maíz que van desde 3800 hasta 5200 kg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Mientras que Moureaux *et al.* (2006) midió un valor más alto de 6100 kg C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para un cultivo de primavera, remolacha azucarera en Bélgica.

Huang *et al.* (2009) mide más de un intercambio neto de producción en una rotación de trigo y maíz de invierno en Yucheng (China, semi-húmedo y el clima del monzón), y obtuvo un promedio de 7200 kg C ha<sup>-1</sup>, sin intervalo de tiempo

entre dos cosechas sucesivas. Las previsiones, según el modelo fue muy similar, en  $7810 \text{ kg C ha}^{-1}$ . Se estimó para una secuencia de cultivos similares de maíz, cebada y trigo de invierno en un Grignon observó  $13137 \text{ kg C ha}^{-1}$  y simulados  $13510 \text{ kg C ha}^{-1}$ . La diferencia entre ambos estudios se debe a la diferencia entre la estimación de la PNP. De hecho, Wang *et al.* (2005) modeló el PNP para el mismo sitio en China igual límite de 3340 para el trigo estación de crecimiento y  $3850 \text{ kg C ha}^{-1}$  para ciclo de cultivo, mientras que se estimó PNP de  $6680 \text{ kg C ha}^{-1}$  para el maíz en 2005 y  $7435 \text{ kg C ha}^{-1}$  para el trigo de invierno en 2006.

La producción neta de bioma es muy sensible a la estimación de la remoción de la biomasa desde el campo y los insumos orgánicos del estiércol. Nuestro modelo predice las rotaciones de NEU-Grignon y Aurad'e siendo sumideros netos de C, mientras que Grant *et al.* (2007) simuladas de secano o de regadío rotaciones maíz-soja como fuentes netas de C, que emiten entre 400 y  $800 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en la atmósfera. Compararon su estimación de NBP mediante la simulación de la variación de existencias de C del suelo durante periodos de simulación de 100 años. De esta manera, se estima una pérdida de C orgánico del suelo de  $300 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el sistema de secano y un aumento de  $600 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el sistema de regadío.

### **Intercambio neto de bióxido de carbono CO<sub>2</sub> en bosques**

En México, se han realizado pocos estudios de captura de carbono. Entre éstos puede mencionarse el de De Jong *et al.* (1999), quienes determinaron

contenido de carbono en un intervalo de 147 a 504 t ha<sup>-1</sup> en ecosistemas forestales de clima templado, incluyendo zonas de pastizal y de cultivo.

Biométricos y la cámara de medición de flujo de NEE base hecha en una cronosecuencia de pino ponderosa (*Pinus ponderosa*) de bosques que van desde 9 a > 300 años de antigüedad en Metolius, Oregon, EE.UU., demostró que la absorción de carbono en más maduros (95-106 años de edad) se encuentran (-170 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup>). El más bajo consumo de carbono en el crecimiento de edad (190-216 años de edad) se encuentra (-35 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup>). La captación moderada en jóvenes (56-89 años de edad) se encuentra (-118 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup>). Y gran emisión de carbono a puesto en marcha recientemente (9-23 años de edad) se encuentra (124 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup>) (Law *et al.*, 2003).

Un estudio en este de América del Norte mostraron un sumidero de carbono que fue mayor en edad madura que el cercano bosque maduro. Este viejo-crecimiento (200 años de edad) este bosque de pinabetes en el centro de Massachusetts, EE.UU., informó NEE de octubre 2000 a octubre 2001 de -295 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup>, significativamente más grande que Sylvania (Hadley y Schedlbauer, 2002). Aunque el dosel de la vegetación es similar. Esto contrasta con la de Harvard bosque maduro (60 años de edad) bosque caducifolio de hoja ancha mixtos en el centro de Massachusetts, que había una NEE en el medio -120 y -280 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup> entre 1991 y 2000 (Barford *et al.*, 2001; Goulden *et al.*, 1996). Además, un (90 años de edad), abeto rojo / abeto oriental / abeto de Douglas

bosque boreal en Howland, ME, había una NEE en 1996 de  $-210 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  (Hollinger *et al.*, 1999).

En este estudio, se analizaron los efectos de la nubosidad en el intercambio neta de los ecosistemas de dióxido de carbono (NEE) en un pino coreano templados de hoja ancha en el bosque mixto Changbaishan (CBS) y un bosque subtropical perenne de hoja ancha en Dinghushan (DHS), basado en los datos de flujo obtenidos durante junio-agosto de 2003 a 2006. Los resultados mostraron que la respuesta de NEE de los ecosistemas forestales de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) se diferencia bajo un cielo despejado y el cielo nublado. Los dos bosques de la CBS y el DHS son bosques primarios, pero siguen actuando como sumidero de carbono fuerte. Los valores medios anuales de la productividad neta de los ecosistemas (NEP) (desde 2003 a 2005) en CBS y en el DHS fueron  $259 \pm 19$  y  $434 \pm 66 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$ , respectivamente (Yu *et al.*, 2008).

El intercambio neto de bióxido de carbono, obtenida por medición de covarianza Eddy en un 60 y 80 años de edad en los bosques caducifolios, en el noreste de EE.UU. varió desde 1,2 hasta 2,5 t C ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> durante el período comprendido entre 1993 y 2000 (Barford *et al.*, 2001).

Observado NEE en un pantano subárticas varió de una fuente neta de  $76 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  en 1994 a un sumidero neto de  $235 \text{ g.C.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  en 1996 (Griffis *et al.*, 2000).

Curtis *et al.*, (2002) utilizando el método de covarianza Eddy, realizaron un estudio en bosques caducifolios para medir el NEE en diferentes años y 5 lugares,

Walker Branch en el este de Tennessee durante el año 1995 (WB), Morgan Monroe en el centro-sur de Indiana durante el año 1997 (MMSF), bosques de Harvard en la parte norte-central de Massachusetts durante el año 1990 (HF), en la estación biológica de la universidad de Michigan en el norte de Michigan en el año 1998 (UMBS) y Willow Creek en la parte norte-centro de Wisconsin en el año 1998 (WC) en la que obtuvieron los siguientes resultados de NEE, WB  $5.77 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , MMSF  $2.36 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , HF  $2.00 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , UMBS  $1.67 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , y WC  $2.20 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Wilson *et al.*, (2001) midieron el NEE en un bosque mixto de Oak Ridge, Tennessee, EE.UU. utilizando el método de covarianza Eddy en la que reportan que la máxima tasa de intercambio neto de  $\text{CO}_2$  del ecosistema fue de  $3.21 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Se midió la red de intercambio de  $\text{CO}_2$  de los ecosistemas (NEE) mediante la técnica de covarianza Eddy (CE) en 4 años (2001–2005), en el viejo campo contiguo (DE), plantado de pinos (PP) y de bosques de frondosas (HW). De los ecosistemas en el Bosque de Duke, Carolina del Norte, EE.UU. (PP) con un promedio de  $1250 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$  y (WH) con un promedio de  $1650 \text{ g C m}^{-2} \text{ años}^{-1}$ . (Paul *et al.*, 2006).

### **Intercambio neto de bióxido de carbono $\text{CO}_2$ en pastizales**

Los pastizales constituyen aproximadamente el 40% de la superficie terrestre del planeta, excluyendo las áreas de la cubierta de hielo permanente (World Resources Institute, 2000).

Los pastizales en las grandes llanuras, que ocupa alrededor de 1,5 millones de km<sup>2</sup>, se caracterizan por diferentes vías fotosintéticas que el cambio de C3 posición dominante en el norte hasta C4 dominio en el sur (Tieszen *et al.*, 1997).

Estos pastizales sirven como recursos para la producción ganadera en América del Norte y contribuyen de manera importante la regulación del clima mundial y del balance de carbono. Estudios previos han sugerido que los ecosistemas de pastizales pueden funcionar como sumideros de carbono potencial, o son cerca del equilibrio, y podría contribuir a equilibrar el presupuesto mundial de carbono en las praderas de pasto alto (Dugas *et al.*, 1999), las praderas de pastos mixtos (Frank y Dugas 2001; Sims y Bradford 2001, Frank 2004; Haferkamp y MacNeil 2004), la estepa de artemisa (Gilmanov *et al.*, 2006), y otros ecosistemas de pastizales templados (Janssens *et al.*, 2003). Sin embargo, los ecosistemas de pastizales también se libera carbono a la atmósfera durante la sequía (Grant *et al.*, 2007; Pereira *et al.*, 2007; Arnone *et al.*, 2008).

Una gran variabilidad se informó de 20 pastizales europeos con NEE que van desde -164 a 654 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup> (Gilmanov *et al.*, 2007); estos pastizales fueron los sumideros de carbono durante los años con precipitaciones favorables y las fuentes de carbono en los años de sequía.

Variabilidad similares También se informó de una pradera en el sur de las grandes Planicies se encontraron -155 a 118 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup> (Meyers, 2001).

Las praderas canadienses templados mixtos se encontraron -18 a 21 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup> (Flanagan *et al.*, 2002).

Pastizales mediterráneos en California encontraron  $-155$  a  $-56$   $\text{g.C.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  (Ma *et al.*, 2007).

Pastizales semiáridos en Hungría se encontró  $-80$  a  $188$   $\text{g.C.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  (Nagy *et al.*, 2007).

En las que pacen los pastizales en el sur del Mediterráneo Portugal ( $-49$  a  $190$   $\text{g.C.m}^{-2}.\text{año}^{-1}$  (Aires *et al.*, 2008).

Soussana *et al.*, (2007) reportaron un promedio de nueve sitios de pastizales en Europa de  $2400 \pm 700$   $\text{kg C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , corresponden a los sumideros de C fuerte.

Li *et al.*, (2005) utilizando el método de covarianza Eddy realizaron un estudio para medir la NEE en una estepa típica del centro de Mongolia, cuya especie predominante eran plantas C3 en la que obtuvieron valores de NEE de  $4.1$   $\text{t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

Jaksic *et al.*, (2006) Realizaron un estudio en el suroeste de Irlanda durante dos años (2002-2003), en un pastizal templado de especie *Lolium perenne* L., en la que reportan un valor promedio de NEE para el año 2002 de  $1.93$   $\text{t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $2.58$   $\text{t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  para el año 2003, también mencionan que el valor promedio más alto reportado se debe a que durante el año 2003 estuvo más húmedo en comparación con el año 2002.

## **Intercambio neto de bióxido de carbono CO<sub>2</sub> en sabana**

La variabilidad interanual en la producción primaria y la respiración del ecosistema fue explorada a partir de datos de covarianza Eddy en un sitio de sabana semiárida en el Parque Kruger, en Sudáfrica. La integral anual de los datos NEE llena se encontró en un rango de -138 a 155 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup> sobre el período de 5 años de medición con la covarianza Eddy. Cuando se aplica a una serie de tiempo de 25 años de datos meteorológicos, el modelo predice una ANN NEE media anual de 75 (± 105) g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup> (Archibald, 2009).

En el presente estudio, la energía y el intercambio de dióxido de carbono fue medida durante un período de 2 años utilizando la técnica de covarianza Eddy en un sitio de sabana del sur sudanesa en Burkina Faso (África Occidental) que no estaba sujeto a las perturbaciones humanas a excepción de quemas anuales. La absorción total neta de CO<sub>2</sub> del ecosistema fue de 179 ± 98 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup> en el primer año y 429 ± 100 g.C.m<sup>-2</sup>.año<sup>-1</sup> en el segundo año de investigación, incluyendo una estimación de la pérdida anual C de 149 g.C.m<sup>-2</sup>. La notable diferencia en la captación neta de CO<sub>2</sub> entre los dos años podría explicarse por el aumento de las precipitaciones en 2006, revelando la sensibilidad de los ecosistemas a la disponibilidad de agua y distribución de las precipitaciones que podrían conducir a un cambio significativo en los patrones de captura de carbono bajo un clima cambiante (Brümmer, 2008).

## **Intercambio neto de bióxido de carbono CO<sub>2</sub> en cultivos de nogal pecanero**

Vázquez (2009), observo en el verano del 2008, en una huerta de nogal pecanero de 28 años de edad en la propiedad de Tres Maravillas en el municipio de Zaragoza Coahuila (México), utilizando la técnica de covarianza Eddy con una retención de carbono promedio diaria a 5.46 t C ha<sup>-1</sup> por ciclo de crecimiento.

### **Descripción de la eficiencia intrínseca del uso del agua**

La eficiencia intrínseca del uso del agua, se define como la relación entre la velocidad del flujo de bióxido de carbono hacia la superficie vegetal y la velocidad del flujo de vapor de agua desde la superficie vegetal (condon, 2004).

Tanto A (Ec. [1]) y T (Ec. [2]) son el producto de dos factores: la conductancia estomática (g) o de CO<sub>2</sub> (g<sub>c</sub>) o vapor de agua (g<sub>w</sub>) y un gradiente de concentración de cualquiera de CO<sub>2</sub> (C<sub>a</sub> - C<sub>i</sub>) o de vapor de agua (W<sub>i</sub> - W<sub>a</sub>) entre el aire fuera de la hoja y el aire dentro de la hoja

$$A = g_c (c_a - c_i) \quad [1]$$

$$T = g_w (w_i - w_a) \quad [2]$$

Para la concentración de CO<sub>2</sub> es mayor fuera de la hoja, mientras que para la concentración de vapor de agua es mayor dentro de la hoja. La eficiencia intrínseca del uso del agua (W<sub>T</sub>), la relación de A y T, pueden ser muy aproximadamente por la ecuación. [4], que se deriva simplemente de la ecuación. [3].

$$W_T = A/T = [g_c(c_a - c_i)]/[g_w(w_i - w_a)] \quad [3]$$

$$W_T \approx 0.6c_a(1 - c_i/c_a)/(w_i - w_a) \quad [4]$$

Donde el factor de 0,6 se refiere a la difusividad relativa de CO<sub>2</sub> y el vapor de agua en el aire. Suponiendo que el vapor de agua de gradiente de concentración es una variable independiente, entonces. La ecuación. [4] indica que W<sub>T</sub> es una función negativa de la industria (relación entre la concentración de CO<sub>2</sub> intercelular) y C<sub>a</sub> (la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>).

Para los que no hizo hincapié en las plantas de las especies C3, el valor de C<sub>i</sub> / C<sub>a</sub> es típicamente cerca de 0,7 (Farquhar *et al.*, 1989). Este "operativo" el valor de C<sub>i</sub> / C<sub>a</sub> está determinada por el equilibrio entre la conductancia estomática y la capacidad fotosintética. La conductancia estomática influye en el suministro de CO<sub>2</sub> en el interior de la hoja, mientras que la capacidad fotosintética determina la demanda de CO<sub>2</sub>. La capacidad fotosintética es la cantidad y la actividad de la maquinaria fotosintética por unidad de área foliar. Un valor más bajo de C<sub>i</sub> / C<sub>a</sub> y por lo tanto mejorar W<sub>T</sub> puede lograrse ya sea a través de la conductancia estomática menor o mayor capacidad fotosintética, o una combinación de ambos.

### **Eficiencia intrínseca del uso del agua en diferentes tipos de vegetación**

Las plantas pierden agua a expensas de ganar carbón. La relación entre la fotosíntesis y transpiración es una medida del uso eficiente del agua. Teóricamente es una relación, que está en función de concentración interna de

CO<sub>2</sub> en las hojas y la diferencia de presión de vapor de aire en la hoja (Jones, 1983).

### **Eficiencia intrínseca del uso del agua en cultivos**

Baldocchi (1994) reportó valores de eficiencia intrínseca del uso del agua (4.45 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>) para un cultivo de trigo y maíz.

Zhao *et al.*, (2007) reportó de un cultivo de trigo en invierno (*Triticum aestivum* L.) en la llanura del norte de China, donde el trigo es un cultivo importante y las precipitaciones son escasas y variable, con la técnica de covarianza Eddy se calculó en el dosel del cultivo en su máxima etapa de crecimiento, encontraron los valores de eficiencia intrínseca del uso del agua de 2.205–2.79 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> en la estación Yucheng Agro-ecosistemas.

Amaya, A. *et al.*, (1995). En estudios previos indican que la eficiencia intrínseca del uso del agua de las hojas de la planta de caña de azúcar son de 3.5 a 4.0 μmol CO<sub>2</sub> μmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>.

El-Sharkawy *et al.*, (1984) encontraron en frijol (C<sub>3</sub>) valores de 3.9 mmol CO<sub>2</sub> mmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>, en yuca, valores de 5.1 mmol CO<sub>2</sub> mmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> y en sorgo (C<sub>4</sub>), 7.1 mmol CO<sub>2</sub> mmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>.

Bota *et al.*, (2001) realizaron un estudio la isla de Mallorca, España, en 20 genotipos de uva y encontraron la mayor eficiencia en el uso del agua de 0.073 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> en la variedad Calop Blanc

## **Eficiencia intrínseca del uso del agua en bosques**

López *et al.*, (2001) mencionan que al realizar un estudio en chichina, Colombia en especies que sirven como sombra en cafetales, observaron que Bertol (*T. rosea*) fue la especie que presentó la mayor incorporación neta de CO<sub>2</sub> por unidad de agua transpirada (5.2 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>) seguida de Meliaceae (*C. odorata*), paca prieto ó laurel (*C. alliodora*), tarumá o Pechiche (*V. cymosa*) y Catarina Cherry (*P. integrifolia*) con valores de 5.1, 4.0, 4.3 y 3.5 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> respectivamente. Al estimar cantidad de H<sub>2</sub>O requerida para producir 1g de biomasa se encontró que *T. rosea* consumió menos agua (117.7 g) seguida de *C. odorata*, *C. alliodora*, *V. cymosa* y *P. integrifolia* con gastos de 119.3, 138.3, 144.3 y 177.8 g de agua respectivamente. Desde el punto de vista de captura de carbono, *C. odorata* y *C. alliodora* fueron las que mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> presentaron.

Law *et al.*, (2002) estima que 1.41 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para los bosques templados de hoja caduca, 1 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para las coníferas de hoja perenne de clima templado y 0.62 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para la vegetación de tundra.

## **Eficiencia intrínseca del uso del agua en pastizales**

Hastings *et al.*, (2005) mencionan que realizaron un estudio en baja california sur, México, durante tres años, en especies comunes de arbustos del desierto de esta región, en la que reportan valores máximos de eficiencia en el uso del agua de 3.45 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> para el año 2001, 2.25 mmolCO<sub>2</sub> molH<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>

en el año 2002 y  $2.64 \text{ mmolCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$  en el año 2003, además hacen mención que los valores máximos obtenidos en la eficiencia del uso del agua se debió a que en esos años hubo mayor precipitación.

### **Eficiencia intrínseca del uso del agua en cultivo de nogal pecanero**

Vázquez (2009), observo en el verano del 2008, en una huerta de nogal pecanero de 28 años de edad en la propiedad de Tres Maravillas en el municipio de Zaragoza Coahuila (México). Encontrando valores de la eficiencia intrínseca promedio del uso de agua de  $1.87 \text{ mmolCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$ .

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **Ubicación y características del sitio de estudio**

El estudio se realizó durante los meses de mayo, junio y julio de 2008, en una huerta de nogal pecanero de la pequeña propiedad “Tierra blanca”, localizada en el ejido Mieleras, municipio de Matamoros, Coahuila, México. Las coordenadas geográficas de la localidad son: 25° 25' N, 103° 18' O con una elevación de 1200 m. Dentro de la huerta se delimitó una sección de aproximadamente 40 hectáreas con árboles de los cultivares Wichita y Western de 50 años de edad y altura promedio de 16 m. Las dimensiones promedio del área de estudio (dentro de la huerta) fueron 1120 m en la dirección Norte-Sur por 400 m en la dirección Este-Oeste.

El marco de plantación de los árboles es tresbolillo con una separación de 15 m. La huerta se riega únicamente de marzo a noviembre usando para ello un sistema de riego por goteo subsuperficial. Los riegos se aplican diariamente para acumular un volumen de riego mensual que varía para cada mes como se indica en el Cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Volúmenes de agua mensuales aplicados ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) durante 2008 en la huerta nogalera de Tierra Blanca, Municipio de Matamoros, Coahuila, México.

<b>Mes</b>	<b>Volumen (<math>\text{m}^3</math>)</b>
Marzo	600
Abril	900
Mayo	1 500
Junio	1 800
Julio	1 950
Agosto	1 900
Septiembre	1 700
Octubre	900
Noviembre	850
<b>Total annual</b>	<b>12 100</b>

### **Instrumentación y mediciones**

Para analizar el potencial de secuestro de carbono por los arboles de la huerta y la eficiencia intrínseca del uso de agua por el ecosistema, se midieron todos los componentes de la ecuación del balance de energía sobre la superficie vegetal de la huerta de nogal, la cual se describe como:

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

Donde:  $R_n$  es la radiación neta,  $H$  y  $LE$  son el flujo de calor sensible y latente respectivamente,  $G$  es el flujo de calor en la superficie del suelo,  $PH$  es la energía utilizada en la fijación de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y  $S$  es la energía

almacenada por cambios de temperatura del aire, la vegetación y por cambios en la humedad específica de la capa de aire a la altura de los arboles, las unidades de todos los términos de la ecuación equivale a  $W m^{-2}$ , ya que representan un flujo o almacenamiento de energía por unidad de superficie y unidad de tiempo.

Las mediciones de flujo de calor latente, calor sensible y flujo de bióxido de carbono ( $FCO_2$ ) se realizaron de acuerdo con el método de la covarianza Eddy utilizando las siguientes relaciones (Ham y Heilman, 2003)

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

$$H = \rho_a C_p \overline{w'Ts'} - 0.51 Ta \frac{\rho_a C_p}{L} LE \quad (3)$$

$$FCO_2 = \overline{w'\rho_{co_2}'} \quad (4)$$

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  $w'\rho_{co_2}'$ ,  $w'\rho_{wv}'$ ,  $w'Ts'$  representan las covarianzas entre la velocidad vertical del viento ( $w$ ) y la densidad del bióxido de carbono ( $\rho_{co_2}$ ), 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 determinado segmento de tiempo. La velocidad vertical del viento y la temperatura sónica se midieron con un anemómetro sónico tridimensional (CSI-CSAT3, Campbell, Sci, Inc), mientras que  $\rho_{wv}$  y  $\rho_{co_2}$  con un analizador de bióxido de

carbono y vapor de agua de sendero abierto (open path CO<sub>2</sub> H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> analyzer, LI-7500; LI-COR). Ambos sensores se montaron en una torre de 16 m de altura para lograr una distancia vertical mínima de 2 m sobre el dosel de los arboles (Figura 3.1). La torre se instaló al centro de la huerta de estudio, y los sensores se instalaron apuntando a una orientación de 45° (noreste) para lograr un fetch (distancia horizontal desde la ubicación de los sensores al límite del área de estudio) de por lo menos 200 m, en un ángulo de +/- 90° respecto a la orientación del anemómetro sónico tridimensional, ya que en esta localidad se presenta vientos dominantes del noreste. La velocidad vertical del viento, temperatura sónica, densidad del vapor de agua y del bióxido de carbono se midieron a una frecuencia de 10 Hz, y las covarianzas se calcularon cada 30 min.

Los flujos de vapor de agua y bióxido de carbono se corrigieron por efecto de densidad (Webb *et al.*, 1980). Posteriormente los flujos de H y LE se corrigieron para cerrar el balance de energía, considerando que con el método de covarianza Eddy se obtienen una buena determinación de la relación Bowen (H/LE). El flujo de CO<sub>2</sub> se corrigió con el mismo factor (Ham y Heilman, 2003). La temperatura del aire se midió (a la misma altura que las mediciones de Ts) con un sensor de temperatura y humedad relativa (HP45C, Vaisala, Inc.), a una frecuencia de 1 s y promedios de 30 min.



Figura 3.1. Anemómetro sónico tridimensional y analizador de vapor de agua y bióxido de carbono de sendero abierto, sobre el dosel de la huerta de nogal pecanero en Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.

El flujo de dióxido de carbono ( $FCO_2$ ) que se obtuvo con la Ec. 4, se expresa en  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Para expresarlo en unidades de flujo de energía ( $\text{W m}^{-2}$ ) se utilizó la relación:  $PH = FCO_2 * 0.469$ . La radiación neta se midió con un radiómetro neto (modelo Q7.1, REBS, Inc.), que se colocó en la torre a una altura de 2 m sobre la copa de los árboles. El flujo de calor en la superficie del suelo se midió usando dos transductores de calor (modelo HFT3, Campbell Scientific, Inc.) que se enterraron a una profundidad de 0.08 m por debajo de la superficie del suelo, uno en condiciones de suelo húmedo y sombra y el otro en suelo seco y bajo radiación solar directa en la superficie del suelo. Esto para generar el valor promedio de G de la superficie de estudio. A cada valor de G medido a 0.08 m, se le sumó el cambio de energía del estrato de suelo sobre el transductor por

cambios de temperatura del perfil de suelo sobre el sensor. La temperatura del suelo se midió con un termopar (chromel-constantan) de cuatro puntas (Kanemasu et al., 1992; Kustas *et al.*, 2000). Estas mediciones se realizaron a una frecuencia de un segundo y se generaron promedios de 30 min.

La energía almacenada en la capa (S), es el resultado de los cambios de temperatura del aire en la capa (Sa), cambios de temperatura de la vegetación en la capa (Sv) y cambios en la humedad específica del aire en la capa (Sq), que se determinó con la siguiente relación:

$$S = \int_0^z (\rho_a C_p \frac{\partial T_a}{\partial t}) dz + \int_0^z (m C_w \frac{\partial T_v}{\partial t}) dz + \int_0^z (\rho_a \lambda \frac{\partial q}{\partial t}) dz \quad (5)$$

Donde:  $\rho_a$  y  $C_p$  son la densidad y capacidad calorífica del aire,  $T_a$  es la temperatura del aire,  $t$  es tiempo,  $z$  es profundidad,  $m$  es la relación de kg de agua por  $m^3$  de vegetación,  $C_w$  es la capacidad calorífica del agua,  $T_v$  = temperatura de la vegetación,  $\lambda$  es el calor de vaporización del agua y  $q$  es la humedad específica del aire. La temperatura del aire y la humedad específica se obtuvieron a 4 y 8 m de altura (1/3 y 2/3 de la altura de los árboles) con un sensor de temperatura y humedad (HP45C, Vaisala, Inc.) colocado en cada elevación. El segundo termino de la Ec. 5 se determino midiendo la temperatura del follaje a las mismas elevaciones a las que se midió la temperatura del aire, utilizando dos termómetros infra-red, y considerando un contenido de 2 kg de agua del follaje por  $m^2$  de superficie del suelo. Las mediciones de  $T_a$ ,  $T_v$ , y  $q$  se realizaron a una frecuencia de un segundo y promedio de 30 min.

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

$$NEE = FCO_2 + \frac{\Delta\rho CO_2}{\Delta t} * \Delta Z \quad (6)$$

Donde:  $FCO_2$ , es el flujo de bióxido de carbono medido con el método de la covarianza Eddy (negativo hacia la superficie vegetal),  $\Delta\rho CO_2$  es el cambio en la densidad del  $CO_2$  medido a la misma altura a la que se midió el flujo de  $CO_2$ ,  $\Delta t$  es el intervalo de tiempo (30 min) y  $\Delta z$  es la altura a la que se realizaron las mediciones (16 m). La retención 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.

La eficiencia intrínseca 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 en el mismo intervalo de tiempo.

$$EF_{H_2O} = \frac{NEE}{ET} \quad (7)$$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Dinámica de flujos de bióxido de carbono

Entre el 26 de mayo y el 15 de junio de 2008, la tasa promedio máxima de intercambio neto diurno de CO<sub>2</sub> (NEE) durante el día, fue  $-17.028 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , y se presentó entre las 11:00 y las 16 h. Nótese que la tasa de NEE es baja al inicio del día hasta llegar a las 11:00 y las 16 h. La tasa de NEE alcanza su máximo valor y después decrece. La tasa promedio máxima de NEE durante la noche fue de  $4.606 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  y se observó entre las 21:00 y las 6:00 h del día siguiente, (Figura 4.1). Esto muestra el potencial de asimilación de bióxido de carbono del agroecosistema debido a que la tasa promedio máxima de NEE diurna fue 3.7 veces mayor que durante el periodo nocturno. En el periodo del 21 de junio al 18 de julio (Figura 4.2) la tasa máxima promedio de NEE en el día fue muy similar al del periodo anterior ( $-17.82 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), mientras que la tasa máxima promedio de NEE durante la noche fue  $5.183 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de tal manera que la tasa promedio máxima de NEE durante el día fue 3.4 veces mayor que la observada durante la noche.

De la última semana de mayo a la segunda semana de julio (26 de mayo al 18 julio) el valor de la tasa instantánea de NEE durante el día y la noche fue de  $-17.42$  y  $4.89 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  respectivamente. De tal forma que en promedio la tasa

máxima de NEE durante el día fue 3.6 veces mayor que la observada durante la noche. La capacidad de la tasa promedio máximo de NEE durante el día observado en este estudio, fue aproximado a la tasa máxima instantánea de NEE que observo Dolman *et al.*, (2004) en un bosque de ciprés Siberiano ( $18 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); fue similar a la que observo Baldocchi (1997) en un bosque templado de hojas anchas del sureste de EE.UU. ( $-20 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); Bowling *et al.*, (2001) en un bosque caducifolio templado ( $-23 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ); Kellomaki y Wang (2000) en un bosque boreal de pino en el este de Finlandia ( $-15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). Estos ejemplos muestran la capacidad de asimilación de  $\text{CO}_2$  que tienen las huertas de nogal en el norte de México.

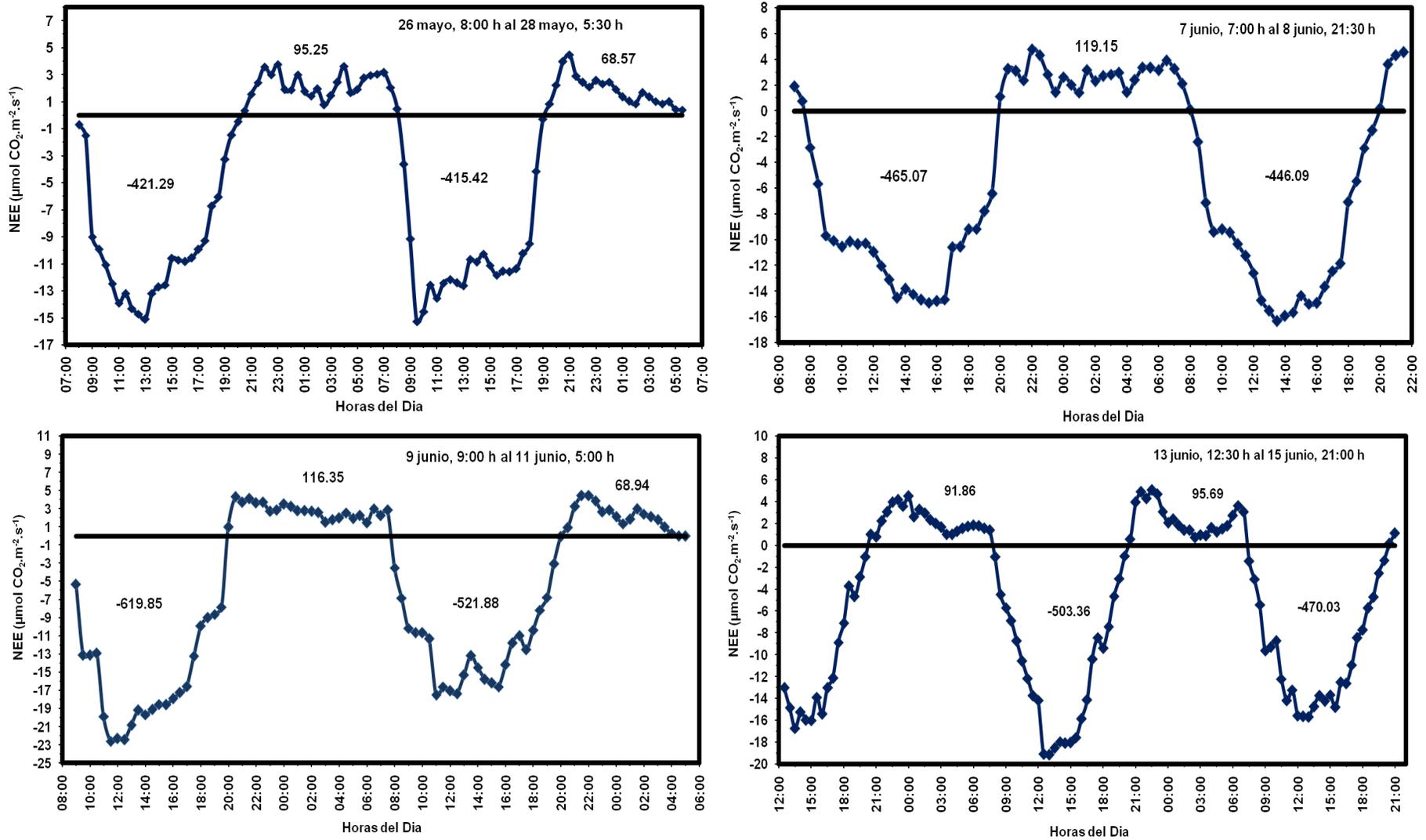


Figura 4.1. Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> (NEE) del ecosistema (suelo-vegetación), de una huerta de nogal pecanero para varios ciclos día-noche del 26 de mayo al 15 junio de 2008. Valores negativos representan liberación de CO<sub>2</sub> por el ecosistema. Mieleras, Matamoras, Coahuila, México.

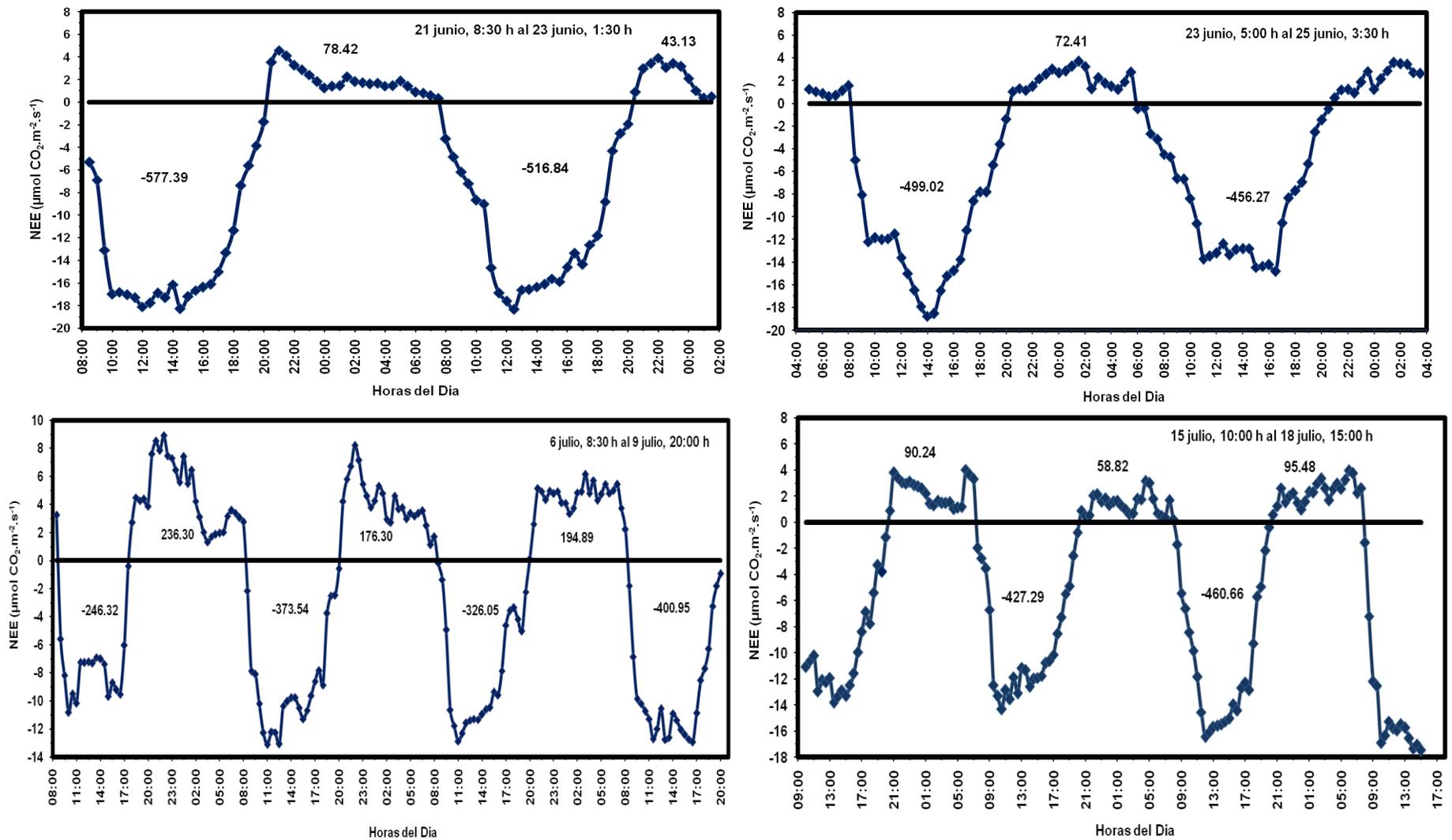
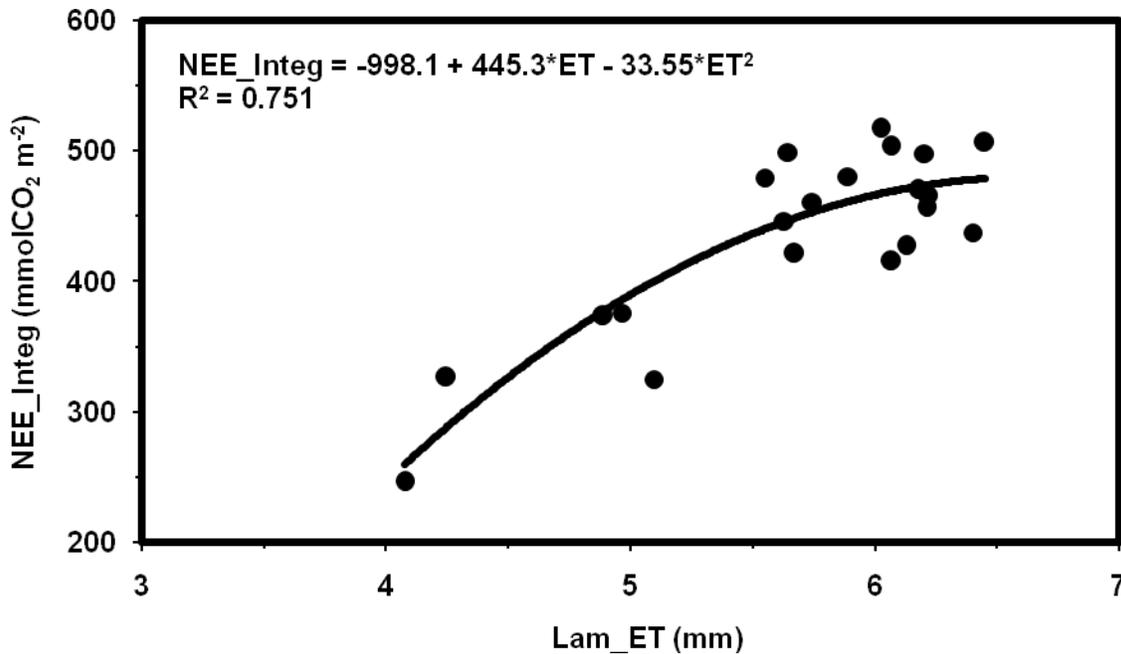


Figura 4.2. Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> (NEE) del ecosistema (suelo-vegetación), de una huerta de nogal pecanero para varios ciclos día-noche del 21 de junio al 18 julio de 2008. Valores negativos representan asimilación y valores positivos representan liberación de CO<sub>2</sub> por el ecosistema. Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.

## **Relación entre los flujos integrados diurnos del intercambio neto de bióxido de carbono del ecosistema y la lamina de agua evapotranspirada**

La relación entre los valores diurnos integrados (8:00 - 19:00 h) del intercambio neto de bióxido de carbono del ecosistema (NEE) y la evapotranspiración (ET) diurna en el mismo intervalo de tiempo, fue cuadrática ( $R^2 = 0.751$ ) (Figura 4.3). Esto indicó que a partir de un determinado valor de evapotranspiración, incrementos adicionales no incrementan la tasa de asimilación de bióxido de carbono del ecosistema. Esto probablemente se debió a que una mayor apertura de los estomas de las hojas promovió una mayor tasa de evapotranspiración, pero no una mayor tasa de asimilación de bióxido de carbono, debido a que la resistencia tanto del aire como de los estomas de las hojas al flujo de  $\text{CO}_2$  es mayor que al flujo del vapor de agua. Otros estudios (Medrano *et al.*, 2002) realizados en un cultivo de vid mostraron que la tasa de asimilación de bióxido de carbono no se incrementa a valores mayores de conductancia estomática.



Cuadro 4.3. Relación del intercambio neto de bióxido de carbono CO<sub>2</sub> de los ecosistemas (NEE) y la lamina de agua evapotranspirada (ET), observada del 26 de mayo al 18 de julio, 2008 en una huerta de nogal pecanero de Mieleras, Matamoros, Coahuila, México

### **Eficiencia intrínseca del uso del agua por la huerta de nogal**

La eficiencia intrínseca del uso del agua decreció a medida que aumentó la tasa de evapotranspiración (Figura 4.4). Esto probablemente se debió a que el incremento en la apertura de los estomas de las hojas (por una mayor disponibilidad de agua en el suelo) resultó en un mayor flujo de vapor de agua del interior de las hojas hacia el aire, que el flujo de bióxido de carbono del aire hacia el interior de las hojas (Jones, 1992, Nobel, 2009). Además, debido a que el peso molecular del vapor de agua (18 g mol<sup>-1</sup>) es menor que el del aire (28 g mol<sup>-1</sup>), este fluye más rápido desde la superficie de las hojas hacia la atmósfera. Por el

contrario, dado que el peso molecular del bióxido de carbono ( $44 \text{ g mol}^{-1}$ ) es mayor que el del aire, el flujo de este desde la atmósfera a la superficie de las hojas es menor.

Entre el 26 de mayo y el 15 de junio, la eficiencia intrínseca del uso del agua promedio diaria ( $E_{f\_H_2O}$ ) fue  $1.47 \text{ mmolCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$  a una tasa promedio diaria de evapotranspiración de 5.9 mm (Figura 4.4). Y fue muy similar al periodo comprendido entre el 21 de junio y el 18 de julio (Figura 4.5), donde la eficiencia promedio diaria fue  $1.31 \text{ mmolCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$  a una tasa de evapotranspiración promedio diaria de 5.05 mm. Los valores de  $E_{f\_H_2O}$  de la huerta de nogal pecanero encontrados en este estudio fueron muy similares a los reportados para un bosque templado de hoja caduca ( $1.31 \text{ mmolCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$ ), pero mayor a la observada en un bosque de coníferas de clima templado ( $1.0 \text{ mmolCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$ ) y para una vegetación de tundra ( $0.62 \text{ mmolCO}_2 \text{ molH}_2\text{O}^{-1}$ ) (Law *et al.*, 2002).

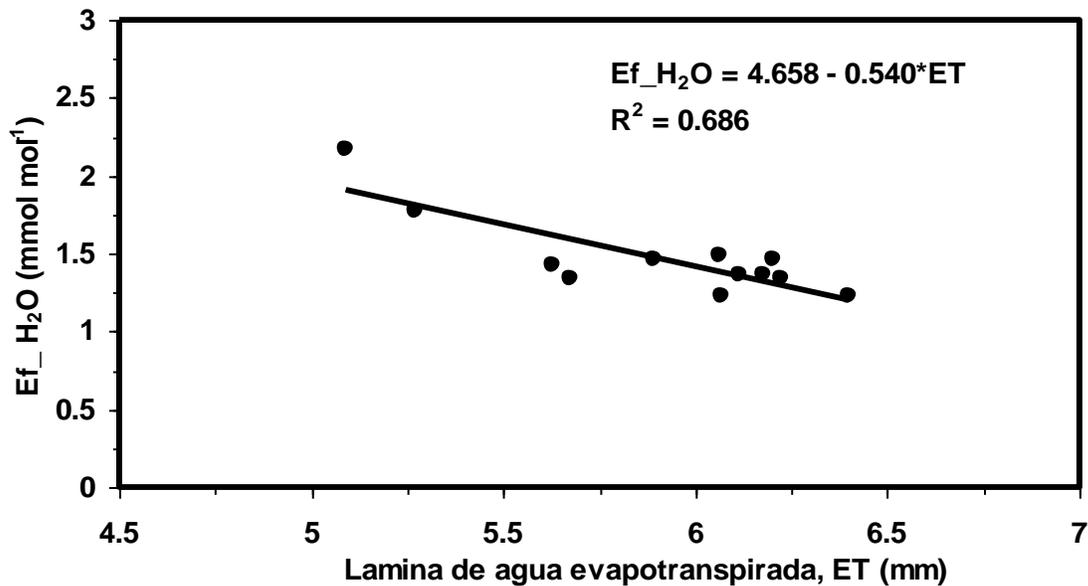


Figura 4.4. Relación entre la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $Ef_{H_2O}$ ) y la lamina de agua evapotranspirada (ET), observada del 26 de mayo al 15 de junio, 2008 en una huerta de nogal pecanero del ejido de Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.

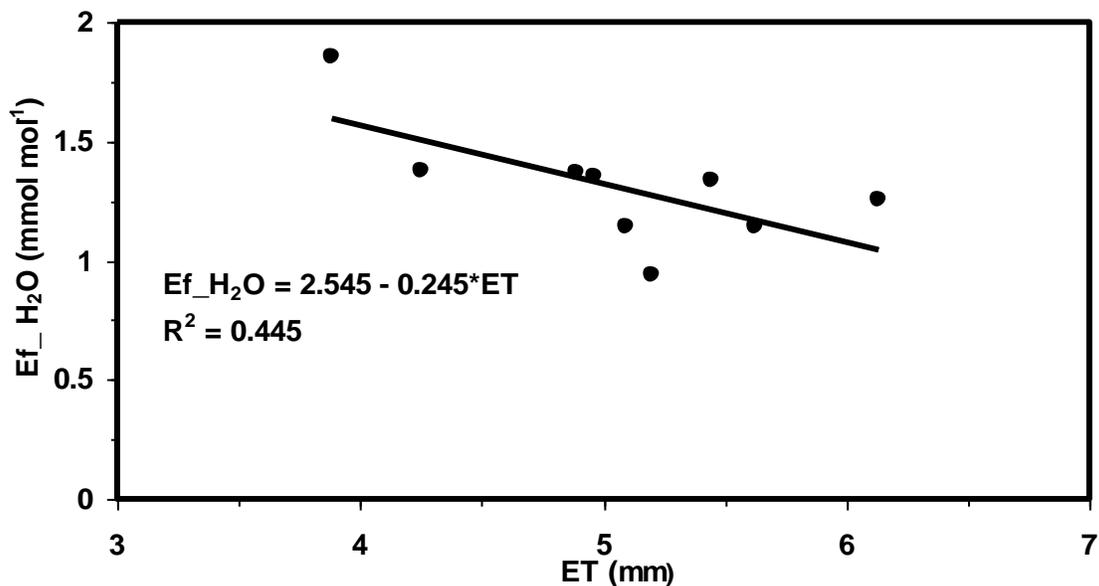


Figura 4.5. Relación entre la eficiencia intrínseca del uso del agua ( $Ef_{H_2O}$ ) y la lamina de agua evapotranspirada (ET), observada del 21 de junio al 18 de julio, 2008 en una huerta de nogal pecanero del ejido de Mieleras, Matamoros, Coahuila, México.

## Potencial de secuestro de carbono de la huerta de nogal

Del 26 de mayo al 18 de julio, el intercambio neto de bióxido de carbono del ecosistema (NEE) promedio diario fue  $448.531 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$ , mientras que la liberación nocturna promedio fue de  $106.975$ , esto representó una retención promedio diaria de  $\text{CO}_2$  de  $341.556 \text{ mmol CO}_2 \text{ m}^{-2}$  (Cuadro 4.1). Esto equivale a  $4.1 \text{ g C m}^{-2}$  o  $41 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Tomando en cuenta que el ciclo de mayor crecimiento del cultivo es de de 150 (mayo-septiembre) y que se mantiene la tasa de retención de carbono promedio diaria mencionada, esto equivaldría a  $6.15 \text{ t C ha}^{-1}$  por ciclo de crecimiento. Este resultado es un indicador de la capacidad de asimilación de bióxido de carbono que tiene este ecosistema vegetal, ya que fue similar a un bosque caducifolio en Morgan Monroe en el centro-sur de Indiana ( $5.77 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) (Curtis *et al.*, 2002), similar a la observada en un bosque boreal en Canadá ( $39 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) (Amiro, 2001), y aproximadamente igual a la observada en una estepa típica del centro de Mongolia en la que se obtuvieron valores de ( $4.1 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) (Li *et al.*, 2005), pero mayor a la observada en un bosque de haya de la especie *Fagus sylvatica* ( $1.37 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) (Anthoni *et al.*, 2004). Sin embargo, la tasa de retención de  $\text{CO}_2$  de la huerta puede cambiar de un ciclo de producción debido a cambios en el manejo agronómico de la huerta, disponibilidad de agua y programación del riego y por los cambios del clima.

Cuadro 4.1. Intercambio neto de bióxido de carbono CO<sub>2</sub> del ecosistema (NEE) para ciclos completos de asimilación y liberación en una huerta de nogal pecanero, del 26 de mayo al 18 de julio, 2008 en Mieleras Coahuila, México.

segmento de tiempo		NEE_CO2 día mmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup>	NEE_CO2 noche mmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup>
26 mayo, 8:00	26 mayo, 20:00	421.29	
26 mayo, 20:30	27 mayo, 8:00		95.25
27 mayo, 8:30	27 mayo, 19:00	415.42	
27 mayo, 19:30	28 mayo, 5:30		68.57
28 mayo, 20:30	29 mayo, 6:30		100.04
29 mayo, 7:00	29 mayo, 20:00	498.09	
29 mayo, 20:30	30 mayo, 6:30		74.82
7 junio, 8:00	7 junio, 19:30	465.07	
7 junio, 20:00	8 junio, 8:00		119.15
8 junio, 8:30	8 junio, 19:30	446.09	
9 junio, 9:00	9 junio, 19:30	619.85	
9 junio, 20:00	10 junio, 7:30		116.35
10 junio, 8:00	10 junio, 20:00	521.88	
10 junio, 20:30	11 junio, 5:00		68.94
12 junio, 20:30	13 junio, 7:00		95.56
13 junio, 20:30	14 junio, 7:30		91.86
14 junio, 8:00	14 junio, 20:00	503.36	
14 junio, 20:30	15 junio, 7:00		95.69
15 junio, 7:30	15 junio, 20:00	470.03	
16 junio, 7:30	16 junio, 20:00	437.4	
18 junio, 20:30	19 junio, 7:30		44.27
21 junio, 8:30	21 junio, 20:00	577.39	
21 junio, 20:30	22 junio, 7:30		78.42
22 junio, 8:00	22 junio, 20:00	516.84	
23 junio, 8:30	23 junio, 20:00	499.02	
23 junio, 20:30	24 junio, 5:30		72.41
24 junio, 6:00	24 junio, 20:30	456.27	
25 junio, 8:00	25 junio, 20:30	506.25	
28 junio, 20:30	29 junio, 7:30		140.69
29 junio, 8:00	29 junio, 19:00	479.57	
30 junio, 20:00	01 julio, 7:00		132.42
06 julio, 9:00	06 julio, 17:30	246.32	
06 julio, 18:00	07 julio, 8:00		236.3
07 julio, 8:30	07 julio, 20:00	373.54	
07 julio, 20:30	08 julio, 8:00		176.3
08 julio, 8:30	08 julio, 19:30	326.05	

08 julio, 20:00	09 julio, 8:00		194.89
09 julio, 8.30	09 julio, 20:00	400.95	
10 julio, 8.00	10 julio, 19:30	324.7	
11 julio, 8:30	11 julio, 19.30	273.07	
12 julio, 8:30	12 julio, 19.30	375.56	
15 julio, 20.30	16 julio, 7.00		90.24
16 julio, 7.30	16 julio, 20:00	427.29	
16 julio, 20:30	17 julio, 8:00		58.82
17 julio, 8:30	17 julio, 20:00	460.66	
17 julio, 20.30	18 julio, 7:30		95.48
<b>Promedio</b>		<b>448.531</b>	<b>106.975</b>

## V. CONCLUSIONES

La huerta de nogal pecanero evaluada, mostró una alta capacidad de asimilación de bióxido de carbono, ya que la tasa instantánea del intercambio neto de CO<sub>2</sub> del ecosistema (NEE) diurno fue similar al observado en bosques de diferentes especies. Los valores mayores se observaron entre las 11:00 y las 14:00 hr.

La relación entre el intercambio neto de bióxido de carbono integrado diurno y la evapotranspiración diaria fue cuadrática, Indicando que después de un determinado valor de evapotranspiración, incrementos adicionales no aumentan la tasa de asimilación de bióxido de carbono del ecosistema.

La eficiencia intrínseca del uso del agua ( $Ef_{H_2O}$ ) por el cultivo fue mayor a los observados en un bosque templado de hoja caduca, para las coníferas de hoja perenne en clima templado y para una vegetación de tundra. Se observó una relación lineal inversamente proporcional entre la  $Ef_{H_2O}$  y la lamina de agua evapotranspirada

La huerta de nogal pecanero evaluada, mostró un alto potencial de secuestro de carbono, ya que la estimación por ciclo de crecimiento de la retención de carbono por la misma, fue igual o mayor a la tasa de secuestro de carbono reportada para bosques de diferentes especies.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Amaya, E. A., J.H. Cock, A. Hernández y J. Irvine. Biología. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. p. 31-62
- Aires, L. M. I., C. A. Pio, and J. S. Pereira. 2008. Carbon dioxide exchange above a Mediterranean C3/C4 grassland during two climatologically contrasting years. *Global Change Biology* 14:539–555.
- Amiro, B.D. 2001. Paired-tower measurements of carbon and energy fluxes following disturbance in the boreal forest. *Global Change Biology* 7: 253-268.
- Andales, A., J. Wang, T. W. Sammis, J. G. Mexal, L. J. Simmons, D. R. Miller and V. P. Gutschick. 2006. A model of pecan tree growth for the management of pruning and irrigation. *Agricultural Water Management* 84:77-88.
- Anthoni, P.M., Knohl, A., rebmann, C., Freibauer, A., Mund, M., Ziegler, W., kolle, O. and Schulze, D. 2004. Forest and agricultural land-use dependent CO<sub>2</sub> exchange in Turingia, Germany. *Global Cheange Biology* 10: 2005-2019.
- Archibald, SA, Kirton, A, Van Der Merwe, M et al. 2009. Drivers of inter-annual variability in net ecosystem exchange in a semi-arid savanna ecosystem, South Africa. *Biogeosciences*, Vol. 6, p. 54.
- Arnone, J. A., III, P. S. J. Verburg, D. W. Johnson, J. D. Larsen, R. L. Jasoni, A. J. Lucchesi, C. M. Batts, C. Von Nagy, W. G. Coulombe, D. E. Schorran, P. E. Buck, B. H. Braswell, J. S. Coleman, R. A. Sherry, L. L. Wallace, Y. Luo, and

- D. S. Schimel. 2008. Prolonged suppression of ecosystem carbon dioxide uptake after an anomalously warm year. *Nature* 455:383–386.
- 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.
- Arreola, A. J., Lagarda M. A., Medicina M. M. C. 2002. Sistema de conducción, poda selectiva y aclareo de arboles. Tecnología de producción en nogal pecanero. CELALA, CIRNOC, INIFAP. Libro técnico número 3, Primera edición. ISBN: 968-800-542-8: 39-53.
- Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, U., Moncrieff, J., Foken, T., Kowalski, A. S., Martin, P. H., Berbigier, P., Bernhofer, C., Clement, R., Elbers, J., Granier, A., Grunwald, T., Morgenstern, K., Pilegaard, K., Rebmann, C., Snijders, W., Valentini, R., and Vesala, T.: Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: The euroflux methodology, *Adv. Ecol. Res.*, 30, 113–175, 2000.
- Baldocchi, D. 1994. A comparative study of mass and energy Exchange rates over a closed C3 (wheat) and an open C4 (corn) crop: II. CO<sub>2</sub> exchange and water use efficiency. *Agriculture and forest Meteorology*. 67: 291-321.
- Baldocchi, D. 1997. Measuring and modeling carbon dioxide and water vapour exchange over a temperate broad-leaved forest during the 1995 summer drought. *Plant Cell and Environmet* 20: 1108-1122.
- Baldocchi, D. D., Falge, E., Gu, L. H., Olson, R., Hollinger, D., Running, S., Anthoni, P., Bernhofer, C., Davis, K., Evans, R., Fuentes, J., Goldstein, A.,

- Katul, G., Law, B., Lee, X. H., Malhi, Y., Meyers, T., Munger, W., Oechel, W., U, K. T. P., Pilegaard, K., Schmid, H. P., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., and Wofsy, S.: Fluxnet: A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapor, and energy flux densities, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 82, 2415–2434, 2001.
- Barford, C.C., Wofsy, S.C., Goulden, M.L., Munger, J.W., Pyle, E.H., Urbanski, S.P., Hutyra, L., Saleska, S.R., Fitzjarrald, D., Moore, K., 2001. Factors controlling long- and short-term sequestration of atmospheric CO<sub>2</sub> in a mid-latitude forest. *Science* 294 (5547), 1688–1691.
- Bota, J., Flejox, J., Medrano, H. 2001. Genetic variability of photosynthesis and water use in Balearic grapevine cultivars. *Annals of Applied biology*. 138: 353-361.
- Bowling, D.R., Tans, P.T. and Monson, R.K. 2001. Partitioning net ecosystem carbon exchange with isotopic fluxes of CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology* 7: 127-145
- Brisson, F. R. 1974. Cultivo del Nogal pacanero. Trad. al español por F. Garza Flores. 1° Edición en español. CONAFRUT. SAG. 350 p.
- Brisson, F. R. 1992. Cultivo del Nogal Pecanero. 2<sup>a</sup> 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 87p.
- Chapin, F., Woodwell, G., Randerson, J., Rastetter, E., Lovett, G., Baldocchi, D., Clark, D., Harmon, M., Schimel, D., Valentini, R., Wirth, C., Aber, J., Cole, J.,

- Goulden, M., Harden, J., Heimann, M., Howarth, R., Matson, P., McGuire, A., Melillo, J., Mooney, H., Neff, J., Houghton, R., Pace, M., Ryan, M., Running, S., Sala, O., Schlesinger, W., and Schulze, E. D.: Reconciling carbon-cycle concepts, terminology, and methods, *Ecosystems*, 9, 1041–1050, 2006.
- Chávez, G. J. F., Medina M. M. C., Figueroa V. U. 2002. Fertilización de nogal. Tecnología de producción en nogal pecanero CELALA, SIRONOC, INIFAP. Libro técnico numero 3, primera ediccion. ISBN: 968-800-542-8: 101-125.
- Brümmer, C., U. Falk, H. Papen, J. Szarzynski, R. Wassmann, and N. Brüggemann (2008), Diurnal, seasonal, and interannual variation in carbon dioxide and energy exchange in shrub savanna in Burkina Faso (West Africa), *J. Geophys. Res.*, 113, G02030, doi:10.1029/2007JG000583.
- Condon, A.G., R. A. Richards, G. J. Rebetzke and G. D. Farquhar. 2004. Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, No. 407, Water-Saving Agriculture Special Issue, pp. 2447–2460.
- Curtis, P. S., Hanson, P. J., Bolstad, P., Barford, C., Randolph J. C., Schmid, H. P. and Wilson, K. B. 2002. Biometric and eddy-covariance based estimates of annual carbon storage in five eastern North American deciduous forests. *Agriculture and forest meteorology* 113:3-19.
- Damaris Leopoldina Ojeda-Barrios, Ofelia Adriana Hernández Rodríguez, Gustavo Rogelio López-Ochoa y Jaime Javier Martínez-Téllez. (2005) Evolución de los Sistemas de Producción de Nuez en México. *Tecnociencia Chihuahua*. Septiembre-Diciembre 2009. vol.III. no. 3.

Dirección General de Inocuidad Agroalimentaria, Acuícola y Pesquera. 2006.

Protocolo voluntario para la implementación de buenas prácticas agrícolas y buenas prácticas de manejo en los procesos de producción, cosecha y empaclado de nuez pecanera. Versión 1.0. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México. 19 p.

Dolman, A.J., T.C. Maximov, E.J. Moors, A.P. Maximov, J.A. Elbers, A.V.

Kononov, M.J. Waterloo and M.K. van der Molen. 2004. Net ecosystem exchange of carbon dioxide and water of far eastern Siberian Larch (*Larix cajanderii*) on permafrost. *Biogeosciences*, 1: 133–146.

Dugas, W. A., M. L. Heuer, and H. S. Mayeux. 1999. Carbon dioxide fluxes over

Bermuda grass, native prairie, and sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology* 93:121–139.

El-Sharkawy, M.A and J.H. Cock. 1984. Water use efficiency of cassava. I. Effects

of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. *CropScience* 24(3): 497-502.

Farquhar GD, Ehleringer JR, Hubick KT. 1989. Carbon isotope discrimination and

photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 40, 503–537.

FIDEICOMISOS INSTITUIDOS EN RELACIÓN A LA AGRICULTURA (FIRA).

2005. «Diagnóstico de la Red Nuez en el Estado de Chihuahua», Residencia Estatal Chihuahua, México.

- Flanagan, L. B., L. A. Wever, and P. J. Carlson. 2002. Seasonal and interannual variation in carbon dioxide exchange and carbon balance in a northern temperate grassland. *Global Change Biology* 8:599–615.
- Frank, A. B. 2004. Six years of CO<sub>2</sub> flux measurements for a moderately grazed mixed-grass prairie. *Environmental Management* 33:S426–S431.
- Frank, A. B., and W. A. Dugas. 2001. Carbon dioxide fluxes over a northern semiarid, mixed-grass prairie. *Agricultural and Forest Meteorology* 108:317–326.
- Gay, C. y J. Martinez. 1995. Mitigation of emissions of greenhouse gases in Mexico. *Interciencia* 20: 336-342.
- Gilmanov, T. G., J. F. Soussana, L. Aires, V. Allard, C. Ammann, M. Balzarolo, Z. Barcza, C. Bernhofer, C. L. Campbell, A. Cernusca, A. Cescatti, J. Brown, B. O. M. Dirks, S. Dore, W. Eugster, J. Fuhrer, C. Gimeno, T. Gruenwald, L. Haszpra, A. Hensen, A. Ibrom, A. F. G. Jacobs, M. B. Jones, G. Lanigan, , and G. Wohlfahrt. 2007. Partitioning European grassland net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange into gross primary productivity and ecosystem respiration using light response function analysis. *Agriculture Ecosystems and Environment* 121:93–120.
- Gilmanov, T. G., T. J. Svejcar, D. A. Johnson, R. F. Angel, N. Z. Saliendra, and B. K. Wylie. 2006. Long-term dynamics of production, respiration, and net CO<sub>2</sub> exchange in two sagebrush-steppe ecosystems. *Rangeland Ecology & Management* 59:585–599.

- 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. Morales V. J. 2000b. Necesidades de agua por el nogal. Tecnología de riego en nogal pecanero. CELALA, SIRNOC, INIFAP Libro científico numero 1. Primera edición. ISBN: 968-800-465-0: 21-34.
- 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.
- Goulden, M.L., Munger, J.W., Fan, S.M., Daube, B.C., Wofsy, S.C., 1996. Exchange of carbon dioxide by a deciduous forest: response to interannual climate variability. Science 271 (5255), 1576–1578.
- Grant, R. F., Arkebauer, T. J., Dobermann, A., Hubbard, K. G., Schimelfenig, T. T., Suyker, A. E., Verma, S. B., and Walters, D. T. (2007). Net Biome Productivity of Irrigated and Rainfed Maize Soybean Rotations: Modeling vs. Measurements. *Agron. J.*, 99(6):1404–1423.

- Griffis, T.J., W.R. Rouse and J.M. Waddington. 2000. Interannual variability of net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange at a subarctic fen. *Global Biogeochem. Cycles* 14:1109–1121.
- Hadley, J.L., Schedlbauer, J.L., 2002. Carbon exchange of an oldgrowth eastern hemlock (*Tsuga canadensis*) forest in central New England. *Tree Physiol.* 22 (15–16), 1079–1092.
- Haferkamp, M. R., and M. D. Macneil. 2004. Grazing effects on carbon dynamics in the northern mixed-grass prairie. *Environmental Management* 33, doi: 10.1007/s 00267-003-9154-x.
- Ham, J.M. and Heilman J.L. 2003. Experimental Test of Density and Energy Balance Corrections on Carbon Dioxide Flux as Measured Using Open Path Eddy Covariance. *Agronomy Journal* 95: 1393-1403.
- Hastings, S.J., Oechel, W.C., and Muhlia-Melo, A. 2005. Diurnal, seasonal and annual variation in the net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of a desert shrub community (*Sarcocaulis*) in Baja California, México. *Global Change Biology.* 11: 927-939.
- Herrera, E., Clevenger, T. 1996. Importancia económica de la industria nogalera en EE.UU. NMSU. Guía Z-501.
- Hollinger, D.Y., Goltz, S.M., Davidson, E.A., Lee, J.T., Tu, K., Valentine, H.T., 1999. Seasonal patterns and environmental controls of carbon dioxide and water vapour exchange in an ecotonal boreal forest. *Global Change Biol.* 5 (8), 891–902.

- Huang, Y., Yu, Y. Q., Zhang, W., Sun, W. J., Liu, S. L., Jiang, J., Wu, J. S., Yu, W., Wang, Y., and Yang, Z. F. (2009). Agro-C: A biogeophysical model for simulating the carbon budget of agroecosystems. *Agr. Forest Meteorol.*, 149(1):106–129.
- Jaksic, V., G. Kiely, J. Albertson, R. Oren, G. Katul, P. Leahy and K. A. Byrne. 2006. Net ecosystem exchange of grassland in contrasting wet and dry years. *Agriculture and Forest Meteorology*. 139: 323-334.
- Janssens, I. A., A. Freibauer, P. Ciais, P. Smith, G. Nabuurs, G. Folberth, B. Schlamadinger, R. W. A. Hutjes, R. Ceulemans, E.-D. Schulze, R. Valentini, and A. J. Dolman. 2003. Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions. *Science* 300:1538–1542.
- Janssens, I.A., Lankreijer, H., Matteucci, G., Kowalski, A.S., Buchmann, N., Epron, D., Pilegaard, K., Kutsch, W., Longdoz, B., Grünwald, T., Montagnani, L., Dore, S., Rebmann, C., Moors, E.J., Grelle, A., Rannik, Ü., Morgenstern, K., Oltchev, S., Clement, R., Gudmundsson, J., Minerbi, S., Berbigier, P., Ibrom, A., Moncrieff, J.B., Aubinet, M., Bernhofer, C., Jensen, N.O., Vesala, T., Granier, A., Schulze, E.-D., Lindroth, A., Dolman, A.J., Jarvis, P.G., Ceulemans, R. y Valentini, R. 2001. Productivity overshadows temperature in determining soil and ecosystem respiration across European forests. *Global Change Biology*, 7: 269 - 278.
- Jones, H.G., 1992. *Plants and microclimate: A quantitative approach to environmental plant physiology*, 2 ed. Cambridge, Univ. press, London, New York 428 pp.

- Jong, B.H., M.A. Cairns, P.K. Haggerty, N. Ramírez-Marcial, S. Ochoa-Gaona, J. Mendoza-Vega, M. González-Espinosa, I. March-Mifsut. 1999. Land-Use change and carbon flux between 1970s and 1990s in central highlands of Chiapas, México. *Environ. Manage.* 23: 373-385.
- Kanemasu, E.T., S.B. Verma, S.A. Smith, L.J. Frittschen, M. Wesely, R.T. Field, W.P. Kustas, H. Weaver, J.B. Stewart, R.J. Gurney, G. Panon, and J.B. Moncrieff. 1992. Surface flux measurements in FIFE: an overview. *J. Geophysics Res.* 97: 18547-18555.
- Kellomaki, S. and Wang, K.Y. 2000. Short-term environmental controls on carbon dioxide flux in a boreal coniferous forest: model computation compared with measurements by eddy covariance. *Ecological Modelling* 128(1) : 63-88.
- Kustas, W.P., J.H. Prueger, and J.L. Hatfield. 2000. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. *Agriculture Forest Meteorology.* 103:249-264.
- Lagarda M. A. 2005. Evolución de la tecnología de manejo para producción de nogal pecanero. SOMECH. Memorias Congreso 2005. Chihuahua.
- Law, B. E., Falge, E., Gu, L., Baldocchi, D. D., Bakwin, P., Berbigier, P., Davis, K., Dolman, A. J., Falk, M., Fuentes, J. D., Goldstein, A., Granier, A., Grelle, A., Hollinger, D., Janssens, I. A., Jarvis, P., Jensen, N. O., Katul, G., Mahli, Y., Matteucci, G., Meyers, T., Monson, R., Munger, W., Oechel, W., Olson, R., Pilegaard, K., Paw, K. T., Thorgeirsson, H., Valentini, R., Verma, S., Vesala, T., Wilson, K., and Wofsy, S.. Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation, *Agr. Forest Meteorol.*, 113, 97–120, 2002.

- Law, B.E., Sun, O.J., Campbell, J., Van Tuyl, S., Thornton, P.E., 2003. Changes in carbon storage and fluxes in a chronosequence of ponderosa pine. *Global Change Biol.* 9 (4), 510–524.
- Ley Federal de Sanidad Vegetal. 2007. *Diario Oficial de la Federación*, 05/01/1994 y 26/07/2007. México.
- Li, S.-G., J. Asanuma, W. Eugster, A. Kotani, J.-J. Liu, T. Urano, T. Oikawa, G. Davaas, D. Oyubaatars and M. Sugita. 2005. Net ecosystem carbon dioxide exchange over grazed steppe in central Mongolia. *Global Change Biology*. 11: 1941-1955.
- López, J.C., M. Riaño N. y Y. López F. 2001. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales Valdivia, Chile. Pp. 2-3.
- Ma, S., D. D. Baldocchi, L. Xu, and T. Hehn. 2007. Inter-annual variability in carbon dioxide exchange of an oak/grass savanna and open grassland in California. *Agricultural and Forest Meteorology* 147:157–171.
- 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 Biology*. 10: 618-629.
- 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.

- Medrano, H., J.M. Escalona, J. Bota, J. Guliaas and J. Flexas. 2002. Regulation of Photosynthesis of C3 Plants in Response to Progressive Drought: Stomatal Conductance as a Reference Parameter. *Annals of Botany* 89: 895±905, 2002.
- 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 micro aspersion. *AGROFAZ Publicación semestral de investigación científica* 5(1): 725-731. ISSN: 1665-8892.
- Meyers, T. P. 2001. A comparison of summertime water and CO2 fluxes over rangeland for well watered and drought conditions. *Agricultural and Forest Meteorology* 106:205–214.
- Milkie, E. A. y L. F. True. 1979. Pecans in Arizona. *Bull. A63R. University of Arizona.*
- Miyamoto S. 1983. Consumptive water use of irrigated pecans. *J. Amer. Hort. Sci.* 108: 676-681.
- Moureaux, C., Debacq, A., Bodson, B., Heinesch, B., and Aubinet, M. (2006). Annual net ecosystem carbon exchange by a sugar beet crop. *Agr. Forest Meteorol.*, 139(1–2):25–39.
- Nagy, Z., K. pinte' r, S. Czo' Bel, J. Balogh, L. Horva'th, S. Fo'ti, Z. Barcza, T. Weidinfer, Z. Csintalan, N. Q. Dinh, B. Grosz, and Z. Tuba. 2007. The carbon budget of semi-arid grassland in a wet and a dry year in Hungary. *Agriculture Ecosystems and Environment* 121:21–29.
- Nobel, P.S., 2009. *Physicochemical and environmental plant physiology*, academic press 4 ed., USA, 600 pp.

- Núñez M. J. H. 2001. 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. 113-112, ISSN: 1405-597X.
- Núñez, M. H. y J. X. Uvalle B. 1992. Root distribution of pecan trees. P. 667. Hort  
Sci. 27:6. Abstract 692.
- Ojeda D. L., A. Reyes, H. Ramírez, A. Lagarda, F. J. Chávez, J. X. Uvalle, R. M.  
Rivero y L. Romero. 2003. Uso eficiente de la fertilización nitrogena en el  
cultivo del nogal pecanero. *Carya illinoensis* (Wangenh) K. Koch. ISBN:  
8489720983.
- Olson, J.S., J.A. Watts y L.J. Allison. 1983. Carbon in live vegetation of major world  
ecosystems. ORNL-5862. Oak Ridge National Laboratory. Oak Ridge, TN.
- Paul C. Stoy, Gabriel G. Katul, Mario B.S. Siqueira, Jehn-Yih Juang, Kimberly A.  
Novick, Joshua M. Uebelherr and Ram Oren. 2006. An evaluation of models  
for partitioning eddy covariance-measured net ecosystem exchange into  
photosynthesis and respiration. *Agricultural and Forest Meteorology* 141: 2-  
18
- Pereira, J. S., J. A. Mateus, L. M. Aires, G. Pita, C. Pio, J. S. David, V. Andrade, J.  
Banza, T. S. David, T. A. Paco, and A. Rodrigues. 2007. Net ecosystem

carbon exchange in three contrasting Mediterranean ecosystems—the effect of drought. *Biogeosciences* 4:791–802.

Perry, D.A. 1994. *Forest ecosystems*. Johns Hopkins University Press. Baltimore, MD.

Puente G. A., A. Toca U. y Verde O. 2002. Nuez, análisis de su rentabilidad. Edición SAGARPA – ASERCA. México, D:F: Revista Claridades agropecuarias 107.

Vázquez Farrera R. 2009. Potencial de secuestro de carbono y la eficiencia intrínseca del uso del agua de una huerta de nogal pecanero del norte de México. Pp. 31-32.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2007. Avances de siembras y cosechas 2006, Chihuahua. <[www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx)>.

Sedjo, A.R. 1990. The global carbon cycle. Are forests the missing sink? *J. For.* 88: 33-34.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2009. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2008. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México.

Sims, P. L., and J. A. Bradford. 2001. Carbon dioxide fluxes in a Southern Plains prairie. *Agricultural and Forest Meteorology* 109:117–134.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., OMara, F., Rice, C., Scholes, B., and Sirotenko, O. (2007). Agriculture. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

*Change*, [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)].  
Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY,  
USA.

Soussana, J. F., Allard, V., Pilegaard, K., Ambus, P., Amman, C., Campbell, C.,  
Ceschia, E., Clifton-Brown, J., Czobel, S., Domingues, R., Fléchet, C.,  
Fuhrer, J., Hensen, A., Horvath, L., Jones, M., Kasper, G., Martin, C., Nagy,  
Z., Neftel, A., Raschi, A., Baronti, S., Rees, R. M., Skiba, U., Stefani, P.,  
Manca, G., Sutton, M., Tubaf, Z., and Valentini, R. (2007). Full accounting of  
the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland  
sites. *Agr. Ecosys. Environ.*, 121(1–2):121–134.

Tarango R. S. H., G. V. Nevárez-Moorillón, E. Orrantia-Borunda. 2009. Growth,  
yield, and nutrient status of pecans fertilized with biosolids and inoculated  
with rizosphere fungi. *Bioresource Technology* 100(6): p 1992-1998.

Tarango, H. 2004. Manejo del nogal pecanero con base en su fenología. Centro de  
Investigación Norte-Centro. Campo Experimental Delicias. Folleto Técnico  
no. 17. Mexico, 35 p.

Tieszen, L. L., B. C. Reed, N. B. Bliss, B. K. Wylie, and D. D. Donovan. 1997.  
NDVI, C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> production, and distributions in Great Plains grassland land  
cover classes. *Ecological Applications* 7:59–78.

Valdez G. B. 2001. El nogal pecanero en Sonora. México. SAGARPA, INIFAP.  
Libro técnico No. 3. P. 93-112, ISSN: 1405-597X.

Verma, S. B., Dobermann, A., Cassman, K. G., Walters, D. T., Knops, J. M.,  
Arkebauer, T. J., Suyker, A. E., Burba, G. G., Amos, B., Yang, H. S., Ginting,

- D., Hubbard, K. G., Gitelson, A. A., and Walter-Shea, E. A. (2005). Annual carbon dioxide exchange in irrigated and rainfed maize-based agroecosystems. *Agr. Forest Meteorol.*, 131(1–2):77–96.
- Wang, Q. X., Masataka, W., and Zhu, O. Y. (2005). Simulation of water and carbon fluxes using BIOME-BGC model over crops in China. *Agr. Forest Meteorol.*, 131(3–4):209–224.
- Wang J., D.R. Miller., W.T. Sammis., V.P. Gutschick., L.J. Simmons and A. Andales. 2007. Energy balance measurements and a simple model for estimating pecan water use efficiency. *Agricultural Water Management* 91: 92-101.
- Webb, E.K., G.I. Pearman, and R. Leuning. 1980. Correction of flux measurements for density effects due to heat and water vapor transfer. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 106: 85-100.
- Wilson, K.B., D.D. Baldocchi and P.J. Hanson. 2001. Leaf age affects the seasonal pattern of photosynthetic capacity and net ecosystem exchange of carbon in a deciduous forest. *Plant, Cell and Environment.* 24: 571-583.
- Watson, M.A. y B.B. Casper. 1984. Morphogenetic constraints on patterns of carbon distribution in plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 15: 233-258.
- World Resources Institute. 2000. Taking stock of ecosystems-grassland ecosystems. In: *World resources 2000–2001: people and ecosystems: the fraying web of life.* Washington, DC, USA: World Resources Institute. p. 119–131.

Yu, G. R., Zhang, L. M., Sun X. M., Fu, Y. L., Wen, X. F., Wang, Q. F., Li, S. G., Ren, C. Y., Song, X., Liu, Y. F., Han, S. J., and Yan, J. H.: Environmental controls over carbon exchange of three forest ecosystems in eastern China, *Glob. Change Biol.*, 14, 2555–2571, 2008.

Zhao, F.-H., Yu, G.-R., Li, S.-G., Ren, X.-M., Mi, N., Li, Y. and Ouyang, Z. 2007. Canopy water use efficiency of Winter wheat in the north China plain. *Agricultural Water Management*. 93(3): 99-108.