

PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA AÉREA EN PLANTACIONES COMERCIALES DE *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake EN HUIMANGUILLO, TABASCO, MÉXICO

ABOVE-GROUND NET PRIMARY PRODUCTIVITY IN COMMERCIAL *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake PLANTATIONS IN HUIMANGUILLO, TABASCO, MEXICO

Adrián Hernández-Ramos¹, José R. Valdez-Lazalde^{1*}, Gregorio Ángeles-Pérez¹, Héctor M. de los Santos-Posadas¹, Jonathan Hernández-Ramos², Alicia Peduzzi³, Omar Carrero⁴

¹Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. 56230. Carretera México-Texcoco Km. 36.5. Montecillo, Estado de México. (adrian.hernandezr90@gmail.com) (valdez@colpos.mx). ²Campo Experimental Chetumal, INIFAP. 77900. Km. 25, Carretera Chetumal-Bacalar, Chetumal, Quintana Roo. ³Research Forester, US Forest Service. 11 Campus Blvd. Ste. 200 Newtown Square, United States. ⁴GRANFLOR. Avenida Carlos Gomes, 1200 CJ. 502-Bairro Mont Serrat-Porto Alegre, Rio Grande del Sur, Brasil.

RESUMEN

La productividad primaria neta aérea (PPNA) es un indicador del rendimiento de las plantaciones. El objetivo del estudio fue estimar la producción de hojarasca y PPNA en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake en Huimanguillo, Tabasco, México. La hipótesis nula fue que la PPNA disminuye con el aumento de la edad. Para estimar la PPNA se consideró: 1) la producción total anual de hojarasca (PTH), estimada con la información de 112 trampas de captura, distribuidas en plantaciones de 1 a 7 años de edad, y mediciones mensuales de caída de hojarasca; 2) el incremento en biomasa por sitio, estimado con la biomasa inicial y final de 28 sitios de muestreo de 500 m², distribuidos en las plantaciones con un diseño experimental completamente al azar. La estimación de la PTH e incrementos en biomasa se realizó por componentes y total con las ecuaciones de biomasa reportadas para la especie. Para detectar las diferencias en PTH y PPNA por edad se aplicó ANDEVA y la prueba Tukey para comparación de las medias. El promedio de la PTH en las plantaciones fue 4.289 Mg ha⁻¹ año⁻¹, la producción mayor fue a la edad de 7 años (5.628 Mg ha⁻¹ año⁻¹). El pico de caída de hojarasca se obtuvo de abril a junio (37.9 % del total anual). La producción menor correspondió al inicio de los meses de lluvia (julio a septiembre). La PPNA promedio fue 26.26 Mg ha⁻¹ año⁻¹, equivalente a 84.0 % de incremento en biomasa y 16.0 % de caída de hojarasca, y la mayor

ABSTRACT

The above-ground net primary productivity (ANPP) is an indicator of the plantations' performance. The objective of this study was to estimate litterfall production and ANPP in commercial *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake forest plantations in Huimanguillo, Tabasco, Mexico. The null hypothesis was that ANPP decreases as age increases. In order to estimate ANPP, we considered: 1) The annual total litterfall production (TLP), according to the information from 112 litter-traps, distributed in 1-7 years old plantations, and monthly litterfall measurements; 2) the increment in biomass per site, estimated with the initial and final biomass of 28 sampling sites (500 m²), distributed in plantations with a completely randomized experimental design. Biomass equations reported for this species were used to estimate the TLP and the biomass increment, both by component and total. ANOVA and Tukey's multiple comparison test were applied in order to detect TLP and ANPP differences by plantation age. The plantations' TLP average was 4.289 Mg ha⁻¹ year⁻¹; the highest production was achieved at 7 years-old plantation (5628 Mg ha⁻¹ year⁻¹). Peak litterfall was obtained from April to June (37.9 % of the annual total). The lower production matched the beginning of the rainy season (July to September). The average ANPP was 26.26 Mg ha⁻¹ year⁻¹, equivalent to an 84.0 % and a 16.0 % increment in biomass and litterfall, respectively. The highest production was achieved in one- and two-years plantations. Plantations show higher biomass growth in younger age.

Key words: Above-ground biomass, litterfall, biomass increment.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2016. Aprobado: agosto, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 343-358. 2017.

se presentó en plantaciones con edades de uno y dos años. Las plantaciones presentan crecimiento mayor de biomasa en edades tempranas.

Palabras clave: Biomasa aérea, incremento en biomasa, hojarasca.

INTRODUCCIÓN

El aumento en la superficie de plantaciones forestales con fines comerciales o de restauración ha contribuido a disminuir la presión sobre los bosques naturales (FAO, 2006). Las plantaciones con fines comerciales ofertan parte de la materia prima forestal que es demandada a los recursos forestales y son una alternativa de producción económica y social (Alice *et al.*, 2004; FAO, 2015). Además, la oferta de madera de plantaciones, en comparación a la de los bosques naturales, presenta ventajas competitivas debido a los costos de producción y precios menores de la madera y es una alternativa para disminuir la presión hacia los recursos naturales, principalmente a los bosques tropicales, que presentan una de las tasas de pérdida y degradación mayor en el mundo, comparado con otros ecosistemas (Velázquez *et al.*, 2002; FAO, 2006). Por ello, el consumo de recursos de los bosques naturales se ha remplazado en gran medida por productos de plantaciones forestales comerciales (PFC) (FAO, 2015).

La biomasa en pie es un indicador de la productividad, del potencial energético y de la capacidad de absorción de carbono de las plantaciones forestales. Este indicador permite conocer el estado de desarrollo de la plantación y el potencial de rendimiento en volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de una especie, en un lugar específico, a cierta edad y con un determinado tipo de manejo (Castañeda-Mendoza *et al.*, 2012). Para conocer la dinámica de producción de biomasa de las PFC debe estimarse su productividad. La productividad primaria bruta (PPB) es un indicador que incluye la cantidad total de materia orgánica nueva (biomasa) fijada por las plantas en un intervalo de tiempo y área, sin considerar las pérdidas generadas por respiración. Para conocer la cantidad de biomasa que se fijó o se destinó a cada estructura de la planta, en un intervalo de tiempo, se recomienda estimar la productividad primaria neta aérea (PPNA) que es la diferencia de PPB menos la respiración total necesaria para el crecimiento de

INTRODUCTION

The increase in the area of commercial or restoration forest plantations has contributed to decrease the pressure over natural forests (FAO, 2006). Commercial plantations partially offer the forest raw materials that would otherwise be required from forest resources and represent an economic and social production alternative (Alice *et al.*, 2004; FAO, 2015). In addition —compared to natural forests—, the offer of plantation timber has competitive advantages, as a result of lower production costs and timber prices, and it is an alternative that reduces the pressure over natural resources —mainly over tropical forests, which suffer one of the highest deforestation and degradation rates in the world compared to other ecosystems (Velázquez *et al.*, 2002; FAO, 2006). Therefore, the natural forest resources consumption has been largely replaced by commercial forest plantations (CFP) products (FAO, 2015).

Living biomass is an indicator of the productivity, energy potential, and carbon absorption capacity of forest plantations. This indicator shows the plantation's development status and the performance potential of a single species in terms of volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), in a specific place, at a certain age, and with a particular management type (Castañeda-Mendoza *et al.*, 2012). CFPs' productivity must be estimated in order to find out their biomass production dynamics. Gross primary productivity (GPB) is an indicator that includes the total amount of new organic matter (biomass) fixed by plants in a time interval and given area, without taking into consideration the losses generated by respiration. In order to find out the amount of biomass that was fixed or destined to each structure of the plant (in a time interval), it is recommended to estimate the above-ground net primary productivity (ANPP), which is the GPB minus the total respiration required for plant growth within the ecosystem (Grier *et al.*, 1989; Clark *et al.*, 2001a; Li *et al.*, 2015).

In order to obtain an accurate estimation of ANPP in CFP, we need to subtract the estimation of the trees' respiration and to consider as ANPP the integration of two factors: the total increment of living biomass and the biomass losses as a result of the fall of fine detritus (litterfall) in a time interval (Clark *et al.*, 2001a; Salas and Infante, 2006; Smith

las plantas dentro del ecosistema (Grier *et al.*, 1989; Clark *et al.*, 2001a; Li *et al.*, 2015).

Para obtener una estimación precisa de la PPNA en PFC es necesario obviar la estimación de la respiración de los árboles y considerar como PPNA la integración de dos factores: el aumento total de biomasa viva y las pérdidas de biomasa por la caída de detritos finos (hojarasca) en un intervalo de tiempo (Clark *et al.*, 2001a; Salas e Infante, 2006; Smith y Smith, 2007). La hojarasca es el material vegetal fino acumulado sobre el suelo (hojas, flores, frutos, semillas y ramas) y su degradación permite la circulación de nutrientes en el ecosistema y mantiene su fertilidad (Salas e Infante, 2006; González *et al.*, 2013; Marmolejo *et al.*, 2013). La integración positiva de estos dos componentes para estimar la PPNA representa el aumento en la acumulación de biomasa en las PFC en un tiempo establecido (Miquelajauregui, 2013). El aumento en biomasa permite cuantificar las existencias maderables en bosques naturales y en plantaciones, valor necesario para ofertar productos a la industria forestal de aserrío o de celulósicos.

El objetivo de nuestro estudio fue estimar la producción de hojarasca y la productividad primaria neta aérea en plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake en Huimanguillo, Tabasco, México. Esto es para conocer la dinámica de productividad en biomasa de las plantaciones en un año de crecimiento. La hipótesis nula fue que la PPNA disminuye conforme la edad aumenta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en plantaciones forestales comerciales de *E. urophylla* establecidas en el municipio de Huimanguillo, Tabasco, México, (17° 55' N, 94° 06' O y altitud promedio de 30 m) (Figura 1). El clima es cálido húmedo (Am), con lluvias abundantes en verano, precipitación media anual de 2500 mm y temperatura media anual de 26 °C. Los suelos en los que se desarrollan son de tipo Phaeozem (INEGI, 2005).

Caracterización de las plantaciones

Las plantaciones en las que se desarrolló el estudio presentan edades entre 1 y 7 años. El espaciamiento es de 2×3 o de

and Smith, 2007). Litterfall is fine plant material accumulated over the soil (leaves, flowers, fruits, seeds, and branches). Its degradation is a process that allows the nutrients to circulate in the ecosystem and maintains the soil fertility (Salas and Infante, 2006; González *et al.*, 2013; Marmolejo *et al.*, 2013). The positive integration of these two components to estimate NPP represents the increment in the biomass accumulation in CFPs in a fixed time (Miquelajauregui, 2013). The biomass increment enables the quantification of timber-yielding stocks in natural forests and plantations, a value necessary to offer products to the forest sawmill or pulp industry.

The objective of our study was to estimate the litterfall production and the above-ground net primary productivity in commercial *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake forest plantations in Huimanguillo, Tabasco, Mexico. This was done in order to find out the productivity biomass dynamics in the plantations in a year of growth. The null hypothesis was: as age increases, ANPP decreases.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was carried out in commercial *E. urophylla* plantations established in the municipality of Huimanguillo, Tabasco, Mexico (17° 55' N, 94° 06' W, at 30 m average altitude) (Figure 1). The climate is hot and humid (annual average), with copious summer rains, 2500 mm mean annual precipitation, and 26 °C mean annual temperature. The plantations are grown in Phaeozem soil type (INEGI, 2005).

Plantations characterization

The study was carried out in 1-7 years plantations. The space between plants and rows is 2×3 or 2.5×3.5 m, with an average density of 1667 and 1143 trees per hectare. The plants are improved *E. urophylla* clones (Table 1) and their purpose is to supply the domestic pulp market.

Filed data collection

Litterfall production

A random sampling system of 28 sites, 500 m² each, was established in the *E. urophylla* plantations, placing four sites by plantation age. During one year (August 2014-July 2015), the

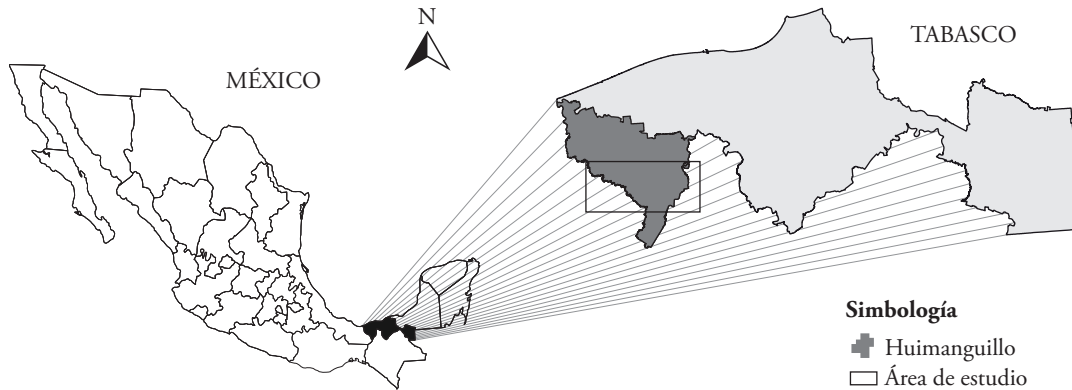


Figura 1. Ubicación geográfica de las plantaciones forestales comerciales de *Eucalyptus urophylla* establecidas en Huimanguillo, Tabasco, México.

Figure 1. Geographical location of commercial *Eucalyptus urophylla* forest plantations established in Huimanguillo, Tabasco, Mexico.

2.5×3.5 m entre plantas e hileras, con densidad promedio de 1667 y 1143 árboles. Las plantas son clones mejorados de *E. urophylla* (Cuadro 1) y el propósito es abastecer el mercado nacional de celulosa.

Obtención de información en campo

Producción de hojarasca

En las plantaciones de *E. urophylla* se estableció un sistema de muestreo aleatorio de 28 sitios, de 500 m², ubicando cuatro sitios por edad de plantación. Durante un año (de agosto 2014 a julio 2015) cada mes se cuantificó la biomasa de la hojarasca recolectada en 112 trampas de captura, cada una de 1 m² de superficie de recolecta (Arriaza, 2006; Martínez *et al.*, 2006). Cuatro trampas por sitio se recolectaron, con un total de 16 trampas por edad de plantación. Las mediciones mensuales abarcaron las cuatro estaciones del año, lo que permitió detallar la dinámica de producción anual de hojarasca en las plantaciones.

La hojarasca de cada trampa se secó en estufa a 70 °C, por 72 h, para evitar su descomposición. El material de cada trampa se separó en hojas, ramas (<2.0 cm de diámetro), frutos y corteza, y su peso seco se registró. Con estos datos se calculó la tasa mensual de caída (Mg ha⁻¹ mes⁻¹) de cada estructura mediante el promedio estimado por edad. La tasa anual de caída (Mg ha⁻¹ año⁻¹) se estimó con la suma de las mediciones mensuales por sitio. Este método se ha utilizado en matorral desértico micrófilo, selvas tropicales, bosques templados, y plantaciones de *E. saligna*, *Albizia facaltaria*, *Pinus greggi*, *P. cembroides*, *P. patula*, *P. taeda* y *Bambusa oldhamii* (Binkley and Ryan, 1998; Pérez *et al.*, 2006; Quinto *et al.*, 2007; Navar and Jurado, 2009; Castañeda-Mendoza *et al.*, 2012; Gutiérrez *et al.*, 2012; González *et al.*, 2013; Kotowska *et al.*, 2015).

litterfall biomass was collected monthly in 112 1-m² (collection area) litter-traps (Arriaza, 2006; Martínez *et al.*, 2006). Four litter-traps were set in each site, with a total of 16 litter-traps per planting age. The monthly measurements covered the four seasons of the year, which allowed us to detail the dynamics of annual litterfall production in the plantations.

In order to avoid decomposition, the litterfall of each trap was dried in a drying oven, at 70 °C during 72 h. The material of each litter-trap was separated into leaves, branches (diameter <2.0 cm), fruits, and bark, and its dry weight was recorded. With these data, the monthly litterfall rate (Mg ha⁻¹ month⁻¹) of each structure was calculated, using the estimated average per age. The annual litterfall rate (Mg ha⁻¹ year⁻¹) was estimated adding up the monthly measurements per site. This method has been used in microphyll desert scrublands, tropical rainforests, temperate forests, and plantations of *E. saligna*, *Albizia facaltaria*, *Pinus greggi*, *P. cembroides*, *P. patula*, *P. taeda*, and *Bambusa oldhamii* (Binkley and Ryan, 1998; Pérez *et al.*, 2006; Quinto *et al.*, 2007; Navar and Jurado, 2009; Castañeda-Mendoza *et al.*, 2012; Gutiérrez *et al.*, 2012; González *et al.*, 2013; Kotowska *et al.*, 2015).

Above-ground net primary productivity (ANPP)

The ANPP calculation in Mg ha⁻¹ year⁻¹ included the integration of the increment in organic matter and the production of litterfall, over a given time interval (Clark *et al.*, 2001b; Hanson *et al.*, 2003; Kotowska *et al.*, 2015).

ANPP was estimated using the method described by Clark *et al.* (2001a), which considers the total biomass increment, the individuals' mortality, the joint growth of evaluated trees, and the litterfall production in the ecosystem, assuming a continuous replacement rate, as represented by the following expression:

Cuadro 1. Valores dasométricos de las PFC de *Eucalyptus urophylla* en las mediciones inicial y final.
Table 1. Dasometric values of *Eucalyptus urophylla*'s CFPs (initial and final measurements).

| Edad | Variable | Julio 2014 | | | | Agosto 2015 | | | |
|------|----------|------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| | | Media | DE | Min | Max | Media | DE | Min | Max |
| 1 | Dn | 7.59 | 1.603 | 3.20 | 10.90 | 11.92 | 2.432 | 4.90 | 16.60 |
| | At | 8.54 | 1.579 | 4.00 | 12.50 | 13.45 | 2.061 | 5.75 | 19.00 |
| 2 | Dn | 10.41 | 3.413 | 3.60 | 22.50 | 13.31 | 4.652 | 5.10 | 31.50 |
| | At | 11.47 | 3.013 | 4.00 | 20.50 | 14.63 | 3.724 | 6.00 | 22.30 |
| 3 | Dn | 12.93 | 1.839 | 6.70 | 17.50 | 13.93 | 1.825 | 7.50 | 18.10 |
| | At | 19.49 | 2.367 | 11.00 | 23.00 | 20.44 | 2.025 | 13.50 | 26.50 |
| 4 | Dn | 13.79 | 3.157 | 6.20 | 22.00 | 16.12 | 3.195 | 7.50 | 25.60 |
| | At | 18.53 | 3.191 | 8.50 | 25.00 | 19.87 | 2.369 | 9.50 | 24.50 |
| 5 | Dn | 14.11 | 2.606 | 7.50 | 20.40 | 15.52 | 2.996 | 7.70 | 22.20 |
| | At | 18.26 | 2.430 | 8.50 | 22.75 | 19.21 | 2.392 | 8.50 | 24.50 |
| 6 | Dn | 18.40 | 4.125 | 9.80 | 29.70 | 20.10 | 4.422 | 11.00 | 31.00 |
| | At | 24.47 | 4.214 | 14.00 | 31.50 | 25.41 | 4.206 | 15.00 | 32.50 |
| 7 | Dn | 19.26 | 5.050 | 6.70 | 31.00 | † | - | - | - |
| | At | 26.89 | 5.343 | 12.00 | 34.00 | † | - | - | - |

Dn: diámetro normal (cm), At: altura total (m), DE: desviación estándar, Min: mínimo, Max: máximo, †: Plantación cosechada durante la realización del estudio ❖ Dn: Diameter at breast height (cm), At: total height (m), DE: standard deviation, Min: minimum, Max: maximum, †: Plantation harvested during the study.

Productividad primaria neta aérea (PPNA)

El cálculo de la PPNA en $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ incluyó la integración del incremento en materia orgánica y la producción de hojarasca, de un intervalo de tiempo (Clark *et al.*, 2001b; Hanson *et al.*, 2003; Kotowska *et al.*, 2015).

La PPNA se estimó con el método descrito por Clark *et al.* (2001a), que considera el incremento total en biomasa, la mortalidad de individuos y el crecimiento conjunto de los árboles evaluados, y la producción de hojarasca en el ecosistema, asumiendo una tasa de reemplazo continua. Lo anterior se representa en la expresión siguiente:

$$PPNA = \text{Incremento en biomasa} + \text{Producción de hojarasca}$$

La biomasa individual se estimó con las ecuaciones alométricas de *E. urophylla* desarrolladas en el área de estudio por Hernández-Ramos *et al.* (resultados no publicados) (Cuadro 2). Estas se alimentaron con los valores de diámetro normal (Dn) y altura total (At) de los árboles medidos en julio 2014 y agosto 2015, en 28 sitios de muestreo.

Incremento en biomasa ($\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$): la biomasa total y por componente (fuste, ramas y hojas) se estimó al inicio (t_1) y al final (t_2) del periodo de análisis, al segundo muestreo se incorporó la biomasa de los árboles perdidos por mortalidad. El

$$ANPP = \text{Biomass increment} + \text{Litterfall production}$$

The individual biomass was estimated using the allometric equations developed by Hernández-Ramos *et al.* (unpublished results) for *E. urophylla* in the study area (Table 2). The values of Diameter at breast height (Dn) and total height (At) of the trees measured in July 2014 and August 2015, at 28 sampling sites, were used for these equations.

Biomass increment ($\text{Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$): total and by structural component biomass (trunk, branches, and leaves) was estimated at the beginning (t_1) and at the end (t_2) of the analysis period. Biomass of the trees lost by mortality was added to the second sampling. The increase is defined as the difference in biomass between t_2 and t_1 , according to the following equation (Klepac, 1983; Clark *et al.*, 2001a):

$$\Delta \text{Biomass} = \left(\sum_{i=1}^n Bt_{t_2} - \sum_{i=1}^n Bt_{t_1} \right) + \sum_{i=1}^n B\Theta$$

where: Bt_{t_2, t_1} : total above-ground biomass calculated in time 1 and 2 ($\text{Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$), and $B\Theta$: biomass of trees lost by mortality ($\text{Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$).

Annual fine litterfall: it was estimated adding the total litterfall ($\text{g m}^{-2} \text{month}^{-1}$) that fall monthly per component in

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea total y por componentes de *Eucalyptus urophylla*, en Huimanguillo, Tabasco, México.

Table 2. Allometric equations used to estimate the total and per components above-ground biomass of *Eucalyptus urophylla*, in Huimanguillo, Tabasco, Mexico.

| Biomasa | Ecuación | R ² _{Ajustada} |
|--------------------------------|--|------------------------------------|
| Biomasa de fuste (<i>Bf</i>) | $Bf = 31.0843 * Dn^{1.311445} * At^{1.169998}$ | 0.9679 |
| Biomasa de ramas (<i>Br</i>) | $Br = 7.567054 + 827.9449 * Dn^2 - 0.5271 * AT - 16.104 * (Dn^2 * At)$ | 0.4670 |
| Biomasa de hojas (<i>Bh</i>) | $Bh = 1.998759 + 44.66013 * Dn - 0.27063 * At$ | 0.4026 |
| Biomasa total (<i>Bt</i>) | $Bt = 179.3627 * (Dn^2 * At)^{0.750777}$ | 0.9552 |

Dn: diámetro normal (1.30 m) (cm), At: altura total (m) ❖ Dn: Diameter at breast height (1.30 m) (cm), At: total height (m).

incremento se define como la diferencia en biomasa entre t_2 y t_1 , según la ecuación siguiente (Klepac, 1983; Clark *et al.*, 2001a):

$$\Delta Biomasa = \left(\sum_{i=1}^n Bt_{t_2} - \sum_{i=1}^n Bt_{t_1} \right) + \sum_{i=1}^n B\Theta$$

donde Bt_{t_2} , Bt_{t_1} : biomasa aérea total calculada en el tiempo 1 y 2 ($Mg\ ha^{-1}\ año^{-1}$) y $B\Theta$: biomasa de los árboles perdidos por mortalidad ($Mg\ ha^{-1}\ año^{-1}$).

Hojarasca fina anual: estimada como la sumatoria de la hojarasca total ($g\ m^{-2}\ mes^{-1}$) caída mensualmente por componentes en $1\ m^2$, por 12 meses, con el propósito de completar un ciclo de crecimiento de *E. urophylla* en condiciones de plantación.

Análisis comparativo de la producción de hojarasca y PPNA

Cada sitio de muestreo se consideró como una unidad experimental distribuida completamente al azar. La edad de cada sitio se consideró como el factor primario (tratamiento), el mes fue el secundario y la producción de hojarasca la respuesta. Las medias de la producción de hojarasca PPNA total y por componentes se analizaron con ANDEVA. El comparativo incluyó los resultados mensuales y anuales para determinar la época de mayor y menor producción. La prueba de comparación múltiple de medias Tukey se usó para analizar las diferencias de producción entre las plantaciones. Los análisis estadísticos se realizaron con SAS 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de producción de hojarasca por componente y total

La variación en la producción total anual de hojarasca (PTH) fue amplia entre plantaciones de

$1\ m^2$, during 12 months, in order to complete one *E. urophylla* growth cycle in plantation conditions.

Comparative analysis of ANPP and litterfall production

Each sampling site was considered as a completely randomized distribution experimental unit. Each site's age was considered as the primary factor (treatment), the month was the secondary factor, and the litterfall production was the dependent variable. Means of total and per component ANPP litterfall production were analyzed with ANOVA. The comparative test included the monthly and annual results, in order to determine the higher and lower production season. The production differences between plantations were analyzed using Tukey's multiple comparison test. Statistical analyzes were performed in SAS 9.4 statistical software.

RESULTS AND DISCUSSION

Litterfall production rate by structural component and total

There was a great variation in the annual total litterfall production (TLP) between different age plantations. The annual total litterfall production estimated ranged from 4.068 to $5.628\ Mg\ m^{-2}\ year^{-1}$ for 1-7 years plantations. The largest production was observed in the 7-years plantation, followed by the 2-years plantation, and the smaller values belonged to the 4- and 5-years plantations. The remaining plantations had similar TLP values (Figure 2).

The annual total and per component litterfall productions were statistically different ($p=0.05$) between ages (Table 3). Litterfall low values in 4- and 5-years plantations can be attributed to a greater competition with the understory, generated by the

diferente edad. El total anual de producción de hojarasca estimado fue de 4.068 a 5.628 Mg m⁻² año⁻¹ para las plantaciones de 1 a 7 años. La producción mayor se observó en la plantación de 7 años, le siguió la plantación de 2 años, y los valores menores correspondieron a las plantaciones de 4 y 5 años de edad. Las plantaciones restantes presentaron valores similares en PTH (Figura 2).

La producción total anual de hojarasca y por componentes fueron estadísticamente diferentes (p=0.05) entre edades (Cuadro 3). Los valores bajos de hojarasca en plantaciones de 4 y 5 años se pueden atribuir a una competencia mayor con el sotobosque, generada por la suspensión de prácticas de control de maleza, dada la dominancia de la especie a esa edad, y a diferencias clonales entre las plantaciones.

La producción por componente (hojas, ramas y frutos) presentó tendencias similares a la producción total. La cantidad de hojas caídas en la plantación de 7 años fue la mayor y en las de 4 y 5 años la menor. El valor máximo en las ramas se presentó en las

stoppage of weed control practices, given the species' dominance at that age, and by the clonal differences between plantations.

The production trends per component (leaves, branches and fruits) were similar to those of the overall production. The largest number of fallen leaves was found in the 7-years plantation and the lowest in the 4- and 5-years plantations. The branches maximum value was presented in the 3-years plantations and the minimum in the 1-years plantations. The highest fruit production occurred in the 6- and 7-years plantations.

Leaves made the greatest contribution to litterfall, representing 91.62 to 67.02 % in 1 to 7 years plantations. The second largest contribution was made by branches, with a minimum and maximum of 6.5 and 26.80 %, respectively. Fruits represented less than 10 % of TLP (Table 4).

The average annual litterfall production (4.289 Mg ha⁻¹ year⁻¹) was similar to the production in commercial plantations of temperate climate species, such as 13 and 15 years *P. patula* plantations without

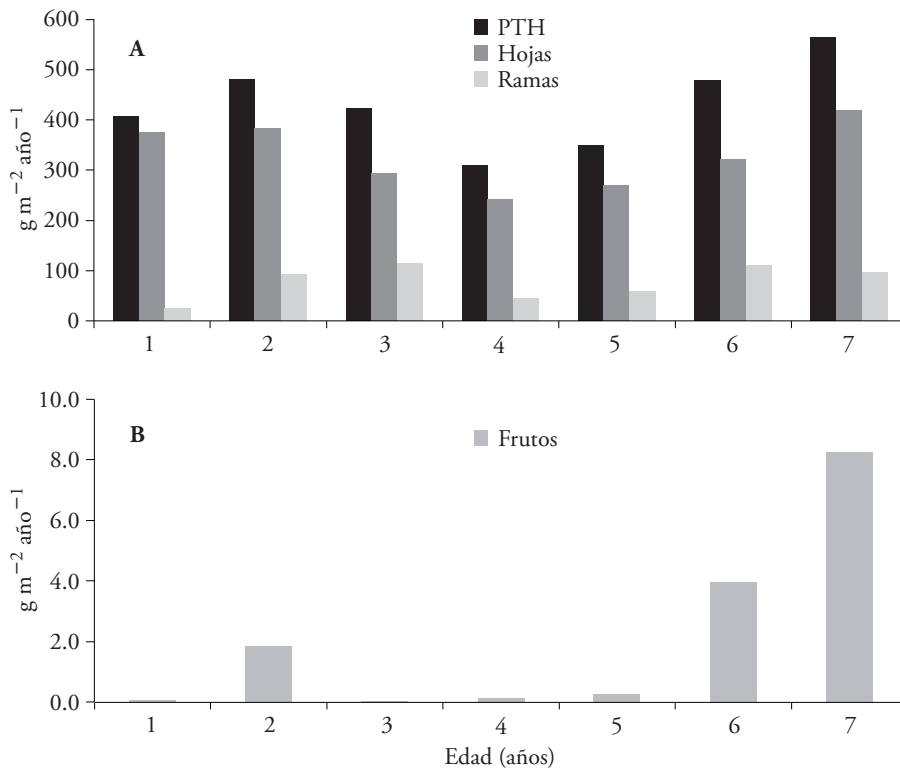


Figura 2. Producción total anual de hojarasca, hojas, ramas (A) y frutos (B), en plantaciones de *Eucalyptus urophylla*, en Huimanguillo, Tabasco, México.

Figure 2. Annual total litterfall production, leaves, branches (A) and fruits (B), in *Eucalyptus urophylla* plantations, in Huimanguillo, Tabasco, Mexico.

Cuadro 3. Producción media anual de hojarasca ($\text{g m}^{-2} \text{año}^{-1}$) por componentes y total para plantaciones de *Eucalyptus urophylla*, en Huimanguillo, Tabasco, México.
Table 3. Total and by structural component average annual litterfall production ($\text{g m}^{-2} \text{year}^{-1}$) in *Eucalyptus urophylla* plantations, in Huimanguillo, Tabasco, Mexico.

| Plantación | PTH | | Hojas | | Ramas | | Frutos | | Corteza | |
|------------|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|---------|---|
| Edad 1 | 406.80 | c | 372.72 | b | 26.45 | c | 0.06 | b | 7.58 | c |
| | % | | 91.62 | | 6.50 | | 0.02 | | 1.9 | |
| Edad 2 | 479.95 | b | 381.16 | b | 91.78 | b | 1.83 | b | 5.19 | c |
| | % | | 79.42 | | 19.12 | | 0.38 | | 1.1 | |
| Edad 3 | 420.93 | c | 292.49 | b | 112.80 | a | 0.04 | b | 15.61 | b |
| | % | | 69.49 | | 26.80 | | 0.01 | | 3.7 | |
| Edad 4 | 307.85 | c | 240.19 | c | 43.25 | b | 0.14 | b | 24.26 | b |
| | % | | 78.02 | | 14.05 | | 0.05 | | 7.88 | |
| Edad 5 | 347.39 | c | 268.38 | c | 58.11 | c | 0.25 | b | 20.65 | b |
| | % | | 77.26 | | 16.73 | | 0.07 | | 5.94 | |
| Edad 6 | 476.73 | b | 319.53 | d | 109.43 | a | 3.94 | a | 43.84 | a |
| | % | | 67.02 | | 22.95 | | 0.83 | | 9.20 | |
| Edad 7 | 562.83 | a | 416.74 | a | 95.18 | b | 8.23 | a | 42.68 | a |
| | % | | 74.04 | | 16.91 | | 1.46 | | 7.58 | |
| Pr>F | 0.0004 | | 0.0001 | | 0.0007 | | 0.0003 | | 0.0001 | |
| μ | 100 | | 76.7 | | 17.6 | | 0.4 | | 5.3 | |

PTH: producción total anual de hojarasca. Medias con letra diferente en cada columna son estadísticamente diferentes; μ : media de la proporción de PTH para cada componente ❖ PTH: annual total litterfall production. Means with a different letter in each column are statistically different; μ : PTH proportion mean for each component.

plantaciones de 3 años y el mínimo en las de un año. La producción mayor de frutos se presentó en las plantaciones con 6 y 7 años de edad.

El aporte mayor a la hojarasca fue de las hojas, de 91.62 a 67.02 % para las plantaciones de 1 a 7 años. El segundo aporte lo hicieron las ramas, con mínimo y máximo de 6.5 y 26.80 %. Los frutos representaron menos de 10 % de la PTH (Cuadro 4).

La producción promedio anual de hojarasca ($4.289 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) fue similar a la de plantaciones comerciales de especies de clima templado como *P. patula* de 13 y 15 años de edad sin fertilizar (5.768 y $4.365 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en el norte del estado de Veracruz (Vásquez *et al.*, 2015); *P. radiata* con 26 años de edad y con vegetación asociada con $3.206 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en la región de Valdivia, Chile (Huber y Oyarzún, 1983). Gutiérrez *et al.* (2012) reportaron valores menores de producción de hojarasca en plantaciones de *P. greggii* y *P. cembroides* establecidas en Coahuila, México (1.072 y $0.976 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), lo cual es entendible porque *P. greggii* y *P. cembroides* son

fertilization (5.768 and $4.365 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) in the north of the State of Veracruz (Vásquez *et al.*, 2015); 26-years-old *P. radiata*, with the vegetation associated with $3.206 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, in the Valdivia region, Chile (Huber and Oyarzún, 1983). Gutiérrez *et al.* (2012) reported lower litterfall production values in *P. greggii* and *P. cembroides* plantations established in Coahuila, Mexico (1.072 and $0.976 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), which is understandable because *P. greggii* and *P. cembroides* are slow growing species, compared to *E. urophylla*.

In species established in tropical regions (specifically in Junin, Peru), Gamarra (2001) reported that *E. globulus* Labill, produced $4.99 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ of litterfall. Compared to plantations in temperate regions, plantations in tropical climates show higher production at a younger age. This is attributed to the fact that tropical regions are more productive than temperate ones, due to the high water availability and higher temperatures, which are variables that significantly influence the tropical species' growth;

Cuadro 4. Producción media mensual de hojarasca ($\text{g m}^{-2} \text{mes}^{-1}$) de plantaciones de *Eucalyptus urophylla*, en Huimanguillo, Tabasco, México.
Table 4. Average monthly litterfall production ($\text{g m}^{-2} \text{month}^{-1}$) in *Eucalyptus urophylla* plantations, in Huimanguillo, Tabasco, Mexico.

| Mes | Edad (años) | | | | | | | | | | | | | | Media | |
|------------|-------------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|--------|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | | | | | | | | | |
| Agosto | 21.7 | d | 26.1 | c | 46.7 | b | 19.2 | c | 17.6 | c | 26.0 | c | 50.4 | c | 29.7 | d |
| Septiembre | 25.5 | d | 39.9 | c | 34.9 | b | 17.8 | c | 19.4 | c | 29.1 | c | 39.7 | c | 29.5 | d |
| Octubre | 48.8 | b | 44.0 | c | 45.9 | b | 22.1 | c | 24.7 | c | 37.0 | c | 44.4 | c | 38.1 | c |
| Noviembre | 29.4 | c | 46.6 | c | 32.3 | c | 21.8 | c | 31.9 | c | 38.9 | c | 29.9 | d | 33.0 | c |
| Diciembre | 33.5 | c | 30.4 | c | 16.9 | d | 22.8 | c | 25.2 | c | 45.7 | c | 28.8 | d | 29.1 | e |
| Enero | 31.2 | c | 32.9 | c | 31.6 | c | 23.5 | c | 33.2 | c | 37.8 | c | 58.4 | c | 35.5 | c |
| Febrero | 29.6 | c | 20.8 | d | 9.8 | d | 17.0 | c | 17.1 | d | 20.9 | d | 22.2 | d | 19.6 | f |
| Marzo | 22.9 | d | 43.3 | c | 31.8 | c | 24.3 | c | 21.9 | c | 40.1 | c | 63.7 | b | 35.4 | c |
| Abril | 45.7 | c | 42.1 | c | 36.0 | b | 37.0 | b | 33.1 | c | 54.8 | b | 59.9 | c | 43.8 | b |
| Mayo | 68.3 | a | 91.2 | a | 75.5 | a | 51.7 | a | 66.2 | a | 77.4 | a | 100.0 | a | 75.8 | a |
| Junio | 37.1 | c | 48.2 | b | 45.6 | b | 35.7 | b | 38.5 | b | 48.9 | c | 47.0 | c | 43.0 | b |
| Julio | 13.2 | e | 14.4 | e | 13.9 | d | 16.0 | c | 18.7 | c | 20.1 | d | 19.8 | f | 16.5 | f |
| PTH | 406.80 | | 479.95 | | 420.93 | | 307.85 | | 347.39 | | 476.73 | | 562.83 | | 428.93 | |

PTH: producción total de hojarasca. Medias con letra diferente en cada columna son estadísticamente diferentes ♦ PTH: total litterfall production. Means with a different letter in each column are statistically different.

especies con crecimiento lento, en comparación con *E. urophylla*.

En especies establecidas en regiones tropicales, Gamarra (2001) reportó que *E. globulus* Labill, en Junin, Perú, produjo $4.99 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de hojarasca. Las plantaciones en climas tropicales presentan producción mayor en edad menor, comparada con plantaciones en regiones templadas. Esto se atribuye a que las regiones tropicales son más productivas que las templadas, por la disponibilidad alta de agua y temperaturas mayores, que son variables que influyen significativamente en el crecimiento de las especies tropicales; lo contrario ocurre en ecosistemas templados (Gómez y Gallopin, 1991).

Tasa mensual de producción de hojarasca

Los meses con producción mayor de hojas y ramas, independientemente de la edad de plantación, fueron abril, mayo y junio. La producción conjunta en estos meses correspondió a 37.9 % de la producción total anual. La producción mayor de frutos se registró en febrero y marzo, principalmente en las plantaciones de más de 5 años (Figura 3).

La producción mensual de hojarasca fue estadísticamente diferente entre los meses ($p=0.0001$); así,

the opposite occurs in temperate ecosystems (Gómez and Gallopin, 1991).

Monthly litterfall production rate

The months with the highest production of leaves and branches—regardless of plantation age—, were April, May and June. Joint production during these months matched 37.9 % of the annual total production. The highest fruit production was recorded in February and March, mainly in over 5-years plantations (Figure 3).

The monthly litterfall production was statistically different from month to month ($p=0.0001$). Thus, it was possible to differentiate the trees' litterfall during the year, regardless of plantation age (Table 5). The largest production occurred during April, May, June, and October: the first three months match the end of the dry season, so litterfall is attributed to the plants' water stress and the generation of new leaves. The greater litterfall accumulation in October could be the result of the season's strong winds or the torrential rains.

The behavior of the maximum production of each component, leaves and branches, was similar to TLP. The branches values were lower from July to

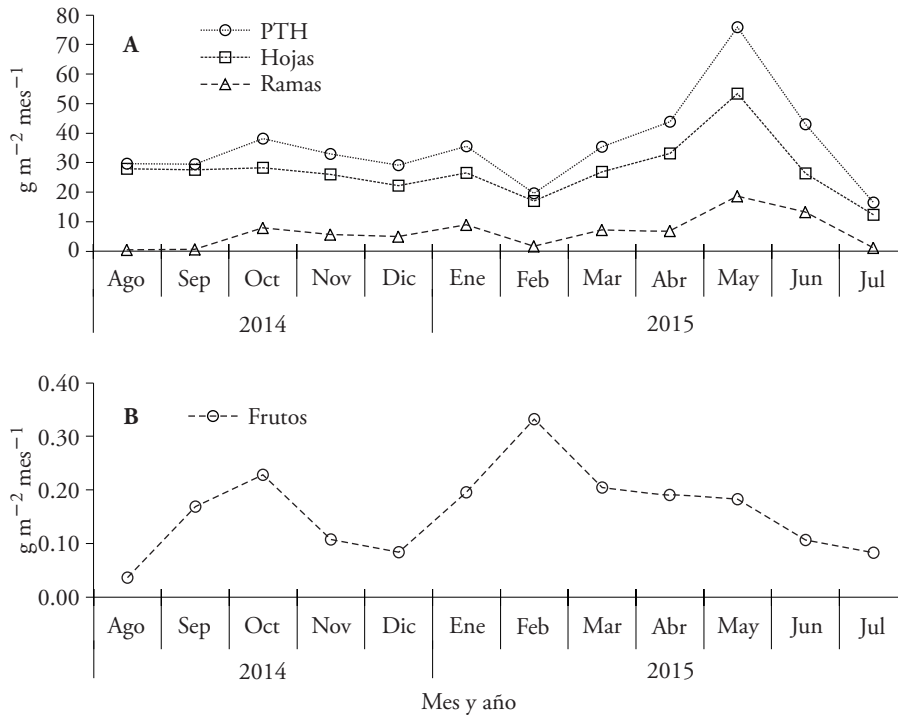


Figura 3. Caída mensual de hojarasca total y por componente: hojas, ramas (A) y frutos (B), para plantaciones de *Eucalyptus urophylla* en Huimanguillo, Tabasco, México.
Figure 3. Total and per component monthly litterfall: leaves, branches (A), and fruits (B), in *Eucalyptus urophylla* plantations in Huimanguillo, Tabasco, Mexico.

la caída de hojarasca de los árboles se diferencia durante el año, independiente de la edad de la plantación (Cuadro 5). La producción mayor fue durante abril, mayo, junio y octubre, los tres primeros meses corresponden al final de la temporada seca, por lo que la caída de hojarasca se atribuye al estrés hídrico

September. The fruit fall was higher during October, February and March, with statistically higher values in older plantations, where the trees have a greater phenological maturation (Figure 3B).

Castañeda-Mendoza *et al.* (2012) asserted that the maximum litterfall in *Bambusa aldamii* plantations,

Cuadro 5. Biomasa aérea (Mg ha⁻¹) y porcentaje por componente de biomasa inicial y final acumulada por edad de plantación para *Eucalyptus urophylla* en Huimanguillo, Tabasco, México.

Table 5. Above-ground biomass (Mg ha⁻¹) and percentage per initial and final biomass component accumulated per plantation age for *Eucalyptus urophylla* in Huimanguillo, Tabasco, Mexico.

| Tipo | E ₁₋₂ | % | E ₂₋₃ | % | E ₃₋₄ | % | E ₄₋₅ | % | E ₅₋₆ | % | E ₆₋₇ | % |
|-----------------------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|
| Bf _{Inicial} | 14.90 | 57.1 | 29.88 | 71.5 | 68.08 | 88.8 | 79.10 | 85.5 | 73.04 | 85.7 | 116.43 | 92.1 |
| Bh _{Inicial} | 3.36 | 12.9 | 3.37 | 8.1 | 2.55 | 3.3 | 3.61 | 3.9 | 3.36 | 3.9 | 2.79 | 2.2 |
| Br _{Inicial} | 7.83 | 30.0 | 8.52 | 20.4 | 6.05 | 7.9 | 9.85 | 10.6 | 8.82 | 10.3 | 7.25 | 5.7 |
| Bt _{Inicial} | 26.09 | | 41.77 | | 76.67 | | 92.55 | | 85.21 | | 126.46 | |
| Bf _{Final} | 45.15 | 76.0 | 53.37 | 79.3 | 79.19 | 89.5 | 93.05 | 87.1 | 88.12 | 86.3 | 136.24 | 92.1 |
| Bh _{Final} | 4.01 | 6.8 | 3.73 | 5.5 | 2.71 | 3.1 | 3.67 | 3.4 | 3.73 | 3.7 | 3.19 | 2.2 |
| Br _{Final} | 10.25 | 17.2 | 10.22 | 15.2 | 6.54 | 7.4 | 10.14 | 9.5 | 10.23 | 10.0 | 8.57 | 5.7 |
| Bt _{Final} | 59.41 | | 67.32 | | 88.44 | | 106.87 | | 102.08 | | 148.00 | |

E₁₋₂, E₂₋₃, E₃₋₄, E₄₋₅, E₅₋₆, E₆₋₇: Edad de plantación al inicio y final de la medición; Bf: biomasa de fuste; Bh: biomasa de hojas; Br: biomasa de ramas; %: porcentaje en base a la biomasa total (Bt) ♦ E₁₋₂, E₂₋₃, E₃₋₄, E₄₋₅, E₅₋₆, E₆₋₇: Plantation age at the beginning and end of the measurement; Bf: trunk biomass, Bh: leaf biomass, Br: branch biomass; %: percentage based on total biomass (Bt).

de las plantas y a la generación de hojas nuevas. La acumulación mayor de hojarasca en octubre pudo deberse a los vientos fuertes de la temporada o a las lluvias torrenciales.

La producción máxima de cada componente, hojas y ramas, tuvo comportamiento similar a PTH. Los valores en las ramas fueron menores de julio a septiembre. La caída de frutos fue mayor durante octubre, febrero y marzo, con valores estadísticamente mayores en las plantaciones con más edad y maduración fenológica de los árboles (Figura 3B).

Castañeda-Mendoza *et al.* (2012) afirmaron que en plantaciones de *Bambusa aldamii*, en Huatusco, Veracruz, México, la caída máxima de hojarasca se produce entre febrero y julio. Gutiérrez *et al.* (2012) señalaron que los aportes más importantes de hojarasca de *P. greggii* y *P. cembroides* en plantaciones en Coahuila, México, ocurrieron durante mayo y junio. En plantaciones de especies tropicales en monocultivo, Di Stefano y Fournier (2005) concluyeron que la caída mayor de hojarasca se presenta en la estación seca y en la época con vientos fuertes.

La época con precipitación menor y temperatura mayor en el lugar de estudio es de febrero a junio, lo que genera estrés hídrico en las plantas y estimula la pérdida de hojas. Los resultados también son similares a los obtenidos en bosques naturales de pino-encino, con producción mayor en marzo a mayo, y presentaron además una acumulación durante octubre y noviembre; lo que se atribuyó al efecto de fenómenos meteorológicos (Rocha y Ramírez, 2009).

Estimación de biomasa aérea

La proporción de biomasa del fuste (Bf) en relación a Bt fue mayor con la edad de los árboles (Cuadro 6), debido a la acumulación de biomasa en su estructura de soporte; esto es típico de plantaciones jóvenes con crecimiento rápido (Reed y Tomé, 1998). En contraparte la proporción de biomasa de hojas (Bh) y de ramas (Br) disminuyó con la edad de las plantaciones. No obstante, la producción de estos componentes fue relativamente constante en todas las edades, y la capacidad productiva del sitio afecta esta característica. La proporción promedio de biomasa por componente fue de 85.8, 4.0 y 10.3 %, para Bf, Bh y Br respectivamente, en las mediciones inicial y final.

in Huatusco, Veracruz, Mexico, occurs from February to July, Gutiérrez *et al.* (2012) reported that the most important contributions of *P. greggii* and *P. cembroides* litterfall in plantations in Coahuila, Mexico, occurred during May and June. Di Stefano and Fournier (2005) concluded that the greatest litterfall in monoculture plantations of tropical species occurs during the dry season and during the strong winds period.

In the study site, there is less precipitation and higher temperature from February to June, which causes water stress in plants and leaf loss. Our results are similar to those obtained in natural pine-holm oak forests, with a larger production from March to May; additionally, during October and November, they presented a slightly higher accumulation, which was attributed to meteorological phenomena effects (Rocha and Ramírez, 2009).

Estimation of above-ground biomass

The trunk biomass proportion (Bf) in relation to Bt was higher in older trees (Table 6), due to biomass accumulation in its support structure; this is typical of young fast-growing plantations (Reed and Tomé, 1998). In contrast, the leaf (Bh) and branches (Br) biomass proportion decreased in older plantations. However, the production of these components was relatively constant across all ages; meanwhile, the productive capacity of the site affects this characteristic. In the initial and final measurements, the biomass average proportion per component was 85.8, 4.0, and 10.3%, for Bf, Bh, and Br respectively. At 7 years, the total biomass accumulated by *E. urophylla* was 148.0 Mg ha⁻¹. The annual increment of the evaluation period represented 33.32, 25.55, 11.77, 14.31, 16.87, and 21.54 Mg ha⁻¹ year⁻¹ in the six plantations (Table 6) and an annual general average of 20.56 Mg ha⁻¹ year⁻¹. Binkley and Ryan (1998) reported similar values for total biomass (323 Mg ha⁻¹) in 16-years *E. saligna* plantations; the average annual increment would be 20.3 Mg ha⁻¹ year⁻¹. Geldres *et al.* (2006) reported accumulated biomass values of 73.1, 111.8, and 159.5 Mg ha⁻¹ in 4-, 5-, and 6- years *E. nitens* plantations, and annual biomass increments of 39.2 Mg ha⁻¹ in 4 and 5 years plantations, and 50.1 Mg ha⁻¹ in 5 and 6 years plantations. These estimates are higher to those of the present study. *E. nitens*' high values are associated

Cuadro 6. Productividad primaria neta aérea ($\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) total y por componente para plantaciones de *Eucalyptus urophylla* en Huimanguillo, Tabasco, México.
Table 6. Above-ground net primary productivity ($\text{Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$) total and per component for *Eucalyptus urophylla* plantations in Huimanguillo, Tabasco, Mexico.

| Producción | E ₁₋₂ | | E ₂₋₃ | | E ₃₋₄ | | E ₄₋₅ | | E ₅₋₆ | | E ₆₋₇ | |
|------------|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|---|
| Total | 37.33 | a | 30.37 | a | 16.35 | d | 17.66 | c | 20.34 | c | 26.28 | b |
| Fuste | 30.25 | a | 23.49 | b | 11.11 | d | 13.96 | c | 15.08 | c | 19.81 | b |
| Follaje | 4.37 | a | 4.20 | a | 3.16 | b | 2.56 | c | 3.05 | b | 3.59 | b |
| Ramas | 2.71 | a | 2.66 | a | 2.08 | a | 2.66 | b | 2.20 | a | 2.84 | a |

E₁₋₂, E₂₋₃, E₃₋₄, E₄₋₅, E₅₋₆, E₆₋₇: edad de plantación al inicio y final. Medias con letra diferente en cada hilera son estadísticamente diferentes ❖ E₁₋₂, E₂₋₃, E₃₋₄, E₄₋₅, E₅₋₆, E₆₋₇: Plantation age at the beginning and at the end. Means with different letters in each row are statistically different.

La biomasa total que acumuló *E. urophylla* fue 148.0 Mg ha^{-1} a los 7 años de edad. El aumento anual del periodo de evaluación fue 33.32 , 25.55 , 11.77 , 14.31 , 16.87 y $21.54 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ en las seis plantaciones (Cuadro 6), y promedio general anual de $20.56 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. Binkley y Ryan (1998) reportaron valores de biomasa total (323 Mg ha^{-1}) similares en plantaciones de *E. saligna*, de 16 años de edad; el aumento medio anual sería $20.3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. Geldres *et al.* (2006) presentaron valores de biomasa acumulada de 73.1 , 111.8 y 159.5 Mg ha^{-1} en plantaciones de *E. nitens* de 4, 5 y 6 años de edad y aumentos anuales en biomasa de 39.2 Mg ha^{-1} con 4 a 5 años y 50.1 Mg ha^{-1} de 5 a 6 años de edad. Estas estimaciones son superiores a las de nuestro estudio. Los valores altos de *E. nitens* se relacionan con el control de malezas y las fertilizaciones en los primeros tres años de edad y el aclareo a los cinco años, que equivale a la etapa de crecimiento mayor de los árboles. En contraste, en nuestro estudio el manejo de las plantaciones no correspondió con alguna etapa de desarrollo específico.

Estimación de la productividad primaria neta aérea

La PPNA promedio estimada fue $26.26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, 84.0% de ella correspondió al incremento en biomasa viva y 16.0% a la biomasa incorporada al suelo como hojarasca fina. La aportación promedio a la PPNA por Bf fue $20.23 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (77.0%), por la Bh de $3.62 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (13.8%) y por la Br de $2.39 \text{ Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ (9.1%) para todas las edades (Figura 4). El análisis de varianza indicó diferencias significativas ($\alpha=0.0001$)

with weed control and fertilization during the first three years and thinning at five years (which matches the stage at which trees grow more). In contrast, in this study plantation management did not match any specific development stage.

Estimation of above-ground net primary productivity

The estimated average ANPP was $26.26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$, 84.0% was the result of the increment in living biomass and 16.0% to the increment in the biomass incorporated into the soil as fine litterfall. The average contribution to ANPP was: $20.23 \text{ Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ (77.0%) to Bf; $3.62 \text{ Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ (13.8%) to Bh; and $2.39 \text{ Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ (9.1%) to Br, for all ages (Figure 4). The variance analysis indicated significant differences ($\alpha=0.0001$) in ANPP by plantation age (Table 5). The distribution of the ANPP data set at each age is variable, thus differences in their means are indicated.

The variability in ANPP with different ages was confirmed with the comparison of means, which indicated that the highest productivity of plantations was observed in the first years of growth, when the trees increase in size and their nutrient assimilation is more efficient. The ages with the highest ANPP increment were 1-2 and 2-3 years, with 37.33 and $30.37 \text{ Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ values. A high value was observed during the 6-7 year, with $26.28 \text{ Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$, indicating that the ANPP declines slightly with age. Meanwhile, the low scores in the 3-4, 4-5, and 5-6 years may be due to the soil productive capacity, the competition for space and nutrients with herbaceous plants, the lack of fertilization

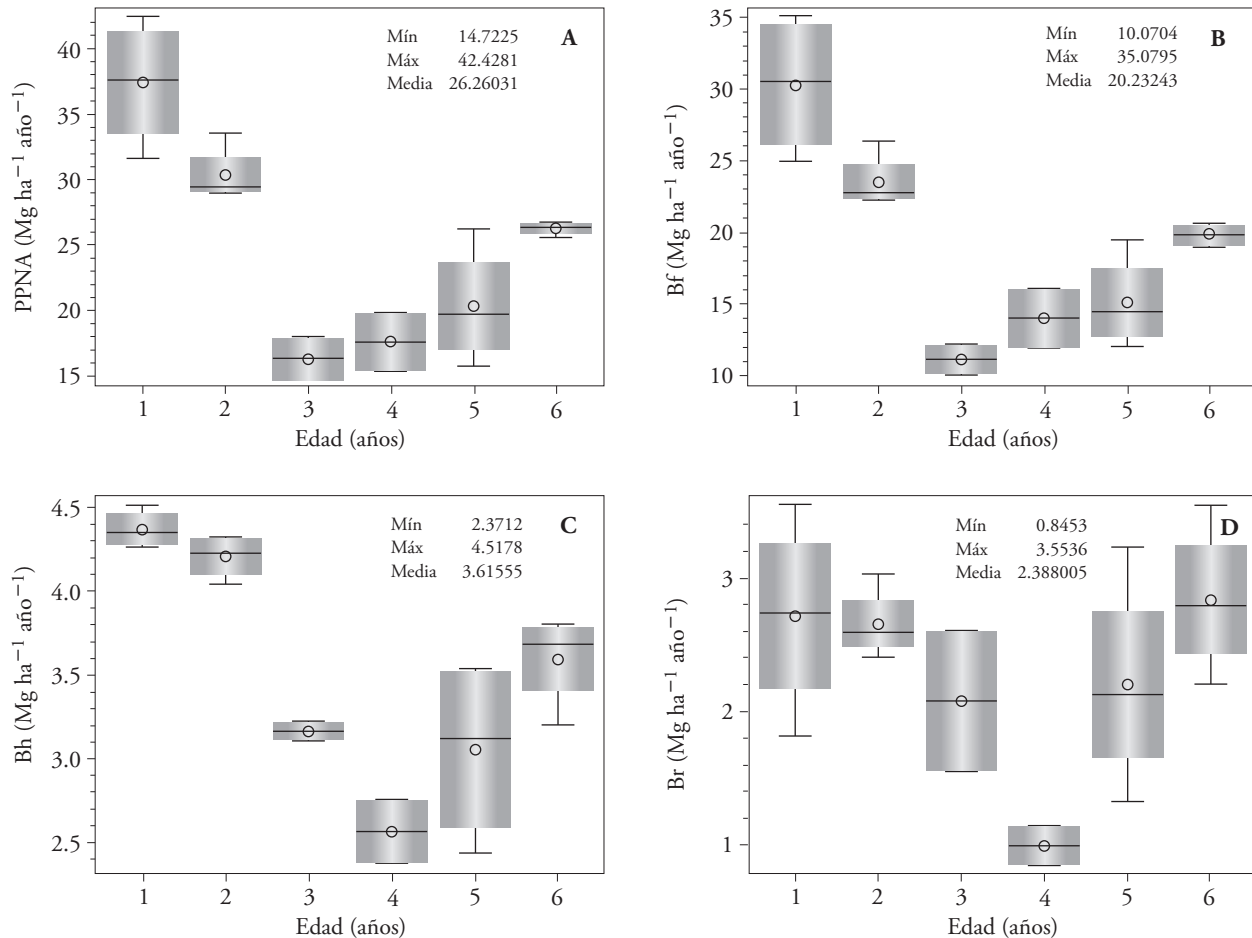


Figura 4. Productividad primaria neta aérea (PPNA) (A) y aportación de biomasa de fuste (Bf) (B), biomasa de hojas (Bh) (C) y biomasa de ramas (Br) (D) promedio, para *Eucalyptus urophylla* en Tabasco, México.

Figure 4. *Eucalyptus urophylla*'s above-ground net primary productivity (ANPP) and: (A) contribution of trunk biomass (Bf), (B) leaf biomass (Bh), (C) branch biomass (Br), (D) average. Tabasco, Mexico.

en la PPNA por edad de plantación (Cuadro 6). La distribución del conjunto de datos de PPNA en cada edad es variable, por lo que se denotan diferencias en sus medias.

La variabilidad en PPNA con edades diferentes se ratificó con la comparación de medias, la cual indicó que la productividad mayor de las plantaciones se presentó en los primeros años de crecimiento, cuando los árboles aumentan dimensiones y su eficiencia en asimilación de nutrientes es mayor. Las edades con incremento mayor de PPNA fueron de 1 a 2 y 2 a 3 años con valores iguales a 37.33 y 30.37 $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$. La edad de 6 a 7 años presentó valor alto, con 26.28 $\text{Mg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$, lo que indica que la PPNA decae ligeramente con la edad, y los resultados bajos en las edades de 3 a 4, 4 a 5 y 5 a 6 puede deberse a la capacidad productiva del

or unrecorded differences between clones, and to the initial stage of the production of reproductive organs.

Young plantations presented the highest above-ground net primary productivity, which matches the observations of Tuner *et al.* (2009) and Ernst *et al.* (2000), who indicated that the growth rate is greater at a younger age and, consequently, an increase in carbon capture. Binkley and Ryan (1998) recorded the following ANPP in *E. saligna* plantations: 27.9 $\text{Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ from 2 to 4 years, 22.4 $\text{Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ at 6 years, and 10.9 $\text{Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ at 10 and 16 years. Thus, the productivity pattern decreased as the plantation age increased. Ares and Fownes (2000) determined 15.8 and 23.8 $\text{Mg ha}^{-1} \text{year}^{-1}$ ANPP in 28 to 36 years *E. saligna* plantations; these estimates were low due to age;

suelo, a la competencia por espacio y nutrientes con plantas herbáceas, a la falta de fertilización o la diferencia de clones de los que no se tiene registro, y a la etapa inicial de producción de órganos reproductivos.

Las plantaciones jóvenes presentaron la productividad primaria neta aérea mayor, lo que concuerda con lo que observaron Tuner *et al.* (2009) y Ernst *et al.* (2000), quienes indicaron que a menor edad mayor tasa de crecimiento y, por consiguiente, un aumento en la captura de carbono. Binkley y Ryan (1998) registraron en plantaciones de *E. saligna* con edades de 2 a 4 años PPNA de $27.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con 6 años $22.4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y con 10 y 16 años $10.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Así, el patrón de la productividad fue decreciente con el aumento de la edad de la plantación. Ares y Fownes (2000) determinaron en *E. saligna* con edad de 28 a 36 años PPNA de 15.8 y $23.8 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, lo cual fue bajo debido a la edad; además, PPNA disminuyó con la altitud y en áreas con precipitación baja.

Según Ignacio *et al.* (2005), con la edad de las plantaciones de *E. urophylla* el crecimiento e incremento de los árboles disminuye debido a competencia por espacio o cambio de etapa fenológica de la especie; además, el crecimiento en diámetro y volumen se estabiliza a los 3 años de edad, y la productividad disminuye. El valor promedio de PPNA de nuestro estudio, $26.26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ fue mayor al valor registrado para ecosistemas tropicales, $21.60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Murphy, 1975), mostrando que las plantaciones de *E. urophylla* analizadas presentan productividad alta en biomasa.

CONCLUSIONES

La estimación de la productividad primaria neta aérea mediante la evaluación del incremento total de biomasa y la pérdida de hojarasca en un intervalo de tiempo establecido, es un método práctico para determinar la productividad en biomasa de las plantaciones forestales comerciales y del sitio de desarrollo.

La productividad primaria neta aérea varía con la edad. Las plantaciones jóvenes muestran productividad mayor. En contraste, los árboles de esta especie producen más hojarasca en edades y dimensiones mayores. La producción de follaje nuevo se presenta de junio a agosto.

also, ANPP decreased with altitude and in areas with low precipitation.

According to Ignacio *et al.* (2005), as the *E. urophylla* plantation grows older, the growth and yield of trees decreases, as a result of the competition for space or the change in the species' phenological stage; besides, they indicated that diameter and volume growth become stable at 3 years, and productivity also decreases. The ANPP average value in our study ($26.26 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) was higher than the value recorded for tropical ecosystems ($21.60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) (Murphy, 1975), which shows that the *E. urophylla* plantations analyzed present high biomass productivity.

CONCLUSIONS

The estimation of above-ground net primary productivity, by the evaluation of the total biomass increment and the litterfall loss in an established time interval, is a practical method to determine the biomass productivity of commercial forest plantations and the site of development.

The above-ground net primary productivity varies with age. Young plantations show greater productivity. In contrast, trees of this species produce more litterfall as they grow older and bigger. The production of new foliage occurs from June to August.

—End of the English version—



AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Programa de Paisajes Sustentables de la Agencia para el Desarrollo Internacional de Estados Unidos de América, a través de la Oficina de Programas Internacionales del Servicio Forestal del Departamento de Agricultura, y el Northern Research Station.

LITERATURA CITADA

- Alice, F., F. Montagnini, y M. Montero. 2004. Productividad de plantaciones puras y mixtas de especies nativas en la estación biológica La Selva, Sarapiquí, Costa Rica. *Agron. Costarricense* 28: 61-71.
- Ares, A., and J. H. Fownes. 2000. Productivity, nutrient and water-use efficiency of *Eucalyptus saligna* and *Toona ciliata* in Hawaii. *For. Ecol. Manage.* 139: 227-236.

- Arriaza B., M. 2006. Guía Práctica de Análisis de Datos. Primera edición. Ideagonal diseño gráfico. IFAPA, Córdoba, España. 200 p.
- Binkley, D., and M. G. Ryan. 1998. Net primary production and nutrient cycling in replicated stands of *Eucalyptus saligna* and *Albizia facaltaria*. For. Ecol. Manage. 112: 79-85.
- Castañeda-Mendoza, A., J. J. Vargas-Hernández, and A. Gómez-Guerrero. 2012. Components of net aerial primary production in a *Bambusa aldamii* plantation. Agrociencia 46: 63-74.
- Clark, D. A., S. Brown, D. W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson, and J. Ni. 2001a. Measuring net primary production in forests: Concepts and field methods. Ecol. Appl. 11: 356-370.
- Clark, D. A., S. Brown, D. W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson, J. Ni., and E. A. Holland. 2001b. Net primary production in tropical forests: an evaluation and synthesis of existing field data. Ecol. Appl. 11: 371-384.
- Di Stefano, J. F., y L. A. Fournier. 2005. Caída de hojarasca y tasas de descomposición de las hojas de *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años, Tabarcia de Mora, Costa Rica. Agron. Costarricense 29: 9-16.
- Ernst D., S. C. Wirth, and M. Heimann. 2000. Managing forests after Kyoto. Clim. Chang. 289: 2058-2059.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2006. Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal en América Latina y el Caribe. FAO: Dirección de productos y economía forestales, Departamento Forestal. FAO, Roma, Italia. 178 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2015. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015: ¿cómo están cambiando los bosques del mundo? FAO, Roma, Italia. 49 p.
- Gamarra R., J. 2001. Estimación de carbono en plantaciones de *Eucalyptus globulus* Labill, en Junin, Perú. Simposio internacional medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales, Chile. 21 p.
- Geldres, E., V. Gerding, and J. E. Schlatter. 2006. Biomasa de *Eucalyptus nitens* de 4-7 años de edad en un rodal de la X Región, Chile. Bosque 27: 223-230.
- Gómez, A., y G. C. Gallopín. 1991. Estimación de la productividad primaria neta de ecosistemas terrestres del mundo en relación a factores ambientales. Ecológ. Aust. 1: 24-40.
- González R., H., R. G. Ramírez-Lozano, I. Cantú-Silva, M. V. Gómez-Meza, M. Cotera-Correa, A. Carrillo-Parra, y J. J. Marroquín-Castillo. 2013. Producción de hojarasca y retorno de nutrientes vía foliar en un matorral desértico micrófilo en el noreste de México. Rev. Chapingo Ser. Ciencias For. Ambiente 19: 249-262.
- Grier, C. C., K. M. Lee., N. M. Nadkarni, G. O. Klock, and P. J. Edgerton. 1989. Productivity of forests of the United States and its relation to soil and site factors and management practices: a review. Forest Service: General Technical Report. Portland, United States 53 p.
- Gutiérrez V., M. H., J. Méndez G., C. Flores L., J. A. Ramírez D., y B. N. Gutiérrez V. 2012. Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggi* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc, en Coahuila, México. Rev. Fitotec. Mex. 35: 123-133.
- Hanson, P. J., N. T. Edwards, T. J. Tschaplinski, S. D. Wullschleger, and J. D. Joslin. 2003. Estimating the net primary and net ecosystem production of a Southeastern Upland *Quercus* forest from an 8-year biometric record. North American Temperate Deciduous Forest Responses to Changing Precipitation Regimes. Springer, New York, United States. 472 p.
- Huber J., A., y C. Oyarzún C. 1983. Producción de hojarasca y sus relaciones con factores meteorológicos en un bosque de *Pinus radiata* (D. Don). Bosque 5: 1-11.
- Ignacio S., E., J. J. Vargas H., J. López U., y A. Borja de la R. 2005. Parámetros genéticos del crecimiento y densidad de madera en edades juveniles de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Agrociencia 39: 469-479.
- INEGI. 2005. Marco Geoestadístico Municipal 2005, versión 3.1. Disponible en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/27/27008.pdf>
- Klepac, D. 1983. Crecimiento e Incremento de Árboles y Masas Forestales. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. México 279 p.
- Kotowska, M. M., C. Leuschner, T. Triadiati, S. Meriem, and D. Hertel. 2015. Quantifying above and belowground biomass carbon loss with forest conversion in tropical lowlands of Sumatra (Indonesia). Glob. Change Biol. 21: 3620-3620.
- Li, S., S. Lu, Y. Zhang, Y. Liu, Y. Gao, and Y. Ao. 2015. The change of global terrestrial ecosystem net primary productivity (NPP) and its response to climate change in CMIP5. Theor. Appl. Climatol. 121: 319-335.
- Marmolejo M., J. G., C. M. Cantú A., y M. A. Gutiérrez S. 2013. Degradación de la hojarasca en sitios con vegetación primaria y secundaria del matorral espinoso Tamaulipeco. Rev. Mex. Cien. For. 4: 174-181.
- Martínez G., M., A. Sánchez V., y J. Faulin F. 2006. Bioestadística Amigable. Segunda edición, Editorial Díaz de Santos, España. 920 p.
- Miquelajaregui, Y. 2013. Modelos de simulación de la dinámica del carbono. In: Blanco, J. A. (ed). Aplicación de Modelos Ecológicos a la Gestión de Recursos Naturales. Barcelona, España. OmniaScience. pp: 15-38.
- Murphy, P. G. 1975. Net primary productivity in tropical terrestrial ecosystems. In: Lieth, H., and R. H. Whittaker (eds). Primary Productivity of the Biosphere. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, United States. pp: 217-231.
- Navar C., J. J., y E. Jurado Y. 2009. Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del noreste de México. Rev. Mex. Cien. For. 34: 89-106.
- Pérez, C. A., J. F. Goya, F. Bianchini, J. L. Frangi, y R. Fernández. 2006. Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de Misiones, Argentina. Interciencia 31: 794-801.
- Quinto M., H., Y. A. Ramos P., y D. Abadía B. 2007. Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. Biodiversidad 26: 28-41.
- Reed, D., and M. Tomé. 1998. Total aboveground biomass and net dry matter accumulation by plant component in young *Eucalyptus globulus* in response to irrigation. For. Ecol. Manage. 103: 21-32.
- Rocha L., A. G., y N. Ramírez M. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesiones del bosque de pino-encino en Chiapas, México. Bol. Soc. Bot. México 84: 1-12.

- Salas R., J., y A. Infante C. 2006. Producción primaria neta aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Rev. For. Lat.* 40: 47-70.
- Smith M., T., y R. L. Smith. 2007. *Ecología*. Sexta edición. Pearson Educación S. A., Madrid, España. 681 p.
- Turner G., M., E. A. H. Smithwick, D. B. Tinker, and W. H. Romme. 2009. Variation in foliar nitrogen and aboveground net primary production in young postfire lodgepole pine. *Can. J. For. Res.* 39: 1024-1035.
- Vásquez G., I., M. A. López L., G. Ángeles P., A. Trinidad S., M. Jiménez C., y G. Aguilar B. 2015. Aclareo y fertilización química en la productividad primaria neta de plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Rev. Mex. Cien. For.* 6: 82-93.
- Velázquez, A., J. F. Mas, R. Mayorga S., J. R. Díaz, C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, J. L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez R., L. Luna G., I. Trejo, J. López G., M. Palma, A. Peralta, J. Prado M., y F. González M. 2002. Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. *Biodiversitas* 41: 8-15.