



Título del trabajo: Eficiencia en la intercepción de la luz en tres formas de conducción de pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch]: estructura y actividad fotosintética.

Nombre de la alumna: Michelini, María Carolina.

Nº de Legajo: 26.507/4

D.N.I.: 35.821.144

Dirección de correo electrónico: cmichelini_91@hotmail.com

Teléfono: 2241530141

Director: Dr. Gergoff Grozeff, Gustavo Esteban.

Co-Directora: Ing. Agr. Romero, María de los Ángeles.

Fecha de defensa: 6 de noviembre de 2018

MODALIDAD

Investigación sobre una temática específica de la carrera en el campo de las Ciencias Agrarias y Forestales.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi familia, director y co-directora que me guiaron y apoyaron en el transcurso del Trabajo Final de Carrera. A los colaboradores Joaquín Jensen, Camila Valdez, Santiago Maiale, Martin Pardi, Mariana Garbi y *autoridades de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad Nacional de La Plata*. Ellos hicieron posible poder lograr obtener el título de la profesión que me acompañará en la vida.

ÍNDICE

RESUMEN	- 4 -
1. INTRODUCCIÓN	- 5 -
2. OBJETIVO GENERAL.....	- 7 -
2.1 Objetivos específicos.....	- 7 -
3. HIPÓTESIS.....	- 8 -
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	- 8 -
4.1 Material Vegetal y Podas de formación	- 8 -
4.2 Cubicación de árboles y determinación de Área basal	- 9 -
4.3 Determinaciones fenológicas y climatológicas	- 11 -
4.4 Determinaciones fisiológicas.....	- 12 -
4.5 Determinaciones bioquímicas.....	- 13 -
4.6 Índice de Área foliar y población de hojas	- 13 -
4.7 Diseño experimental y análisis estadístico.....	- 14 -
5. RESULTADOS	- 14 -
5.1 Fenología y Climatología	- 14 -
5.2 Estructura del árbol y podas de formación.....	- 18 -
5.3 Efecto de la estructura sobre la captación de luz y la fotosíntesis	- 18 -
5.4 Efecto de la estructura sobre la senescencia de las hojas	- 24 -
6. DISCUSIÓN.....	- 30 -
7. CONCLUSIONES	- 32 -
8. BIBLIOGRAFÍA	- 33 -

RESUMEN

Los ensayos se realizaron en una plantación de pecán de 8 años de edad, ubicada en la EEA Julio A. Hirschhorn (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – UNLP) en la localidad de Los Hornos, La Plata.

Los tratamientos se basaron en la poda de formación, una herramienta importante para favorecer la iluminación de los árboles. El objetivo es determinar en qué medida los sistemas de conducción de pecán influyen en la senescencia y tasa fotosintética foliar.

Las plantas fueron conducidas en (1) Proyección circular con Eje líder (PC) (Testigo), (2) Proyección elipsoidal en con Eje líder en un solo plano (PE) y (3) Vaso natural o libre (VN)

Se midieron las siguientes variables durante la temporada 2016/2017: el peso y volumen de la madera de poda, el rendimiento potencial del Fotosistema II (F_v/F_m), la tasa fotosintética por ETR (tasa relativa de transporte de electrones), el contenido de clorofila y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) a diferentes alturas del canopeo en diciembre 2016 y mayo 2017. Se empleó test de Tukey para analizar los tratamientos.

El peso de la poda fue significativamente mayor en el Vaso natural VN respecto del Eje líder en un solo plano PE, no realizándose poda en el Eje líder circular (Testigo) PC, mientras que para el volumen total de la madera extraída no se encontraron diferencias significativas entre Vaso natural VN y Eje líder en un solo plano PE.

Con respecto al contenido de clorofila y el F_v/F_m en el mes de diciembre 2016 no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, y ambos parámetros disminuyeron en el mes mayo 2017. Las plantas con Eje líder en un solo plano PE presentaron una mayor tasa fotosintética en el interior del canopeo durante el mes de diciembre. En mayo se produce una fuerte caída de la tasa fotosintética en Eje líder circular (Testigo) PC y Vaso natural VN en el conopeo externo; sin embargo, en la Eje líder en un solo plano PE, tanto la tasa fotosintética de diciembre como la de mayo permanece sin cambios e incluso con un valor mayor. Estos resultados preliminares indicarían que el tipo de poda de formación no afecta el proceso de senescencia, sin embargo, influye en las tasas fotosintéticas del interior del canopeo. Este factor podría ser relevante durante la etapa productiva de la planta, principalmente durante el llenado de frutos.

1. INTRODUCCIÓN

El pecán [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] es un árbol perteneciente a la familia *Jungladaceae*. Es de porte vigoroso llegando a medir 21 o más metros de altura. Su tallo puede alcanzar 1,8 metros de diámetro. Posee una copa ramosa, extendida de forma esférica comprimida. Las hojas son grandes, imparipinadas, de color verde opaco, glabras, de olor agudo y desagradable. Una hoja está compuesta por 9 a 15 folíolos (Andersen, 2015). En plantaciones intensivas se requiere una densidad de 100 a 140 árboles por hectárea con marcos que pueden variar de 10 x 10 m a 9 x 8 m; estas distribuciones permiten un buen desarrollo y producción de las plantas (Eacher y Stein 1997). La distribución más común es de 9 x 9 m (Herrera, 2005). El aumento del número de plantas implica un mayor sombreado de las hojas y por lo tanto una consiguiente disminución de la productividad (Andersen y Crocker, 2004). El área foliar total, sumado al tamaño y disposición de las hojas junto con la densidad de las mismas son factores determinantes en el manejo de los montes productores de fruta, porque condiciona la capacidad de captar la radiación fotosintéticamente activa (Jackson, 1980; Robinson y Lakso, 1991). De hecho, uno de los objetivos principales en la fruticultura moderna es aumentar la superficie fotosintetizante y maximizar la eficiencia en la producción de fruta (Robinson y Lakso, 1991).

Cabe aclarar que el pecán no presenta una producción constante a lo largo del tiempo, tienen años de sobreproducción y años de poco rendimiento, efecto denominado comúnmente vecería o alternancia (Worley y Mullinix, 1997). Para tratar de disminuir estas diferencias interanuales en la producción, los factores a tener en cuenta en el manejo son el riego, la poda (Andales *et al.*, 2006) y la fertilización nitrogenada (Heerema *et al.*, 2014).

A partir de este punto comienza el manejo del cultivo con actividades que incluyen riego (Berman y DeJong, 1996), control de plagas y enfermedades (Brunner, 1994), poda (Costes *et al.*, 2006), cosecha y postcosecha (Kader y Thompson, 2002). Ya desde 1930 se considera a la poda como una herramienta importante para la correcta conducción y temprana entrada en producción de las plantas (Crane y Hardy, 1932), de la misma manera que la fertilización sobre el rendimiento y calidad de la fruta de montes en producción (Herrera y Esperanza, 2000). No obstante, los resultados de la poda no han sido totalmente comprobados respecto de la interceptación de luz. En variedades comerciales como 'Cape Fear', 'Desirable' y 'Kiowa', se han encontrado resultados

contrapuestos en lo que respecta a este tema. Lombardini (2006) determinó que la poda tiene un efecto en el corto plazo respecto de la capacidad de intercepción de la luz, no habiendo un aumento en la productividad ni en la calidad de la fruta. Por otro lado, en un trabajo posterior, Lombardini *et al.* (2009) demostraron en dos variedades de pecán que las hojas expuestas a diferentes intensidades de luz presentan cambios morfológicos y fisiológicos, como el punto de compensación lumínico o la respiración mitocondrial ('Pawnee' y 'Stuart').

De la misma manera, Worley (1991) explicó que la poda selectiva en árboles de pecán tiene una influencia positiva sobre el crecimiento de ciertas ramas en las plantas, aumenta la circunferencia del tronco, las producciones anuales, el tamaño de la fruta y el vigor de los árboles. Sin embargo, el rendimiento no es afectado en absoluto si se compara a una planta podada de otra que no ha recibido este tratamiento (Worley, 1991). En un trabajo posterior, este mismo autor arriba a la conclusión que una poda selectiva en árboles adultos de 25 años llegan a tener una penalidad en el rendimiento, pero el tamaño de la fruta es mayor (Worley y Mullinix, 1997). Dada las condiciones actuales de mercado, esta disminución en el rendimiento podría ser compensada por una mayor densidad de plantas por hectárea y con el consiguiente aumento en el tamaño, si las plantas fueran podadas, sobre todo en edades más tempranas (Worley, 1993; Worley y Mullinix, 1997).

Por otro lado, la cantidad de yemas potencialmente productoras de frutas (yemas mixtas) tienen mucha importancia y son un indicador de la productividad. Esto es más evidente y ha sido ampliamente estudiado en variedades de *Junglans regia*, las cuales presentan diferentes patrones de distribución de sus yemas mixtas, algunas con tendencia muy marcada tanto a la acrotonía como a la basitonía. Solar *et al.* (2011) evaluaron este efecto en diferentes variedades de nogal y la aplicación de ácido indol-3-acético aumentó la generación de ramificaciones laterales.

La densidad de plantación combinada con la poda mecánica lateral, han aumentado la productividad de las variedades comerciales 'Wichita' o 'Western Schley' y en Australia, podría llegar a ser una herramienta cultural de importancia (Wood y Stahmann, 2004). La dirección de la poda mantenida por estos autores es Norte-Sur para aumentar el volumen de copa y disminuir el sombreo entre ramas de la misma planta o de plantas vecinas. Esta orientación ha sido ampliamente utilizada en diversas especies frutales como peral [*Pyrus pyrifolia*] (Khemiraet *al.*, 1993), manzano [*Malus spp.*] (Palmer, 1989) y en viñedos [*Vitis spp.*] (Smart, 1973). En el pecán, el efecto de la orientación tiene un impacto muy importante sobre la producción global de frutos, como lo han demostrado

Wood y Stahmann (2004), con disminución del rendimiento que puede llegar al 42 % en la variedad 'Western Schley' y 'del 37 % en 'Wichita'.

Por otro lado, los efectos de la baja irradiancia en ciertos sitios donde se cultiva pecán, ha demostrado que podas con una frecuencia de 3 a 4 años entre una y otra no han tenido los efectos esperados, ya que en estas condiciones las plantas no responden adecuadamente a esta labor cultural (Wood, 2009).

En el presente trabajo, se aplicó un manejo racional de poda a los árboles de pecan, tomando tres tipos de tratamientos. El primero de ellos corresponde a el testigo el cual no sufrió intervenciones (proyección circular de la copa y un Eje Líder). El segundo tratamiento (proyección elipsoidal de la copa en un plano) Pse efectuaron dos tipos de operaciones de poda, raleo que consiste en suprimir producciones fruteras (ramos) desde su base, desde la inserción en la rama del año anterior, sin dejar ninguna yema. La principal función es permitir la entrada de luz en el interior de la planta. En el tratamiento proyección circular de la copa tipo Vaso libre o natural, se efectuó la poda para limitar el eje principal a 60-70 cm. desde el suelo, hecho que tiene como consecuencia el estancamiento del crecimiento vertical y la aparición de brotes laterales, se eliminaron las ramas indeseables y se produjo un corte neto en una o dos ramas que crecen en vertical, provocando una apertura en el centro del árbol que permitirá entrar la luz y activar las yemas adventicias (Muncharaz-Pou, 2001; Gil-Albert, 1997). Sin embargo, todavía resta estudiar los procesos fisiológicos que son afectados por la poda y la distribución de las ramas para aumentar la eficiencia de captación de la radiación fotosintéticamente activa.

2. OBJETIVO GENERAL

Determinar en qué medida los sistemas de conducción y la estructura del árbol, influyen la capacidad de interceptar radiación fotosintéticamente activa.

2.1 Objetivos específicos

- Determinar en los estratos del canopeo la variación de la tasa fotosintética según la poda de formación utilizada.
- Evaluar el efecto de la poda de conducción en distintos estratos del canopeo en el contenido y tipo de clorofila. Relacionar el tipo de poda con el área foliar total por árbol, el índice de área foliar y el efecto del sombreado en la distribución de la luz dentro de la

copa de los árboles.

3. HIPÓTESIS

La poda de formación de Eje líder en un solo plano con proyección elipsoidal, disminuye el sombreado y la cantidad de madera estructural presente en las plantas, mejora la eficiencia con que es captada la luz solar, permitiendo a futuro crear huertos de mayor densidad y concomitantemente aumentar el rendimiento por unidad de superficie, comparado con la poda en Vaso natural o con Eje líder de proyección circular (Testigo).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Material Vegetal y Podas de formación

En el sector de vivero de la EEA Julio A. Hirschhorn (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – UNLP) en el período 2007-2008 se comenzó con la obtención de los estiones (variedad + portainjerto), para lo cual las yemas de pecán (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch) se obtuvieron de una variedad a inscribir (denominada tentativamente como var. *Don Dini*) y fueron injertadas sobre un pie franco de la misma especie.

En el año 2009, se hizo la plantación en el monte con una distribución en marco real de 10 m x 10 m., a una densidad de 100 árboles/ha. Las filas se orientaron de Norte-Sur. Para este estudio se tomaron 12 plantas con tres tratamientos por conducción, con 4 repeticiones:

1.) Eje líder (Testigo), con proyección circular de la copa de acuerdo a recomendaciones de Herrera (2000a). De ahora en más se lo denominará PC.

2.) Eje líder en un plano de dos dimensiones con orientación norte-sur, proyección elipsoidal de la copa. De ahora en más se lo denominará PE.

3.) Vaso libre o natural, con proyección circular de la copa, nombrado de ahora en más como VN (Muncharaz-Pou, 2001).



Figura 1. Formas de conducción en los tres tratamientos.

La poda de formación se realizó de acuerdo a recomendaciones de Herrera E. (2000a) y Sparks, D. (1980). Los cuales describen paso a paso los recortes y raleos sucesivos durante la fase juvenil. La conducción de los árboles se inició de la misma manera en el año 2010 y en agosto de 2016 se aplicaron los tres tratamientos de poda descritos en la Figura 1.

4.2 Cubicación de árboles y determinación de Área basal

Se realizó durante el reposo vegetativo de las plantas a partir de mediciones individuales del tronco principal, se determinó el volumen de la madera sumando las ramas de la estructura de cada árbol por medio de la fórmula de Smalian de acuerdo a indicaciones de Yang y Kung (1983). Se cubicaron todas las ramas mayores e iguales a 1,5 cm de diámetro y a las menores a este, se hizo por área basal y longitud. De esta forma se dividió el material en dos grupos: ramas gruesas y ramas finas.

La estimación del peso total de la estructura de ramas principales y producciones se determinó mediante la densidad específica de las ramas. Para lo cual se procedió a la toma de muestras procedentes de la poda, con las que se obtuvo el volumen (por medio de la utilización de la fórmula de Smalian) y el peso seco en estufa a 60°C hasta peso

constante. El diámetro se determinó con calibre digital para estimar el área basal de los árboles a los 10 cm desde la unión del injerto y así calcular el área resultante de acuerdo a indicaciones de Gyeviki *et al.* (2012). Se procedieron a utilizar las siguientes formulas para calcular el volumen de las ramas, siendo estimada la segunda por regresión simple comparando el área basal y el volumen medido directamente en una probeta graduada (Fórmulas 1 y 2):

$$\text{Área Basal (cm}^2\text{)} = \frac{\pi D^2}{4} \quad (1)$$

$$\text{Volumen Basal (cm}^3\text{)} = 52,079 \times \text{Área Basal} - 25,573 \quad (2)$$

Fórmulas 1 y 2. Determinación del área basal de las ramas y el volumen de las mismas en función del área basal determinada.

La proyección de la copa se determinó en el mes de diciembre de máxima área foliar, de acuerdo a especificaciones de Hochmaier (2010).

Se procedió a realizar en el terreno con hilos y estacas de seis a nueve triángulos, dependiendo del tamaño de copa de la planta asegurándose cubrir toda la superficie de la misma, partiendo del pecan (centro) para su confección (Figura 2).

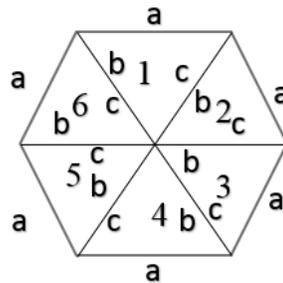


Figura 2. Método grafico de determinación de la Proyección de la copa.

Luego se midieron los tres lados de cada uno de esos triángulos y se obtuvo el semiperímetro con la Fórmula 3.

$$S = \frac{(a + b + c)}{2}$$

Fórmula 3. Determinación del semiperímetro, donde *a*, *b* y *c*, representan las medidas de los lados del triángulo.

A continuación para obtener el área, se procedió a utilizar la fórmula de Herón (Fórmula 4).

$$\text{Área} = \sqrt{S(S - a)(S - b)(S - c)}$$

Fórmula 4. Fórmula de Herón, donde S representa el semiperímetro y a, b y c las medidas de los lados del triángulo.

4.3 Determinaciones fenológicas y climatológicas

- Las fases fenológicas se observaron de acuerdo a las indicaciones de Frusso (2013) a lo largo del período vegetativo, desde brotación hasta la entrada en fructificación. Las etapas se definieron de acuerdo con las siguientes proporciones: inicio de fase se consideró cuando el 25% del órgano en cuestión se encontraba en ese estado, plenitud entre el 50-75% y fin de fase cuando el 80% del órgano en cuestión se encontraba en ese estado. La aplicación de esta práctica se hizo con observaciones quincenales en cada uno de los árboles que integran el estudio. Se comenzó con una observación exploratoria para diferenciar visualmente los distintos órganos y desde una distancia de 2 m, se apreció el conjunto de la copa para asignar un valor porcentual a cada una de las etapas.

- Los datos climáticos fueron registrados diariamente para los años en análisis 2016-2017 en una estación meteorológica automática (Davis Instruments Corporation model GroWeather Industrial, California, USA) ubicada en: Lat. 34° 59" S –Long. 57° 59" W y 45 m sobre el nivel del mar, según datos de la sección agrometeorología dependiente de la Estación Experimental "Ing. Agr. Julio Hirschhorn" y la cátedra de Climatología y Fenología Agrícola de la FCAyF, U.N.L.P. Se registraron las temperaturas medias, máximas y mínimas.

- ✓ **Cálculo de acumulación calórica: (GD) grados días:** se analizó el periodo vegetativo del pecán. El cálculo se obtuvo de la diferencia entre la temperatura media diaria (Tm) y la temperatura base (Tb) de 10° C. Cada unidad de diferencia corresponde a un Grado-Día.

- ✓ **Cálculo de horas de frío:** Se calcularon las horas de frío desde el estado fenológico de caída de hojas (20/05/2016) hasta el estadio de yema hinchada (11/09/2016) por medio de la fórmula de Crossa-Reynaud (1955). Este método relaciona el número de horas por debajo de 7°C y las temperaturas extremas diarias

(temperatura máxima diaria y mínima diaria).

4.4 Determinaciones fisiológicas

Las muestras fueron tomadas de zonas que se encuentran totalmente expuestas a la radiación solar, dividiendo al canopeo en dos estratos uno superior (a una altura de 1,30m) y otro inferior (0,70m de altura). Las plantas tenían un promedio de 5 metros de altura total. El número de folíolos recolectados fue de 60 por planta, tomando el folíolo lateral opuesto contando desde el extremo distal, se realizó a lo largo de un día, siguiendo las recomendaciones de Herrera (2000b).

El registro de tasa de transporte de electrones en el aparato fotosintético se realizó sobre 60 hojas de cada planta con un fluorímetro portátil, fluorescence modulated system (FM52, Hansatech instrument, Ltd. Norfolk, UK) utilizándose las siguientes fórmulas:

$$\Phi PS_{II} = \frac{F_{m'} - F_t}{F_{m'}} \quad (5)$$

$$ETR = \Phi PS_{II} \times PPFDa \times 0,5 \quad (6)$$

Fórmulas 5 y 6. Formulas para el cálculo del rendimiento cuántico del Fotosistema II (5) y tasa de transporte de electrones (6).

El ΦPS_{II} fue estimado a partir de la segunda fórmula presentada anteriormente, donde $F_{m'}$ es la intensidad máxima de fluorescencia producida por un flash de saturación en 1 segundo de tiempo ($PPFD \ 7000 \ \mu mol \ m^{-2} \ s^{-1}$) y F_t es la intensidad de fluorescencia en estado estable bajo $PPFD$ de $2000 \ \mu mol^{-2} \ s^{-1}$ (5). Los parámetros evaluados en la segunda fórmula corresponden, ΦPS_{II} es el rendimiento real del Fotosistema II (PSII), $PPFDa$ es la luz absorbida ($\mu mol \ fotones \ m^{-2} \ s^{-1}$) y 0,5 en un factor compartido entre los Fotosistemas I y II (6) (Ploschuk et al., 2014).

En la determinación de Radiación fotosintéticamente activa (PAR), se utilizó un ceptómetro que puede integrar 100 cm lineales en cada medición (BAR-RAD 2011, Cavadevices, Argentina). Se realizó una medición fuera del canopeo, la misma tomada como el 100 % de irradiancia. Se prosiguió a la toma de datos de siete puntos lineales que abarcaban la proyección de la copa de cada árbol, los mismos fueron medidos en tres estratos del dosel de los árboles, a nivel del suelo (Estrato 0), a 1 metro de altura (Estrato 1) y a dos metros de altura (Estrato 2). Estos definidos para cada uno de los tipos de conducción.

La relación F_v/F_m , se determinó utilizando un fluorímetro portátil Modelo Hansatech Instruments Ltd Pocket PEA Data. La medición se realizó sobre 6 hojas de cada planta, estando divididas las mismas en 3 hojas internas y 3 externas. Luego se cubre la hoja (área de muestra) con un clip. El mismo tiene una pequeña placa que impide el paso de luz, y se produce una adaptación a la oscuridad. Se dejaron las hojas en oscuridad por el término de 15 a 20 minutos y al finalizar este tiempo se procedió a la medición con el fluorímetro sobre cada uno de los clips, procesando y registrando los datos.

4.5 Determinaciones bioquímicas

Contenido de clorofila a, b y total

El cálculo de la concentración de los distintos tipos de clorofila se efectuó de acuerdo a Inskeep y Bloom (1985). Como medida complementaria, se determinó el contenido de clorofila total en 6 hojas por planta, las mismas siendo divididas en 3 hojas interiores o dentro del canopy y tres exteriores o fuera del canopy, efectuadas con el medidor de SPAD modelo SPAD-502 (Minolta, Japón) de acuerdo a indicaciones de Gergoffet *al.* (2013).

4.6 Índice de Área foliar y población de hojas

La determinación del área foliar individual y del índice de área foliar se efectuó en el momento de plena expansión de las hojas, en diciembre (2016) a través de mediciones indirectas. Se recolectaron 20 hojas (10 internas o dentro del canopy y 10 externas o fuera del canopy) de cada uno de los estratos definidos y se determinó peso fresco, peso seco, área foliar y área foliar específica. Luego se procedió a contar directamente sobre los árboles el número de hojas totales presentes en cada uno de los estratos y se extrapolaron los datos al promedio obtenido anteriormente.

En los tres sistemas la población de hojas se dividió entre las que son generadas en tallos largos (mayores a 30 cm de longitud) de las que provienen de tallos cortos (menores a 30 cm de longitud). Estas especificaciones se encuentran detalladas en el trabajo de Gyeviki *et al.* (2012). Por otro lado, se determinó el número promedio de hojas en cada uno de estos subcompartimentos presentes en cada planta.

El área foliar se realizó por medio de un integrador de área foliar Área Meter Model 3100 (LI-COR, US).

Los resultados de área foliar se tomaron individualmente de las hojas pertenecientes al estrato interno y al estrato externo extraídas del árbol, posteriormente se procedió a

realizar la suma para obtener el área foliar total de cada estrato. Para obtener el área foliar total del árbol, se efectuó una adición del área foliar total del estrato interno y externo de cada árbol. Los mismos se relacionaron con la sección transversal basal de los árboles como describe Gyevikiet *al.* (2012).

El Índice de Área Foliar (IAF), se efectuó a partir de la relación entre el Área foliar total (AFT) de cada árbol y el Área total de proyección (ATP), la misma determinada en el ítem 4.2 (Fórmula 7).

$$IAF = \frac{AFT}{ATP} \quad (7)$$

Fórmula 7. Determinación del índice de área foliar por planta individual.

4.7 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental que se aplicó en la investigación, es el Diseño Completamente al Azar (DCA) con igual número de observaciones. Los resultados son producto de cuatro réplicas durante el período de 2016-2017. Se analizan las medias a partir de ANOVA. Para el caso de las determinaciones de ETR, área foliar específica, contenido de clorofilas, índice de verdor, relación clorofila B/clorofila A y *Fv/Fm*, realizados en los meses de diciembre 2016 y mayo 2017 se utilizó un análisis ANOVA de dos factores. Las medias fueron comparadas por el test de Tukey con un nivel de significancia de 0,05. El software utilizado para el análisis fue Statistica® 6.0 de StatSoft.

5. RESULTADOS

5.1 Fenología y Climatología

- La Fenología registrada a lo largo del período vegetativo durante el año 2016, presente en la Tabla 1, muestra que los árboles de conducción Eje Líder circular (Testigo) PC presentan un retraso poco significativo en días de finalización de la etapa de dormición. Por el contrario, los árboles de tipo Eje Líder en un solo plano PE presenta una finalización más temprana en el estado de dormición. El Vaso natural VN dio valores intermedios entre los dos sistemas anteriormente citados.

Estado Fenológico	Eje líder en un solo plano PE	Eje líder circular (Testigo) PC	Vaso natural VN
Yema dormida	21-jul	27-ago	12-ago
Yema hinchada	12-ago	11-sep	27-ago
Yema rajada partida exterior	27-ago	26-sep	11-sep
Yema rajada partida interior	11-sep	10-oct	26-sep
Hojas expandiendo	26-sep	24-oct	10-oct
40% de tamaño final	10-oct	07-nov	24-oct
60% de tamaño final	24-oct	21-nov	07-nov
80% de tamaño final	07-nov	28-nov	21-nov
100% de tamaño final	14-nov	05-dic	28-nov
Elongación de amento	21-nov	13-dic	05-dic
Liberación de polen	05-dic	19-dic	13-dic
Receptividad de estigma	13-dic	27-dic	19-dic
Post-polinización	19-dic	01-ene	27-dic

Tabla 1. Estadios fenológicos observados desde Yema dormida hasta Post-polinización.

En base a los registros de la temperatura de los meses en análisis, julio 2016 a mayo 2017, se pueden observar las variaciones en la Figura 3, marcándose los picos de temperatura máxima en los meses de febrero y diciembre de 2016 y en marzo de 2017. En relación a temperaturas mínimas el mes de junio es el que presenta los menores valores.

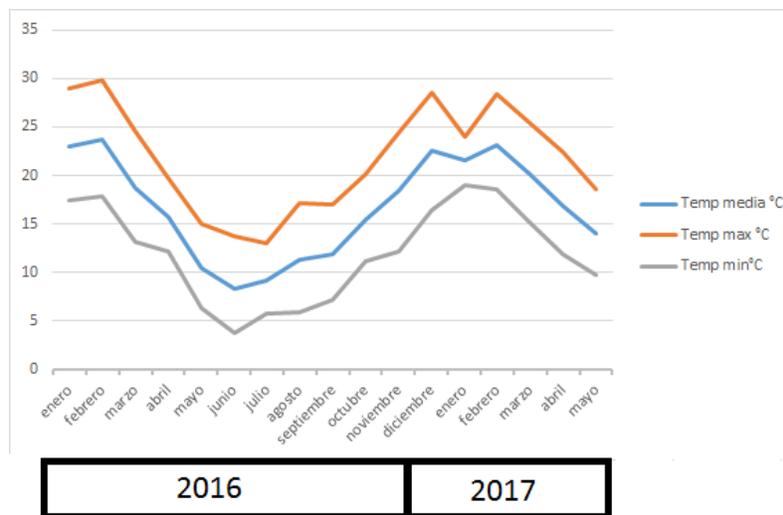


Figura 3. Registro climático, temperatura media, máxima y mínima de los meses analizados para la Estación Experimental Julio A Hirschhorn - UNLP.

✓ **Grados días:** Desde la brotación hasta la maduración de la fruta y posterior cosecha, los árboles frutales transitan por diferentes estados fenológicos. Estas transiciones, están directamente relacionadas con las temperaturas que se presentan desde que la planta ha finalizado su proceso de acumulación de frío invernal hasta salir del reposo. Conocer las necesidades de acumulación térmica del cultivo y la acumulación propiamente dicha de cada estadio fenológico nos permite predecir la fecha aproximada de cosecha. Requiere una temperatura mínima de crecimiento de 10°C, una óptima entre 21 y 28°C con una máxima de 38°C. Desde la fenofase yema hinchada (12/08/2016) hasta Post- Polinización (01/01/2017) se calcularon para Eje líder en un solo plano PE 2049,8 GD, Eje líder circular PC (Testigo) 2186,3 GD y Vaso natural VN 2138GD (Figura 4).

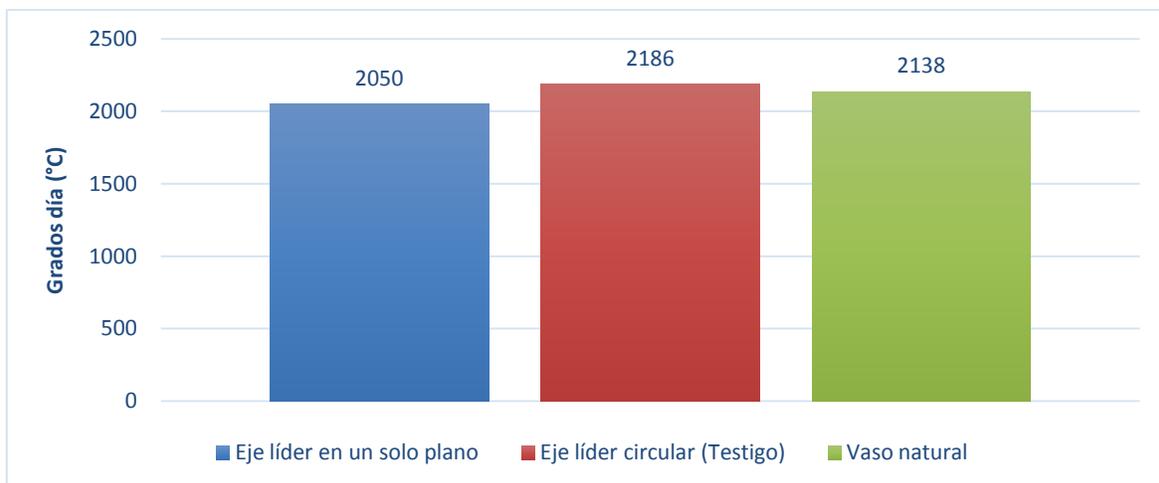


Figura 4. Grados día en los diferentes tratamientos.

✓ **Horas de frío:** los árboles frutales caducos, necesitan pasar un período con temperaturas bajas para salir del reposo invernal y florecer normalmente. El pecán a 7°C detiene el crecimiento. El valor arrojado en los meses analizados (mayo a septiembre) es de 605 horas de frío (Tabla 2), produciendo éstas una brotación adecuada en los tres sistemas (Figura 3).

Mes	Horas de frío
Mayo	23
Junio	217
Julio	167
Agosto	110
Septiembre	89
Total	605

Tabla 2. Horas de frío acumuladas entre los meses de caída de hojas y plena brotación.

La radiación solar registrada durante el análisis en los meses otoñales tiende a una disminución de su valor llegando a un valor mínimo en el mes de junio. Durante el mes de julio y agosto se revierte esta situación incrementando sus valores, produciéndose en ese momento el fin de la dormición del pecán. El ascenso de sus valores continúa en los

meses estivales, marcándose el pico máximo en el mes de enero (Figura 5).

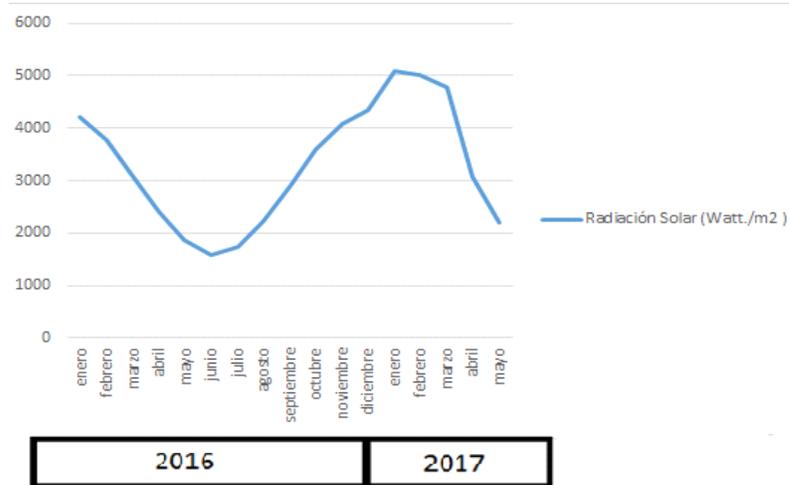


Figura 5. Radiación solar durante los meses en ensayo para la localidad de Los Hornos, La Plata.

5.2 Estructura del árbol y podas de formación

Para alcanzar las formas deseadas sobre las plantas de los tratamientos Eje líder circular (Testigo) PC y Eje líder en un solo plano PE se realizaron rebajes con diferentes grados de intensidad para llegar a la forma como se habían planteado (Figura 1). Luego se evaluó el peso y volumen de las ramas de madera fina, gruesa y madera total.

En los tres tratamientos Eje líder circular (Testigo) PC y Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN se evaluaron tres variables volumen, contabilizando madera fina, madera gruesa y madera total. El análisis se efectuó visualizando cada variable y comparándola entre tratamientos, donde se llegó a los siguientes resultados. El volumen de madera fina no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, mientras que para madera gruesa el tratamiento Eje líder circular (Testigo) PC presenta un aumento en el volumen respecto del Eje líder en un solo plano PE. Ahora cuando se contabilizó el volumen total, por la variabilidad, no se encontraron diferencias significativas (Figura 6).

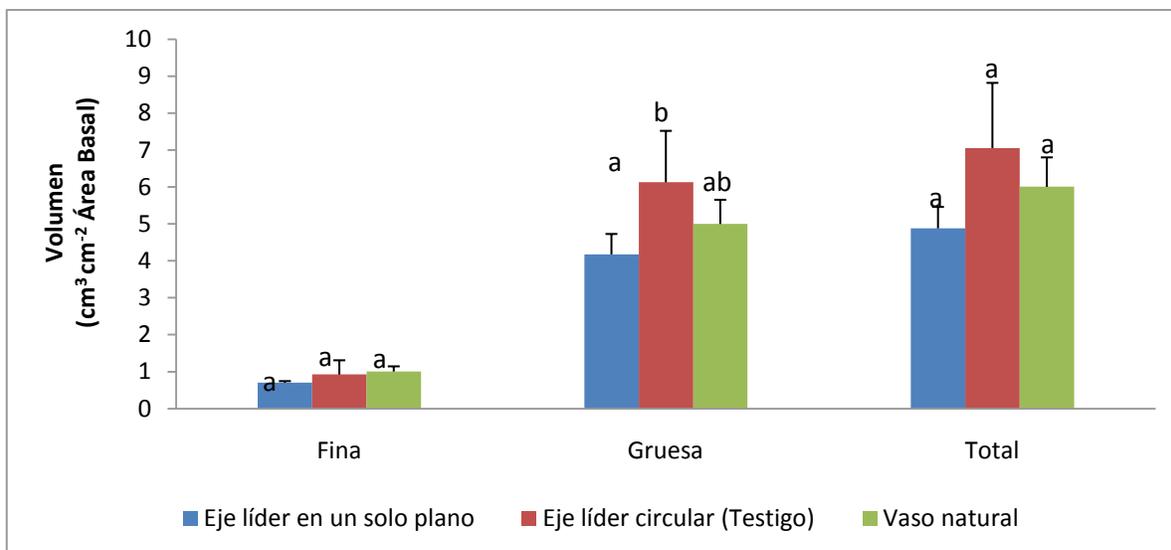


Figura 6. Volumen de madera gruesa, fina y total en los tratamientos de poda de Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

La extracción y peso de la madera en la poda en los dos tipos de conducción (Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN) se realizó durante el estadio de reposo.

A partir de la evaluación de los pesos de la poda, los tratamientos Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural arrojaron diferencias significativas en las variables madera gruesa, fina y total (Figura 7).

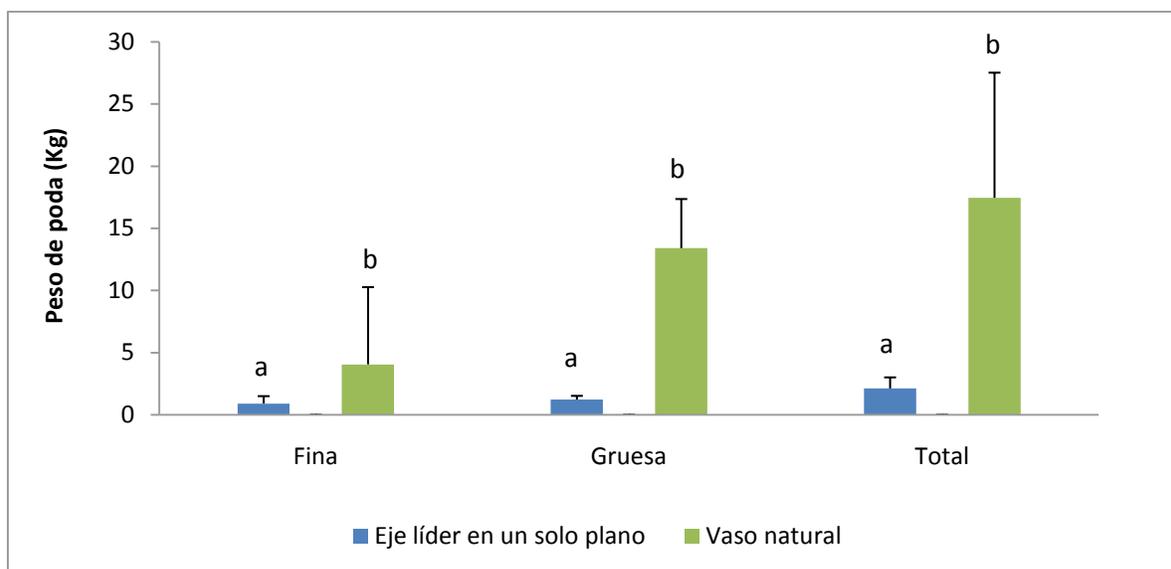


Figura 7. Peso de la poda de madera gruesa, fina y total en los tratamientos de poda de conducción Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

5.3 Efecto de la estructura sobre la captación de luz y la tasa de transporte de electrones

La evaluación del Área foliar se realizó en los estratos interno y externo de cada planta. Se comparó cada variable entre tratamientos y los resultados se ven en la Figura 8, se puede apreciar que no hay diferencias entre el estrato interno ni externo de cada uno de los sistemas de conducción. Por lo tanto, se puede asumir *a priori* que todos los tratamientos poseen Áreas foliares similares.

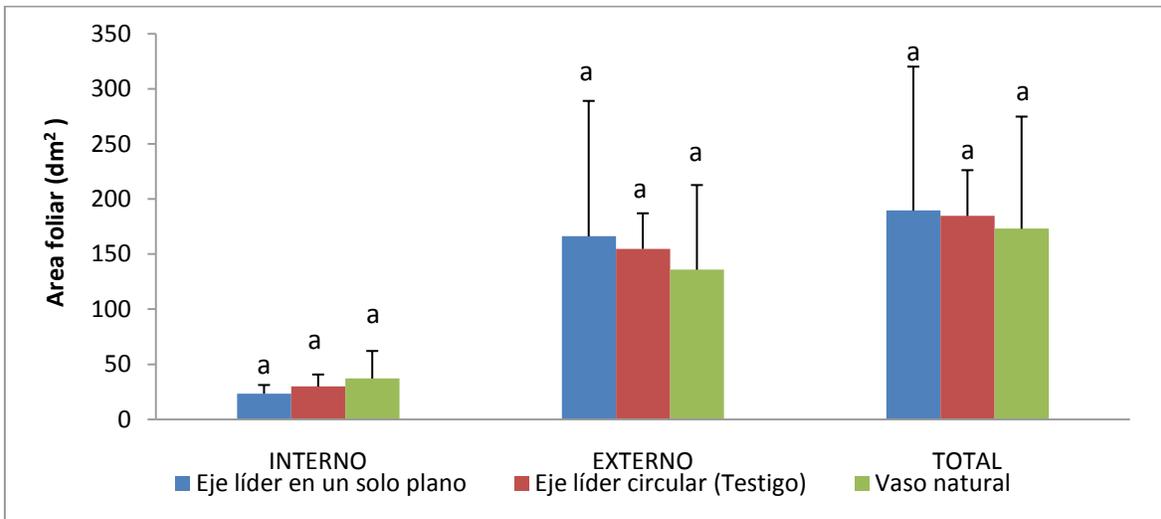


Figura 8. Área foliar individual en la parte interna, externa y total en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

En la Figura 9, se observa que no hay diferencias significativas en la superficie que proyectan sobre el terreno.

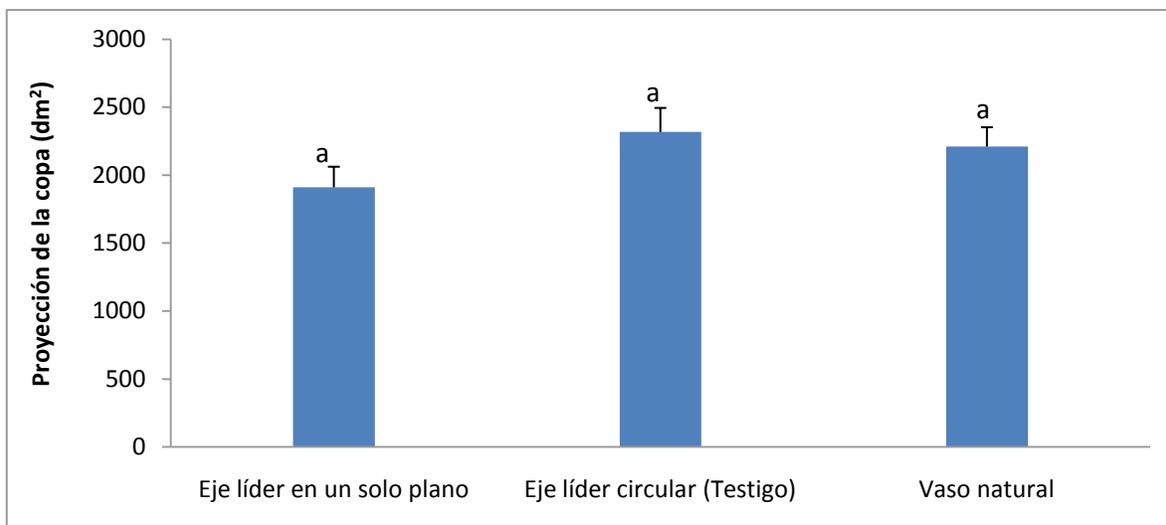


Figura 9. Proyección de la copa en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

En cuanto al índice de área foliar, este indicador no arroja diferencias en los tres sistemas de conducción (Figura 10).

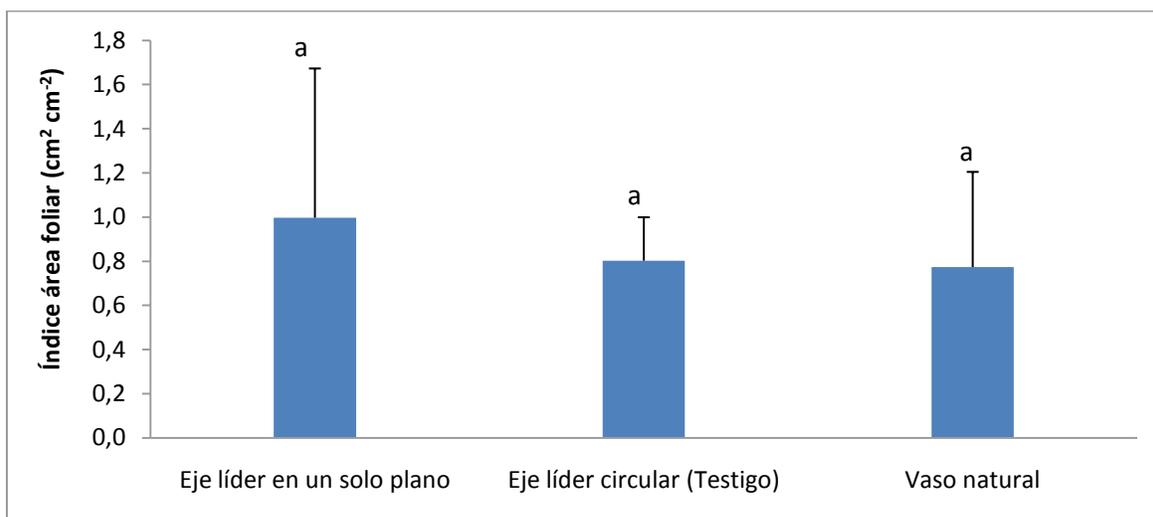


Figura 10. Índice de Área foliar en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

En cuanto al PAR, como se puede observar en la Figura 11, no se observan

diferencias significativas en ninguno de los tres estratos evaluados en los diferentes tipos de conducción.

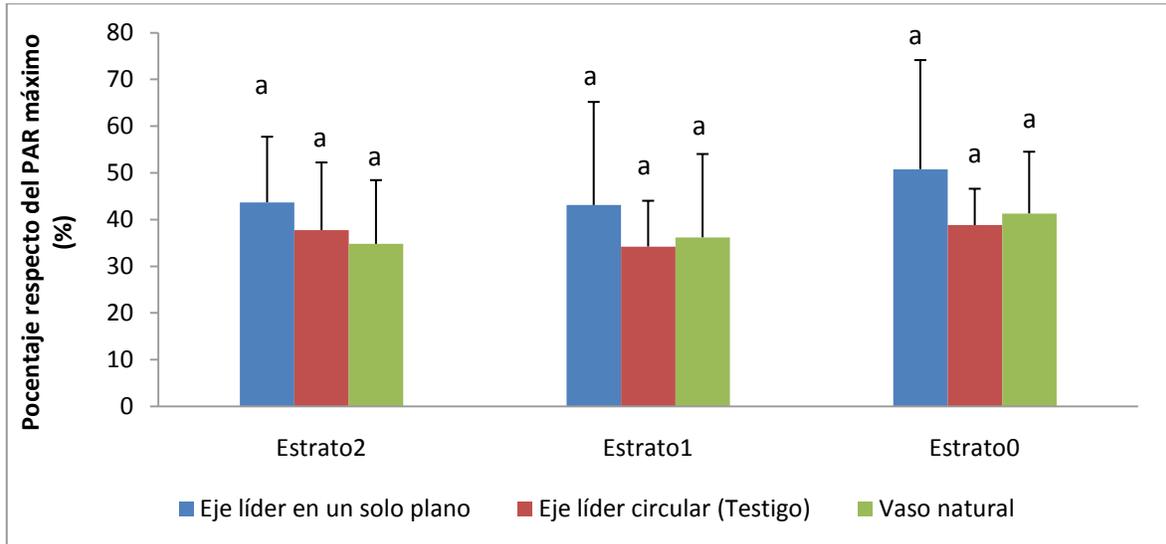
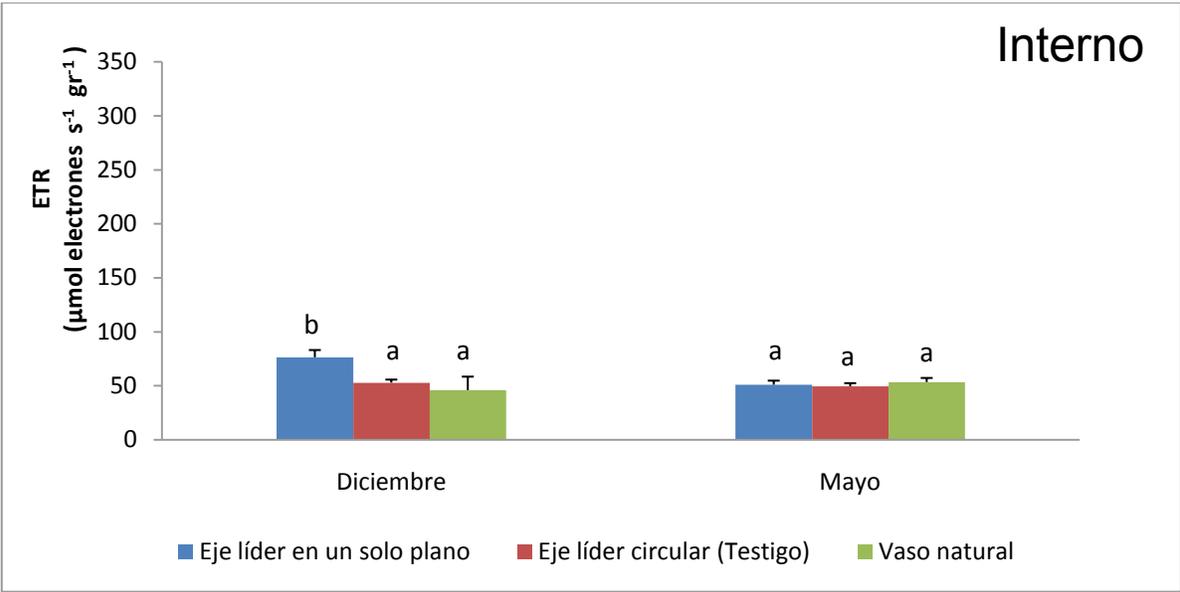


Figura 11. Efecto de la captación de radiación fotosintéticamente activa (PAR) en tres estratos del dosel de los árboles a nivel del suelo (Estrato 0), a 1 metro de altura (Estrato 1) y a dos metros de altura (Estrato 2) en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

La tasa de transporte de electrones (estimador de la actividad fotosintética de las plantas) fue evaluada por separado en dos estratos (interno y externo). En cada uno se efectuaron dos grupos de mediciones puntuales en los meses de diciembre de 2016 y mayo de 2017.

En el estrato interno, en el mes de diciembre el tratamiento Eje líder en un solo plano PE presenta un aumento en la tasa fotosintética de un 34% mayor que el resto de los tratamientos. En los otros dos casos (Eje líder circular (Testigo) PC y Vaso natural VN) en estudio, no se evidencian diferencias significativas (Figura 12).

Analizando el estrato externo se puede ver claramente al comparar cada tratamiento entre los meses evaluados, que el mes de diciembre presenta valores superiores en comparación con el mes de mayo en el cual hay una caída significativa de la tasa fotosintética del 55 % en Eje líder circular (Testigo) PC y de un 41% en Vaso natural VN. En la conducción del Eje líder en un solo plano PE no se evidencian diferencias significativas (Figura 12).



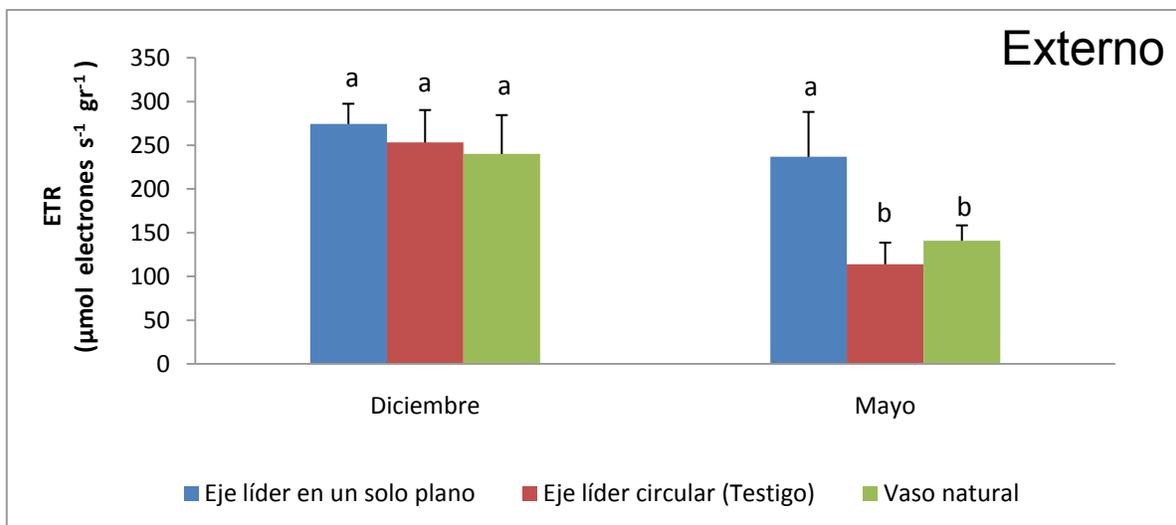
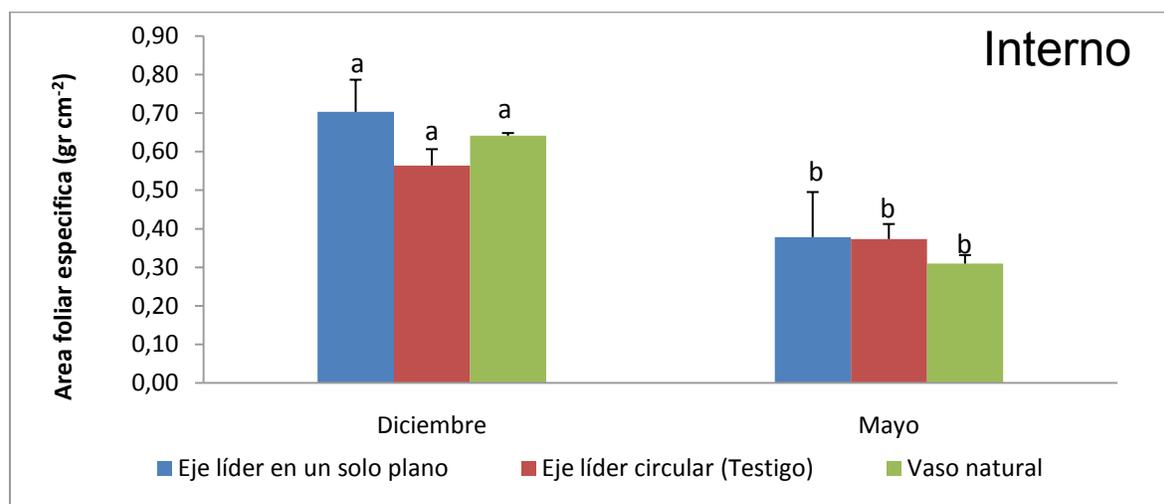


Figura 12. Fotosíntesis neta en dos estratos (interno y externo) del dosel en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN, durante los meses de diciembre 2016 y mayo 2017. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

5.4 Efecto de la estructura sobre la senescencia de las hojas

De la misma manera que con las mediciones de ETR, el Área foliar específica fue evaluada en dos estratos (interno y externo) y en momentos puntuales diciembre de 2016 y mayo de 2017 (Figura 13). En el estrato interno se puede apreciar que en los tres tratamientos en el mes de diciembre el Área foliar es mayor en comparación con el mes de mayo de 2017. Para el estrato externo se visualizan las mismas tendencias que en el estrato interno (Figura 13).



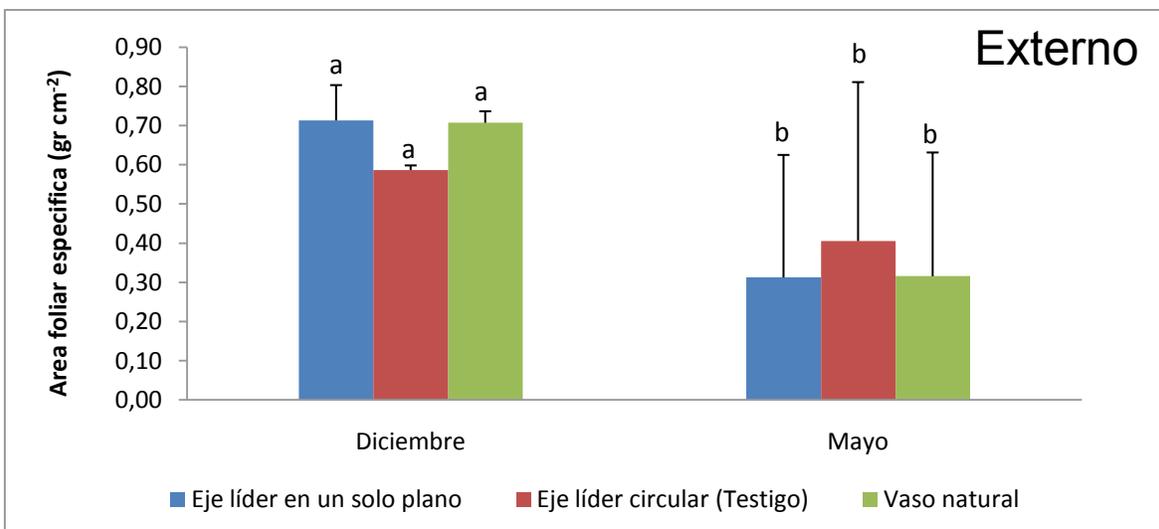


Figura 13. Área foliar en dos estratos (interna y externa) del dosel en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN, durante los meses de diciembre 2016 y mayo 2017. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

En la Figura 14 se observan en los dos estratos evaluados (interno y externo) y en cada sistema de conducción en particular el descenso que se produce en el contenido de clorofila desde un mes estival (diciembre) a uno otoñal (mayo).

En el estrato interno, al comparar lo anteriormente dicho, llegamos al resultado que Eje líder en un solo plano PE presenta una disminución del mes de diciembre al de mayo del 50%, Eje líder circular (Testigo) PC con un valor que ronda los 57% y Vaso natural VN del 44%.

En el estrato de evaluación externo, el descenso de clorofila del mes estival al otoñal visualizado en Eje líder en un solo plano es de un 44%, en el Eje líder circular (Testigo) de un 68% y Vaso natural de un 42%.

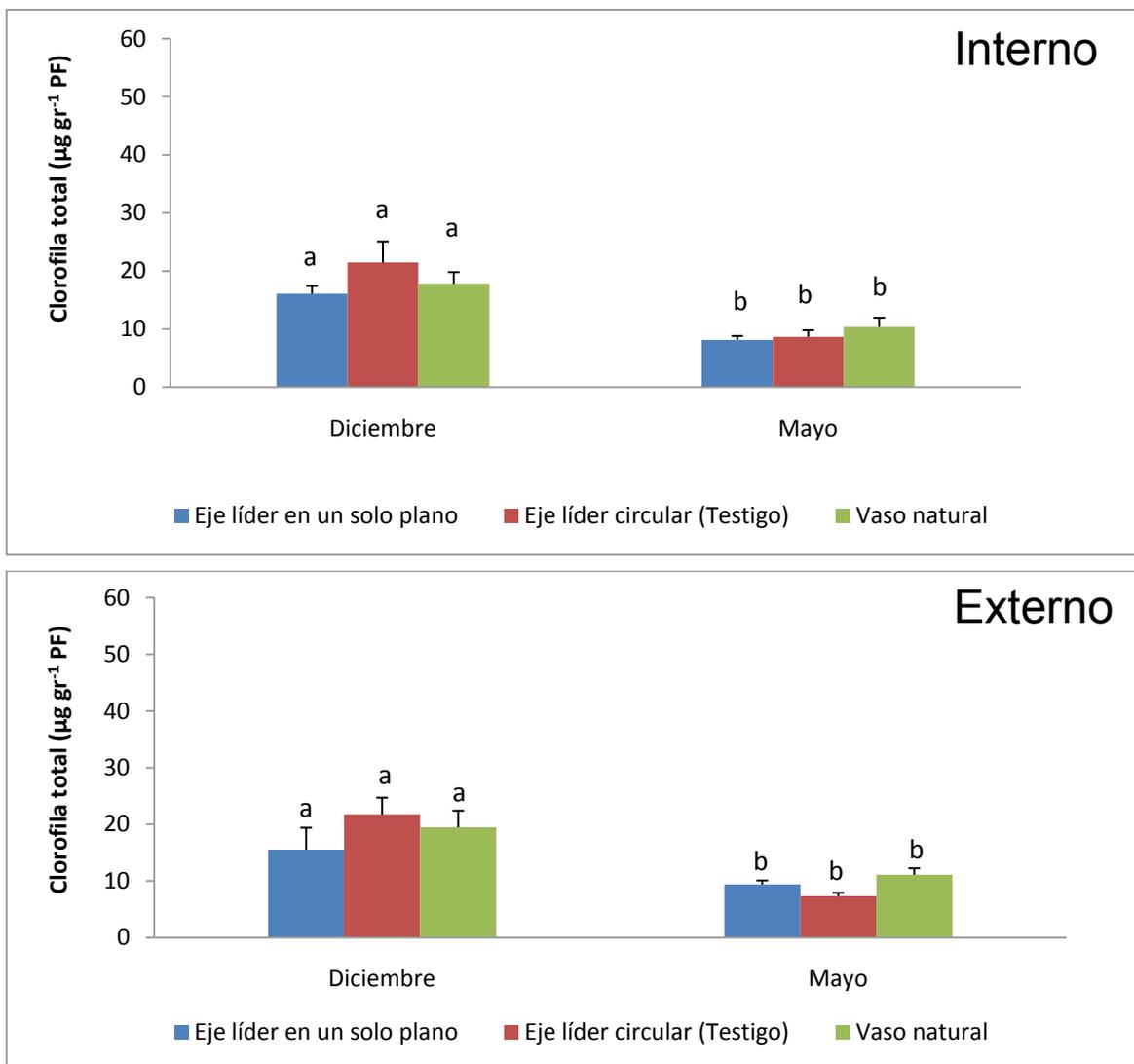


Figura 14. Clorofila total en dos estratos (interna y externa) del dosel en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN, durante los meses de diciembre 2016 y mayo 2017. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

En las mediciones de índice de verdor por SPAD no se evidenciaron (Figura 15) las diferencias encontradas en el contenido de clorofila total por el método de Inskeed y Bloom (1985) (Figura 14), por lo que para este caso la técnica de medición de clorofila no se considera la técnica adecuada para este caso de estudio.

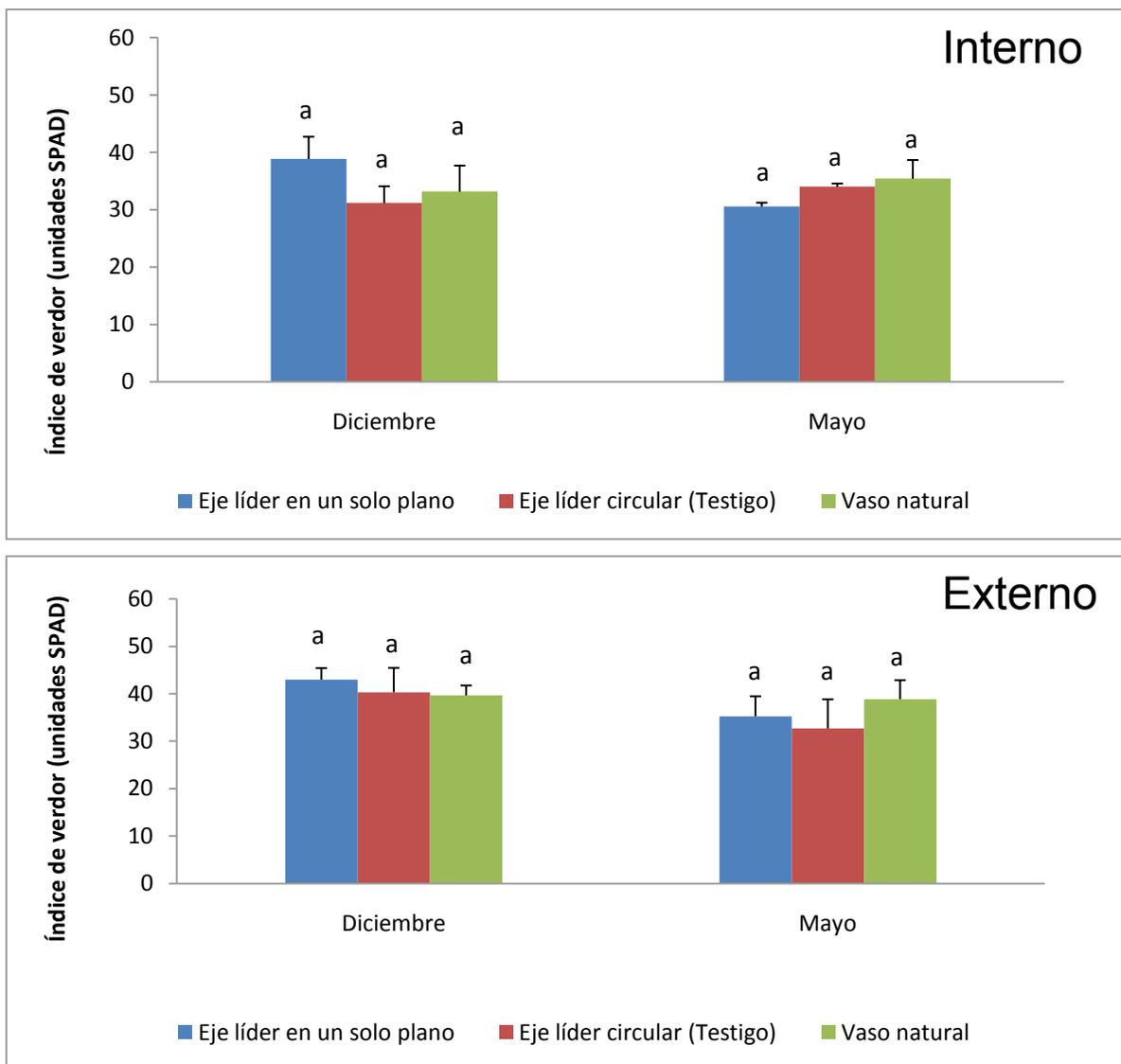


Figura 15. Índice de verdor en dos estratos (interna y externa) del dosel en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN, durante los meses de diciembre 2016 y mayo 2017. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

En cuanto a la relación Clorofila B/Clorofila A, tanto en el estrato interno como externo, no evidenciaron diferencias significativas en las evaluaciones realizadas en el mes de diciembre y mayo entre los diferentes tratamientos (Figura 16).

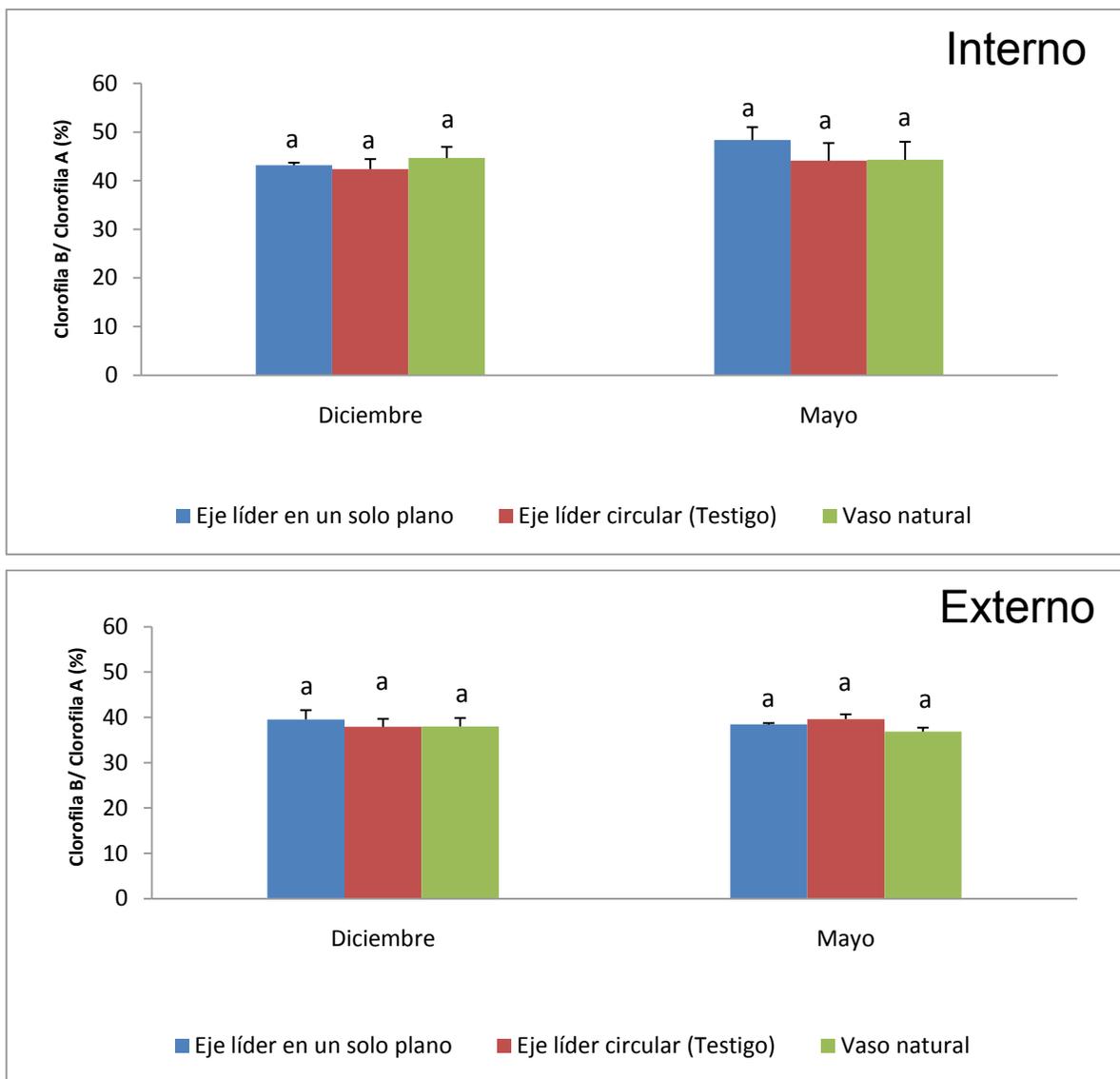


Figura 16. Relación entre Clorofila B y Clorofila A en dos estratos (interna y externa) del dosel en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN, durante los meses de diciembre 2016 y mayo 2017. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

La relación F_v/F_m tanto en el estrato interno como externo, evidencia una caída en el mes de mayo en el tratamiento con conducción Eje líder circular (Testigo) PC, diferenciándose del resto de los tratamientos (Figura 17).

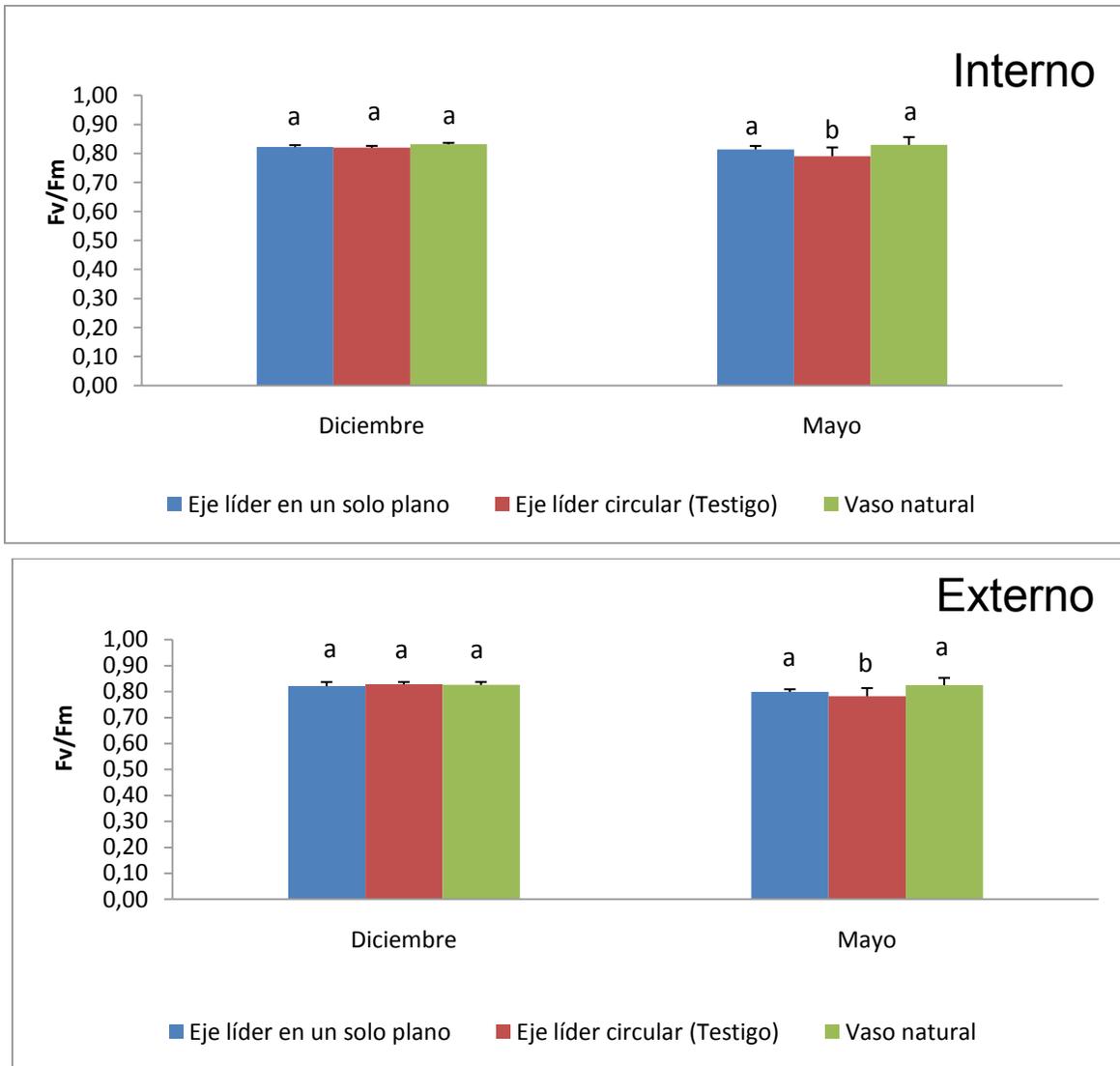


Figura 17. Relación F_v/F_m en dos estratos (interna y externa) del dosel en los tratamientos de poda de conducción Eje líder circular (Testigo) PC, Eje líder en un solo plano PE y Vaso natural VN, durante los meses de diciembre 2016 y mayo 2017. Letras diferentes indican diferencias significativas basadas en el test de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0,05$. Barras representan desvío estándar.

6. DISCUSIÓN

La poda es una técnica frutícola que acompaña a otras en el manejo del monte frutal. Como criterios rectores de esta técnica, hay que tener en cuenta que los árboles deben tener una copa lo más baja posible, sólida, aireada y equilibrada, para maximizar la rentabilidad de la explotación frutícola (Gil-Albert, 1997). Para el caso del pecán, la poda de formación recomendada por la bibliografía es de proyección circular, denominada Eje líder. Este tipo de poda de formación requiere de al menos 5 años para orientar el árbol en su crecimiento, pero manteniendo al mínimo las podas y que los árboles mantengan su forma natural (Herrera, 2000a).

Los requerimientos climáticos del pecán en cuanto a horas de frío según algunos autores es de valores cercanos a 400-800 horas bajo 7,2 °C para romper el receso invernal. De no cumplirse con las mismas la brotación es deficiente, se visualiza alta caída de frutos y baja producción (Gamalier Lemus, 2004). En nuestro ensayo el valor se encuentra dentro de los parámetros anteriormente mencionados, observándose en la Figura 3 el desarrollo óptimo de las fases fenológicas de la especie.

Por otro lado, los pesos de la poda son de 1,8 kg planta⁻¹ para Eje líder en un solo plano PE y de 17,4 kg planta⁻¹ en el Vaso natural VN (Figura 7), no efectuándose la práctica anteriormente mencionada para Eje líder circular (Testigo) PC. A pesar de la poda, no viéndose modificado el índice de área foliar (Figura 10), la proyección de la copa (Figura 9) ni el volumen de madera total por planta (Figura 6).

Según trabajos previos, la poda selectiva en pecán mejora la calidad de los frutos cosechados aumentando levemente el contenido de nitrógeno, fósforo y magnesio en las semillas (Worley, 1991), pero disminuye el rendimiento promedio por planta a lo largo de una serie completa de años de cosecha (Worley y Mullinix, 1997). Por otro lado, la poda selectiva no produce grandes cambios en el diámetro de los árboles debido al efecto de la poda, ni en el índice de verdor de las hojas (Worley y Mullinix, 1997).

Podas laterales en árboles de pecán 'Desirable' en producción, disminuyeron su rendimiento, junto con una baja en los frutos comercializables, presentando una baja estimulación en la diferenciación de yemas florales, pero aumentando el porcentaje de semillas en los frutos y disminuyendo la alternancia propia de esta especie (Wood, 2009). Sin embargo, en el cultivar 'Elliot' de pecán no se observaron estos efectos desfavorables por la aplicación de una poda selectiva (Worley, 1993).

En nuestro caso, no se encontraron diferencias en la captación de luz en los tres

estratos de las plantas (Figura 11) en ninguno de los sistemas de conducción analizados. Lombardini (2006) afirma que una poda selectiva fuerte favorece la iluminación de los árboles de pecán, disminuyendo el índice de área foliar muy fuertemente al inicio de la estación de crecimiento, pero compensándose en el verano-otoño.

Sin embargo, mediante nuestras mediciones no pudimos apreciar cambios en la estructura de los árboles (Figura 8) debido a los diferentes sistemas de poda, ni en el índice de área foliar (Figura 10), como así tampoco en la proyección de la copa (Figura 9), coincidiendo con los resultados hallados por Worley y Mollinix (1997), quienes utilizaron un sistema de poda selectiva. Los parámetros de senescencia (Figura 14) tampoco se ven influenciados, al igual que el Área foliar específica entre tratamientos (Figura 13), pero sí entre hojas internas y externas (Figuras 14 y 13). Resultados similares fueron encontrados por Lombardini *et al.*, (2009) cuando estos autores compararon diferentes cultivares de pecán.

En cuanto al contenido de clorofila, un parámetro relacionado con la senescencia foliar, se detectaron diferencias significativas respecto de las fechas de muestreo (diciembre y mayo), pero no entre tratamientos, por lo que el proceso no se vio afectado por los distintos tipos de poda de conducción (Figura 14). Cabe aclarar que el índice de verdor medido por SPAD no fue en este ensayo un buen indicador del proceso de senescencia en hojas (Figura 15), comparado con el contenido de clorofila extraído con N,N-dimetilformamida (Figura 14). Este efecto de la distorsión en las mediciones de SPAD podrían haber sido debidas al contenido de agua en las hojas o por la alta concentración de clorofila. Estas diferencias encontradas entre las dos técnicas fueron citadas por Martinez y Guiamet (2004). A pesar de encontrar estas disparidades entre el contenido de clorofila y el índice de verdor, otros autores encontraron que este último es un buen indicador del estado nutricional de las plantas de pecán, estableciendo una escala de suficiencia en el contenido de nitrógeno foliar (Heereman *et al.*, 2014). Los datos encontrados en el índice de SPAD en nuestros tratamientos en hojas externas no demostrarían una deficiencia en el contenido de nitrógeno, de acuerdo a la escala realizada por Heereman *et al.* (2014).

La tasa fotosintética se vio fuertemente modificada, tanto en las determinaciones del mes de diciembre, como del mes de mayo, considerando los estratos exteriores e interior del canopy (Figura 12). Como se puede observar en la Figura 12, las plantas con Eje líder en un solo plano presentan PE en el canopy interior una mayor tasa fotosintética durante el mes de diciembre, en cambio en el resto de los tratamientos, no las presentan

(Figura 12 superior).

En cuanto al conopeo externo, durante el mes de mayo se produce una fuerte caída de la tasa fotosintética en los tratamientos Eje líder circular (Testigo) PC y Vaso natural VN, si se comparan los meses de diciembre contra mayo; sin embargo en el tratamiento de Eje líder en un solo plano PE, tanto la tasa fotosintética de diciembre como mayo permanecen sin cambios con valor mayor (Figura 12). La tasa fotosintética en algunos cultivares de pecán ('Pawnee' and 'Stuart') tiene a disminuir tanto en los estratos externo e interno a medida que avanza el otoño, tendiendo a equipararse (Lombardi *et al.*, 2009). Estos resultados son similares a los encontrados en el presente trabajo en los sistemas de Vaso natural VN y Eje líder circular (Testigo) PC, pero no en el caso de Eje líder en un solo plano PE, donde las tasas fotosintéticas no sufren esta caída durante el otoño en el estrato externo (Figura 12). Este punto es de vital importancia ya que durante el otoño, en plena caída de hojas, se produce una importante removilización de nutrientes (fundamentalmente nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) desde las hojas hacia los órganos de reserva, que en este caso son los tallos (Kim y Wetzstein, 2005). La duración y tasa fotosintética del Área foliar, como así también los cambios temporales en las relaciones fuente-destino durante este estadio son muy importantes para favorecer este proceso de "reciclaje" de nutrientes en los árboles caducos en general (Kramer y Kozlowski, 1979; Loescher *et al.*, 1990) y en el pecán en particular (Kim y Wetzstein, 2005).

7. CONCLUSIONES

Estos resultados preliminares estarían indicando que el proceso de senescencia no se ve afectado por el tipo de poda de formación, si se cuantifica el contenido de clorofila y se lo compara entre tratamientos. Por otro lado, cabe mencionar que tanto el rendimiento potencial del Fotosistema II (F_v/F_m), como el índice de verdor por SPAD no son buenos estimadores para determinar el estado de senescencia foliar durante los estadios analizados.

Ahora, si se consideran las tasas fotosintéticas del canopeo externo e interno, claramente se ve una mayor eficiencia de intercepción de la luz en la porción interior en los meses de verano en la conducción con Eje líder en un solo plano PE. De la misma manera, la tasa fotosintética no se ve modificada con el paso del tiempo en este tipo de

conducción, a pesar de estar entrando en los meses de receso de crecimiento vegetativo en el canopeo externo.

En función de los datos encontrados en la bibliografía, Wood (1995) afirma que los efectos de la foliación después del llenado de los frutos tienen una gran importancia en cuanto a la alternancia que tiene esta especie. Es por ello que en este caso presentado, una mayor eficiencia en la tasa fotosintética en la conducción por Eje Líder en un solo plano PE podría ser una herramienta para evitar el efecto de la alternancia, o al menos disminuirlo. Estudios previos relacionando la alternancia de esta especie han atribuido este efecto de la acumulación de azúcares después de la cosecha, relacionado a su vez con la entrada en floración en los años subsiguientes (Smith *et al.*, 1986).

Estudios sobre el contenido de otros compuestos, como son las proteínas solubles o los azúcares en hojas y producciones de madera del año (que han sido investigadas en otras especies arbóreas –Nzima *et al.*, 1997-) podrían ser de utilidad para continuar con este trabajo y poder explicar los procesos que se ven influenciados debido a las podas de conducción en pecán.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Andales A., Wang, J., Sammis, T.W., Mexal, J.G., Simmons, L.J., Miller, D.R., Gutschick, V.P., 2006. A model of pecan tree growth for the management of pruning and irrigation. *Agricultural Water Management* 84: 77 – 88.
- Andersen, P.C. , 2015. *The pecan tree*. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, First published May 2004, Revised July 2006, August 2012, and November 2015 HS984. Disponible on-line: <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/HS/HS22900.pdf> (última visita 23 de mayo de 2018).
- Berman, M.E. & DeJong, T.M., 1996. Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica*). *Tree Physiology* 16, 859-864.
- Brunner, J.F., 1994. Integrated pest management in tree fruit crops. *Foods Review International* 10, 135-157.
- Costes, E., Lauri, P.É., Regnard, J.L., 2006. Analyzing fruit tree architecture: Implications for tree management and fruit production. *Horticultural Reviews* 32, 1-61.
- Crane, H.L. & Hardy, M.B., 1932. Interrelation between cultural treatment of pecan trees, the size and degree of filling of the nuts, and the composition of kernels. *Journal of Agricultural Research* 49, 643-661

- Crossa-Reynaud, P., 1955. Efect des hivers doux sur le comportement des arbres à feuilles caduques. *Ann. Serv. Agron.* 28, 1-22.
- Eacher, G.R., Stein, L.A., 1997. Nutrition. CHAPTER VI. pp. 3-5 in: *Texas pecan handbook*. Texas agricultural extension service college station, Texas.
- Gamaliel Lemus, S., 2004. El cultivo de pecano. Requerimientos agroclimaticos pp7. Gobierno de Chile. Ministerio de agricultura INIA-La Platina. Disponible on-line: <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/EL%20CULTIVO%20DEL%20PECANO.pdf> (última visita 28 de junio de 2018).
- GergoffGrozeff, G.E., Chaves, A.R., Bartoli, C.G., 2013. Low irradiance pulses improve postharvest quality of spinach leaves (*Spinaciaoleraceae* L. cv Bison). *Postharvest Biology and Technology* 77, 35-42.
- Gil-Albert, F., 1997. *Tratado de arboriculturafrutal. Poda de frutales*. Tomo V. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid pp 204
- Gyeviki, M., Hrotkó, K., Honfi, P., 2012. Comparison of leaf population of sweet cherry (*Prunus avium* L.) trees on different rootstocks. *ScientiaHorticulturae* 141, 30-36.
- Frusso, E.A., 2013. Curso sobre producción de nogal pecán. INIA Las Brujas, noviembre 2013. Disponible on-line: http://www.inia.org.uy/online/files/contenidos/link_13052013030645.pdf (última visita 12 de agosto de 2018).
- Herrema, R.J., VanLeeuwen, D., St. Hilaire, R., Gutschick, V.P., Cook, B., 2014. Leaf Photosynthesis in Nitrogen-starved 'Western' Pecan Is Lower on Fruiting Shoots than Non-fruiting Shoots during Kernel Fill. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 139(3): 267–274.
- Herrera, E., 1999. Flowering habits of pecan trees. *Cooperative Extention Service. College of Agriculture and Home Economics*. New Mexico State University. Guide H 622.
- Herrera, E. & Esperanza, V., 2000. Influence of pruning methods on tree growth and early nut production of mature transplanted pecan trees [*Caryaillinoensis* (Wangenh.) K. Koch)]. *Phyton* 66, 119-127.
- Herrera, E., 2000a. Training young pecan trees. *Cooperative Extention Service. College of Agriculture and Home Economics*. New Mexico State University. Guide H-605 PH 4-600.
- Herrera, E. 2000b. Sampling pecan leaves for analysis. *Cooperative Extention Service. College of Agriculture and Home Economics*. New Mexico State University. Guide H-619 PH 4-102.
- Herrera, E., 2005. Historical Background of Pecan Plantings in the Western Region.

- Cooperative Extension Service*. College of Agriculture and Home Economics, New Mexico State University Guide H-626.
- Hochmaier, V.E., 2010. Desarrollo y evaluación de métodos prácticos no destructivos para la estimación del Área Foliar (AF) por árbol y cálculo del Índice de Área Foliar (IAF) en montes de cerezo (*Prunus avium*L.). Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Comahue – Università degli Studi di Bologna. Pp. 23-24.
- Inskeed, W.P. & Bloom P.R., 1985. Extinction coefficients of Chlorophyll a and b in N,N-Dimethylformamide and 80% Acetone. *Plant Physiology* 77, 483-485.
- Jackson, J.E., 1980. Light interception and utilization by orchard systems. *Hort. Rev.* 2, 208–267.
- Kader, A.A., Thompson, J.F., 2002. Postharvest handling systems: Tree Nuts. En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Ed. Kader, A.A. Tercera Edición. California, EEUU. UC Peer Reviewed University of California, 535 pp.
- Khemira, H., Lombard, P.B., Sugar, D., Azarenko, A.N., 1993. Hedgerow orientation affects canopy exposure, flowering, and fruit of 'Anjou' pear trees. *HortScience* 28, 984-987.
- Kim, T. & Wetzstein, H.Y., 2005. Seasonal fluctuations in nutrients and carbohydrates in pecan leaves and stems. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80(6): 681–688.
- Kramer, P. J. and KOZLOWSKI, T.T., 1979. *Physiology of Woody Plants*. Academic Press Inc., Londres, UK. 809 pp.
- Loescher, W. H., McCamant, T., Keller, J. D., 1990. Carbohydrate reserves, translocation, and storage in woody plant roots. *HortScience* 24: 247–281.
- 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, 1469-1473.
- Lombardini, L., Restrepo-Diaz, H., Volder, A., 2009. Photosynthetic Light Response and Epidermal Characteristics of Sun and Shade Pecan Leaves. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 134, 372-378.
- Martínez, D.E; Guiamet, J.J., 2004. Distortion of the SPAD 502 Chlorophyll Meter readings by changes in irradiance and leaf water status. *AGRONOMY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT* 24: 41 – 46.
- Muncharaz-Pou, M., 2001. *El Nogal. Técnicas de cultivo para la producción frutal*. Capítulo XI Poda. 11.2. Poda de Formación pp: 183-191. Editorial Mundi Prensa.

Madrid, España. pp. 299.

- Nzima, M.D.S., Martin, G.C., Nishijima, C., 1997. Seasonal changes in total nonstructural carbohydrates within branches and roots of naturally "off" and "on" 'Kerman' Pistachio trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(6): 856-862.
- Palmer, J.W., 1989. The effects of row orientation, tree height, time of the year and latitude on light interception and distribution in model apple hedgerow canopies. *Journal of Horticultural Science* 64, 137-145.
- Ploschuk, E.L., Bado, L.A., Wassner, D.F., Windauer, L.B., Insausti, P., 2014. Photosynthesis and fluorescence responses of *Jatropha curcas* to chilling and freezing stress during early vegetative stages. *Environmental and Experimental Botany* 102: 18-26.
- Robinson, T.L. y Lakso, A.N., 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard systems. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116 (2), 188–194.
- Smart, R.E., 1973. Sunlight interception by vineyards. *American Journal of Enology and Viticulture* 24: 141-147.
- Smith, M. W., McNew R.W., Ager P.L., Cotten B.C., 1986. Seasonal changes in the carbohydrate concentration in pecan shoots and their relationship to flowering. *J. Amer. Soc Hort. Sci.* 119:558–561.
- Solar, A., Osterc, G., Štampar, F., Kelc, D., 2011. Branching of annual shoots in common walnut (*Juglans regia* L.) as affected by bud production and indole-3-acetic acid (IAA) content. *Trees* 25: 1083-1090
- Sparks, D. 1980. Training pecan trees. *Proc. Okla. Pecan Growers* 50, 15-50.
- Wood, B.W. y Stahmann, D., 2004. Hedge pruning pecan. *HortTechnology* 14, 63-72
- Wood, B.W., 2009. Mechanical Hedge Pruning of Pecan in a Relatively Low-light Environment. *HortScience* 44: 68-72.
- Wood, R.W., 1995. Relationship of Reproductive and Vegetative Characteristics of Pecan to Previous-season Fruit Development and Postripening Foliation Period. *J. AMER. SOC. HORT. SCI.* 120(4):635–642.
- Worley, R.E. y Mullinix, B., 1997. Selective limb pruning of large pecan trees reduces yield but improves nut size and tree characteristics. *HortScience* 32, 50-52.
- Worley, R.E., 1991. Selective limb pruning intensity influences mature pecan tree and nut characteristics. *HortScience* 26, 126-129.
- Worley, R.E., 1993. Temporary three pruning for overloaded pecan orchards. *HortTechnology* 3, 189-191.

Yang, Y.C y Kung, F.H., 1983. Method for estimating bole volume. *JournalofForestry* 81, 224-227.