

PRODUCCIÓN DE PASTO RHODES EN UNA PLANTACIÓN DE EUCALIPTO

RHODES GRASS PRODUCTION UNDER A EUCALYPT CANOPY

Aurelio Guevara-Escobar*, Mónica Cervantes-Jiménez, Humberto Suzán-Azpiri,
Enrique González-Sosa, Israel Saavedra

Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario s/n. 76230. Santiago de Querétaro,
Querétaro, México. (guevara@uaq.mx).

RESUMEN

El forraje de gramíneas es importante para la sostenibilidad a corto plazo de los sistemas agroforestales. Para conocer las relaciones de competencia se estudió la tasa de crecimiento (TC) y la acumulación de materia seca (AMS) del pasto estableciendo: 1) la disminución por efecto de la sombra y 2) la relación con variables ambientales, en una plantación de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) con 950 árboles ha⁻¹ y asociado a un pastizal de *Chloris gayana* Kunth (pasto Rhodes), del 2007 al 2009. La plantación de eucalipto (PE) se comparó con el campo abierto dominado por Rhodes (CA) en Zapopan, Jalisco, México, durante un año. En PE la temperatura mínima promedio fue mayor en relación a CA; la humedad del suelo en los estratos superficiales y la velocidad de viento fue menor en PE; la magnitud de la diferencia fue 4.6 °C, 5 a 8 % v/v y 1 m s⁻¹. La cobertura del dosel de eucalipto fue 44 % y redujo en 75 % la radiación fotosintéticamente activa (RFA) recibida en PE respecto a CA. La TC fue menor en PE en relación a CA durante la época de lluvias pero en septiembre y de diciembre a mayo fue similar. La máxima TC de Rhodes fue 75 y 48 kg MS ha⁻¹ d⁻¹, para el CA y la PE. La AMS fue menor en PE que en CA y el máximo alcanzado fue 1.7 y 4.7 Mg MS ha⁻¹. La humedad del suelo fue un recurso limitante para Rhodes en ambos ambientes y en la PE la temperatura mínima, en segundo término.

Palabras clave: *Chloris gayana*, *Eucalyptus globulus*, plantaciones comerciales, tasa de crecimiento.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas agroforestales los árboles y arbustos se pueden integrar con gramíneas para apoyar la producción pecuaria y generar

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2011. Aprobado: diciembre, 2011.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 175-188. 2012.

ABSTRACT

Grass pasture is important for the short term sustainability of agroforestry systems. Growth rate (GR) and pasture dry matter accumulation (DMA) were studied in order to understand competition relationships, by establishing: 1) the decrease as a result of the effect of shade, and 2) the relation with environmental variables, in a eucalypt (*Eucalyptus globulus* Labill.) block planted at 950 stems h⁻¹, and associated to a *Chloris gayana* Kunth pastureland (Rhodes grass), from 2007 to 2009. The eucalypt plantation (EP) was compared with the open field dominated by Rhodes (OF) in Zapopan, Jalisco, México, for one year. The minimum average temperature was higher in the EP than in the OF; soil moisture in the superficial strata and wind speed were lower in the EP; the magnitude of the difference was 4.6 °C, 5 to 8 % v/v and 1 m s⁻¹. Eucalypt canopy closure was 44 % and it reduced the photosynthetically active radiation (PAR) received in the EP by 75 %, as compared to the OF. The GR was lower in EP than in OF during the rainy season, but in September and December–May, it was similar. The maximum GR for Rhodes was 75 and 48 kg DM ha⁻¹ d⁻¹, for OF and EP. The DMA was lower in the EP than in the OF, and the maximum reached was 1.7 and 4.7 Mg DM ha⁻¹. Soil moisture was a limiting resource for Rhodes in both environments and, in the EP, minimum temperature in second place.

Key words: *Chloris gayana*, *Eucalyptus globulus*, commercial plantations, growth rate.

INTRODUCTION

In agroforestry systems, trees and shrubs can be integrated with grasses to support livestock production and generate income in the short term (Benavides *et al.*, 2009). However, the growth of grasses decreases with tree age and plantation density (Knowles *et al.*, 1999) and, therefore, it is necessary to understand grass growth under shade

ingresos a corto plazo (Benavides *et al.*, 2009). Sin embargo, el crecimiento de las gramíneas puede disminuir con la edad y densidad de plantación de los árboles (Knowles *et al.*, 1999), y es necesario conocer el crecimiento de las gramíneas bajo la sombra para establecer un presupuesto alimentario (Holmes y Wilson, 1987).

La asociación de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) y pasto Rhodes (*Chloris gayana* Kunth) es interesante porque en este sistema participan dos especies competitivas y su estudio puede mejorar la base de conocimiento para el diseño y manejo de esquemas productivos. En la literatura revisada hay pocos estudios y las respuestas no son constantes en relación al crecimiento del pasto bajo el dosel (Robinson, 1991; Dunn *et al.*, 1994). La disponibilidad de recursos, además de las especies involucradas, ayuda a explicar el desempeño del sistema agroforestal (Benavides *et al.*, 2009). Además, la adaptación de los pastos a las condiciones de sombra puede reflejarse en modificaciones morfológicas como el área foliar (Peri *et al.*, 2007).

En una pradera el índice de área foliar (IAF) se determina principalmente por la densidad de tallos y el número de hojas vivas, los cuales afectan la dinámica de rebrote (Pérez-Bribiesca *et al.*, 2002). El crecimiento de plantas bajo la sombra se caracteriza por una tasa de recambio lento de hojas, menor densidad de la masa y hojas con mayor superficie (Peri *et al.*, 2007). Dadas estas modificaciones, la relación entre tasa de crecimiento (TC) y el IAF debe ser diferente en condiciones de sombra.

El objetivo de este estudio fue determinar la tasa de crecimiento y acumulación de materia seca (AMS) de Rhodes bajo un dosel de *E. globulus*, así como la magnitud de variables ambientales y algunas características del dosel. La hipótesis fue que la TC y la AMS del pasto Rhodes serán menores bajo el dosel de *E. globulus* y que la relación entre TC y el IAF será diferente en sombra que a cielo abierto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio experimental se ubicó en el Rancho las Agujas (20° 45' 39" N, 103° 32' 33" O y 1640 msnm) municipio de Zapopan, estado de Jalisco, México. El clima de la región es subtropical con lluvias en verano (junio-octubre; García, 2004), precipitación media anual de 816 mm y temperatura media, máxima y mínima de 23.5, 35.0 y 5.4 °C (IMTA, 2007).

to establish a dietary budget (Holmes and Wilson, 1987).

The association of eucalypt (*Eucalyptus globulus* Labill.) and Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth) is interesting because they are two competitive species in this system, and their study can improve the knowledge basis for the design and management of productive schemes. In the literature reviewed there are few studies, and results are not constant with relation to grass growth under the canopy (Robinson, 1991; Dunn *et al.*, 1994). The availability of resources, in addition to the species involved, helps explain the performance of the agroforestry system (Benavides *et al.*, 2009). Also, the adaptation of grasses to shade conditions can be reflected in morphological modifications such as the leaf area (Peri *et al.*, 2007).

The leaf area index (LAI) is primarily determined in a pastureland by the density in stems and number of live leaves, which affect regrowth dynamics (Pérez-Bribiesca *et al.*, 2002). The growth of plants under shade is characterized by a slow tissue turnover, lower mass density, and leaves with greater area (Peri *et al.*, 2007). Given these modifications, the relation between growth rate (GR) and the LAI should be different under shade conditions.

The objective of this study was to determine the growth rate and dry matter accumulation (DMA) of *C. gayana* under an *E. globulus* canopy, as well as the magnitude of environmental variables and some characteristics of the canopy. The hypothesis was that the GR and DMA of Rhodes grass will be less under the *E. globulus* canopy, and that the relation between the GR and LAI will be different under shade than in the open.

MATERIALS AND METHODS

The experimental site was located in Rancho las Agujas (20° 45' 39" N, 103° 32' 33" W and 1640 masl), municipality of Zapopan, state of Jalisco, México. The climate in the region is subtropical with summer rains (June-October; García, 2004), annual average precipitation of 816mm and average, maximum and minimum temperature of 23.5, 35.0 and 5.4 °C (IMTA, 2007).

In this study, environmental characteristics were compared in a eucalypt plantation (EP) and in the open field (OF) between 2007 and 2009; and components of the growth profile of Rhodes in EP and OF were determined between June 2008

En este estudio se compararon características ambientales en una plantación de eucalipto (PE) y a campo abierto (CA) entre 2007 y 2009; y se determinaron componentes del perfil del crecimiento de Rhodes en PE y CA entre junio de 2008 y febrero de 2009. Para las mediciones en PE se usó un área de 18 ha plantadas en el 2004 con eucalipto en un pastizal de *C. gayana* cv. Bell (Rhodes), a 950 árboles ha^{-1} con espaciamiento de 3×3.5 m y orientación norte-sur. Para CA se usó un área de 2 ha de pastizal dominado por Rhodes, con arbolado periférico y ubicada a 2 km de la plantación. En cada ambiente se establecieron seis parcelas permanentes de 380 m^2 , en lugares representativos y sin efecto de borde.

Caracterización ambiental

De 2007 a 2009 se instaló una unidad meteorológica en un lugar representativo de cada ambiente: CA y PE. Con un multisensor WXT510 (Vaisala Inc., Finlandia) se registraron cada 20 min en registradores de datos (dataloggers) CR1000 (Campbell Scientific Inc., EE.UU.): humedad relativa, temperatura del aire, velocidad del viento y precipitación pluvial. La precipitación neta en PE se calculó con la precipitación acumulada registrada en CA, considerando 10.8 % de interceptación de lluvia reportado para una plantación de *E. globulus* de tres años (Valente *et al.*, 1997). La radiación global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) en CA se midió con un piranómetro LI 200SZ (Campbell Scientific Inc., EE.UU.) y la radiación fotosintéticamente activa (RFA, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) en PE se midió con un sensor cuántico LI 190SA a intervalos de 1 min. Debido a la distribución heterogénea de RFA bajo el dosel se utilizó un sensor cuántico lineal LI 191SA (Campbell Scientific Inc., EE.UU.) para calibrar al LI 190SA en relación a los pulsos de luz en PE. Los pulsos de luz son ingresos de radiación directa de corta duración y alta intensidad a través de pequeños claros presentes en el dosel (Cabrelli *et al.*, 2006), y se consideraron como tales las mediciones de RFA mayores a $1000 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ (Barradas *et al.*, 1998).

En este mismo intervalo de tiempo se registró cada 20 min la humedad del perfil del suelo (θ , % v/v) con sondas TDR (Time Domain Reflectometry) modelo CS-216 (Campbell Scientific Inc., EE.UU.) instaladas horizontalmente a 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2 y 1.8 m de profundidad ($\theta_{0.1 \text{ m}}$ a $\theta_{1.8 \text{ m}}$). Para la instalación se excavó una fosa en cada ambiente a 1 m de distancia de las hileras de árboles. Las sondas se insertaron en uno de los muros de la fosa donde la estructura del suelo no fue alterada, después la fosa se rellenó y se restauró la vegetación. Las mediciones iniciaron cuatro meses después de instalar las sondas para lograr la estabilidad de las condiciones del suelo alrededor de las fosas.

and February 2009. For measurements in the EP, an area of 18 ha was used, eucalypts were planted in 2004 in a *C. gayana* cv. Bell pastureland (Rhodes) at 950 stems ha^{-1} spaced at 3×3.5 m and North-South orientation. For the OF, an area of 2 ha of pastureland dominated by Rhodes was used, located at 2 km from the plantation and peripheral trees. In each environment, six permanent plots of 380 m^2 were established, in representative spaces without border effects.

Environmental characterization

From 2007 to 2009, a meteorological station was installed in a representative location for each environment: OF and EP. CR1000 (Campbell Scientific, Inc., USA) dataloggers were used to register every 20 min the relative humidity, air temperature, wind velocity and rainfall measured with a WXT510 multisensor (Vaisala Inc., Finland). Net precipitation in the EP was calculated as the accumulated precipitation recorded in the OF and considering 10.8 % of rain interception reported for a three-year *E. globulus* plantation (Valente *et al.*, 1997). Global radiation ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) in the OF was measured with a LI 200SZ pyranometer (Campbell Scientific Inc., USA), and the photosynthetically active radiation (PAR, $\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) in the EP was measured with a LI 190 SA quantum sensor at 1 min intervals. Due to the heterogeneous distribution of PAR under the canopy, a linear LI191SA (Campbell Scientific Inc., USA) quantum sensor was used to calibrate the LI 190SA in relation to sunflecks in the EP. The sunflecks are direct radiation inputs of short duration and high intensity through small canopy gaps (Cabrelli *et al.*, 2006), and PAR measurements higher than $1000 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ are considered as such (Barradas *et al.*, 1998).

In this same time interval, the soil moisture profile (θ , % v/v) was registered every 20 min, with TDR probes (Time Domain Reflectometry) model CS-216 (Campbell Scientific Inc., USA), installed horizontally at 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.2 and 1.8 m soil depths ($\theta_{0.1 \text{ m}}$ to $\theta_{1.8 \text{ m}}$). For the installation, a pit was dug in each one of the environments at 1 m distance from the tree lines. The probes were inserted into one of the walls in the pit where the soil structure was not altered, then the pit was refilled and the vegetation restored. Measurements began four months after the probes were installed to achieve stability in soil conditions around the pits.

From the data recorded, averages were obtained per hour, month or year, depending on the environmental variable. For the PAR dynamics under the tree canopy, PAR classes were established: higher than 1500, 1000 and $500 \mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$, and for every hour of the day the minutes when the PAR corresponded to each class were added.

Con los datos registrados se obtuvieron promedios por hora, mensuales o anuales según la variable ambiental. Para la dinámica de la RFA bajo el dosel arbóreo se establecieron clases de RFA: mayor de 1500, 1000 y 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y para cada hora del día se sumaron los minutos en los que la RFA correspondió a cada clase.

Índice de cobertura del dosel del eucalipto

La cobertura del dosel de eucalipto (CC) se evaluó semestralmente entre 2007 y 2009 usando imágenes digitales del dosel tomadas en el crepúsculo a 1.3 m del suelo y en las mismas parcelas de muestreo donde se determinó el IAF. Se usaron cámaras Canon EOS D1 y 450 (Canon, Inc., Japón) con un lente hemisférico Sigma 8 mm F3.5 EX DG (Sigma Corp., EE.UU.), de acuerdo con Guevara-Escobar *et al.* (2005). Las imágenes se convirtieron a un sistema binario con un umbral automático usando el programa Sidelook 1.1.01 (Nobis y Hunziker, 2005).

Tasa de crecimiento y acumulación de materia seca

De junio de 2008 a febrero de 2009 se determinó la TC ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) de Rhodes a intervalos mensuales mediante cuadrángulos de 1 m^2 ; al inicio del mes se cortó el forraje a 5 cm de altura y después de 30 d se cortó el forraje a la misma altura. El forraje cosechado se pesó en fresco y se tomó una submuestra para secar en una estufa de aire forzado a 60 °C por 48 h y determinar la materia seca (MS). La ubicación de los cuadrángulos en cada ocasión fue al azar pero procurando no ubicar un cuadrángulo en un mismo lugar durante la medición.

En junio de 2008 se seleccionaron otros siete cuadrángulos de 1 m^2 por cada parcela para medir la acumulación de MS (AMS; kg MS ha^{-1}). El forraje dentro de cada cuadrángulo se cosechó a 5 cm de altura, después se cortó un cuadrángulo elegido al azar cada 30 d para un período de medición de 210 d. Las muestras se procesaron de la manera descrita para obtener la TC.

Índice de área foliar

El dosel del eucalipto se caracterizó con mediciones semestrales del IAF de 2007 a 2009. Además, para determinar el efecto del ambiente sobre la relación entre el IAF y la TC, en agosto y septiembre de 2008 se midió el IAF de Rhodes y eucalipto usando un LAI-2000 (Li-Cor Inc.) en el crepúsculo. En cada parcela de CA y PE, la observación fue el promedio de tres mediciones en un transecto de 1.5 m; en PE fue perpendicular a las hileras

Eucalypt canopy closure

The eucalypt canopy closure (CC) was evaluated every six months between 2007 and 2009, and for this purpose digital images of the canopy were acquired at dawn at 1.3m from the ground and in the same sampling plots where the LAI was determined. Canon EOS D1 and 450 cameras were used (Canon, Inc., Japan) with a Sigma 8 mm F3.5 EX DG hemispheric lens (Sigma Corp., USA), based on Guevara-Escobar *et al.* (2005). The images were converted into a binary system with an automatic threshold by using the Sidelook 1.1.01 software (Nobis and Hunziker, 2005).

Growth rate and dry matter accumulation

From June 2008 to February 2009, the GR of Rhodes was determined ($\text{kg DM ha}^{-1} \text{d}^{-1}$) at monthly intervals using 1 m^2 quadrats; at the beginning of the month the pasture was clipped at 5 cm height and after 30 d, the pasture was clipped again at the same height. The harvested pasture was weighed fresh and a subsample was taken for drying in a forced air stove at 60 °C for 48 h for dry matter (DM) determination. The quadrat location in each occasion was randomly placed within the plot yet trying not to place the quadrat in a previously used position.

In June 2008, another seven 1 m^2 quadrats were placed in each plot to measure DM accumulation (DMA; kg DM ha^{-1}). The pasture within each quadrat was clipped at 5 cm height; then, a quadrat was randomly selected for clipping every 30 d, up to a measurement period of 210 d. The samples were processed in the manner described to obtain the GR.

Leaf area index

The eucalypt canopy was characterized every six months with LAI measurements from 2007 to 2009. Also, to determine the effect of the environment on the relation between the LAI and the GR, the Rhodes and eucalypt LAI were measured in August and September 2008, using a LAI-2000 (Li-Cor Inc.) at dawn. In each plot of OF and EP, the observation was the average of three measurements in a transect of 1.5 m; in EP it was perpendicular to the tree lines and the sensor was leveled horizontally at 1.3 m height (LAIe) and at ground-level (LAIep) in the two environments. The value of LAIep represented the contribution by the tree and herb canopy. For both environments the reference measurements outside the canopy were obtained with automatic records from another LAI-2000 analyzer located outside the influence of the trees. Taking into account the proportionality between the LAI and the RAF transmission,

de árboles y el sensor se niveló horizontalmente a 1.3 m de altura (IAFe) y a ras de suelo (IAFep) en los dos ambientes. El valor de IAFep representó la contribución del dosel arbóreo y herbáceo. Para ambos ambientes las mediciones de referencia fuera del dosel se obtuvieron con el registro automático de otro analizador LAI-2000 ubicado fuera de la influencia de los árboles. Considerando la proporcionalidad entre el IAF y la transmisión de la RFA, el IAF de Rhodes asociado al eucalipto se calculó como: $IAF = IAFep - IAFe$.

Análisis de datos

La TC y la AMS se analizaron como observaciones repetidas en el tiempo con el procedimiento MIXED (SAS Institute, 1997) para el efecto fijo de ambiente (CA y PE). En su caso, se usó el ANDEVA univariado para establecer las diferencias entre ambientes para las medias mensuales. Para las variables ambientales de temperatura, humedad relativa, velocidad de viento, se compararon las medias entre ambientes usando una prueba de t pareada y dos grados de libertad, y considerando los años como repeticiones. Los estimadores de los parámetros que definen la relación de variables ambientales en CA y PE, la exploración de la relación de la temperatura mínima mensual (T_{min}) entre los ambientes y la búsqueda de modelos de regresión para describir la relación entre IAF y TC, se obtuvieron usando TableCurve 2D (Systat Software Inc. EE.UU.). Se probó la homogeneidad en los parámetros de las regresiones lineales entre IAF y TC obtenidas para cada ambiente (CA y PE) usando una prueba de t ($p \leq 0.05$) (Steel *et al.*, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables atmosféricas

La precipitación en 2007, 2008 y 2009 fue 122, 89 y 86 % del promedio histórico regional, y de mayo a octubre se recibió 95 % de la precipitación anual. Entre las variables ambientales destacaron una menor velocidad del viento y mayor temperatura mínima anual (T_{min}) en PE respecto a CA (Cuadro 1). De acuerdo con la regresión de T_{min} entre PE y CA, la diferencia ambiental en PE sobre la T_{min} se calculó en 3.84 °C por arriba de CA cuando la temperatura llega a 0 °C y puede causar daño tisular (Figura 1). El dosel de los árboles provoca cambios en el microambiente porque ellos constituyen una barrera contra el viento y la radiación. El resultado en el presente estudio fue contrario a lo reportado en sistemas agroforestales de clima

the LAI of Rhodes associated to eucalypt was calculated as: $LAI = LAIep - LAIe$.

Data analysis

The GR and DMA were analyzed as repeated measurements in time with the MIXED procedure (SAS Institute, 1997) for the environment (OF and EP) fixed effect. If appropriate, univariate ANOVA was used to establish the differences between environments for the monthly averages. The averages of environmental variables of temperature, relative humidity and wind velocity were compared between environments using a paired t test and two degrees of freedom, and considering years as repetitions. Estimators from the parameters that define the relationship between environmental variables in OF and EP, the exploration of the relation between the minimum monthly temperature (T_{min}) between environments, and the search for regression models to describe the relation between LAI and GR, were obtained using TableCurve 2D (Systat Software Inc., USA). The homogeneity in parameters of the linear regressions between LAI and GR obtained for each environment (OF and EP) was tested using a t test ($p \leq 0.05$) (Steel *et al.*, 1997).

RESULTS AND DISCUSSION

Atmospheric variables

Precipitation in 2007, 2008 and 2009 was 122, 89 and 86 % of the regional historical average, and from May to October 95 % of the annual precipitation was received. Among the environmental variables, a lower wind velocity and higher annual minimal temperature (T_{min}) in EP stood out compared to OF (Table 1). According to the T_{min} regression between EP and OF, the environmental difference in EP over the T_{min} was calculated at 3.84 °C above the OF when the temperature reaches 0 °C and can cause tissue damage (Figure 1). The tree canopy causes changes in the microenvironment because these constitute a barrier against wind and radiation. The result in this study was contrary to what has been reported in agroforestry systems of temperate climate, where the T_{min} under trees decreases (Benavides *et al.*, 2009). Motoso-Campanha *et al.* (2004) report similar T_{min} between coffee in single crop and its agroforestry combination, while for a similar agroforestry pair, T_{min} was 1 to 4 °C higher than in

Cuadro 1. Promedio y error estándar de variables ambientales en campo abierto (CA) y plantación (PE).
Table 1. Average and standard error of environmental variables in open field (OF) and plantation (EP).

Año	Precipitación [†] mm	Temperatura (°C)					Humedad relativa %	Velocidad de viento m s ⁻¹			
		Promedio		Mínima	Máxima						
Campo abierto											
2007	1002	18.0	±0.6	8.9	±1.0	28.2	±1.0	62.8	±3.8	1.76	±0.2
2008	729	18.4	±0.8	8.3	±1.6	28.5	±1.1	58.2	±5.6	1.25	±0.2
2009	703	18.7	±0.9	11.4	±1.2	28.0	±0.7	56.4	±5.2	1.25	±0.0
Plantación de eucalipto											
2007	893	18.7	±1.0	12.0	±0.5	28.4	±1.1	60.2	±6.6	0.26	±0.03
2008	650	18.2	±0.8	10.2	±1.4	28.8	±1.0	59.9	±5.0	0.48	±0.04
2009	627	16.9	±0.8	13.8	±1.1	28.2	±0.9	60.1	±4.7	0.51	±0.04

[†] La precipitación en plantación de eucalipto se obtuvo restando la precipitación interceptada por el dosel arbóreo ❖
[†] Precipitation in eucalypt plantation was obtained by subtracting precipitation intercepted by the tree canopy.

templado, donde la T_{min} bajo los árboles disminuye (Benavides *et al.*, 2009). Matoso-Campanha *et al.* (2004) reportan T_{min} similar entre el monocultivo de café y su combinación agroforestal, mientras que para un binomio agroforestal similar T_{min} fue 1 a 4 °C mayor que en campo abierto (Morais *et al.*, 2006). Durante noches con enfriamiento radiativo, la T_{min} sobre el pasto fue 4.6 °C mayor en sitios arbolados respecto al campo talado (Blennow, 1998). Sin embargo, conforme aumentó la energía en el sistema se alcanzó una temperatura promedio y máxima semejante a la del CA.

Humedad del suelo

La θ presentó un patrón diferente entre los ambientes. En los estratos 0.1 y 0.2 m el patrón de θ durante la temporada de lluvias siguió la misma tendencia, a pesar de una menor cantidad de agua disponible para infiltración en PE resultante de la intercepción de la precipitación por el dosel de eucalipto. A más de 0.8 m el suelo siempre permaneció más húmedo en CA, revelando la limitante de Rhodes para extraer agua de los estratos más profundos del perfil (Figura 2C). En un sistema agroforestal *Lolium perenne* desarrolló sus raíces en los estratos superficiales, a menor profundidad de 20 cm, y *Prunus avium* por el contrario, a mayor profundidad (Dawson *et al.*, 2001). Para *Lolium arundinaceum*, un pasto de raíces profundas, la mayor proliferación ocurrió a 42 cm y la penetración

the open field (Morais *et al.*, 2006). During nights with radiation cooling, the T_{min} over the grass was 4.6 °C higher in areas with trees, compared to the felled field (Blennow, 1998). However, as the energy in the system increased, an average and maximum temperature similar to the OF was reached.

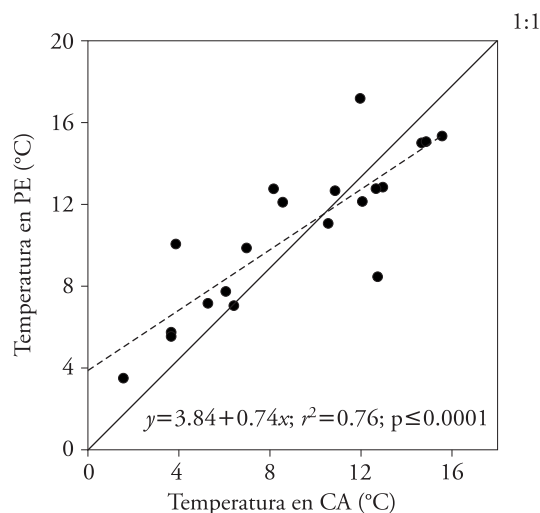
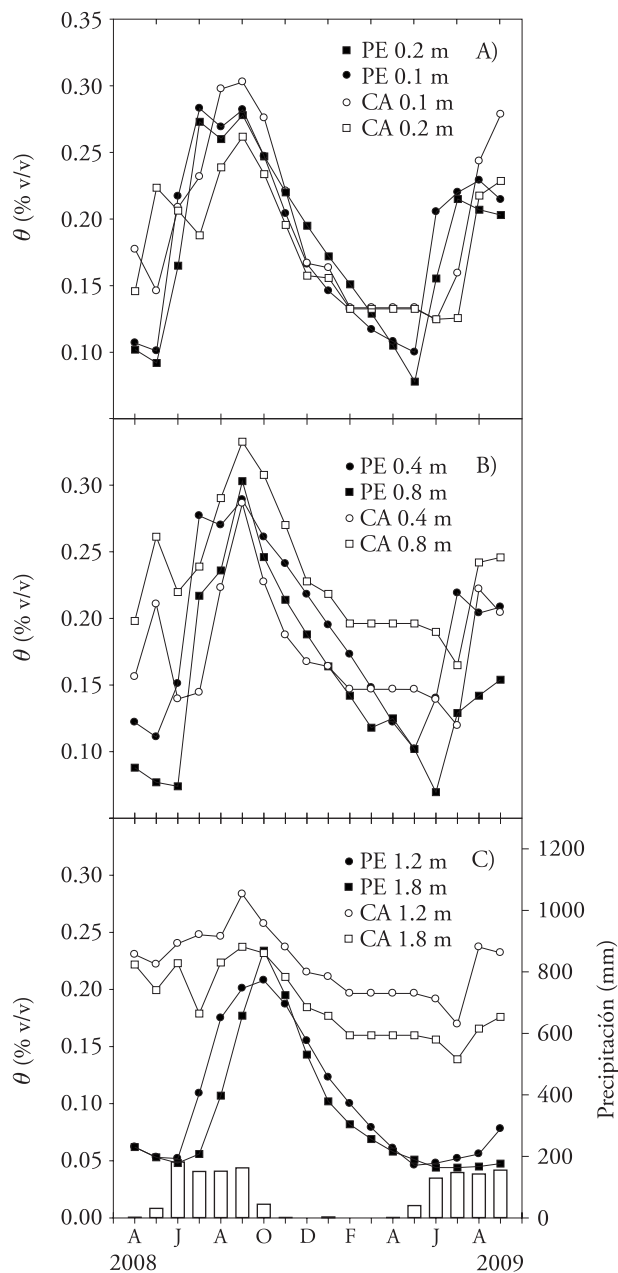


Figura 1. Relación de la temperatura mínima (T_{min}) entre campo abierto (CA) y plantación de eucalipto (PE). La línea quebrada representa el modelo de regresión y los puntos corresponden a medias mensuales de T_{min} .

Figure 1. Relation of minimum temperature (T_{min}) between open field (OF) and eucalypt plantation (EP). The broken line represents the regression model and the points correspond to monthly averages of T_{min} .



máxima a 77 cm (Carter y Gregorich, 2010). De febrero a mayo de 2009 la $\theta_{0.1m}$ y $\theta_{0.2m}$ siguieron disminuyendo en PE, mientras que en CA se estabilizaron ante la ausencia de lluvias, sugiriendo que la actividad de Rhodes fue baja en CA, mientras que en PE la extracción de agua continuó en esos estratos, posiblemente por el eucalipto. Los valores de $\theta_{0.1m}$ y $\theta_{0.2m}$ en la primavera indican al agua como recurso limitante para Rhodes en PE, y contrario a lo encontrado en plantaciones en clima templado donde la humedad en el suelo no es limitante y la

Figura 2. Promedio mensual de humedad en el perfil de suelo (θ) en plantación de eucalipto (PE) y a campo abierto (CA) en los estratos: A) 0.1 y 0.2 m, B) 0.4 y 0.8 m y C) 1.2 y 1.8 m. Las barras son la lluvia en CA.

Figure 2. Monthly average soil moisture in the soil profile (θ) in eucalypt plantation (EP) and open field (OF) in the strata: A) 0.1 and 0.2 m, 0.4 and 0.8m and C) 1.2 and 1.8 m. The bars are rain in the OF.

Soil moisture

The θ presented a different pattern between environments. In the strata of 0.1 and 0.2 m, the θ pattern during the rainy season followed the same trend, in spite of a lower amount of water available for infiltration in the EP as a result from the interception of precipitation by the eucalypt canopy. At more than 0.8 m, the soil always remained more wet in the OF, revealing a limitation by Rhodes to extract water from the deeper strata in the profile (Figure 2C). In an agroforestry system, *Lolium perenne* developed its roots in the superficial strata, at a depth of less than 20 cm, and *Prunus avium*, on the contrary, at a greater depth (Dawson *et al.*, 2001). For *Lolium arundinaceum*, a grass with deep roots, the greatest proliferation occurred at 42 cm and the maximum penetration at 77 cm (Carner and Gregorich, 2010). From February to May 2009, the $\theta_{0.1m}$ and $\theta_{0.2m}$ continued to decrease in the EP, while in the OF, they became stabilized in the absence of rain, suggesting that the Rhodes activity was low in the OF, while in the EP water extraction continued in those strata, possibly by eucalypt. The $\theta_{0.1m}$ and $\theta_{0.2m}$ values in the spring indicate water as a limiting resource for Rhodes in the EP, contrary to what was found in plantations in temperate climates where soil moisture is not limiting and precipitation is higher (Benavides *et al.*, 2009). From September 2008 to February 2009, the change in $\theta_{0.1m}$ was similar in OF and EP (Figure 2A, 3.53 and 3.11 % v/v month⁻¹), in spite of a lower wind velocity in EP. However, from June to July, 2008 and 2009, the $\theta_{0.1m}$ was 5 to 8 % v/v higher in EP than in OF, possibly because of lower evaporation due to the tree shadow.

The θ in OF had a period of stability between rainy seasons, registered in all the depths. In contrast, water extraction in EP since September 2008 continued until the beginning of the next rainy season in May 2009. In EP, $\theta_{1.2m}$ and $\theta_{1.8m}$ did not increase with

precipitación es mayor (Benavides *et al.*, 2009). De septiembre de 2008 a febrero de 2009, el cambio en la $\theta_{0.1m}$ fue semejante en CA y PE (Figura 2A, 3.53 y 3.11 % v/v mes^{-1}), a pesar de una menor velocidad del viento en PE. Sin embargo, de junio a julio de 2008 y 2009, la $\theta_{0.1m}$ fue 5 a 8 % v/v mayor en PE que en CA, posiblemente por menor evaporación debido a la sombra de los árboles.

La θ en CA tuvo un periodo de estabilidad entre las temporadas de lluvias, registrado en todas las profundidades. En contraste, la extracción de agua en PE desde septiembre de 2008 continuó hasta el inicio de la siguiente temporada de lluvias en mayo de 2009. En PE, $\theta_{1.2m}$ y $\theta_{1.8m}$ no aumentaron con las lluvias de 2009 en la proporción del año anterior, a pesar una precipitación anual similar.

Dosel y luz

El IAF del eucalipto (IAFe) fue 1.7 ± 0.07 y la CC 44.1 ± 1.68 %. Aunque el IAFe determina en gran medida la magnitud de la RFA bajo el dosel, en este estudio la variación estacional en la RFA no se relacionó con el IAFe de acuerdo con el análisis de regresión. Posiblemente la nubosidad en la época de lluvias causó la reducción de RFA ya que la radiación global sí mantuvo un patrón similar al de la RFA (Figura 3). La RFA promedio en el CA fue $1547 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, un 75 % más que en PE ($367 \pm 38.14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), y la menor RFA en PE ocurrió de julio a noviembre, durante los meses de lluvia (Figura 2).

Los valores promedio diarios de RFA en PE fueron bajos debido a la heterogeneidad y menor radiación durante la mañana y la tarde (Figura 4). Conforme transcurrió el día, las plantas bajo el dosel arbóreo enfrentaron variaciones en la radiación dada por la proporción de luz difusa reflejada y de luz directa resultante de los pulsos de luz de alta intensidad que atraviesan el dosel. La caracterización de los pulsos de luz mostró que el pasto puede recibir pulsos de luz de alta intensidad a ciertas horas del día y en relación a la alineación de las líneas de árboles y el ángulo de inclinación del sol; así, a las 11 y 13 h la proporción de pulsos de alta intensidad fue mayor que a las 12 h o en horas de la mañana y tarde. En la absorción de CO_2 existe un retraso entre los procesos bioquímicos y el movimiento estomático y, por tanto, la duración y continuidad

the rains in 2009 with the proportion of the previous year, in spite of a similar annual precipitation.

Canopy and light

The eucalypt LAI (LAIe) was 1.7 ± 0.07 and the CC $44.1 \pm 1.68\%$. Although the LAIe determines to a great degree the magnitude of PAR under the canopy, in this study the seasonal variation in PAR was not related to the LAIe according to the regression analysis. Possibly, cloudiness during the rainy season caused the reduction of PAR since the global radiation maintained a similar pattern to PAR (Figure 3). The average PAR in OF was $1547 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, around 75 % more than in EP ($367 \pm 38.14 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), and the lower PAR in EP occurred from July to November, during the rainy months (Figure 2).

The average daily PAR values in EP were low due to the heterogeneity and lower radiation during the morning and the afternoon (Figure 4). As the day went by, plants under the tree canopy faced variations in the radiation given by the proportion of reflected diffuse light and direct light which results from the high intensity sunflecks which go through the canopy. The characterization of sunflecks showed that grass can receive high intensity light pulses at certain hours of the day and in relation to the alignment

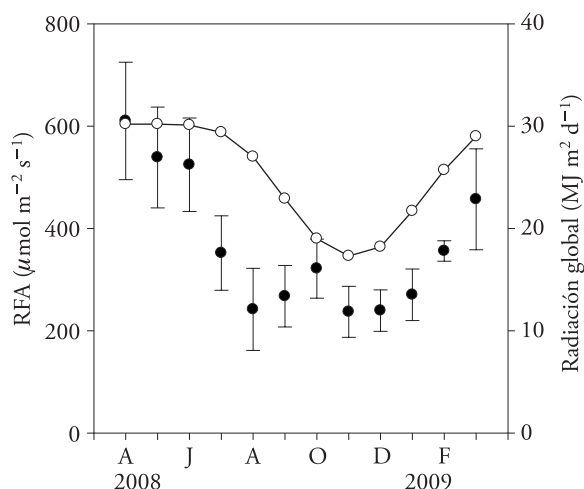


Figura 3. Promedio diario de radiación fotosintéticamente activa (●) en plantación de eucalipto y radiación global (○) en campo abierto.

Figure 3. Daylight average of photosynthetically active radiation (●) in eucalypt plantation and global radiation (○) in open field.

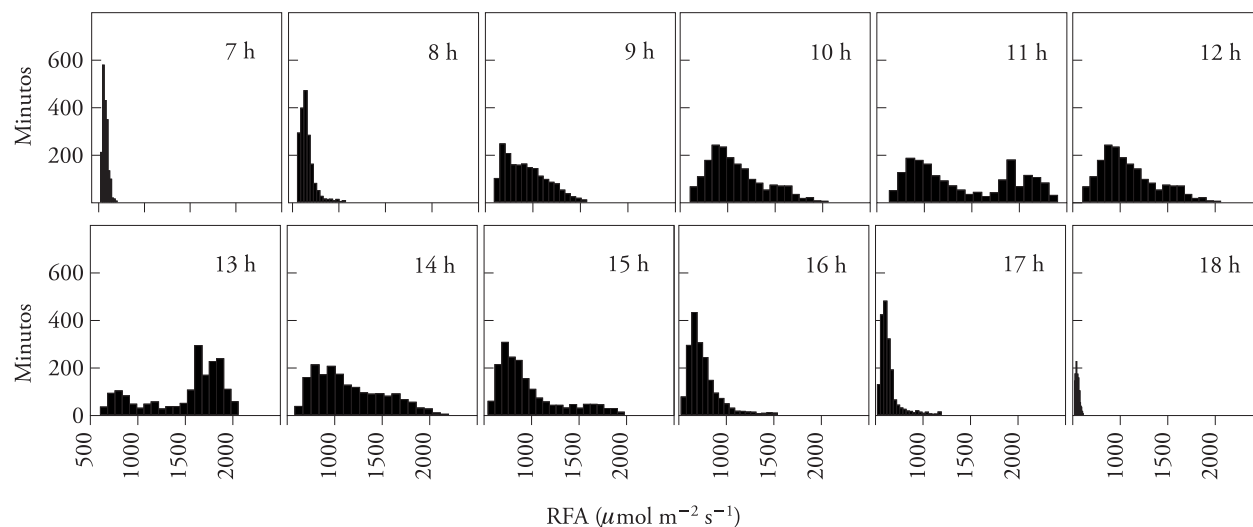


Figura 4. Duración de pulsos de luz de acuerdo con la intensidad de irradiación de RFA durante las horas del día, mayo de 2008, en una plantación de eucalipto.

Figure 4. Duration of sunflecks based on the intensity of PAR irradiation during the hours of the day, May 2008, in a eucalypt plantation.

de los pulsos de luz es importante (Percy *et al.*, 1991).

Tasa de crecimiento (TC) de *C. gayana*

Las TC máximas de Rhodes fueron 75 ± 4.0 y 48 ± 2.1 kg MS $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$, en CA y PE, presentando un patrón estacional con el pico en julio y agosto. La TC fue similar entre los ambientes, en septiembre y de diciembre a mayo (Figura 5A). La plantación de eucalipto no tenía un dosel denso, pero la competencia por los recursos posiblemente fue más fuerte que lo sugerido por los indicadores de LAIe y CC respecto a la TC. La relación entre la transmisión de luz y el crecimiento de gramíneas o leguminosas bajo el dosel es negativa (Benavides *et al.*, 2009). Para especies perennifolias, como el pino, la extinción en la producción de forraje ocurre con CC de 67 % (Knowles *et al.*, 1999) y para árboles caducifolios, como el álamo, hasta 85 % (McElwee y Knowles, 2000). Respecto a eucaliptos, la densidad de árboles no afecta la acumulación de MS de una pradera dominada por *C. gayana*, aún cuando la competencia por agua en el suelo pudo ser un factor importante en las condiciones de precipitación menor al promedio; es notable que *C. gayana* permaneciera verde en comparación con otros pastos presentes y la disminución en la composición botánica de leguminosas (Dunn *et al.*,

of tree lines and the sun inclination angle; thus, at 11 and 13 h the proportion of sunflecks was higher than at 12 h or in morning and afternoon hours. In the absorption of CO_2 there is a delay between the biochemical processes and the stomatal movement and, therefore, the duration and continuity of sunflecks pulses is important (Percy *et al.*, 1991).

Growth rate (GR) of *C. gayana*

The maximum Rhodes GR were 75 ± 4.0 and 48 ± 2.1 kg DM $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$, in OF and EP, presenting a seasonal pattern with a peak in July and August. The GR was similar between environments in September and from December to May (Figure 5A). The eucalypt plantation did not have a dense canopy, but competition over the resources was possibly stronger than what was suggested by indicators of the LAIe and CC with regards to the GR. The relationship between light transmission and the growth of grasses or leguminous plants under the canopy is negative (Benavides *et al.*, 2009). For evergreen species, such as pine, extinction in pasture production occurs with a CC of 67 % (Knowles *et al.*, 1999) and for deciduous trees, such as the poplar, of up to 85 % (McElwee and Knowles, 2000). With regards to eucalypts, the tree density does not affect DM accumulation in a pastureland dominated by

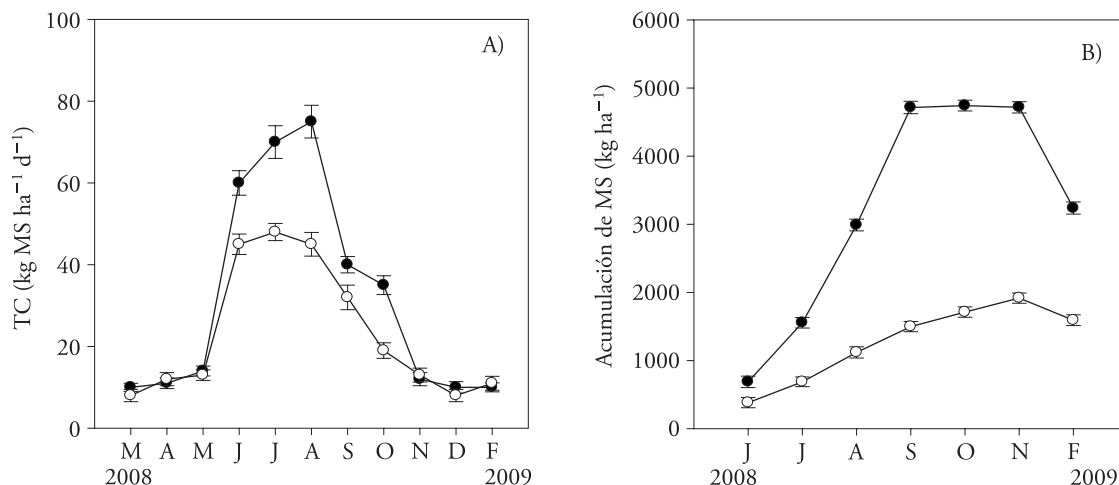


Figura 5. Tasa de crecimiento mensual de Rhodes (TC, A) y acumulación de materia seca (AMS) durante la temporada de lluvia (B) en la plantación de eucalipto (○) y en el campo abierto (●).
Figure 5. Monthly Rhodes growth rate (GR, A) and dry matter accumulation (DMA) during the rainy season (B) in the eucalypt plantation (○) and in the open field (●).

1994). En el periodo de buen crecimiento del pasto la acumulación de MS de *C. gayana* fue <4 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ bajo el dosel de eucalipto con 94 % CC, mientras que a 8 m del borde de la plantación se obtuvo 68 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ (Robinson, 1991). En otro sistema agroforestal con álamos con CC de 66 %, las especies C₃ acumularon 58 % de los 10.6 Mg MS ha⁻¹ año⁻¹ del campo abierto (Guevara-Escobar *et al.*, 2007). Un referente de la mejor producción de *C. gayana* es en Australia Occidental donde se reportan 26.2 Mg MS ha⁻¹ año⁻¹ en praderas con riego, 882 mm de precipitación y temperaturas máxima y mínima promedio de 23.1 y 13.0 °C (Roberts y Carbon, 1969).

La RFA promedio mensual no explicó la TC (p=0.13); el mejor modelo para representar el efecto ambiental durante el año en CA fue $TC = -50.9 + 390 \theta_{0.1m}$, (r^2 aj=0.79; p≤0.0001), y en PE fue $TC = -59.5 + 4.46 T_{min} + 465 \theta_{0.4m} - 333 \theta_{0.1m}$, (r^2 aj=0.95; p≤0.0001). Considerando la suma de cuadrados de los modelos, el recurso limitante para la TC fue la humedad del suelo superficial, porque además en primavera se necesitó aproximadamente 20 % v/v de $\theta_{0.1m}$ para promover la TC en los dos ambientes. Para el PE la T_{min} también representó un factor limitante. Posiblemente, otras especies o un cultivar de *C. gayana* con mejor desempeño a menor temperatura sea más adecuado para la situación subtropical examinada (Komatsu y Shoji, 2005). Sin

C. gayana, even when competition over water in the soil could be an important factor in conditions of precipitation lower than average; is it noteworthy that *C. gayana* remained green in comparison to other grasses present and the decrease in the botanical composition of leguminous plants (Dunn *et al.*, 1994). During the period of good grass growth, the *C. gayana* DM accumulation was <4 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ under the eucalypt canopy with 94 % CC, while at 8 m from the plantation edge, 68 kg DM ha⁻¹ d⁻¹ was obtained (Robinson, 1991). In another agroforestry system with poplars with a CC of 66 %, the C₃ species accumulated 58 % of the 10.6 Mg DM ha⁻¹ yr⁻¹ in the open field (Guevara-Escobar *et al.*, 2007). A reference of the better production of *C. gayana* is in Western Australia where 26.2 Mg DM ha⁻¹ yr⁻¹ were reported in pasturelands with irrigation, 882 mm of precipitation and average maximum and minimum temperatures of 23.1 and 13.0 °C (Roberts and Carbon, 1969).

The monthly average PAR did not explain the GR (p=0.13); the best model to represent the environmental effect during the year in OF was $GR = -50.9 + 390 \theta_{0.1m}$, (r^2 aj=0.79; p≤0.0001), and in EP it was $GR = -59.5 + 4.46 T_{min} + 465 \theta_{0.4m} - 333 \theta_{0.1m}$, (r^2 aj=0.95; p≤0.0001). Taking into consideration the sum of squares in the models, the limiting resource for GR was superficial soil moisture, because in addition, in the spring

embargo, la T_{\min} fue menor en CA pero los modelos de TC sugieren que la T_{\min} sólo fue importante bajo sombra. Una explicación para la poca contribución de la RFA en la variabilidad de TC puede ser que la mayor intensidad de RFA ocurrió en los meses con menor TC, aunque también es posible que los pulsos de luz a ciertas horas del día fueran suficientes para mantener la TC y no necesariamente la RFA promedio durante el día.

Acumulación de materia seca de *C. gayana*

La AMS durante la temporada de lluvia alcanzó el mayor valor en septiembre en CA y en noviembre en PE, y la acumulación fue 59 % menor en PE (Figura 5B). Al primer momento de máxima disponibilidad de AMS, en septiembre (Figura 5B), las cantidades disponibles fueron 4.7 y 1.7 Mg MS ha⁻¹. La tendencia en la AMS en CA presentó una meseta de septiembre a noviembre, mientras que en PE la AMS siguió ascendiendo a una tasa constante hasta noviembre; de acuerdo a observaciones en el sitio, estas tendencias posiblemente resultaron de una fase vegetativa más larga en PE. En ambos ambientes la AMS disminuyó al final del periodo estudiado, posiblemente debido a la senescencia y la herbivoría por la fauna nativa presente en el sitio.

Relación entre IAF y TC de *C. gayana*

De acuerdo con las mediciones realizadas en agosto y septiembre de 2008, los coeficientes de regresión para la relación entre IAF y la TC de *C. gayana* fueron semejantes entre ambientes ($p=0.051$). El IAF del pasto explicó poca variación en la TC: $TC=172+44.2 \text{ IAF}$ ($r^2=0.24$; $p=0.012$). Aunque el IAF es una medida relativamente sencilla y menos laboriosa en relación a la TC, el modelo de regresión no fue recomendable para sustituir las mediciones de TC. No obstante, para *D. glomerata* en un sistema agroforestal la relación entre IAF y TC fue buena ($r^2=0.93$; Peri *et al.*, 2007). En otro estudio el IAF explicó 34 % de la variación de la MS acumulada de *Bouteloua* spp. (Ganguli *et al.*, 2000). No hay muchos estudios sobre la relación entre el IAF y la TC pero es posible que la arquitectura del dosel, el tamaño y la densidad de tallos y macollos deban tomarse en cuenta en la relación, ya que la masa y densidad tallos se compensa de manera inversamente proporcional

aproximadamente 20 % v/v of $\theta_{0.1m}$ was needed to promote the GR in the two environments. For EP, the T_{\min} also represented a limiting factor. Possibly, other species or a *C. gayana* cultivar with better yield at a lower temperature would be more adequate for the subtropical situation examined (Komatsu and Shoji, 2005). However, the T_{\min} was less in the OF but the GR models suggest that the T_{\min} was only important under shade. An explication for the low contribution of PAR in the GR variability could be that the greater intensity of PAR occurred in the months with less GR, although it is possible that the sunflecks at certain hours of the day were enough to maintain the GR and not necessarily the average PAR during the day.

Chloris gayana dry matter accumulation

The DMA during rainy season reached the highest value in September in OF and in November in EP, and the accumulation was 59 % less in EP (Figure 5B). At the first moment of maximum availability of DMA, in September (Figure 5B), the amounts available were 4.7 and 1.7 Mg DM ha⁻¹. The DMA tendency in OF presented a plateau from September to November, while in EP the DMA continued to increase at a constant rate until November; according to observations made in the site, these tendencies were possibly the result from a longer vegetative phase in EP. In both environments, the DMA decreased at the end of the period studied, possibly as a result from the senescence and herbivorous native fauna present in the site.

Relation between *C. gayana* LAI and GR

According to the measurements carried out in August and September 2008, regression coefficients for the relation between LAI and GR in *C. gayana* were similar between environments ($p=0.051$). The grass LAI explained the low variation in GR: $GR=172+44.2 \text{ LAI}$ ($r^2=0.24$; $p=0.012$). Although LAI is a relatively simple measurement and less laborious with regards to the GR, the regression model could not be recommended as a substitute for GR measurements. However, for *D. glomerata* in an agroforestry system, the relationship between LAI and GR was good ($r^2=0.93$; Peri *et al.*, 2007). In another study, LAI explained 34 % of the variation

con la masa y número de hojas (Matthew *et al.*, 1995), además de las diferencias en masa y densidad de tallos y hojas.

El IAF de Rhodes fue diferente entre los ambientes en agosto y septiembre de 2008: en CA fue 3.8 y 3.2 y, en PE 1.3 y 1.4 ± 0.1 ($p \leq 0.0001$). La TC es óptima cuando el IAF se desarrolla al punto donde las hojas inferiores del dosel reciben una cantidad de RFA apenas por debajo de su punto de compensación de luz (Gosse *et al.*, 1988). Para *L. perenne* el IAF óptimo es entre 2 y 3 cuando se someten a defoliación continua simulada (King *et al.*, 2006). Con defoliación cada cuatro semanas se obtuvo la mejor acumulación de MS de *C. gayana* (Ricci *et al.*, 1997). En el presente estudio no se examinaron frecuencias de corte, pero el $IAF > 3.2$ en CA sugirió al intervalo de 30 d como adecuado, pero en PE ese intervalo no fue suficiente para lograr un IAF similar. El pasto bajo eucalipto necesitaría un intervalo de defoliación más largo debido a la competencia por luz y agua.

Discusión general

La reducción en la TC bajo sombra se debe a una menor tasa de fotosíntesis asociada a menor intensidad de RFA y disminución en los constituyentes en la cadena de transporte de electrones y carboxilasas (Peri *et al.*, 2007). Sin embargo, especies C_4 como *Andropogon gerardii*, *Panicum virgatum* o *Sorghastrum nutans* acumulan más biomasa aérea en relación a especies C_3 cuando la sombra artificial es de 50 a 80 % (Lin *et al.*, 1999). Considerando la distribución estacional de RFA (Figura 3), las condiciones de crecimiento para Rhodes durante la época de estiaje (octubre-mayo) podrían mejorarse escogiendo entre modelos de plantación donde la orientación de las hileras de árboles sea más adecuada para el crecimiento del pasto. La modificación del azimut de las hileras de árboles se evaluó en un modelo tridimensional de la arquitectura del dosel para mejorar la disponibilidad de luz en el sotobosque (Leroy *et al.*, 2009). Del mismo modo, esta variación estacional del RFA puede servir de base para definir investigaciones donde se explore la respuesta de las gramíneas a estímulos luminosos de distinta intensidad y duración.

Aunque la TC fue inferior a $15 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en PE y CA durante el invierno y primavera, es importante identificar el recurso limitante en estas

de la *Bouteloua* spp. DM acumulada (Ganguli *et al.*, 2000). There are not many studies about the relationship between LAI and GR but it is possible that the canopy architecture, the size and density of stems and tillers should be taken into account for the relation, since the mass and density of stems is compensated in an inversely proportional manner with the mass and number of leaves (Matthew *et al.*, 1995), in addition to the differences in mass and density of stems and leaves.

The Rhodes LAI was different between the environments in August and September of 2008: in OF it was 3.8 and 3.2, and in EP 1.3 and 1.4 ± 0.1 ($p \leq 0.0001$). The GR is optimal when the LAI develops to the point when lower leaves in the canopy receive an amount of PAR barely below their point of light compensation (Gosse *et al.*, 1988). For *L. perenne* the optimal LAI is between 2 and 3 when they are subject to continuous simulated defoliation (King *et al.*, 2006). With defoliation every four weeks there was a better *C. gayana* DM accumulation (Ricci *et al.*, 1997). In this study, cutting frequencies were not examined, but the $LAI > 3.2$ in OF suggested an interval of 30 d as adequate, but in EP this interval was not enough to achieve a similar LAI. The grass under eucalypt would need a longer defoliation interval due to the competition over light and water.

General discussion

The reduction of the GR under shade is due to a lower rate of photosynthesis associated to a lower PAR intensity and a decrease in the constituents in the electron and carboxyl transport chain (Peri *et al.*, 2007). However, C_4 species such as *Andropogon gerardii*, *Panicum virgatum* or *Sorghastrum nutans* accumulate more aerial biomass in relation to C_3 species when artificial shade is 50 to 80 % (Lin *et al.*, 1999). Taking into account the seasonal distribution of PAR (Figure 3), growth conditions for Rhodes during the dry season (October-May) could improve by choosing between planting models where the direction of tree lines be more adequate for grass growth. Changing the azimuth of tree lines was evaluated in a tridimensional model of canopy architecture to improve the availability of light in the undergrowth (Leroy *et al.*, 2009). Likewise, this seasonal variation in PAR could serve as the basis to define research where the response of grasses to light

estaciones porque el forraje es escaso y la contribución de PE podría ser más valiosa. Respecto a la RFA, los niveles en PE fueron altos durante el invierno y primavera en comparación con el tiempo cuando la TC fue máxima, de manera que se puede descartar como limitante (Figura 3). Considerando las relaciones entre TC y variables ambientales, además de la menor θ en PE respecto de CA en el estrato 0-0.4 m durante estas estaciones, es posible que los eucaliptos compitieran fuertemente por el agua en el suelo. Sin embargo, el ambiente en PE debió compensar menor RFA y θ para obtener una TC similar a CA, posiblemente resultante de mayor T_{\min} .

CONCLUSIONES

La tasa de crecimiento de Rhodes durante la temporada de lluvias fue menor cuando creció asociado a eucalipto en comparación con campo abierto, pero sin diferencia en septiembre, invierno y primavera. La mayor acumulación de materia seca de Rhodes ocurrió en septiembre, después de tres meses de crecimiento y también fue menor en asociación con eucalipto. La humedad del suelo en los primeros 0.4 m y la temperatura mínima influyeron en la tasa de crecimiento del pasto. La variación en el índice de área foliar explicó una baja proporción de la variación en la tasa de crecimiento. El dosel arbóreo amortiguó la reducción en la temperatura mínima durante la noche y primeras horas de la mañana en mayor magnitud que en campo abierto.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue apoyado por el Fondo CONACyT-CONAFOR en el proyecto 39078. Agradecemos las facilidades otorgadas por Nicolás y Alejandro Orozco para realizar el estudio de campo, a los revisores por sus observaciones constructivas que enriquecieron al documento y a los estudiantes de la Universidad Autónoma de Querétaro involucrados en las distintas etapas de la investigación.

LITERATURA CITADA

Barradas V. L., H. G. Jones, and J. A. Clarck. 1998. Sunfleck dynamics and canopy structure in a *Phaseolus vulgaris* L. canopy. *Int. J. Biometeorol.* 42: 34-43.
Benavides R., G. B. Douglas, and K. Osoro. 2009. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. *Agrofor. Syst.* 76: 327-350.

stimuli of different intensity and duration could be explored.

Although the GR was lower than $15 \text{ kg DM ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ in EP and OF during the winter and spring, it is important to identify the limiting resource in these seasons because pasture is scarce and the contribution of the EP could be more valuable. With regards to PAR, the levels in EP were high during the winter and spring in comparison to the time when the GR was maximum, so that it can be ruled out as a limiting factor (Figure 3). Taking into consideration the relationship between GR and environmental variables, in addition to the lower θ in EP with regards to OF in the 0-0.4 stratum during these seasons, it is possible that eucalypts compete strongly for water in the soil. However, the EP environment must compensate a lower PAR and θ to obtain a similar GR in OF, possibly resulting from a higher T_{\min} .

CONCLUSIONS

The Rhodes growth rate during rainy season was lower when it grew associated to eucalypt in contrast with the open field, but without differences in September, winter and spring. The greatest Rhodes dry matter accumulation happened in September, after three months of growth and it was also lower in association with eucalypt. The soil moisture in the first 0.4 m and the minimum temperature influenced the grass growth rate. The variation in the leaf area index explained a low proportion of the variation in the growth rate. The tree canopy lessened the impact of the minimum temperature reduction during the night and first hours in the morning in a higher magnitude than in the open field.

—End of the English version—



Blennow, K. 1998. Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests. *Agric. For. Met.* 91: 223-235.
Cabrelli D., S. Rebotaro, y D. Efron. 2006. Caracterización del dosel forestal y del microambiente lumínico en rodales con diferente manejo, utilizando fotografía hemisférica. *Quebracho* 13: 17-25.
Carter M. R., and E. G. Gregorich. 2010. Carbon and nitrogen storage by deep-rooted tall fescue (*Lolium arundinaceum*) in the surface and subsurface soil of a fine sandy loam in eastern Canada. *Agric. Ecosyst. Environ.* 136: 125-132.

- Dawson L. A., E. I. Duff, C. D. Campbell, and D. J. Hirst. 2001. Depth distribution of cherry (*Prunus avium* L.) tree roots as influenced by grass root competition. *Plant Soil* 231: 11-19.
- Dunn G. M., K. F. Lowe, D. W. Taylor, and T. M. Bowdler. 1994. Early tree and pasture growth in an agroforestry system evaluating *Albizia lebbek*, *Casuarina cunninghamiana* and *Eucalyptus maculata* in south-east Queensland. *Trop. Grasslands* 28: 170-181.
- Ganguli A. C., L. T. Vermeire, R. B. Mitchell, and M. C. Wallace. 2000. Comparison of four nondestructive techniques for estimating standing crop in shortgrass plains. *Agron. J.* 92: 1211-1215.
- García E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México. 91 p.
- Gosse G., G. Lemaire, M. Chartier, and F. Balfourier. 1988. Structure of a Lucerne population (*Medicago sativa* L.) and dynamics of stem competition for light during regrowth. *J. Appl. Ecol.* 25: 609-617.
- Guevara-Escobar A., G. J. Telléz, and E. González-Sosa. 2005. Use of digital photography for analysis of canopy closure. *Agrofor. Syst.* 65: 175-185.
- Guevara-Escobar, A., P. D. Kemp, A. D. Mackay, and J. Hodgson. 2007. Pasture production and composition under poplar in a hill environment in New Zealand. *Agrofor. Syst.* 69: 199-213.
- Holmes, C. W., and G. F. Wilson. 1987. Milk Production from Pasture. Butterworths of New Zealand Ltd., Wellington, New Zealand. 319 p.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2007. Extractor Rápido de Información Climatológica ERIC III. CD-ROM, México.
- King, J., S. A. Grant, L. Torvell, and E. M. Sim. 2006. Growth rate, senescence and photosynthesis of ryegrass swards cut to maintain a range of values for leaf area index. *Grass Forage Sci.* 39: 371-380.
- Knowles, R. L., G. C. Horvath, M. A. Carter, and M. F. Hawke. 1999. Developing a canopy closure model to predict overstory/understory relationships in *Pinus radiata* silvopastoral systems. *Agrofor. Syst.* 43: 109-11.
- Leroy, C., S. Sabatier, N. S. Wahyuni, J. F. Barczy, J. Dautant, M. Laurans, and D. Auclair. 2009. Virtual trees and light capture: a method for optimizing agroforestry stand design. *Agrofor. Syst.* 77: 37-47.
- Lin, C. H., R. L. McGraw, M. F. George, and H. E. Garrett. 1999. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. *Agrofor. Syst.* 44: 109-119.
- Matoso-Campanha, M., R. H. Silva-Santos, G. B. de Freitas, H. E. Prieto-Martinez, S. L. Ribeiro-Garcia, and F. L. Finger. 2004. Growth and yield of coffee plants in agroforestry and monoculture systems in Minas Gerais, Brazil. *Agrofor. Syst.* 63: 75-82.
- Matthew, C., G. Lemaire, N. R. Sackville-Hamilton, and A. Hernández-Garay. 1995. A modified self-thinning equation to describe size/density relationships for defoliated swards. *Annals Bot.* 76: 579-587.
- McElwee, H., and R. L. Knowles. 2000. Estimating canopy closure and understory pasture production in New Zealand grown poplar plantations. *N. Z. J. For. Sci.* 30: 422-435.
- Morais, H., P. H. Caramori, A. M. de Arruda-Ribeiro, J. C. Gomes, and M. Sei-Kogushi. 2006. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. *Pesq. Agrop. Bras.* 5: 763-770.
- Nobis, M., and U. Hunziker. 2005. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agric. For. Meteorol.* 128: 243-250.
- Pearcy, R. W., T. L. Pons, and G. F. Sassenrath. 1991. Dynamic limitations to photosynthetic gas exchange in a soybean canopy. *In: Abrol Y. P., P. N. Govindjee-Wattal, D. R. Ort, A. Gnanam, and A. H. Teramura (eds). Impact of Global Climatic Changes on Photosynthesis and Plant Productivity.* Oxford, England. pp: 525-538.
- Pérez-Bribiesca, M. T., H. A. Garay, P. J. Pérez, H. J. G. Herrera, G. R. Bárcena. 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Téc. Pec. Méx.* 40: 251-263.
- Peri, P. L., R. J. Lucas, and D. J. Moot. 2007. Dry matter production, morphology and nutritive value of *Dactylis glomerata* growing under different light regimes. *Agrofor. Syst.* 70: 63-79.
- Ricci, H. R., L. P. Guzmán, P. G. Pérez, V. P. Juárez., y A. M. Díaz. 1997. Producción de materia seca de siete gramíneas tropicales bajo tres frecuencias de corte. *Pasturas Tropicales* 19: 45-49.
- Roberts, F. J., and B. A. Carbon. 1969. Growth of tropical and temperate grasses and legumes under irrigation in South-West Australia. *Trop. Grasslands* 3: 109-116.
- Robinson, J. B. 1991. The growth of *Chloris gayana* within and adjacent to a plantation of *Eucalyptus grandis*. *Trop. Grasslands* 25: 287-290.
- SAS Institute. 1997. SAS/STAT user's guide. The SAS system for Windows. Release. 6.12 SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Steel, R. G. D., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics. 3rd ed. McGraw-Hill Company. New York, USA. 633 p.
- Valente, F., J. S. David, and J. H. C. Gash. 1997. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forests in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *J. Hydrol.* 190: 141-162.