



UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO

Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

COORDINACIÓN DE POSGRADO

**“Actividad fotosintética en árboles jóvenes de nogal
pecanero [*Carya illinoensis* (Wangeh. K.Koch)]”**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

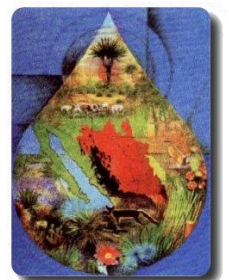
**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO
AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

PRESENTA:

Miguel Ángel Hernández Martínez

Diciembre de 2009

Bermejillo, Durango.



La presente Tesis titulada **Actividad fotosintética en árboles de nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K.Koch)], establecidos en altas densidades en la Comarca Lagunera** fue realizada por **Miguel Ángel Hernández Martínez**, bajo la dirección del Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila y asesorada por el Dr. Ricardo David Valdez Cepeda, Dr. Ricardo Trejo Calzada, Dr. Ángel Lagarda Murrieta y Dr. Bernardo López Ariza, fue revisada y aprobada por el Comité Asesor, en cumplimiento con el Reglamento en vigor, como requisito parcial para obtener el grado de:

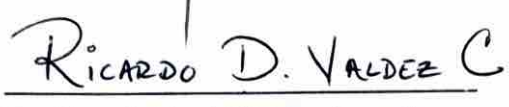
**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

Director:



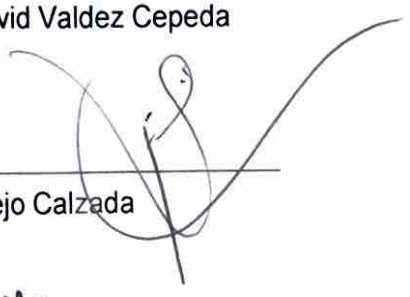
Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

Asesor:



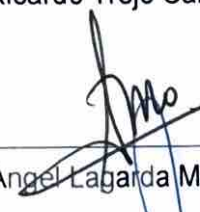
Dr. Ricardo David Valdez Cepeda

Asesor:



Dr. Ricardo Trejo Calzada

Asesor:



Dr. Ángel Lagarda Murrieta

Asesor:



Dr. Bernardo López Ariza

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCyTED), Fondos Mixtos CONACYT-Durango, al Programa Universitario de Investigación y Servicio en Recursos Bióticos de Zonas Áridas (REBIZA) de la Universidad Autónoma Chapingo y al Proyecto Internacional ALFA-III-ALAS por su apoyo para mis estudios de Maestría en Ciencias y la realización de la presente investigación.

A mis amigos y compañeros de estos dos años de maestría por toda su ayuda.

Al Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila por toda su confianza para mi superación personal.

A mis valedores el Chepe, Oscarin, la Chupacabras, el Ignacccccioooooo y Nidya la de laboratorio que nunca use, sobre todo al amor de mi vida Caridad Bravo Adams y a mi fiel Elliot.

A todos los profesores que a lo largo de estos dos años pusieron su granito de arena y colaboraron para mi formación profesional, sobre todo a mis grandes amigos José Antonio Hernández Herrera y su fiel Héctor Genaro Ortiz Cano.

INDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
1.- INTRODUCCION	Error! Bookmark not defined.
II.- Objetivos.....	5
III.- Hipótesis.....	5
IV. REVISION DE LITERATURA	6
4.1 Fotosíntesis y Luz	6
4.2 Fotosíntesis y Temperatura.....	6
4.3 Fotosíntesis en la copa.	7
4.3.1 Fotosíntesis en hojas.....	8
4.4 Radiación fotosintéticamente activa.....	Error! Bookmark not defined.
4.5 Factores que intervienen en el proceso fotosintetico .	Error! Bookmark not defined.
4.5.1 Distribución de luz en la copa	Error! Bookmark not defined.
4.6 Relación entre factores ambientales y fotosíntesis	Error! Bookmark not defined.
4.7 Factores que afectan la fotosíntesis.....	Error! Bookmark not defined.
4.8 Concentración de CO ₂ en copas densas	Error! Bookmark not defined.
V.- MATERIALES Y METODOS ...	Error! Bookmark not defined.
5.1 Descripción del área de estudio	Error! Bookmark not defined.
5.1.1 Localización.....	Error! Bookmark not defined.
5.1.2 Clima	Error! Bookmark not defined.
5.1.3 Suelo	Error! Bookmark not defined.
5.2 selección de unidades de muestreo	19
5.3 Muestreo de actividad fotosintética	Error! Bookmark not defined.
5.4 Variables evaluadas	Error! Bookmark not defined.
5.5 Análisis de resultados.	Error! Bookmark not defined.
VI.- RESULTADOS Y DISCUSION	Error! Bookmark not defined.
6.1 Etapa fenológica inicio de estado acuoso	Error! Bookmark not defined.
6.1.1 Radiación y fotosíntesis.....	Error! Bookmark not defined.
6.2 Etapa fenológica inicio de endurecimiento de cáscara	Error! Bookmark not defined.
6.2.2 Radiación y fotosíntesis.....	Error! Bookmark not defined.
6.3 Inicio de apertura del ruzno	Error! Bookmark not defined.
6.3.1 Radiación y fotosíntesis.....	Error! Bookmark not defined.
6.4 Etapa fenológica madurez comercial	29
6.4.1 Radiación y Fotosíntesis.....	29
6.5 Análisis de correlación entre variables ..	Error! Bookmark not defined.
VII.- CONCLUSION	Error! Bookmark not defined.
VIII.- LITERATURA CITADA	Error! Bookmark not defined.
APENDICE	Error! Bookmark not defined.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área experimental según imagen satelital (Fuente: google hearth, 2008).....**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

Figura 2.- Comportamiento de la radiación durante tres periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de estado acuso. cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

Figura 3.- Comportamiento de la fotosíntesis durante tres periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de estado acuso. cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

Figura 4.- Comportamiento de la radiación durante tres periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de endurecimiento de cáscara. cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

Figura 5.- Comportamiento de la fotosíntesis durante cinco periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de endurecimiento de cáscara. cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

Figura 6.- Comportamiento de la radiación durante seis periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de apertura de ruezno. cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.**ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**

Figura 7.- Comportamiento de la fotosíntesis durante seis periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de apertura de ruezno. cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical 28

Figura 8.- Comportamiento de la radiación durante cinco periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de madurez comercial. cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical. 29

Figura 9.- Comportamiento de la fotosíntesis durante cinco periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de madurez comercial. cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.- Análisis de correlación ($p < 0.05$) entre las variables relacionadas con el proceso fotosintético en etapa fenológica de inicio de estado acuoso en cuatro cuadrantes de la copa y varios periodos del día (04 de julio de 2007).

Cuadro 2.- Análisis de correlación ($p < 0.05$) entre las variables relacionadas con el proceso fotosintético en etapa fenológica de inicio de endurecimiento de cáscara en cuatro cuadrantes de la copa y varios periodos del día (25 de julio de 2007).

Cuadro 3.- Análisis de correlación ($p < 0.05$) entre las variables relacionadas con el proceso fotosintético en etapa fenológica de inicio de apertura de ruezno en cuatro cuadrantes de la copa y varios periodos del día (13 de septiembre de 2007).

Cuadro 4.- Análisis de correlación ($p < 0.05$) entre las variables relacionadas con el proceso fotosintético en etapa fenológica de inicio de madures comercial en cuatro cuadrantes de la copa y varios periodos del día (05 de octubre de 2007).

Actividad fotosintética en árboles de nogal pecanero [*Carya illinoensis* (Wangeh.) K.Koch)], establecidos en altas densidades en la Comarca Lagunera.

RESUMEN

El nogal pecanero actualmente se está estableciendo en altas densidades con el propósito de incrementar la eficiencia de los recursos utilizados. El conocimiento de la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y de la actividad fotosintética, en árboles de nogal pecanero establecido en altas densidades es limitado, y es necesario para optimizar la productividad del árbol durante la vida de la huerta. Por lo que el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la intercepción de la RFA y determinar la actividad fotosintética en árboles jóvenes de nogal pecanero variedad Western, de 8 años de edad establecidos en alta densidad (256 árboles por hectárea), sin problemas aún de sombreo y bajo un sistema de manejo de fertirrigación. Las evaluaciones se efectuaron en inicio de estado acuoso del fruto, Inicio de endurecimiento de cáscara, inicio de apertura del ruezno y madurez comercial en tres periodos del día, se utilizó un IRGA-6400 (Analizador de gases en Infrarrojo, LICOR, Inc.) se cuantificó radiación ($\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$) fotosíntesis ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). En estado acuoso del fruto, la mayor intercepción de RFA y fotosíntesis ocurrieron en las hojas localizadas en los cuadrantes Este y Norte, alcanzando 1648 y 1527 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ así como 10.0 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente, esto ocurrió durante el segundo periodo de evaluación. En endurecimiento de cáscara, la mayor radiación interceptada y actividad fotosintética se observaron en el lado Sur

de la copa durante el segundo periodo con valores de $1810 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ así como $13 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. En inicio de apertura de ruezno, la mayor RFA y actividad fotosintética se observaron en los puntos Este y Sur de la copa en el segundo periodo siendo de 1500 y $1300 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ así como de 12 y $10 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. En etapa de madurez comercial del fruto destacan las hojas de los cuadrantes Oeste y Sur con más intercepción de luz y mayor fotosíntesis. La RFA y fotosíntesis variaron diariamente y durante la estación.

Palabras clave: Fotosíntesis, nogal pecanero, alta densidad, árboles jóvenes

ABSTRACT

Pecan trees has been established at high densities in order to increase the efficiency in incomes utilized. The knowledge of photosynthetically active radiation (PAR) interception and photosynthetic activity in pecans established at high densities is limited and is needed to optimize the tree productivity along the live of the orchard. Therefore the objective of this study was to evaluate the PAR interception and determine the photosynthetic activity in eight-year age pecan trees Cv. Western established at high density (256 trees per hectare), without shading problem with fertigation management. Evaluations were carried out at the beginning of aqueous stage of the fruit, shell hardening, shuck splitting and commercial maturity, during three periods of the day. A 6400-IRGA (infrared gas analyzer, LICOR, Inc.) with integrated light sensor was used to evaluate PAR ($\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$) and photosynthesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$). During aqueous stage of the fruit, the

highest PAR and photosynthesis occurred in leaves in East and North quadrants, reaching 1648 and 1527 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ as well as 10.0 $\mu\text{mol of CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectively this occurred during the second period. In shell hardening stage the highest intercepted PAR and photosynthetic activity were observed in the side south of the canopy during the second period with values of 1810 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ and 13 $\mu\text{mol of CO}_2 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. In shuck splitting stage, the highest PAR intercepted photosynthetic activity was observed in the leaves in the East and south, with 1500 and 1300 $\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ and 12 and 10 $\mu\text{mol of CO}_2 \text{ m}^2\text{s}^{-1}$. In commercial fruit maturity, the highest PAR and photosynthesis values were read in the leaves located in the West and South. PAR and photosynthesis varied daily and through the season.

Key words: Photosynthesis, pecan nut tree, high density, young pecan trees.

I.- INTRODUCCION

La superficie cultivada con nogal pecanero en el norte de México es de 75 mil hectáreas. Con el fin de incrementar la eficiencia en el uso de luz, suelo y agua así como de los insumos utilizados en el proceso de producción, recientemente se han venido estableciendo huertas en altas densidades de plantación, con distancias de plantación de 6 m x 6 m. Esta población de árboles duplica a la existente en las huertas tradicionales, con distanciamientos de 12m x 12m, establecidas en el 75% de la superficie plantada con nogal (Medina, 2002). Los árboles de nogal establecidos en altas densidades muestran durante los primeros años, elevada actividad fotosintética debido a que interceptan la luz necesaria en prácticamente todo el dosel de la copa. No obstante y conforme la edad de la huerta incrementa, la fotosíntesis se reduce considerablemente como resultado del efecto del sombreado dentro y entre árboles. Causando efectos negativos en el crecimiento, producción y calidad además de inducir la alternancia (Lombardini, 2006). La información sobre actividad fotosintética en huertas juveniles establecidas en altas densidades es escasa. La importancia de conocer los valores fotosintéticos en esta etapa es importante, para ajustar las prácticas de manejo necesarias con el fin de mantener la productividad de las huertas al entrar en etapa productiva.

II.- Objetivos

1.- Evaluar la distribución de luz y determinar la actividad fotosintética en árboles jóvenes de nogal pecanero, sin problemas de sombreo, establecidos a alta densidad y bajo un sistema de manejo de fertirrigación.

2.- Establecer las relaciones de algunos factores del ambiente con la actividad fotosintética de árboles en etapa juvenil, establecidos bajo un sistema de producción intensiva.

III.- Hipótesis.

1. La actividad fotosintética no es igual en los cuatro cuadrantes de la copa del árbol durante el día y estación de crecimiento.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 Fotosíntesis y Luz

Marini y Sowers (1990), en un estudio realizado en árboles de durazno 'Redhaven' sometido a diferentes niveles de radiación fotosintéticamente activa (100%, 45%, 23% y 9%) por 18 días, encontraron una relación lineal y positiva entre la radiación y el peso específico de la hoja. Además, la densidad floral fue relacionada positivamente con la radiación fotosintética.

Por su parte, Makino *et al.*, (2000), realizaron mediciones de fotosíntesis, luz y transpiración en los lados norte y sur en árboles de manzana y vid, por la mañana y por la tarde. En uvas los sólidos solubles estuvieron más estrechamente correlacionados con la intensidad de luz y fotosíntesis en el lado sur, mientras que en manzano, esta correlación se presentó en el del lado sur por la tarde. El peso de la hoja, se correlacionó con la fotosíntesis e intensidad de luz en uva cuando se midió en el lado norte a niveles de soleado, y lo mismo pasó con manzana cuando se midió en el lado sur en la mañana.

4.2 Fotosíntesis y Temperatura

La capacidad fotosintética de las plantas es fuertemente afectada por la temperatura, por lo tanto, la dependencia de las limitaciones del proceso fotosintético con la temperatura no necesariamente el mismo, algunos componentes del aparato fotosintético son afectados mas que otros, altas temperaturas influyen la saturación de CO₂ en la fotosíntesis (Makino *et al.*, 2000).

Incrementos en la temperatura afectan fuertemente la difusión de CO₂, de los estomas a los sitios de carboxilación. Esta respuesta de los estomas esta fuertemente relacionada con otros factores como el estatus de agua en la planta y la diferencia de la presión del agua entre las hojas y el aire del ambiente, generalmente los estomas tienden a abrirse con el aumento de la temperatura (Makino *et al.*, 2000).

4.3 Fotosíntesis en la copa.

La copa de los árboles de nogal es un complejo sistema de recolección solar que posee hojas y rebrotes los cuales están organizados para mostrar la capacidad del aparato fotosintético. Es un sistema dinámico que varía espacial y temporalmente, tal dinamismo es importante porque el nogal pecanero posee fotorreceptores de transducción desencadenados por los aspectos cuantitativos y cualitativos de la luz ambiental que modula los procesos celulares y el metabolismo. Así mismo, el dosel de un cultivo es una estructura compleja de un determinado arreglo espacial. Éste actúa como un captador de radiación y como un intercambiador de vapor de agua y CO₂. La estructura de un dosel, ejerce influencia en la temperatura, concentración de vapor y régimen de radiación en el medio ambiente de la planta; afecta los procesos de fotosíntesis, transpiración, alargamiento de células, crecimiento y competencia entre especies. La inclinación, distribución y orientación de la hoja pueden ser importantes para determinar la intercepción de radiación (Girardin y Tollenaar, 1994).

Wood et al. (1996), menciona que la mayor disponibilidad de luz ocurre a partir del 22 de junio y disminuye hasta en 50% conforme avanza la estación de crecimiento la cual es directamente proporcional a la pérdida de luz disponible por la inclinación del eje de la tierra. El follaje que se encuentra completamente expuesto a la radiación recibe alrededor del 93% de la radiación solar total ($2000 \mu \text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) y presenta una actividad fotosintética de $12.9 \mu \text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, en tanto que el follaje que se encuentra en el interior de la copa del árbol recibe de 11 a 12 % de la radiación total y una actividad fotosintética de sólo $2 \mu \text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Estos últimos resultados indican que gran parte del follaje del árbol en lugar de trabajar produciendo carbohidratos, se encuentra como hojas parásitas, es decir consumiendo estos azúcares cuando respiran, en lugar de utilizarlos para el desarrollo y llenado de las nueces o como reserva para el próximo ciclo.

La copa del árbol no solo cambia en función y forma, sino que está constantemente respondiendo a la dinámica de la influencia del medio ambiente (Rom, 1991). El conocimiento de la distribución de la luz y la actividad fotosintética en árboles de nogal pecanero confinados a altas densidades es limitado, no obstante, es necesario para optimizar la relación entre el crecimiento vegetativo y fructífero durante la estación de crecimiento, así como en la vida de la huerta

4.3.1 Fotosíntesis en hojas

Las hojas de nogal requieren altas intensidades de luz para operar a su máxima capacidad fisiológica (Wood et al, 1996). La cual fluctúa entre 10 a 12 μmol de CO_2 (Crews et al., 1980). Estudios sobre penetración de luz en huertas de nogal, indican que ésta disminuye considerablemente en el follaje que se localiza a un metro a partir de la periferia de la copa, este problema se acentúa hacia el interior de la misma (Arreola y Herrera, 1999). Las hojas localizadas en la periferia de la copa, alcanzan su máxima tasa fotosintética bajo una intensidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{seg}^{-1}$, que equivale al 75% aproximadamente de luz total. Sin embargo, las hojas localizadas en el interior de la copa, tienen menor actividad fotosintética debido que interceptan porcentajes de luz menores del 10% y manifiestan valores de asimilación de CO_2 cercanos a cero (Andersen, 1994). Esta condición disminuye significativamente la eficiencia fotosintética de la copa, ya que la RFA interceptada es menor de la mitad en el 70 ó 80% del follaje.

Cuando los valores de asimilación de CO_2 se expresan en función al área de la hoja evaluada, la cuantificación de la eficiencia fotosintética se dificulta, por no considerar los cambios en el área foliar total a medida que las hojas ó la copa crecen. Lo anterior dificulta comparar la eficiencia de tratamientos o cultivares (Righetti et al., 2007).

La actividad fotosintética del follaje de Nogal responde a la luz del sol en un incremento curvilíneo, las hojas adaptadas a grandes niveles de radiación

presentan mayor actividad fotosintética conforme incrementa la radiación, la mayoría de las hojas de nogal pecanero responden de esta manera. Por el contrario cuando se reprime la intercepción de luz, se disminuye la producción de fotosintatos necesarios para el crecimiento y desarrollo del fruto (Wood et al, 1996).

Las hojas capturan luz para utilizar su energía y convierten el carbono inorgánico de la atmósfera en carbono orgánico dentro de la planta. A este proceso se le llama fotosíntesis. Las mayores tasas fotosintéticas ocurren durante el verano cuando la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) es mayor. La tasa fotosintética de la planta del nogal es del orden de $28 \text{ mg de CO}_2 \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{hr}^{-1}$. Estas tasas son similares a otros frutales caducifolios. La RFA se mide en $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$. Durante el verano es del orden de $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Cuando el árbol está sombreado a 750 su tasa se reduce a la mitad (Lagarda, 1998).

Las hojas de nogal alcanzan su máxima actividad fotosintética a una intensidad de $400 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{seg}^{-1}$. Cuando la temperatura óptima es de 27°C , y desciende cuando es menor de 15°C y mayor de 40°C . Las horas de mayor actividad son de las 7 a las 11 am. La humedad en el suelo afecta la tasa fotosintética siendo esta mayor después del riego. Todos aquellos factores que afecten el desarrollo de las hojas reducirán la tasa de fotosíntesis como son entre otros. Las plagas, enfermedades, prácticas culturales, aplicación foliar de agroquímicos. Por otro lado, las plantas que presentan mayor

producción o carga de cosecha tienen mayores tasas de fotosíntesis (Lagarda, 1998).

4.4 Radiación fotosintéticamente activa

La radiación fotosintéticamente activa captada por un vegetal determina directamente la producción de fotosintatos, influyendo sobre el crecimiento, la productividad y calidad de fruta de las plantas (Ferree, 1980). La RFA está comprendida en el rango 400-700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de longitud de onda. La eficiencia de la energía lumínica en los diferentes cultivos es influenciada por sus sistemas de manejo (densidad de plantación, sistemas de conducción, combinación portainjerto/variedad, poda) (Wunsche *et al.*, 1996).

La intensidad de la RFA tiende a disminuir en la parte interna y basal de la copa, debido al sombreado causado por el follaje externo (Wood *et al.*, 1996). Los árboles pequeños presentan mayor área foliar soleada por volumen de copa, condición que los hace muy eficientes en el uso de la RFA (Rom, 1991). Altas densidades de plantación manifiestan mayor producción por unidad de superficie, hasta que el sombreado entre árboles induce efectos negativos sobre esta característica (Worley, 1991).

Los cultivos anuales generalmente logran captar casi la totalidad de la radiación disponible, cuando el desarrollo del área foliar está completo. De todas maneras, en los cultivos frutícolas, la totalidad del área foliar no intercepta más del 65-70% de la radiación disponible, hecho que limita el potencial de producción (Jackson, 1980). En la producción frutícola, donde

se presenta un desarrollo del área foliar discontinuo, la cantidad de luz que intercepta un árbol es afectada por la densidad de plantación, el tamaño y forma de la copa del árbol (que dependen de la edad del árbol y del sistema de conducción) y el índice de área foliar (Robinson *et al.*, 1991), también han demostrado que las modificaciones de la estructura de la copa del árbol frutal inciden en la intercepción y distribución de la luz.

4.5 Factores que intervienen en el proceso fotosintético.

El microclima en la copa y las hojas varía constantemente durante el día, esta variación diaria de radiación y temperatura, explica por qué las hojas y otras estructuras del árbol se comportan diferente, aún recibiendo cantidades similares de radiación (Moran y Rom, 1991). A nivel copa la RFA incrementa notablemente durante las primeras horas de la mañana, se estabiliza por un largo periodo durante el día y disminuye al atardecer (Genard y Baret, 1994). Esto no ocurre en un brote específico u hoja de la copa, cuya variación que es significativa, es afectada por la arquitectura de ésta, la densidad foliar, la posición e inclinación del brote u hoja y la hora del día, entre otros. La intensidad de la RFA tiende a disminuir en la parte interna y basal de la copa, debido al sombreado causado por el follaje externo (Wood *et al.*, 1996).

Los árboles pequeños presentan mayor área foliar soleada por volumen de copa, condición que los hace muy eficientes en el uso de la RFA (Rom, 1991).

Altas densidades de plantación manifiestan mayor producción por unidad de superficie, hasta que el sombreo entre árboles induce efectos negativos sobre esta característica (Worley, 1991). La copa del árbol no solo cambia en función y forma, sino que está constantemente respondiendo a la dinámica de la influencia del medio ambiente (Rom, 1991).

El conocimiento de la distribución de la luz y la actividad fotosintética en árboles de nogal pecanero confinados a altas densidades es limitado, no obstante, es necesario para optimizar la relación entre el crecimiento vegetativo y fructífero durante la estación de crecimiento, así como en la vida de la huerta.

La estructura o el arreglo y forma que presenta la copa define en gran medida el microclima dentro del árbol. Es decir, regula la interceptación de la radiación solar, temperatura, humedad y movimiento del aire dentro de la misma (Robinson *et al.*, 1991). Éstos a su vez tienen un efecto directo sobre uno de los procesos más importantes del árbol, llamado fotosíntesis. Por medio de éste, un nogal produce los carbohidratos y, por consecuencia, la energía necesaria para llenar las almendras, ya que éstas son un alimento altamente energético.

Al disminuir la penetración y distribución de la luz en la copa, la actividad fotosintética disminuye provocando una escasa acumulación de reservas (Wood *et al.*, 1996) y por ende contribuye a una producción alternante. Dicha condición también ocasiona una deficiente diferenciación floral y amarre de

frutos De igual manera, tanto el peso específico de la hoja, como el peso seco de la nuez se ven afectados.

4.5.1 Distribución de luz en la copa

En la etapa productiva el nogal es una planta de gran porte, con amplia densidad del follaje para la captación de la radiación. Sin embargo, la luz es un factor que limita la actividad de la fotosíntesis en el interior de la copa, ya que esta es efectiva solo en el área de la parte alta y externa de la misma, en la cual el follaje se satura con intensidad de luz entre 1500-1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en días despejados, mientras que en el interior se requieren 1300 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; por lo que en el área interna de estas los niveles de luz son notablemente reducidos, disminuyendo consecuentemente la eficiencia fotosintética (Andersen, 1994).

Considerando que los árboles tienen cubierta foliar expuesta a diferentes condiciones de iluminación, el punto de compensación por luz que corresponde a la intensidad lumínica en el cual la tasa de fijación de CO_2 ganado en el proceso de fotosíntesis es gastado en la respiración, a temperatura y concentración de CO_2 constantes, se ha determinado que varía dentro del mismo árbol. (Wood et al, 1996).

Por su parte, Robinson *et al.* (1991), han demostrado que una distribución adecuada de luz dentro de la copa del manzano aumenta el tamaño de los frutos, mejora la calidad de los mismos y reduce la variabilidad entre árboles en cuanto a las características de los frutos. Por otro lado se sabe que los

frutos que se encuentran en una zona sombreada del árbol presentan un menor tamaño, color y contenido de sólidos solubles que los más expuestos.

Andersen (1994), menciona que las hojas localizadas en la periferia de la copa se saturan de luz para la fotosíntesis con $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

4.6 Relación entre factores ambientales y fotosíntesis.

Rodríguez (1989), menciona que los factores limitantes de la tasa fotosintética se dividen en tres grupos: genéticos, ambientales e internos. Dentro de los factores internos menciona el estado patológico y de desarrollo de la planta, edad de la hoja, edad del meristemo, efecto de las condiciones del crecimiento. Un follaje con una eficiencia fotosintética tan baja es un factor que afecta significativamente las condiciones para que se presente una fuerte alternancia, misma que puede variar de intensidad año con año.

Andersen (1994), reporta que las hojas de nogal alcanzan su máxima capacidad fotosintética a una intensidad luminosa del 75% y cuando ésta se reduce a un 50%, la fijación de CO_2 cae a un 34%, también menciona que al disminuir la eficiencia fotosintética también se afecta la diferenciación de yemas florales y la acumulación de reservas, lo cual conduce a un pobre amarre de frutos en la primavera siguiente.

Todos los factores, tanto endógenos como exógenos, tienen efectos pleiotrópicos, es decir, que existe una interacción entre ambos, por ejemplo, la radiación afecta a la temperatura (a mayor radiación, mayor temperatura),

a la humedad relativa (a mayor radiación, menor humedad relativa), a la difusión de CO₂ y a la concentración de ácido abscísico, que a su vez afecta a la apertura estomática, lo que trae consigo una diferenciación de la epidermis (pelos, ceras) que influye sobre luz absorbida (Sparks, 1980).

4.7 Factores que afectan la fotosíntesis

Sparks (1980), menciona que el estrés por salinidad y sequía son directos (limitando la difusión a través de los estomas y el mesófilo así como la alteración en el metabolismo fotosintético) o secundario como el estrés oxidativo derivado de la superposición de estrés múltiple. El balance de Carbono de una planta durante un periodo de estrés por sal y agua depende de la velocidad de recuperación fotosintética. Menciona que en estudios hechos en plantas sujetas a estrés por salinidad y sequía encontró que las plantas responden a este estrés por la rápida alteración de la exposición genética paralelamente con la fisiología y alteraciones bioquímicas.

4.8 Concentración de CO₂ en copas densas.

Pan (1994), mencionan que bajas concentraciones de CO₂ ocurren en doseles muy densos, estos autores realizaron un experimento en árboles jóvenes de manzano “Golden Delicious” crecidos a 928 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidad luminosa, encontrando una relación lineal entre concentración de CO₂ y fotosíntesis neta. Los resultados sugieren que los vientos pueden actuar para reducir la fotosíntesis neta en doseles densos, por lo tanto se reduce la resistencia de la hoja y la concentración de CO₂ del exterior.

Whiley (1993), realizó experimentos en brotes de aguacate, encontrando que a los 18 días después de brotación el desarrollo de estos representa fuertes sumideros de C asimilado por las hojas viejas de los brotes que se deposita en las raíces. Estos datos son importantes en el desarrollo de estrategias de manejo para el control de Phytophthora y otros patógenos de la raíz aplicando productos de control en el follaje cuando se encuentre en estado de quiescencia para asegurar la máxima traslocación a las raíces.

V.- MATERIALES Y METODOS

5.1 Descripción del área de estudio

5.1.1 Localización

La presente investigación se realizó durante el periodo julio-octubre de 2007 en una huerta de nogal pecanero variedad Western con árboles jóvenes (8 años de edad), establecida en un sistema de plantación marco real de 6m x 6m en altas densidades, bajo un sistema de manejo intensivo, la cual se localiza en la pequeña propiedad Tierra Blanca, municipio de Viesca Coahuila, en las coordenadas 102°48'16" de longitud oeste y 25°20'28" latitud norte, a una altura de 1,100 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2004).



Figura 1. Localización del área experimental según imagen satelital (Fuente: Google Hearth, 2008).

5.1.2 Clima

La carta climática de INEGI (2004), registra que en el área de estudio predomina un clima del tipo Bwhw(e); esto es: seco, árido y semicálido. La temperatura media anual es de 20 a 22°C, a excepción del centro del municipio donde registra de 18° a 20° C; la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 200 a 300 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y escasas en el resto del año; los vientos predominantes soplan en dirección sur a velocidades de 20 a 27 km/h.

5.1.3 Suelo

De acuerdo con la carta edafológica editada por INEGI (2004), los suelos del predio en estudio corresponden a los Typic natrargid, con profundidad mayor que 1.2 m. El pH oscila entre 7.69 y 8.28. El porcentaje de materia orgánica está entre 1.31 y 1.65 y se clasifica en medianamente pobre. Tiene 7.14% de carbonatos totales (CO_3). Cuenta con una conductividad eléctrica de 4.09 a 5.67 dS m^{-1} . Estas propiedades del suelo conducen a que el cultivo en la región requiera aplicaciones anuales de nitrógeno y zinc. El suplemento anual de estos dos nutrimentos es indispensable para un buen desarrollo, producción y calidad de nuez (Medina *et al*, 2002).

5.2 selección de unidades de muestreo

Las unidades de muestreo se seleccionaron en la parte media de la huerta considerando el criterio sugerido para muestreo en especies arbóreas por la Secretaria General de Medio Ambiente de España, que consiste en:

seleccionar una sub-parcela en la parte central dentro de la parcela, en este caso la huerta. Se seleccionaron cinco árboles con características similares de diámetro (5 cm.) y altura (3.5 m), debido a esta condición la distancia entre cada árbol muestreado es variada. Una vez seleccionados los árboles a muestrear (unidades de muestreo) se marcaron con etiquetas de plástico en donde se indicó el número de árbol y la fecha. El diámetro se midió con un vernier digital y la altura se determinó midiendo el tronco principal desde la base hasta el ápice con una regla desplegable de 3m. El criterio tomado para hacer los muestreos en la parte media de la huerta es para cuantificar lo que ocurre con el comportamiento de la radiación y la fotosíntesis en condiciones de competencia completa.

5.3 Muestreo de actividad fotosintética

Las tasas instantáneas de fotosíntesis se registraron en cuatro etapas fenológicas: Inicio de estado acuoso (EA), inicio de endurecimiento de cáscara (EC), inicio de apertura del ruzno (AR) y madurez comercial (MC) durante tres periodos (P) del día, se utilizó un sistema portátil para medir fotosíntesis (LI-COR, LI-6400 Lincoln, NE), con un sensor de luz integrado. Para esto se seleccionaron brotes de 40 cm de longitud ubicados en la periferia de la parte media de la copa. De estos brotes se seleccionaron las hojas de la parte media y de cada hoja se efectuaron las evaluaciones en el tercer par de foliolos, punto en el que se determinó la RFA (Wood et al, 1996).

Para la evaluación, la arquitectura de la copa de los árboles se dividió en cuadrantes, de acuerdo a los cuatro puntos cardinales: Norte, Sur, Este y Oeste. En la primera etapa que correspondió al inicio de estado acuoso de la nuez y que coincidió con la fecha del 04 de julio los tres periodos de evaluación considerados fueron: P1= (6:12- 7:01 hrs.), P2= (14:04 – 14:32 hrs.), P3= (18:42- 19:20 hrs.).

En la segunda etapa perteneciente al inicio de endurecimiento de cáscara, con fecha del 25 de julio, la actividad fotosintética se evaluó en los periodos: P1= (9:15 – 9:55 hrs.), P2= (11:58 – 12:53 hrs.), P3= (13:36 – 14:31 hrs.), P4= (15:56 – 16:40 hrs.). En inicio de apertura del ruezno con fecha del 13 de septiembre, los periodos considerados fueron P1= (7:56 – 8:45 hrs.), P2= (10:04- 10:34 hrs), P3= (11:29 – 12:02 hrs), P4= (13:16 – 14:59 hrs), P5= (16:19 – 17:12 hrs.), P6= (17:30 – 18:27 hrs.), finalmente en etapa de madurez comercial, 05 de octubre, los periodos considerados fueron: P1= (8:13 -8:57 hrs.), P2= (10:30 – 11:00 hrs.), P3= (12:33 – 13:20 hrs.), P4= (15:39 – 16:17 hrs.), P5= (17:36 – 18:21 hrs.).

5.4 Variables evaluadas

Las variables analizadas fueron: Radiación interceptada por el follaje ($\mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$), Fotosíntesis ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Conductancia estomática ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Temperatura de a hoja ($^{\circ}\text{C}$) y Humedad Relativa de la muestra (%), Se eligieron estas variables por estar estrechamente relacionadas con el microambiente de la copa, el cual varía en función de la época y hora del día.

5.5 Análisis de resultados.

Los datos de campo registrados en la memoria del LI-COR LI-6400 se incorporaron a una base de datos generada en el programa Excel® 2003 donde se calculó el valor medio y la desviación estándar de cada una de las variables por cuadrante, fecha y periodo de evaluación. Posteriormente en STATISTICA® v. 7.0, se realizó un análisis de regresión para obtener el valor residual de cada variable y obtener el análisis de correlación entre estas las variables analizadas durante las cuatro fechas de evaluación.

VI.- RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 Etapa fenológica inicio de estado acuoso.

6.1.1 Radiación y fotosíntesis

Durante la etapa de inicio de estado acuoso con fecha 4 de julio, se registró una mínima Radiación Fotosinteticamente activa (RFA), por la mañana (6:12- 7:01 hrs.) por lo que la intercepción por el dosel de la copa fue muy baja (Figura 2). La mayor intercepción de luz se observó en el segundo período (14:04 - 14:32 hrs.) registrándose en los cuadrantes Este y Norte de la copa los valores mas elevados (1648 y $1527 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) mientras que en los cuadrantes Oeste y Sur se registraron valores de 1188.2 y $518.8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Por la tarde (18:42- 19:20 hrs.) la intercepción disminuyó considerablemente, aproximándose a valores cercanos a cero.

¡Error! Vínculo no válido.

P1=(6:12- 7:01 hrs.), P2= (14:04 – 14:32 hrs.), P3= (18:42- 19:20 hrs.).

Figura 2.- Comportamiento de la radiación durante tres periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de estado acuso. Cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.

La radiación interceptada tuvo un efecto directo sobre la fotosíntesis, cuya mayor actividad se observó en los cuadrantes Este y Norte, alcanzando durante el segundo periodo de evaluación (14:04 – 14:32 hrs.), valores aproximados de $10.0 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 3); mientras que en los cuadrantes Oeste y Sur presentaron una actividad menor cuyos valores fueron de 3.37 y $3.93 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente.

¡Error! Vínculo no válido.

P1=(6:12- 7:01 hrs.), P2= (14:04 – 14:32 hrs.), P3= (18:42- 19:20 hrs.).

Figura 3.- Comportamiento de la fotosíntesis durante tres periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de estado acuso. Cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.

6.2 Etapa fenológica inicio de endurecimiento de cáscara.

6.2.2 Radiación y fotosíntesis.

En la etapa de endurecimiento de cáscara (25 de julio) la mayor RFA registrada por la mañana (9:15 – 9:55 hrs.) se observó en los cuadrantes Norte y Sur de la copa, con valores de 1300 y 1400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 4). En el segundo periodo la tendencia en valores de radiación entre cuadrantes se mantiene. Mientras que en el tercer período (13:36 – 14:31 hrs.), la mayor intercepción de luz con valores aproximados a 1 800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ se observó en los lados Oeste y Sur del árbol respectivamente. Durante el cuarto periodo del día (15:56 – 16:40 hrs.) la mayor RFA interceptada se observó en los cuadrantes Este y Oeste siendo de 1 300 y 1 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

¡Error! Vínculo no válido.

P1= (9:15 hrs. – 9:55), P2= (11:58 – 12:53 hrs.), P3= (13:36 – 14:31 hrs.), P4= (15:56 – 16:40 hrs.).

Figura 4.- Comportamiento de la radiación durante tres periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de endurecimiento de cáscara. Cada punto

representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.

La mayor actividad fotosintética con valores de 13 y 14 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ se registró en los cuadrantes Este y Sur, durante el primer periodo (Figura 5), esta misma tendencia se observó en el segundo periodo, con excepción del cuadrante sur, en el cual se observó una tendencia hacia el decremento. Una mayor actividad fotosintética se registró en el lado sur de la copa durante el tercer periodo; aunque en el cuarto periodo la fotosíntesis mostró una tendencia hacia la disminución en el cuadrante sur, con valores inferiores a 6 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, no obstante de mostrar un incremento nuevamente en el este de la copa a 10 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

¡Error! Vínculo no válido.

P1= (9:15 hrs. – 9:55), P2= (11:58 – 12:53 hrs.), P3= (13:36 – 14:31 hrs.), P4= (15:56 – 16:40 hrs.).

Figura 5.- Comportamiento de la fotosíntesis durante cinco periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de endurecimiento de cáscara. Cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.

6.3 Inicio de apertura del ruezno

6.3.1 Radiación y fotosíntesis

En la etapa de inicio de apertura de ruezno (13 de septiembre), la intercepción de luz fue insignificante en los cuatro cuadrantes de la copa durante el primer periodo comprendido entre las 7:56 y 8:45 hrs (Figura 6). En el segundo y tercer periodo la radiación incrementa en los cuatro

cuadrantes de la copa, alcanzando valores aproximados $1\,700\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ en el este y sur. Durante el cuarto periodo el cuadrante Este de la copa interceptó una RFA aproximada a $1\,400\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$, con una tendencia hacia la disminución en los lados Oeste y Norte, no así para el cuadrante Sur que interceptó $1\,300\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{ s}^{-1}$.

¡Error! Vínculo no válido.

P1= (7:56 – 8:45 hrs.), P2= (10:04- 10:34 hrs), P3= (11:29 – 12:02 hrs), P4= (13:16 – 14:59 hrs), P5= (16:19 – 17:12 hrs.), P6= (17:30 – 18:27 hrs.).

Figura 6.- Comportamiento de la radiación durante seis periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de apertura de ruezno. Cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.

De las cuatro a las cinco de la tarde (quinto periodo) la mayor radiación se observó en los cuadrantes oeste y sur; una tendencia similar hacia el mayor registro de luz (aunque de menor intensidad) fue nuevamente en estos cuadrantes en el sexto periodo.

¡Error! Vínculo no válido.

P1= (7:56 – 8:45 hrs.), P2= (10:04- 10:34 hrs), P3= (11:29 – 12:02 hrs), P4= (13:16 – 14:59 hrs), P5= (16:19 – 17:12 hrs.), P6= (17:30 – 18:27 hrs.).

Figura 7.- Comportamiento de la fotosíntesis durante seis periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de apertura de ruezno. Cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.

La fotosíntesis observada durante las primeras horas del día (7:56 – 8:45 hrs.), fue menor de $3\ \mu\text{mol de CO}_2\text{ m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ en el dosel de la copa (Figura 7).

En el segundo y tercer periodo la mayor actividad fotosintética se observó en los lados Este y Sur, esta misma tendencia se observó durante el cuarto periodo aunque la intensidad fue menor de $14 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2}$. en el quinto y sexto periodo los cuadrantes oeste y sur manifestaron la mayor fotosíntesis. En esta etapa se observó una correlación de 0.92 entre la fotosíntesis y la RFA.

6.4 Etapa fenológica madurez comercial.

6.4.1 Radiación y Fotosíntesis

En la etapa de madurez comercial (5 de octubre) el Este y Oeste de la copa registraron valores aproximados de $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de RFA de las 8:13 - 8:57 hrs., los cuales disminuyeron en el Norte y sur de la misma (Figura 8).

¡Error! Vínculo no válido.

P1= (8:13 -8:57 hrs.), P2= (10:30 – 11:00 hrs.), P3= (12:33 – 13:20 hrs.), P4= (15:39 – 16:17 hrs.), P5= (17:36 – 18:21 hrs).

Figura 8.- Comportamiento de la radiación durante cinco periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de madurez comercial. Cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.

En este mismo periodo, la actividad fotosintética fue menor de $2 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ en los cuatro puntos de la copa (Figura 9). La intensidad de luz en la copa tendió hacia un incremento durante el segundo y tercer periodo con valores superiores a $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; situación observada también para la fotosíntesis con valores a $8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para los lados este y sur particularmente. Durante el cuarto y quinto periodo la mayor radiación se registró en los cuadrantes oeste y sur de la copa, con una actividad

fotosintética de superior a 6 μmol de CO_2 . cabe destacar que la relación entre estas dos variables fue de 0.97.

¡Error! Vínculo no válido.

P1= (8:13 -8:57 hrs.), P2= (10:30 – 11:00 hrs.), P3= (12:33 – 13:20 hrs.), P4= (15:39 – 16:17 hrs.), P5= (17:36 – 18:21 hrs).

Figura 9.- Comportamiento de la fotosíntesis durante cinco periodos del día, en cuatro cuadrantes de la copa durante el inicio de madurez comercial. Cada punto representa la media de cinco observaciones y la desviación estándar se representa con la línea vertical.

La intercepción y distribución de luz en nogal pecanero, es importante de considerar, por su estrecha relación que tiene con la actividad fotosintética.

En el presente estudio, se observó una variación considerable en los valores de luz interceptada en el par de folíolos en los que se efectuaron las lecturas de fotosíntesis, durante las cuatro etapas fenológicas, inicio de estado acuoso, inicio de endurecimiento de cáscara, inicio de apertura de ruezno y madurez comercial. Son varios los factores implicados en este comportamiento variable, como lo es el propio microclima de la copa, causado por la densidad foliar, la arquitectura de la copa, el tamaño del árbol, la densidad de plantación así como los cambios estacionales de la altitud solar, como lo señala Rom (1991). Dentro de cada etapa o fecha de evaluación, el efecto de la hora ó periodo del día fue importante en la intercepción de RFA y la actividad fotosintética.

Durante las primeras horas del día la radiación interceptada fue casi nula, ésta incrementó y alcanzó su valor máximo en el segundo periodo, debido a la mayor incidencia causada por la altitud del sol así como al menor efecto

del sombreado entre árboles y dentro del mismo árbol. Por la tarde (tercer periodo) disminuyó nuevamente. El comportamiento fue similar para fotosíntesis excepto para la segunda fecha (inicio de endurecimiento de cáscara). La variación constante durante el día, según Rom (1991), explica por qué las hojas y otras estructuras del árbol se comportan diferente, aún recibiendo cantidades similares de radiación.

Gerard y Baret (1994), observaron comportamiento similar de intercepción de luz en durazno, es decir, la RFA incrementó notablemente durante las primeras horas de la mañana, se estabilizó por un largo periodo durante el día y disminuyó al atardecer.

En árboles de nogal se han determinados tasas fotosintéticas que van de 10 a 12 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ bajo condiciones óptimas bajo una intensidad luminosa de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Crews *et al.*, 1980). Los resultados encontrados en el presente estudio, reflejan resultados similares bajo valores de RFA interceptada similares.

Un factor importante sobre la variabilidad encontrada en las observaciones lo constituye la posición de la copa. En el presente estudio las lecturas de RFA interceptada por las hojas seleccionadas en cada uno de los cuadrantes fueron notablemente afectadas. El lado este del dosel de la copa interceptó mayor RFA durante la mañana, como resultado de la posición del sol

durante las cuatro fechas. La misma tendencia se observó para la fotosíntesis, aunque las mayores tasas se presentaron en forma general durante el segundo periodo del día. Este patrón no se observó en las tres fechas posteriores.

Debido a factores relacionados con la elevación del sol, estructura de la copa y la densidad foliar, entre otros. Como se menciona por Righetti *et al.*, (2007), que cuando los valores de asimilación de CO₂ se expresan en función al área de la hoja evaluada, la cuantificación de la eficiencia fotosintética se dificulta, por no considerar los cambios en el área foliar total a medida que las hojas ó la copa crecen. Lo anterior dificulta comparar la eficiencia de tratamientos o cultivares (Righetti *et al.*, 2007).

Estudios llevados a cabo, por Arreola et al, 1999, en nogales adultos indican que las hojas localizadas en la periferia de la copa, alcanzan su máxima tasa fotosintética bajo una intensidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{seg}^{-1}$, que equivale al 75% aproximadamente de luz total . Dichos valores se obtienen bajo condiciones de temperatura de 27°C que bajo las condiciones del estudio se presentan, generalmente al inicio del segundo periodo.

Los valores de radiación y fotosíntesis observados en los árboles en esta etapa de edad de la huerta, la cual no presenta problemas de sombreo son importantes en el establecimiento de estrategias de manejo tendientes a

propiciar las condiciones para mantener estos valores. Ya que a medida que incrementa la edad de las huertas, la intensidad de la RFA en árboles grandes tiende a disminuir en la parte interna y basal de la copa, debido al sombreado causado por el follaje externo (Wood et al, 1996). Esto es menor en los árboles pequeños, los cuales presentan mayor área foliar soleada por volumen de copa, condición que los hace muy eficientes en el uso de la RFA (Rom, 1991). Por lo que la poda entre otras actividades es importante en el control del tamaño bajo este sistema de producción el cual manifiesta mayor producción por unidad de superficie, durante la etapa inicial de la huerta, hasta que el sombreado entre árboles merma dicho potencial (Worley, 1991). Además de inducir la alternancia (Lombardini, 2006).

6.5 Análisis de correlación entre variables

El análisis de correlación entre fotosíntesis, radiación fotosintéticamente activa, conductancia estomática, temperatura de la hoja y humedad, durante las cuatro etapas fenológicas correspondientes al inicio de estado acuoso, endurecimiento de cáscara, apertura de ruezno y maduras comercial fueron positivamente significativas (Cuadro 1, 2, 3 y 4). No obstante, se observó que la relación entre dichas variables manifestó diferentes valores durante los periodos diurnos y en las diferentes posiciones de la copa durante el estudio. Esta variación nos indica que el microclima de la copa está en constante cambio, el cual afecta de forma considerable la actividad fotosintética de la hoja y del dosel vegetal en general; ya que la copa del

árbol no solo cambia en función y forma, sino que está constantemente respondiendo a la dinámica de la influencia del medio ambiente, como lo menciona Rom (1991).

VII.- CONCLUSIÓN

La intercepción de luz por las hojas y la actividad fotosintética varió con la hora del día, la posición en la copa y la estación de crecimiento; por lo que se acepta la hipótesis nula. La mayor intercepción de luz bajo este sistema de producción ocurrió de las 13:00 a las 14:30 horas, no obstante la mayor actividad fotosintética se observó de las 9:00 Hrs a las 12:30 Horas. Bajo las condiciones de campo, como en las que se llevó el presente estudio, la notable variación en la RFA interceptada y la actividad fotosintética, así como las de conductancia estomática, temperatura de la hoja y humedad, pudieron ser afectadas por condiciones ambientales y del dosel del árbol. Los valores de fotosíntesis en esta etapa juvenil de la huerta, la cual se

encuentra sin problemas de sombreo y bajo un sistema de producción intensiva, deben tener comportamiento similar para conservar la productividad de la huerta, una vez que los árboles entren en etapa adulta.

VIII.- LITERATURA CITADA

Andersen, P.C.1994. Lack of sunlight can limit productivity in the sotheastern U.S. The Pecan Grower. Georgia Pecan Grow Assoc. 6(2): 20-21.

Arreola, A.. J. y E. Herrera. 1999. Growth and yield of crowded pecan trees (*Carya illinoensis* K. Koch) as affected by orchard thinning. Doctor of Philosophy. Thesis dissertation. New Mexico State University. Las Cruces, N.M. 76 p.

- Crews, C. E., R. E. Worley., P. P. Syversten y M. G. Bausher. 1980. Carboxilase activity and seasonal changes in CO₂ assimilation rates in three cultivars of pecan. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105 (6): 798-801.
- Ferree, D.C. 1980. Canopy development and yield efficiency of 'Golden Delicious' apple trees in four orchard management systems. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 376-380.
- Genard, M. y Baret, F. 1994. Spatial and temporal variation of light inside peach trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119(4): 669-677.
- Girardin P, M Tollenaar. 1994. Effects of interference on maize leaf azimuth. Crop Science Society of America 34: 151.
- INEGI, 2004. Cartas: edafológica, climática, de vegetación del estado de la comarca Lagunera.
- Jackson, J.E. 1980. Light interception and utilization by orchards systems. Plant Physiology and biochemistry 2: 2008-267.
- Lagarda M. A. 1998. Effect of pruning and thinning mature pecan trees on the nut production. Crop husbandry. 94(3): 148-157.
- Lombardini, L. 2006. One-time pruning of pecan trees induced limited and short-term benefits in canopy light penetration, yield, and nut quality. HortScience 41(6): 68-72.

- Makino, A., Nakano, H., Shimoda, T., and Yamamoto, N., 2000. Photosynthesis, plant growth and N allocation in transgenic rice plants with decreased Rubisco under CO₂ enrichment . Journal of experimental Botany. 51: 383-389.
- Marini, R.P., and D.L., Sowers. 1990. Net photosynthesis, specific leaf weight and flowering of peach as influenced by shade. HortScience 25: 331-334.
- Medina M., M. del C. 2002. Marco de Referencia Regional del cultivo del nogal en la Comarca Lagunera. Matamoros, Coah. Informe de Investigación. CAELALA.CIAN. INIA.
- Moran, R y Rom. C. 1991. Canopy side and height affect Apple spur and fruit quality. Compact Fruit Trees. 24:80-82.
- Pan, Ruichi. 1994. Study on leaf anatomy and photosynthesis of apple trees. Acta Botánica Sinica (China) 34(10) 771-776.
- Righetti T. L., Vasconcelos, C., Sadrock, D., Ortega, S., Moreno, y Meza, F. 2007. Assesments of CO₂ assimilation on a per-leaf-area basis are related to total leaf area. Jour. Amer. Soc. Hort. Sci. 123:230-238.

- Robinson, T.L.; Seeley, E.J.; Barrit, B.H. 1991. Effect of light environmental and spur age on "Delicious" apple fruit size and quality (*Malus domestica*). *Plant Ecology* 100(5): 855-861.
- Rodríguez, S.F. 1989. Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT Editor S.A., México. pp. 117-127.
- Rom, C. R. 1991. Light thresholds for apple tree canopy growth and development. *HortScience*. 26(8): 988-992.
- Sparks, D., Robert, C., Linnartz, L., Norwin E., Harris, C. and Harold, E. 1980. Long-Term Effects of Early Pruning and Thinning Treatments on Growth of Natural Longleaf Pine. *Society of American Foresters*, 4 (2): 77-79.
- Whiley, A.W. 1993. Environmental Effects on phenology and physiology of mango- a review. *Acta Horticulturae* 341: IV International Mango Symposium.
- Wood A. W., Robertson M. J., and Muchow, R. C. 1996. Growth of sugarcane under high input conditions in tropical Australia. I. Radiation use, biomass accumulation and partitioning. *Field Crop Research*, 48: 11-25.
- Worley, R. 1991. Selective limb pruning intensity influences mature pecan trees and nut characteristics. *HortScience*. 26: 126-128.

Wunsche, J.N., Lakso, A.N., Robinson, T.L., and Denning, S.S. 1996. The base of productivity of apple production systems: the role of light interception by different shoot types. Plant physiology and biochemistry 121(5): 886-893.

Páginas consultadas en Internet:

<http://www.google/earth>, consultada en 2008.

APENDICE

Cuadro 1.- Análisis de correlación ($P < 0.05$) entre las variables relacionadas con el proceso fotosintético en etapa fenológica de inicio de estado acuoso en cuatro cuadrantes de la copa y varios periodos del día (04 de julio de 2007).

Cuadrante Este					
Variables	FOTO	RAD	COND	TEMP_HOJ	HR
FOTO	1	0.94	0.93	0.73	0.97
RAD	0.94	1.00	0.99	0.63	0.94
COND	0.93	0.99	1.00	0.61	0.94
TEMP_HOJ	0.73	0.63	0.61	1.00	0.73

HR	0.97	0.94	0.94	0.73	1.00
Cuadrante Oeste					
FOTO	1.00	0.78	0.72	0.52	0.79
RAD	0.78	1.00	0.93	0.13	0.49
COND	0.72	0.93	1.00	0.30	0.56
TEMP_HOJ	0.52	0.13	0.30	1.00	0.90
HR	0.79	0.49	0.56	0.90	1.00
Cuadrante Norte					
FOTO	1.00	0.96	0.88	0.95	0.94
RAD	0.96	1.00	0.79	0.99	0.90
COND	0.88	0.79	1.00	0.74	0.94
TEMP_HOJ	0.95	0.99	0.74	1.00	0.87
HR	0.94	0.90	0.94	0.87	1.00
Cuadrante Sur					
FOTO	1.00	0.93	0.79	0.79	0.85
RAD	0.93	1.00	0.59	0.66	0.68
COND	0.79	0.59	1.00	0.79	0.97
TEMP_HOJ	0.79	0.66	0.79	1.00	0.86
HR	0.85	0.68	0.97	0.86	1.00

Análisis realizado en el programa STATISTICA, con los residuales obtenidos de la regresión lineal.

Cuadro 2.- Análisis de correlación ($P < 0.05$) entre las variables relacionadas con el proceso fotosintético en etapa fenológica de inicio de endurecimiento de cáscara en cuatro cuadrantes de la copa y varios periodos del día (25 de julio de 2007).

Cuadrante Este					
Variables	FOTO	RAD	COND	TEMP_HOJ	HR
FOTO	1.00	0.53	0.76	0.19	0.76
RAD	0.53	1.00	0.20	0.81	0.56
COND	0.76	0.20	1.00	-0.17	0.81
TEMP_HOJ	0.19	0.81	-0.17	1.00	0.26
HR	0.76	0.56	0.81	0.26	1.00
Cuadrante Oeste					
FOTO	1.00	0.34	0.71	-0.04	0.68
RAD	0.34	1.00	-0.02	0.77	0.23
COND	0.71	-0.02	1.00	-0.28	0.81
TEMP_HOJ	-0.04	0.77	-0.28	1.00	0.01

HR	0.68	0.23	0.81	0.01	1.00
Cuadrante Norte					
FOTO	1.00	0.44	0.09	0.28	0.26
RAD	0.44	1.00	-0.57	0.85	-0.19
COND	0.09	-0.57	1.00	-0.62	0.69
TEMP_HOJ	0.28	0.85	-0.62	1.00	-0.18
HR	0.26	-0.19	0.69	-0.18	1.00
Cuadrante Sur					
FOTO	1.00	0.35	0.80	-0.06	0.73
RAD	0.35	1.00	-0.02	0.83	0.36
COND	0.80	-0.02	1.00	-0.42	0.67
TEMP_HOJ	-0.06	0.83	-0.42	1.00	0.08
HR	0.73	0.36	0.67	0.08	1.00

Cuadro 3.- Análisis de correlación ($P < 0.05$) entre las variables relacionadas con el proceso fotosintético en etapa fenológica de inicio de apertura de ruezno en cuatro cuadrantes de la copa y varios periodos del día (13 de septiembre de 2007).

Cuadrante Este					
Variables	FOTO	RAD	COND	TEMP_HOJ	HR
FOTO	1.00	0.89	0.70	0.93	0.84
RAD	0.89	1.00	0.54	0.91	0.76
COND	0.70	0.54	1.00	0.60	0.72
TEMP_HOJ	0.93	0.91	0.60	1.00	0.83
HR	0.84	0.76	0.72	0.83	1.00
Cuadrante Oeste					
FOTO	1.00	0.49	0.34	0.13	0.50
RAD	0.49	1.00	-0.29	0.69	0.09
COND	0.34	-0.29	1.00	-0.10	0.76
TEMP_HOJ	0.13	0.69	-0.10	1.00	0.22
HR	0.50	0.09	0.76	0.22	1.00

Cuadrante Norte					
FOTO	1.00	0.81	0.62	0.83	0.62
RAD	0.81	1.00	0.41	0.75	0.57
COND	0.62	0.41	1.00	0.67	0.79
TEMP_HOJ	0.83	0.75	0.67	1.00	0.77
HR	0.62	0.57	0.79	0.77	1.00
Cuadrante Sur					
FOTO	1.00	0.68	0.66	0.52	0.76
RAD	0.68	1.00	0.31	0.91	0.63
COND	0.66	0.31	1.00	0.17	0.79
TEMP_HOJ	0.52	0.91	0.17	1.00	0.49
HR	0.76	0.63	0.79	0.49	1.00

Cuadro 4.- Análisis de correlación ($P < 0.05$) entre las variables relacionadas con el proceso fotosintético en etapa fenológica de inicio de madures comercial en cuatro cuadrantes de la copa y varios periodos del día (05 de octubre de 2007).

Cuadrante Este					
Variables	FOTO	RAD	COND	TEMP_HOJ	HR
FOTO	1.00	0.92	0.82	0.86	0.91
RAD	0.92	1.00	0.67	0.90	0.80
COND	0.82	0.67	1.00	0.67	0.93
TEMP_HOJ	0.86	0.90	0.67	1.00	0.83
HR	0.91	0.80	0.93	0.83	1.00
Cuadrante Oeste					
FOTO	1.00	0.29	0.57	-0.28	0.48
RAD	0.29	1.00	-0.25	0.37	-0.24
COND	0.57	-0.25	1.00	-0.29	0.88
TEMP_HOJ	-0.28	0.37	-0.29	1.00	0.04

HR	0.48	-0.24	0.88	0.04	1.00
Cuadrante Norte					
FOTO	1.00	0.85	0.59	0.39	0.67
RAD	0.85	1.00	0.43	0.46	0.60
COND	0.59	0.43	1.00	0.24	0.91
TEMP_HOJ	0.39	0.46	0.24	1.00	0.56
HR	0.67	0.60	0.91	0.56	1.00
Cuadrante Sur					
FOTO	1.00	0.61	0.79	0.42	0.93
RAD	0.61	1.00	0.18	0.90	0.61
COND	0.79	0.18	1.00	-0.08	0.85
TEMP_HOJ	0.42	0.90	-0.08	1.00	0.38
HR	0.93	0.61	0.85	0.38	1.00