



DISPONIBILIDAD DE LUZ Y PRODUCCIÓN DE NUEZ DESPUÉS DEL ACLAREO DE ÁRBOLES DE NOGAL PECANERO (*Carya illinoensis*)

SUNLIGHT AVAILABILITY AND NUT PRODUCTION AFTER REMOVING PECAN TREES

J. G. Arreola Ávila¹; A. Lagarda Murrieta²; A. Borja de la Rosa³; R. Valdez Cepeda¹; B. López Ariza¹

¹Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas Apdo. Postal 2, Bermejillo, Durango. C. P. 35230. MÉXICO.

²UAAAN. U. Laguna. Periferico-Carr. La Fe. Torreón, Coahuila. C. P. 27000, MÉXICO.

RESUMEN

El volumen de la copa bien iluminada es uno de los factores clave en la productividad de árboles de nogal pecanero. Cuando las huertas de nogal pecanero con densidades de plantación al menos de 100 árboles por hectárea presentan problemas de sombreo, la penetración de luz dentro de la copa del árbol y entre árboles, el crecimiento y la producción son negativamente afectadas. La investigación realizada para estudiar el efecto del aclareo de árboles de nogal pecanero sobre la disponibilidad de la luz y productividad de la huerta es limitada. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto del aclareo de árboles sobre la disponibilidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) dentro de árboles permanentes, crecimiento del brote, producción y calidad de la nuez. Este estudio se llevó a cabo en una huerta madura de nogal pecanero con aclareo de árboles de 25 a 50 % durante el periodo 2004-2008. La disponibilidad de RFA dentro de árboles, longitud de brotes y la producción de nuez fueron afectadas por los tratamientos de aclareo; sin embargo, la calidad (porcentaje de almendra) por árbol durante el periodo de tres años de estudio no fue significativamente afectada. Los resultados de este estudio indican que un gradual aclareo en huertas con problemas de sombreo debe realizarse para recuperar el crecimiento y componentes de producción.

Recibido: 13 de marzo, 2009
Aceptado: 28 de mayo, 2009
doi: 10.5154/r.rchscfa.2009.11.047
<http://www.chapingo.mx/revistas>

PALABRAS CLAVE: Aclareo de árboles, penetración de luz, sombreo, producción de nuez, porcentaje de almendra.

ABSTRACT

The volume of well-illuminated canopy is one of the main factors in the productivity of pecan trees. When mature pecan orchards with high densities (at least 100 trees per hectare) become overcrowded, photosynthetic active radiation penetration within the tree canopy, growth and nut production are affected adversely. Little research has been done to determine the effect of thinning on available sunlight and productivity of a pecan orchard. The objective of this study was to determine the effect of tree thinning on photosynthetic active radiation (PAR) available within permanent pecan trees, shoot growth, nut production and nut quality. This study was carried out in a mature pecan orchard thinned at different stages from 25 to 50 % during the 2004-2008 period. Available PAR within pecan trees, shoot growth, and nut production per tree were affected by thinning treatments; however nut quality (kernel percentage) per tree during the three-year period of the study was not significantly affected. The results of this study indicate that a gradual thinning in overcrowded pecan orchards could be done in order to recover growth and production components.

KEY WORDS: Tree thinning, sunlight penetration, shading, nut yield, kernel percentage.

INTRODUCCIÓN

Las huertas maduras de nogal pecanero requieren de elevados niveles de luz para un óptimo crecimiento, producción y calidad de nuez. Cuando las copas entre árboles vecinos se juntan unas con otras, las ramas inferiores son superadas en crecimiento por las superiores debido a la reducida penetración de luz (Mc Eachern, 1996; Herrera, 1996). La disminución en la penetración de la luz trae como resultado una disminución en el crecimiento y productividad, ya que sólo el crecimiento terminal expuesto al sol es potencialmente productivo (McEachern y Zajicek, 1990). Un bajo porcentaje de almendra es también observado, seguido por una producción alterna y

INTRODUCTION

Mature pecan orchards require high sunlight levels for optimum growth, nut production, and quality. When tree canopies touch each other, bottom branches are overgrown by the top branches and light penetration is reduced (Mc Eachern, 1996; Herrera, 1996). Reduced light penetration will result in reduced growth and productivity, since only sun exposed terminals are potentially productive (Mc Eachern and Zajicek, 1990). Low kernel percentage is also observed, followed by alternate bearing, and finally, by an indefinite period of limited growth (Herrera, 1994; McEachern, 1996). In mature pecan orchards, it has been found that when trees touch each other, only 20 % of the

finalmente por un periodo de crecimiento limitado (Herrera, 1994; McEachern, 1996). En huertas maduras de nogal se ha observado que cuando las copas de los árboles vecinos se juntan, sólo el 20 % de la luz penetra hacia el piso de la huerta (Halley y Mastrom, 1979).

Uno de los mayores problemas que enfrentan los productores de nogal, en lo relativo al entrecruzamiento entre copas de árboles, es cómo determinar y mantener un espaciamiento óptimo de árboles y tamaño de la copa. Goff (1992) considera que las huertas presentan el problema de entrecruzamiento cuando más del 50% del piso de la huerta está sombreado al mediodía.

En hojas localizadas en la periferia de la copa la saturación de radiación fotosintética ocurre a los 1,500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$, que equivale al 75 % de la luz total (Andersen, 1994). También las hojas expuestas a 10 % de luz, lo cual es común en la parte inferior de la copa, presentan valores de asimilación de CO_2 cercano a cero.

El crecimiento estacional del brote es proporcional al crecimiento experimentado en la estación anterior (Sparks, 1988). También el crecimiento del brote está relacionado con la cantidad de carbohidratos almacenada, que es una función del área foliar por fruto y producción del árbol (Sparks y Brack, 1981). En árboles adultos, los brotes con mayor longitud producen más área foliar (Sparks, 1969). La relación del vigor con el número de nueces demuestra la importancia de mantener el crecimiento vigoroso del brote. Además el rendimiento está relacionado con el porcentaje de brotes fructíferos (Sparks, 1975), el cual en árboles maduros de nogal es reducido en la posición inferior de la copa, debido a la reducida eficiencia de las hojas que resulta del sombreado (Malstrom y Sparks, 1973). Los brotes fructíferos por árbol parecen tener una relación inversa con la densidad de los mismos, menores espacios entre árboles resultan en mayor producción de la nuez por unidad de superficie, hasta que el sombreado causado por el entrecruzamiento entre ramas de árboles vecinos se incrementa hasta el punto en el cual la producción de la huerta disminuye (Smith, 1951; Romberg *et al.*, 1959; Law *et al.*, 1980; Worley, 1991).

En México el nogal pecanero se cultiva en 85,000 ha. La superficie con huertas de nogal en producción es de 60,000 ha, de las cuales 45,000 se encuentran con problemas de sombreado. El deterioro de la luz en estas huertas comerciales induce una reducción en el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la nuez. Posibles soluciones en las huertas sombreadas incluyen la poda selectiva de ramas (Worley, 1991). No obstante que esta práctica es llevada a cabo comúnmente en México, en algunas ocasiones resulta insatisfactoria. Otra opción consiste en reducir el volumen de la copa mediante poda de despunte en forma mecánica (Wood, 2009), pero es costosa. Una propuesta alterna incluye el aclareo de

sunlight reaches the orchard floor (Halley and Malstrom, 1979). One of the major problems facing pecan growers relative to overcrowding is how to determine and maintain optimum tree spacing and canopy size. Goff (1992) considered orchards to be overcrowded when over 50 % of the orchard floor is shaded at noon. On the other hand, photosynthetic light saturation of leaves located in the canopy periphery is estimated to occur at 1,500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sec}^{-1}$ or 75 % full sunlight (Andersen, 1994). Also, leaves exposed to 10 % of full sunlight, which is common in the bottom part of the canopy, have CO_2 assimilation values near zero. Current shoot growth is proportional to growth made during the previous season (Sparks, 1988); it is related to the amount of carbohydrates stored which is a function of leaf area per fruit and crop load (Sparks and Brack, 1981). In mature trees, longer shoots produce more leaf area (Sparks, 1969). The relationship of the vigor to number of nuts demonstrates the importance of maintaining vigorous shoot growth. Moreover, the yield is related to the percentage of fruiting shoots (Sparks, 1975), which in mature pecan trees is reduced in the lower position of the canopy due to reduced efficiency of the leaves resulting from mutual shading (Malstrom and Sparks, 1973). Fruiting shoots per tree are expected vary inversely with tree density. Close spaces result in greater nut production per ground area until shading caused by crowding between trees increases to the point where orchard production declines (Smith, 1951; Romberg *et al.*, 1959; Law *et al.*, 1980; Worley, 1991).

In Mexico pecan is cultivated in approximately 75,000 ha. Mature pecan orchards occupy 60,000 ha, with shading problems in 45,000 ha as a result of crowding. Light deterioration in these commercial orchards induces a reduction in growth, yield and nut quality. Possible solutions to orchard crowding and associated profitability problems include selective limb removal (Worley, 1991). Although this practice is commonly used in Mexico, sometimes results unsuccessfully. Another option consists in reducing the canopy volume by mechanical hedge pruning (Wood, 2009), but it is expensive. An alternative approach includes thinning orchards; detailed data on sunlight availability inside the tree canopy and some characteristics of shoot and tree productivity in thinned orchards are currently lacking in México. The present study evaluates the canopy light interception, seasonal shoot yield and nut quality in a crowded 'Western Schley' orchard, in response to several thinning treatments.

MATERIALS AND METHODS

Orchard site characteristics. The survey was initiated in 2002 in an orchard located in Nazas, Durango, Mexico. The site is located at an elevation of 1,240 m (3782 ft), 25° 30' 44" latitude N and 103° 32' 44" longitude West. Average annual precipitation is 305 mm (12.4 inches); ≈70 % of the precipitation falls during July to September.

huertas mediante el entresacado de árboles; sin embargo, información detallada sobre disponibilidad de luz dentro del árbol, incluyendo algunas características de crecimiento del brote y productividad del árbol en huertas aclareadas, es actualmente escasa en México. Por esta razón, el objetivo de este estudio fue evaluar la penetración de luz en la copa, el crecimiento del brote, la producción y la calidad de la nuez en una huerta adulta de nogal 'Western Schley' con problemas de sombreo, como respuesta a tratamientos de aclareo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características de la huerta. El estudio fue iniciado en 2002, en una huerta localizada en Nazas, Durango, México. El sitio tiene una elevación de 1,240 metros, una latitud norte de 25° 30' 44" y una longitud oeste de 103° 32' 44". La precipitación promedio anual es de 305 mm, 70 % de la cual ocurre durante julio a septiembre. La temperatura media del aire es de 22 °C, con temperaturas máximas promedio en verano de 33 °C. El sitio recibe 80 a 90 % de radiación durante la estación de crecimiento y presenta una humedad relativa media de 40 %. La huerta se desarrolla en un suelo clasificado como suelo franco arcilloso (montmorillonita fina, torrente térmico)

Manejo de la huerta. Árboles de nogal 'Western' incluidos en este estudio, fueron establecidos a raíz desnuda en enero de 1975. Los árboles en la huerta fueron plantados a distanciamiento de 10 m X 10 m. Las necesidades hídricas de 1.5 m de lámina de agua, son satisfechas mediante riego rodado. Fertilizaciones nitrogenadas al suelo son efectuadas de marzo a junio, y las dosis de las aspersiones foliares de Zn durante el crecimiento del brote se basan en análisis foliar. El barrenador de la nuez, el barrenador del ruezno y varios artrópodos son controlados mediante aplicaciones foliares de insecticidas. El manejo se lleva a cabo siguiendo las recomendaciones de asesoría técnica local.

Remoción de árboles. En este estudio cinco secciones de 0.5 ha de la huerta fueron aclareadas en diferente gradiente, como a continuación se señala: a) una sección no aclareada con una densidad de 100 árboles por ha; b) una sección con el 25 % de árboles removidos en 2002, dejando 75 % de árboles por ha; c) una sección con el 25 % de árboles removidos en 2003; d) una sección con el 25 % de árboles removidos en 2004; e) una sección con 25 % de árboles eliminados en 2003 y 25 % de árboles nuevamente removidos en 2004, para completar el 50 %. En el aclareo del 25 % fueron removidos árboles alternos en hileras alternas. En la sección de la huerta aclareada con 50 % en 2004, fueron eliminados los árboles alternos dejados el año anterior en las hileras alternas. Los árboles fueron removidos en enero de cada año.

En cada sección de la huerta, una muestra de cuatro árboles fue llevada a cabo con el fin de evaluar la respuesta

Monthly mean air temperature is 22 °C, daily maximum summer temperatures average 33 °C. The site receives 80 to 90 % sunlight during the growing season and has a mean relative humidity of about 40 %. Orchard is growing on Glendale clay loam soil (fine montmorillonitic, thermic Typic Torrent).

Orchard management characteristics. Western trees comprised in this study, were established as bare-root transplants in January 1975. Orchard trees were initially spaced at 10 x 10 m. The orchard is flood irrigated and water needs are supplemented by applying 1.5 m (59.4 inches) throughout the growing season. Trees received annual broadcast applications of nitrogen from march to June, and foliar sprays of zinc during shoot growth as needed, based on previous July leaf analysis. Orchard management includes foliar sprays of pesticides to control nut casebearer, hickory shuckworm and various arthropod pests, as prescribed by the Local Extension Service recommendations.

Tress removal. In this study, five thinned areas of 0.5 ha each were evaluated: a) nonthinned orchard section, 100 trees per ha ; b) a section thinned by 25 % in 2002, leaving 75 permanent trees per ha ; c) a section thinned by 25 % in 2003; d) a section thinned by 25 % in 2004; and e) an orchard section thinned first to 25 % percent in 2003 and completed to 50 % in 2004, leaving 50 permanent trees per ha. Every other tree in every other row was cut in the 25 % thinning treatments. In the orchard section thinned by 50 % in 2004, the remaining trees in the thinned rows were removed. Trees were cut down in January of each year.

In each orchard section a four tress sample was done in order to evaluate the response to thinning. Canopy diameter and high of studied tress was 6 and 10 m respectively. Photosynthetic active radiation readings in sampled tress were taken in the intersected points at 6 m height from the orchard floor, and 1.5, 3, 4.5 and 6 m from the tree trunk toward the canopy periphery in eight directions N, NE, E, SE, S, SW, W and NW. A 6 m length string line was used to locate each reading point. In order to avoid shading between tress, readings were taken at noon, sitting the string extreme in each mark made on the ground at 1.5 m intervals in each compass direction previously done. A pruning tower was used to reach each canopy position. Each reading represented a percent of full sunlight derived after a similar reading was taken outside the canopy in full sunlight immediately after measuring sunlight within the tree canopy. Light inside tree canopy was recorded once from July 4th to July 13th for five years using a line quantum sensor LI-191 SB (Li-COR, Inc. Lincoln NE). Light measurements per tree took 30 minutes, two tress were evaluated daily from 12:00 to 13:00 hrs. Ten apical shoots located at 6 m height in the periphery from each of the eight canopy sides on each tree were randomly selected in December 2004 and tagged for measuring its annual length reached that year and growth of apical

al aclareo. El diámetro de la copa y altura de los árboles fueron de 6.0 m y 10 m, respectivamente.

Las lecturas de la radiación fotosintéticamente activa en los árboles muestreados fueron tomadas a 6 m de altura y a 1.5, 3, 4.5 y 6 m del tronco hacia la periferia de la copa en ocho direcciones: N, Ne, E, Se, S, Sw, W y Nw. Una cuerda de 6 m de longitud fue utilizada para localizar cada punto de lectura. Para evitar el efecto del sombreado entre árboles, las lecturas fueron tomadas a medio día, colocando el extremo de la cuerda en cada marca realizada en el piso de la huerta a intervalos de 1.5 m en cada dirección en ocho puntos cardinales determinados previamente. Una torre para podar fue utilizada para alcanzar los puntos de lectura. Cada lectura representó un porcentaje de luz total, que resultó de la relación de luz tomada dentro de la copa, después de realizar una lectura similar fuera de la copa.

La RFA dentro de la copa fue medida una vez del 4 al 13 de julio, por un periodo de cinco años utilizando un sensor de luz LI-191 SB (Li-COR., Inc. Lincoln, Ne). Las lecturas de luz por árbol tomaron 30 minutos. Dos árboles fueron evaluados diariamente de 12:00 a 13:00 horas. Diez brotes localizados a 6 m de altura en la periferia de la copa en cada uno de los ocho lados de la misma, fueron seleccionados al azar en diciembre de 2004, y etiquetados para medir su longitud alcanzada en dicho año, así como la longitud del brote apical estacional del brote emitido en estas unidades etiquetadas. Las medidas fueron llevadas a cabo en enero de 2005, 2006, 2007 y 2008.

Para determinar el efecto de la eliminación de los árboles sobre la RFA dentro de la copa de los árboles y la longitud del brote, los datos fueron analizados por años separados. La separación de medias entre tratamientos fue llevada a cabo usando una prueba de DMS al nivel de significancia del 5 %.

La producción de nuez por árbol se evaluó en octubre de cada año. La calidad de la nuez representada por el porcentaje de almendra (peso de almendra x 100 dividida entre el peso de la cáscara y la almendra) fue calculada de una muestra de 50 nueces tomada al azar en cada árbol. Los datos de producción y calidad de la nuez fueron analizados usando un diseño completamente al azar, y las medias fueron separadas usando la prueba de DMS al nivel de significancia del 5 %.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Radiación fotosintéticamente activa dentro de la copa.

La intercepción de luz dentro de la copa del árbol para el tratamiento del 25 % de árboles removidos en enero de 2004 fue mayor que en el testigo, así como en los árboles removidos en 2002 (Figura 1). Aunque el aclareo de 25 % en 2002 y 2003 incrementó sustancialmente la luz dentro de la copa del árbol, estadísticamente fue similar al

Table 1. Photosynthetic active radiation within tree canopy during five-year period for five orchard thinning treatments.

Thinning treatments	PAR Percentage				
	2004	2005	2006	2007	2008
Control	21.6 c ^z	20.1 c	18.5 c	17.6 b	15.2 b
25% thinned in 2002	24.6 c	22.1 c	20.0 bc	18.8 b	17.9 b
25% thinned in 2003	26.3 bc	23.5 bc	20.6 bc	19.7 b	18.1 b
25% thinned in 2004	29.8 b	27.8 b	24.7 b	21.5 b	19.0 b
50% thinned in 2004	1.8 a	37.3 a	32.9 a	29.7 a	27.0 a

^z Means within columns followed by different letters are significantly different at $\alpha \leq 0.05$ level by Fisher's LSD test.

shoots emitted on these tagged units. Measurements were performed in January 2005, 2006, 2007 and 2008.

For determining the effect of tree removal on PAR within tree canopy and shoot growth, data were analyzed per separated years. Mean separation between thinning treatments was done using Fisher's LSD test at $P \leq 0.05$.

Nut production from individual trees in each thinned section was evaluated in October each year. Pecan quality represented by kernel percentage (kernel weight X 100 divided by shell and kernel weight) was calculated from a randomly selected 50 pecan sample taken from each tree. Data for nut production and quality were analyzed using a completely randomized design and means were separated using Fisher's LSD at $P \leq 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

PAR within the tree canopy. Sunlight interception within the tree canopy for thinning treatment by 25 % in January 2004 was greater than in control and in tree removal by 25 % in 2002 (Table 1). Although the thinning by 25 % in 2002 and 2003 treatments increased substantially light inside the tree canopy, statistically were similar to control. Such PAR readings were expected to occur, as a result of one and two-year cumulative canopy growth after thinning. The greatest PAR inside the tree canopy was observed when initial tree removal by 25 % in 2003 was completed to 50 % in 2004. Open spacing in remaining trees caused a reduction in shading between trees that resulted in sunlight increment.

Although pruning has direct effect on light increment within the tree canopy, according to observations made by Worley, (1991) orchard thinning also affects notably the PAR increment within the tree canopy, which is critic in the bottom and close to the periphery of the canopy because excessive tree crowding in adult orchards (Andersen, 1994; Wood, 1997). In 2005 PAR penetration pattern inside the tree canopy was similar to that observed in 2004; however, lower PAR readings were observed as a result of cumulative canopy growth. In the third evaluation year (2006) PAR inside tree canopy for all 25 % thinning treatments were statistically similar. In that summer, PAR inside tree canopy in permanent trees after removing 25 % trees in 2002 or

testigo. Era de esperarse que sucedieran estas lecturas, debido al crecimiento acumulado de la copa después de la remoción de árboles. La mayor RFA dentro de la copa del árbol se observó cuando el 25 % de los árboles fue consecutivamente removido en 2003 y 2004. El amplio espaciamiento en los árboles permanentes indujo un incremento de luz entre árboles. Aunque la poda tiene un efecto sobre el incremento de la luz dentro de la copa del árbol, de acuerdo con observaciones hechas por Worley (1991), la remoción de árboles también afecta notablemente el incremento dentro de la copa del árbol, el cual es crítico en la parte inferior y cercano a la periferia de la copa debido al entrecruzamiento de ramas entre árboles vecinos (Andersen, 1994; Wood, 1997). En el 2005 el patrón de penetración de la RFA dentro de la copa fue similar al observado en 2004, aunque se observaron lecturas con menores valores debido al crecimiento acumulado de la copa. En el tercer año de evaluación (2006), la RFA dentro de la copa en todas las secciones con remoción de árboles en un 25 %, fue estadísticamente similar. En este verano la RFA dentro de la copa para los árboles de las secciones con el 25 % de aclareo fue similar al testigo, sin aclareo. En 2007 y 2008 no se observaron efectos del aclareo sobre la disposición de luz dentro de la copa, excepto para la sección con el 50 % de aclareo en el año 2004, cuyo incremento en la RFA fue del 44 %, muy similar al observado el año anterior. La remoción de árboles en huertas adultas de nogal con problemas de sombreo, induce un incremento en la fracción de la radiación total interceptada por los árboles permanentes. Un eventual incremento en la intercepción de la radiación, dependerá de la densidad de plantación y del grado de aclareo. Aunque la poda en sus diferentes tipos y gradientes es el mejor método para manejar la intercepción de luz por la copa, la remoción de árboles parece ser una importante herramienta a considerar en este tópico.

Crecimiento del brote. Se observaron efectos del aclareo sobre el crecimiento del brote durante el periodo de cinco años en que fue conducido el experimento (Cuadro 2). En el 2005 la longitud del brote se incrementó 29 y 42 % en las secciones con 25 y 50 % de aclareo comparado con el testigo sin aclareo. Aunque la penetración de luz en el piso de la huerta constituye una respuesta inmediata al aclareo (Herrera, 1994), la intercepción de luz por la copa de los árboles también se incrementa, especialmente en la periferia de la copa. Como resultado del incremento de la RFA, fue observado también un aumento sustancial en el vigor del brote en esta área de la copa. En el 2006 los efectos del aclareo sobre el vigor del brote fueron similares a lo observado el año anterior; la mayor longitud del brote fue registrada en los árboles con mayor iluminación, situación que no sucedió en los árboles testigo. A pesar de que la remoción de árboles se llevó a cabo en años diferentes (2002, 2003 y 2004), la longitud del brote en estas secciones aclareadas fue similar. Lo anterior permite suponer que el grado de aclareo podría tener un mayor efecto que el año en que se realiza. En 2007 y 2008 los

2003, did not exhibit significant differences compared to control. Sunlight interception inside the tree canopy after thinning by 50 % during 2004 was 44 % greater than the control. In 2007 and 2008 there were no treatment effects on PAR within canopies, except for thinning by 50 % in 2004, that manifested again greater PAR percentages close to 44 and 43%, respectively. Tree removal in overcrowded mature pecan orchards induces an increment in the fraction of total solar radiation intercepted by the permanent tree canopy. Eventual increment in sunlight interception will depend on orchard density and thinning degree. Even though pruning including its different types and gradients is the best method to manage sunlight interception in the tree canopy, thinning seems to be an important tool to consider in this matter.

Shoot growth. There were treatment effects on shoot growth throughout the five-year period of the study (Table 2). In 2005 shoot length increased nearly 29 and 42 % in orchard sections thinned by 25 and 50 % compared with the non-thinned section. Although sunlight penetration on the orchard floor is the immediate response to orchard thinning (Herrera, 1994), light interception by the tree canopies also increased, specially on the canopy periphery. As a result of PAR interception increment, a substantial shoot vigor improvement was observed, particularly in the periphery of the tree canopy. In 2006 treatment effects on shoot vigor was similar to that observed the previous year; the highest shoot length was recorded in the more illuminated trees, and the lowest shoot vigor was observed in the crowded orchard section. Although orchard sections thinned by 25 % were carried out in different years (2002, 2003 and 2004) the shoot length exhibited by these treatments was statistically similar. Thus, the thinning degree might be more important than the year in which it was done. In 2007 and 2008 thinning effect was similar to that observed during the previous years. However, a trend to reduction in shoot vigor was observed. The gradual decrement in shoot length throughout the period of the present study, might have been due to shading among the neighbor trees, which was expected to reduce photosynthesis rate of the leaves as previously suggested (Andersen, 1994; Malstrom and Sparks, 1973) and to reduce apical shoot

Table 2. Shoot growth during 5-year period for five orchard thinning treatments.

Thinning treatments	Shoot length (cm)			
	2005	2006	2007	2008
Control	6.0 c ^z	5.3 c	4.2 c	4.1 c
25% thinned in 2002	9.0 b	8.0 b	6.4 b	6.2 b
25% thinned in 2003	9.0 b	8.2 b	6.1 b	6.0 b
25% thinned in 2004	7.3 b	8.3 b	5.8 b	5.2 b
50% thinned in 2004	10.2 a	9.0 a	11.0 a	9.8 a

^z Means within columns followed by different letters are significantly different at $\alpha \leq 0.05$ level by Fisher's LSD test.

efectos del aclareo fueron similares al observado el año anterior; no obstante, fue observada una tendencia hacia la disminución en el vigor del brote. El decremento gradual del crecimiento del brote durante el periodo de este estudio, podría deberse al sombreado causado por los árboles vecinos, el cual pudo esperarse que impactara sobre la disminución de la tasa fotosintética de las hojas, como ha sido previamente señalado (Andersen, 1994; Malstrom y Sparks, 1973), y disminuir el crecimiento apical del brote, debido a la baja producción de carbohidratos (Sparks, 1975; Sparks y Brack, 1981). Esto tiene, consecuentemente, efectos acumulados en el vigor del brote para el siguiente año, ya que existe una correlación significativa entre el crecimiento estacional del brote con el crecimiento observado en el brote del año anterior (Sparks, 1988). El menor crecimiento del brote apical observado en la sección no aclareada (100 arboles por ha) se debió probablemente al entrecruzamiento de ramas entre árboles vecinos, lo que confirma observaciones previas efectuadas en huertas adultas (Mc Eachern y Zajizek, 1990; Mc Eachern, 1996). Por lo tanto, en huertas con problemas de sombreado donde no se realiza el aclareo, debe ser considerado el manejo de la copa para mejor penetración de luz y mayor vigor del brote (Herrera, 1996). La poda selectiva de ramas es una práctica que tiene impacto directo sobre la penetración de luz dentro de la copa del árbol, mejorando el crecimiento del brote de la estación así como el amarre del fruto (Worley, 1991).

Producción de nuez. La producción de nuez por árbol fue afectada significativamente durante el presente estudio de cinco años (Cuadro 3). En 2004 la producción de nuez por árbol en la sección de la huerta con 50 % de aclareo en 2004, fue estadísticamente similar a la sección con 25 % de aclareo efectuada en 2002 y 2003, pero mayor que los árboles testigo, incluyendo la sección con 25 % de árboles removidos en 2004. Los árboles permanentes después del aclareo, mostraron los efectos benéficos del espaciamiento disponible para la penetración de luz y el rendimiento de nuez. Esto pudo deberse al suficiente crecimiento vegetativo y mantenimiento de la producción de la nuez (Sparks, 1969), incluyendo un incremento en el área productiva, como resultado de un incremento en la exposición a la luz (Smith, 1951; Rombreg *et al.*, 1959) así como el incremento en la fotosíntesis (Andersen, 1994; Wood, 1997).

El segundo año (2005) hubo una baja producción de nuez (Cuadro 4), debido a la producción alterna, que es un fenómeno común en esta especie. La menor producción de nuez fue observada en los árboles testigo (sección sin aclareo). Este efecto severo pudo ser resultado del sombreado y consecuentemente pobre crecimiento del brote, ya que se ha observado que a mayor longitud del brote, mayor número de flores pistiladas que amarran (Sparks, 1975). En 2006, un año de alta producción, fue en el testigo nuevamente en el que se observó la menor producción. La mayor producción de nuez en la sección

Table 3. Nut production per tree during 5-year period for five orchard thinning treatments.

Thinning treatments	Production per tree (Kg)						Total Yield (2004-08)
	2004	2005	2006	2007	2008	Avg.	
Control	26.8 c ^z	15.5 b	33.7 c	12.0 c	20.0 b	21.6	108.0
25 % thinned in 2002	39.5 ab	27.3 a	50.8 ab	22.0 b	46.0 a	37.1	185.6
25 % thinned in 2003	42.8 ab	26.2 a	46.7 b	30.4 ab	44.7 a	38.1	190.8
25 % thinned in 2004	34.3 b	24.0 a	45.9 b	27.6 b	48.9 a	36.1	180.7
50 % thinned in 2004	46.6 a	25.4 a	58.3 a	37.0 a	52.0 a	43.8	219.3

^z Means within columns followed by different letters are significantly different at $\alpha \leq 0.05$ level by Fisher's LSD test.

growth, due to lower carbohydrate production (Sparks, 1975; Sparks y Brack, 1981), with cumulative effects on shoot vigor for the next year, according to the significant relationship found between the current season's growth with the observed length of one year-old shoot (Sparks, 1988). The lowest apical shoot length observed in the crowded orchard section (100 trees per ha) was probably due to overcrowding, confirming previous observations done in mature orchards (McEachern and Zajicek, 1990; Mc Eachern, 1996). Therefore, in crowded pecan orchards where thinning is not considered, canopy management for better sunlight penetration and greater shoot vigor might be considered (Herrera, 1996). Selective limb pruning is one practice that has direct impact on sunlight penetration inside the tree canopy and improves current season shoot growth and fruit set (Worley, 1991).

Nut Production. Nut production on a per tree basis was significantly affected by thinning treatments throughout the five-year period of the study (Table 3). In 2004 nut production per tree in the orchard section thinned by 50 % in 2004, was statistically similar to that thinned by 25 % in 2002 and 2003, but greater than the control trees and the orchard section thinned by 25% in 2004. Remaining trees after thinning showed the beneficial effects of the open space available for sunlight penetration and nut yield. It might be due to sufficient vegetative growth to maintain shoot vigor and nut bearing (Sparks, 1969), including an increment in the bearing area as a result of an increment in sunlight exposure (Smith, 1951; Romberg *et al.*, 1959) and increment on photosynthesis (Andersen, 1994; Wood, 1997).

The second year (2005) there was poor return fruit set (Table 3), due to alternate bearing, a phenomena common in this species. The lowest nut yield was observed in the control trees (non-thinned orchard section). This severe effect might be a result of shading and subsequent poor shoot growth, because it has been found that the longer the shoot, the more pistillate flowers that are borne on this unit (Sparks, 1975). In 2006, a high production year, again control trees showed the lowest nut production. The highest nut production observed in orchard section thinned by 50

Table 4. kernel percentage per tree during a 5-year period for five orchard thinning treatments.

Thinning treatments	Kernel (%)				
	2004	2005	2006	2007	2008
Control	54.8 ^{N.S.}	56.0 ^{N.S.}	55.7 ^{N.S.}	54.0 ^{N.S.}	54.0 ^{N.S.}
25% thinned in 2002	55.5	57.3	55.0	57.0	56.0
25% thinned in 2003	54.8	57.2	56.0	56.4	56.7
25% thinned in 2004	55.3	57.5	54.0	54.0	55.0
50% thinned in 2004	55.8	57.0	55.0	56.0	57.0
Mean	55.2	57.0	55.1	55.5	55.7

^{N.S.} Indicates no significant.

en declive en la sección sin aclareo. No se observaron diferencias en rendimiento entre las cuatro secciones con árboles removidos. Es probable que la tendencia hacia un incremento en la producción de nuez por árbol, haya compensado el menor número de árboles por hectárea después del aclareo. Lo anterior se basa en los incrementos de 42, 43 y 40 % observados en las secciones aclareadas con 25 % en 2002, 2003 y 2004 (Cuadro 3). El rendimiento de nuez por hectárea es repentinamente reducido justo después del aclareo, pero es recuperado a medida que el tiempo pasa. El periodo de recuperación podría depender de factores asociados con fertilidad del suelo y calidad del agua, así como por un adecuado manejo. Para no afectar adversamente la producción, las huertas adultas de nogal con problemas de sombreado no deben aclarearse en un invierno único. Una poda parcial en árboles temporales o un gradual aclareo, mediante la eliminación del 25 % o menos de árboles cada año (o en años alternos), debe llevarse a cabo (Herrera, 1994). Esta eliminación gradual podría amortiguar la repentina disminución en el rendimiento, que ocurre cuando el 25 % de árboles removidos se lleva a cabo el primer año, completando el 50 % en el siguiente año. Después de aclareada la huerta, es necesario el manejo de la copa en árboles permanentes mediante la poda selectiva de aclareo de ramas (Worley, 1991; Lombardini, 2006). Este proceso, que tiene un impacto directo sobre el incremento de luz dentro de la copa del árbol, podría esperarse que incremente la tasa fotosintética en áreas sombreadas antes de llevar a cabo esta práctica.

Calidad de la nuez. La calidad de la nuez expresada en porcentaje de almendra, no fue significativamente afectada por el aclareo (Cuadro 4). Este parámetro pareció ser resultado de la cantidad de nueces en el árbol. Alta producción se presentó en los años 2004, 2006 y 2008 en las secciones de la huerta con aclareo de árboles y sin él, observándose una consecuente tendencia hacia el decremento de la calidad. En 2005 y 2007, se observó una tendencia hacia el incremento en la calidad, debido a una baja producción obtenida en estos años.

CONCLUSIONES

En este estudio los resultados indican que la remoción de árboles incrementa la radiación en la copa

% in 2004 was statistically similar to that yield found in the permanent trees after thinning by 25 % in 2002. Low production was observed again in 2007, but nut production pattern as affected by thinning treatments was similar to that observed in previous years, with lowest nut production in the control and highest yield in the severely thinned orchard section. The fifth crop year (2008) was an ON year with yield declining only for control (non-thinned orchard section) treatment, relative to the previous seasons yield (Table 3). There was no yield difference among the four thinning treatments. Probably the trend for an increment in nut production per tree basis compensated the lack of tree per hectare, due to thinning. It is based on increments by 42, 43 and 40 % observed in thinning treatments by 25 % in 2002, 2003 and 2004 and increments by 51 % in the orchard section where thinned was completed by 50 % in 2004 (Table 3). Nut yield per hectare is suddenly reduced after thinning is done. However it is recovered as time advances. Recuperation period might depend of factors associated with soil fertility and water quality, as well as with adequate management.

In order to not affect adversely nut production, crowded mature pecan orchards cannot be thinned in a given winter. Partial pruning of temporary trees or a gradual thinning by eliminating 25 percent of the trees or less every year (or every other year depending of the extent of the shading) should be done (Herrera, 1994). This gradual removal will soften the sudden decrease in yield, that occurs when the 25 percent is thinned the first year, and the 50 percent is completed the second consecutive year.

After thinning the orchard, canopy management in permanent trees through selective limb pruning (Worley, 1991; Lombardini, 2006) or mechanical hedge pruning (McEarchern, 1996; Wood, 2009) must be done. This process which has a direct impact on higher sunlight within tree canopy may be expected to increase photosynthesis rate in shaded areas before start this practice.

Nut quality. Nut quality expressed in kernel percentage was not affected significantly by orchard thinning (Table 4). Nut quality appeared to be function of the amount of nuts on the tree; 2004, 2006 and 2008 were ON years with all control and thinned orchard sections exhibiting heavy nut crops. A trend for a reduction in kernel percentage was observed. In 2005 and 2007, poor return fruit set years (OFF years), a trend for increment in nut quality was observed.

CONCLUSIONS

In this study the results indicate that orchard thinning improves light environment in the tree canopy. This activity also improves shoot vigor and nut production per tree, which soft the sudden decrease in yield. Therefore, a gradual tree removal program must be established in order to avoid significant yield reduction per hectare, and obtain again quality yield compared to control trees.

End of English Version

del árbol. Esta actividad también mejora el vigor del brote y la producción de nuez por árbol, la cual amortigua la repentina disminución en el rendimiento por hectárea y tiende a recuperar la calidad de la nuez.

LITERATURA CITADA

- ANDERSEN, P. C. 1994. Lack of sunlight can limit pecan productivity in the southeastern U. S. The Pecan Grower. Georgia Pecan Grow. Assoc. 6(2): 20-21.
- GOFF, B. 1992. The overcrowded dilemma. Pecan South. 25(9): 22-23.
- HALLEY, R. L.; MALSTROM, H. L. 1979. How to calculate tree size for high density. The Pecan Quarterly. 13 (1): 22-23.
- HERRERA, E. A. 1994. Thinning orchards at the proper time. Pecan South. 26(12): 6.
- HERRERA, E. A. 1996. Sunlight management. Pecan South 29(7): 6-10.
- LAW, J. M.; ATOR, D. W.; YOUNG, W. A. 1980. High density spacing: an alternative for pecan growers. Pecan South 2 (5): 36-41.
- LOMBARDINI, L. 2006. One-time pruning of pecan trees induced limited and short-term benefits in canopy light penetration, yield, and nut quality. HortScience. 4(6):1469-1473.
- MALSTROM, H. L.; SPARKS, D. 1973. Analysis of yield components in mature trees of 'Schley' pecan. *Carya illinoensis* K. Koch. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98: 496-500.
- McEACHERN, R. G. 1996. Correcting pecan tree crowding. Pecan South (6):10-13.
- McEACHERN, R. G.; ZAJICEK, J. M. 1990. Pecan orchard design: tree spacing pruning and thinning. Pecan South 24(5): 5-9.
- ROMBERG, L. D.; SMITH, C. L.; CRANE, H. L. 1959. Effects of irrigation and tree re-spacing (thinning) on pecan tree growth and nut production. p. 60-75. In Storey, B. (ed.). 38th Annual convention. Proc. The Texas Pecan Grow. Assoc. Forth Worth, TX. Jul. 14 -15. 1959.
- SMITH, C. L. 1951. Some effects of thinning the stand on growth and yield of pecan trees. Proc. The Western Pecan Grow. Assoc. 45:60-69.
- SPARKS, D. 1969. Some characteristics of shoot growth of pecan trees and their implications to yields. p. 60- 69. In Brison, F.R. and B. Storey. (Eds). 45th Annual convention. Proc. The Southeastern Pecan Gro. Assn. Austin, TX. Jul. 8-9. 1951.
- SPARKS, D. 1975. The alternate fruit bearing problem in pecans. Proc. Northern Nut Grow. Assoc. 65: 145-157.
- SPARKS, D. 1988. Shoot length influences production and abortion of pistillate flowers. Pecan South 22(6): 12-17.
- SPARKS, D.; BRACK, C. E. 1981. Effect of removing leaves and fruit on return bloom and fruit set on the Stuart pecan. p. 69-72. In Sass, R. (ed.). 78th Annual convention. Proc. The Southeastern Pecan Grow. Assoc. Alabama. March 8-11. 1981.
- WOOD, B. 1997. Big trees: dealing with the Southeastern's dilemma. The Pecan Grow. Georgia Pecan Grow. Assoc. Inc. 28(4): 28-31.
- WOOD, B. 2009. Mechanical hedge pruning of pecan in a relatively low-light environment. HortScience. 44(1):68-72.
- WORLEY, R. E. 1991. Selective limb pruning intensity influence mature pecan trees and nut characteristics. HortScience 26: 126-128.