



Artículo / Article

Aclareo y fertilización química en la productividad primaria neta de plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Thinning and chemical fertilization in the net primary production of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. plantations

Irma Vásquez García¹, Miguel Ángel López López¹, Gregorio Ángeles Pérez¹, Antonio Trinidad Santos¹, Marcos Jiménez Casas¹ y Gisela Aguilar Benítez²

Resumen

Con la productividad primaria neta aérea (PPN) se evalúa el efecto de las prácticas silviculturales en ecosistemas manejados, pues es fundamental para entender su capacidad de almacenamiento de biomasa y carbono. En dos plantaciones de *Pinus patula* de 13 y 15 años se determinó el impacto del aclareo y la fertilización química sobre la PPN y otras variables; se estableció un experimento factorial de 2². La unidad experimental fue una parcela de 8 x 8 m y 10 x 10 m con tres repeticiones por tratamiento. Se obtuvo un área basal residual de 18 y 21 m² ha⁻¹ en las parcelas con aclareo, y el área basal promedio en aquellas sin aclareo fue de 28 y 42 m² ha⁻¹. Se aplicaron 0.64, 0.128, 2.68 y 1.4, 0.4, 8.34 kg de urea, superfosfato triple de calcio y sulfato de potasio, respectivamente. La caída de hojarasca se controló mediante trampas de 0.5 m²; los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas se calcularon con ecuaciones alométricas. La fertilización no tuvo efectos significativos, pero tendió a disminuir el incremento de biomasa (IB) y a incrementar la producción de hojarasca (PHo) y la PPN en la plantación de 13 años. En la de 15 se elevaron el IB y la PPN, pero disminuyó la PHo. El aclareo no tuvo efectos significativos, aunque se registró aumento en la PPN en la plantación de 15 años, B aumentó en ambas y reducción en PHo. Algunos resultados sugieren que el recurso más limitante, probablemente, es la luz, mientras que la disponibilidad de nutrientes no.

Palabras clave: Biomasa de follaje, biomasa de fuste, biomasa de ramas, incremento de biomasa, productividad primaria neta, producción de hojarasca.

Abstract

The effect of forestry practices in managed ecosystems with aboveground net primary production (NPP) is evaluated, as it is essential to understand their biomass and carbon storage capacity. In two *Pinus patula* plantations of 13 and 15 years old, the impact of thinning and chemical fertilizers on NPP and other variables was determined; a 2² factorial experiment was established. The experimental unit was a plot of 8 x 8 m and 10 x 10 m with three replications per treatment. A residual basal area of 18 to 21 m² ha⁻¹ in the cleared plots was obtained, and the average basal area in the non-cleared ones was 28 and 42 m² ha⁻¹. 0.64, 0.128, 2.68 1.4, 0.4, 8.34 kg of urea, calcium triple superphosphate and potassium sulfate were applied respectively. Litterfall was calculated with 0.5 m² traps; stem, foliage and branches biomass increments with allometric equations. Fertilization had no significant effect, but tended to reduce the amount of biomass (IB) and increase litter production (PHo) and the NPP in the plantations of 13 years. In the 15 year old one, it rose IB and NPP but PHo declined. Thinning had no significant effect but tended to increase NPP in the 15 year plantation, B increased in both but PHo diminished. Some results suggest that the most limiting resource is probably light, while the availability of nutrients is not.

Key words: Foliage biomass, stem biomass, biomass of branches, increased biomass, NPP, litter production.

Fecha de recepción/date of receipt: 24 de noviembre de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 17 de abril de 2015.

¹ Colegio de Postgraduados. Correo-e: vgarcia@colpos.mx.

² Instituto de Investigación en Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Introducción

El estudio de la productividad primaria neta (PPN) de plantaciones forestales es importante por varias razones: 1) la sostenibilidad de un sistema forestal solo se logra cuando la productividad primaria neta es cercana a la potencial (Binkley *et al.*, 1997); 2) la rentabilidad puede verse amenazada, si se presentan valores bajos de PPN (Rodríguez *et al.*, 2011); y 3) se favorece la tasa de captura de carbono atmosférico al aumentar la PPN, ya que es posible almacenar carbono en los componentes aéreos y subterráneos del ecosistema, por lo tanto, el papel del bosque como mitigante de la acumulación de CO₂ en la atmósfera es relevante en el tema del cambio climático (Salas e Infante, 2006).

En las plantaciones forestales, el aclareo es una práctica silvícola trascendente para mantener las tasas de crecimiento y la productividad en niveles financieramente viables; corresponde al corte que se realiza en un rodal entre su establecimiento y su cosecha final. Su propósito principal es reducir el número de árboles en un rodal para disminuir la competencia y lograr que los árboles remanentes tengan más espacio para el desarrollo de sus raíces y copas; de tal manera que se favorezca su crecimiento, desarrollo, PPN y los beneficios económicos. Además, facilita la selección de los árboles más vigorosos y con un fenotipo mejor conformado (Rodríguez *et al.*, 2011).

Otra actividad básica en las plantaciones forestales es la fertilización, la cual fomenta el crecimiento, la calidad de la madera y aumenta la producción. Consiste en la aportación de productos que suministran elementos nutritivos disponibles para las plantas en un plazo más o menos corto (Lázaro- Dzul *et al.*, 2012). Esta actividad, en combinación con el aclareo, por lo general genera mayor crecimiento en diámetro y promueve el desempeño fisiológico en los árboles y la PPN (Lindgren *et al.*, 2007). El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del aclareo, la fertilización química, así como su interacción sobre la PPN y sus componentes, en plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. con ejemplares de amplia cobertura de copa, para probar la hipótesis de que los factores mencionados incrementan la PPN.

Materiales y Métodos

Área de estudio

Las dos plantaciones de *P. patula* se localizan en el ejido Palo Bendito, municipio Huayacocotla, ubicado en la zona norte del estado de Veracruz, a 20°27' N y 98°29' O y una altitud de 2 460 m.

Introduction

The study of net primary productivity (NPP) of forest plantations is important for several reasons: 1) The sustainability of a forest system is only achieved when the net primary productivity is close to the potential one (Binkley *et al.*, 1997). 2) Profitability can be threatened if forest plantations have low values of NPP (Rodríguez *et al.*, 2011) and 3) The rate of capture of atmospheric carbon is favored by increasing the NPP because you can store carbon in the air components and underground ecosystem. Therefore, the role of forests as mitigating the accumulation of CO₂ in the atmosphere is important in the issue of climate change (Salas and Infante, 2006).

In forest plantations, thinning is an important practice to maintain growth rates and productivity levels financially viable; it is the cut made in a stand between its establishment and final harvest. The main objectives of thinning are to reduce the number of trees in a stand to lower competition and ensure that the remaining trees have more room to develop their roots and tops, promoting their growth, development, NPP and economic benefits. In addition, thinning is also useful for selecting the strongest and phenotypically best formed trees (Rodríguez *et al.*, 2011).

Another basic forestry activity in plantations is fertilization, which helps improve growth, timber quality and production increments. It means a contribution of products that provide nutrients available to plants in a more or less short term (Lázaro- Dzul *et al.*, 2012). This practice, combined with thinning, usually produces larger diameter growth and promotes the physiological development in trees and higher rates of NPP (Lindgren *et al.*, 2007). The aim of this study was to determine the effect of thinning, chemical fertilizer and their interaction on the NPP and its components in *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. with great crown cover, to test the hypothesis that these factors enhance NPP.

Materials and Methods

Study area

Both *P. patula* plantations are located in the Palo Bendito ejido, Huayacocotla municipality, which is located in the northern part of Veracruz state, at 20°27' N and 98°29' W, at an altitude of 2 460 m.

The climate is temperate humid, with summer rains and frequent fog, with an average annual temperature of the coldest month (January) between 3 and 8 °C and the warmest month (May) of 16 °C. The average annual rainfall varies from 633.9 to 1 385.1 mm (Domínguez *et al.*, 1997).



El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y nieblas frecuentes, una temperatura media anual del mes más frío (enero) entre 3 y 8 °C y del mes más caliente (mayo) > 16 °C. La precipitación pluvial media anual varía de 633.9 a 1 385.1 mm (Domínguez *et al.*, 1997).

La plantación de 15 años de edad se estableció durante la estación lluviosa (julio) de 1998 y la de 13 años en el verano (junio) del año 2000, ambas con un espaciamiento de 2.5 m entre árboles (López y Estañol, 2014).

Los suelos se originaron a partir de rocas sedimentarias, principalmente lutitas y areniscas, y su textura general es franco arcillosa. El drenaje es superficial rápido y lento en el interior por las altas cantidades de humus. Los principales suelos son Feosem lúvico, con una capa rica en materia orgánica y en nutrimentos, y Vertisol pélico de tipo arcilloso, de textura fina e impermeable. Las pendientes promedio son de 30 % (Domínguez *et al.*, 1997).

Diseño experimental

En cada plantación se estableció un experimento factorial, con dos factores (fertilización y aclareo) y dos niveles de cada uno; los de fertilización fueron 1) sin fertilización y 2) aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio; los del de aclareo fueron 1) sin aclareo y 2) con aclareo. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones, la unidad experimental fue una parcela de 100 m² y 64 m² para las plantaciones de 15 (3 577 m² de superficie) y 13 años (2 619 m² de superficie), respectivamente. Con la combinación de los niveles de los factores se generaron cuatro tratamientos que se aplicaron a cada plantación, los cuales se distribuyeron de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar (Cuadro 1).

La combinación de los niveles de los factores dio origen a cuatro tratamientos: 1) sin fertilización, sin aclareo; 2) sin fertilización, con aclareo; 3) fertilización, sin aclareo; y 4) fertilización, con aclareo.

Los tratamientos de fertilización química se aplicaron el 10 de septiembre del 2011; consistieron en el aporte al voleo, de 1.4, 0.4 y 8.34 kg parcela⁻¹ de urea, superfosfato triple de calcio y sulfato de potasio, respectivamente, para la plantación de 15 años, mientras que para la de 13 años, fue de 0.64, 0.128 y 2.68 kg parcela⁻¹ de los fertilizantes indicados.

En la misma fecha se eliminaron los árboles en las parcelas correspondientes a este tratamiento, hasta lograr el área basal residual aproximada de 21 m² ha⁻¹ para las parcelas de la plantación de 15 años y de 18 m² ha⁻¹ para la de 13, cuando su área basal inicial era de 30.61 para las primeras y de 19.6 m² ha⁻¹ para las segundas. Durante la selección de los árboles para derribar se consideró, además del área basal residual, una buena distribución

The 15 year old plantation was established during the rainy season (July) of 1998 and the 13 year old one in the summer (June) of 2000, both with a spacing of 2.5 m between trees (López and Estañol, 2014).

Soils originated from sedimentary, mainly lutite and sandstones, and overall texture is clay loam. Fast surface drainage is slow inside from the high amounts of humus. The main soils are Luvic phaeosem with a rich layer of organic matter and nutrients, and clay type Pelic vertisol, with fine texture and waterproof. The average slopes are 30 % (Domínguez *et al.*, 1997).

Experimental design

In each plantation a factorial experiment with two factors (fertilization and thinning) and two levels of each factor was established. Fertilization factor levels were 1) no fertilization and 2) application of nitrogen, phosphorus and potassium; the thinning factor were 1) no thinning and 2) with thinning. Each treatment had three replications and the experimental unit was a plot of 100 m² and 64 m² for plantations of 15 (3 577 m² surface) and 13 years (2 619 m²), respectively. With the combination of factor levels, four treatments resulted and they were applied to each plantation and were distributed according to a completely randomized experimental design (Table 1).

Cuadro 1. Factores y niveles probados en el estudio.

Factores	Nivel	
	1	2
Fertilización	Sin fertilización	Con fertilización (N, P y K)
Aclareo	Sin aclareo	Con aclareo

Table 1. Factors and tested levels in this study.

Factors	Level	
	1	2
Fertilization	Without fertilization	With fertilization (N, P and K)
Thinning	Without thinning	With thinning

The combination of the levels of the studied factors gave rise to four treatments: 1) without fertilization, without thinning; 2) without fertilization, with thinning; 3) fertilization, without thinning and 4) with fertilization, with thinning.

The treatments of chemical fertilization were applied on September 10, 2011, and consisted of the flying application of 1.4, 0.4 and 8.34 kg plot⁻¹ of urea, triple superphosphate calcium

de los individuos arbóreos dentro de la parcela y el derribo de suprimidos; el aclareo que se realizó fue ligero.

Diámetro a la altura del pecho (DAP)

La medición se hizo de abril de 2012 a abril de 2013. La variable se utilizó en los modelos de estimación de biomasa de los diversos compartimientos del árbol y estimar sus incrementos en el periodo considerado. El equipo utilizado fue un flexómetro LUFKIN modelo L716CME.

Producción de hojarasca

Se colocaron de forma aleatoria en cada unidad experimental, tres trampas de 0.5 m² de superficie de colecta. La hojarasca de cada una se recolectó mensualmente, desde abril de 2012 hasta abril de 2013, y se llevó al laboratorio en donde se secó a 70 °C en una estufa SMO28-2 SHEL LAB, hasta alcanzar un peso constante; posteriormente, se separó en follaje, ramillas, conos y conillos y se registró el peso de cada uno.

Productividad primaria neta aérea (PPN)

La estimación de la PPN se realizó con la metodología sugerida por Clark *et al.* (2001), quienes proponen la fórmula general:

$$PPN = \text{Incrementos de biomasa} + \text{pérdidas}$$

Los incrementos de biomasa por componente estructural del árbol (fuste, ramas y follaje) se estimaron mediante los modelos alométricos elaborados por Castellanos *et al.* (1996) (Cuadro 2) para la especie de interés, que determinan la biomasa a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP). Dentro del concepto de pérdidas, solo se tomó en cuenta la caída de hojarasca, incluidos conos, conillos y ramillas.

Cuadro 2. Ecuaciones de regresión para estimar peso seco (kg) de cada uno de los componentes de la parte aérea del árbol de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham. (N = 27).

Componente	Ecuación de regresión	R ²
Fuste total C/C	$\ln Y = -2.06082 + 2.30026 \ln (DN)$	0.99
Ramas	$\ln Y = -4.4555 + 2.33325 \ln (DN)$	0.96
Follaje total	$\ln Y = -3.74989 + 1.73807 \ln (DN)$	0.92

Fuente: Castellanos *et al.*, 1996.

Table 2. Regression equations to estimate the dry weight (kg) of each one of the components of the aerial part of the *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. *et* Cham. (N = 27).

Component	Regression equation	R ²
Total stem C/C	$\ln Y = -2.06082 + 2.30026 \ln (DN)$	0.99
Branch	$\ln Y = -4.4555 + 2.33325 \ln (DN)$	0.96
Total foliage	$\ln Y = -3.74989 + 1.73807 \ln (DN)$	0.92

Source: Castellanos *et al.*, 1996.

and potassium sulphate, respectively, for the 15 year-old plantation, while for the 13 year-old one, it was 0.64, 0.128 and 2.68 kg⁻¹ the same fertilizer.

On the same date the thinnings were accomplished and they concentrated on the felling of the trees of the corresponding plots of this treatment, up to a residual basal area was around 21 m² ha⁻¹ for the 15 year-old plantations and of 18 m² ha⁻¹ for that of 13, when their initial basal area was 30.61 for the first ones and of 19.6 m² ha⁻¹ for the second ones. During the selection of the trees for felling, in addition to the residual basal area, it was considered to obtain a good distribution of the trees inside the plot, and the felling of suppressed trees; thinning was light.

Diameter at breast height (DBH)

This measurement was made from April 2012 to April 2013. The variable was used to feed the models of estimation of biomass of the different parts of the trees and to estimate the increments in the considered period. A L716CME Lufkin flexometer was used to measure diameters.

Litter production

To assess this variable, three 0.5 m² collection traps were placed at random in each experimental unit. Each litter was collected monthly from April 2012 to April 2013, and brought to the laboratory where it was dried at 70 °C to constant weight in a SMO28-2 SHEL LAB kiln; then it was divided into leaves, twigs, cones and small cones and the weight of each component was recorded.



Donde:

- C/C = Con corteza
- DN = Diámetro normal
- ln = Logaritmo natural

Análisis estadístico

Las estimaciones de biomasa de los componentes aéreos del árbol se hicieron individualmente y se integraron por parcela experimental (repetición). Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial. Se realizó la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para comparar las medias de los tratamientos. Para el procesamiento de estos datos se usó el paquete SAS (2004).

Resultados

En la plantación de 13 años, los factores fertilización y aclareo no tuvieron efectos estadísticamente significativos sobre la PPN, ni en la producción de hojarasca, y su interacción tampoco repercutió en ninguna de las variables bajo estudio (Cuadro 3).

En el incremento de biomasa de follaje, la fertilización no fue significativa; no obstante, el aclareo sí ($P \leq 0.0044$). Lo contrario ocurrió con el incremento de biomasa de fuste, pero el aclareo sí mostró efectos significativos ($P = 0.0071$) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Niveles de probabilidad correspondientes al análisis de varianza del experimento de fertilización y aclareo en la plantación de 13 años, Palo Bendito, Huayacocotla, Ver.

Fuente de variación	Grados de libertad	Nivel de significancia				
		PPN	Hojarasca	IBFu	IBFo	IBR
Tratamiento	3	0.9145	0.2750	0.0420*	0.0213*	0.0391*
Fertilización	1	0.5468	0.3359	0.6489	0.2717	0.5537
Aclareo	1	0.9433	0.0970	0.0071**	0.0044**	0.0069**
Fertilización x aclareo	1	0.7542	0.7922	0.8239	0.5063	0.7022

IBFu = Incremento de biomasa de fuste; IBFo = Incremento de biomasa de follaje; IBR = Incremento de biomasa de ramas; P = Probabilidades límites en ANDEVA con dos factores y dos niveles; * = $P < 0.10$; ** = $P < 0.01$; ns = $P > 0.10$.

Table 3. Levels of probability corresponding to the analysis of variance of the fertilization experiment in planting and thinning of the 13 year-old plantation at Palo Bendito, Huayacocotla, Ver.

Source of variation	Degrees of freedom	Significance level				
		NPP	Litter	IBFu	IBFo	IBR
Treatment	3	0.9145	0.2750	0.0420*	0.0213*	0.0391*
Fertilization	1	0.5468	0.3359	0.6489	0.2717	0.5537
Thinning	1	0.9433	0.0970	0.0071**	0.0044**	0.0069**
Fertilization x thinning	1	0.7542	0.7922	0.8239	0.5063	0.7022

IBFu = Stem biomass increment; IBFo = Foliage biomass increment; IBR = Branch biomass increment; P = Borderline probabilities in ANOVA with two factors and two levels; * = $P < 0.10$; ** = $P < 0.01$; ns = $P > 0.10$.

Aerial Net Primary Productivity (NPP)

The estimate of NPP was performed with the methodology suggested by Clark *et al.* (2001), who proposed the formula:

$$NPP = \text{Biomass increments} + \text{losses}$$

Increases in biomass for each structural component of the tree were: stem, branches and foliage, by using allometric models developed by Castellanos *et al.* (1996) (Table 2) for the species under study. The models estimate the biomass of compartments, from the diameter at breast height (DBH). Within the concept of loss, only the litterfall was considered, including cones, small cones and twigs.

Where:

- C/C = With bark
- DN = Normal diameter
- ln = Natural logarithm

Statistical analysis

Biomass estimates of air tree components are individually made and integrated by experimental plot (replication). Data were processed by analysis of variance according to the completely randomized experimental design with factorial arrangement. Tukey test ($P \leq 0.05$) was performed to compare

En la plantación de 15 años, no se verificaron efectos significativos de los factores probados sobre la PPN, hojarasca, IBFu, IBFo, ni IBR (Cuadro 4). La interacción fertilización x aclareo tampoco resultó significativa.

the means of the treatments. For the processing of these data, the SAS package (2004) was used.

Cuadro 4. Niveles de probabilidad correspondientes al análisis de varianza del experimento de fertilización y aclareo en la plantación de 15 años, Palo Bendito, Huayacocotla, Ver.

Fuente de variación	Grados de libertad	Nivel de significancia				
		PPN	Hojarasca	IBFu	IBFo	IBR
Tratamiento	3	0.5369	0.2345	0.4124	0.2524	0.3532
Fertilización	1	0.4227	0.6748	0.3469	0.3601	0.3874
Aclareo	1	0.5355	0.0739	0.2960	0.1144	0.1782
Fertilización x aclareo	1	0.3032	0.3885	0.3515	0.3735	0.4123

IBFu = Incremento de biomasa de fuste; IBFo = Incremento de biomasa de follaje; IBR = Incremento de biomasa de ramas; P = Probabilidades límites en ANDEVA con dos factores y dos niveles; * = P < 0.10; ** = P < 0.01; ns = P > 0.10.

Table 4. Levels of probability corresponding to the analysis of variance of the fertilization and thinning experiment in the 15 year-old plantation, Palo Bendito, Huayacocotla, Ver.

Source of variation	Degrees of freedom	Significance level				
		NPP	Litter	IBFu	IBFo	IBR
Treatment	3	0.5369	0.2345	0.4124	0.2524	0.3532
Fertilization	1	0.4227	0.6748	0.3469	0.3601	0.3874
Thinning	1	0.5355	0.0739	0.2960	0.1144	0.1782
Fertilization x thinning	1	0.3032	0.3885	0.3515	0.3735	0.4123

IBFu = Stem biomass increment; IBFo = Foliage biomass increment; IBR = Branch biomass increment; P = Borderline probabilities in ANOVA with two factors and two levels; * = P < 0.10; ** = P < 0.01; ns = P > 0.10.

Con respecto a las pruebas de medias de Tukey, la fertilización no tuvo efecto significativo en la PPN con un nivel de confianza de 95 % en ambas plantaciones, lo que es extensivo a la producción de hojarasca, en los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas (Cuadro 5).

El aclareo no afectó significativamente la PPN, ni la producción de hojarasca en ambas plantaciones. Pero, en cuanto a los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas en la plantación de 13 años fueron afectados significativamente por el aclareo; lo contrario ocurrió en la plantación de 15 años (Cuadro 5).



Results

In the 13 year plantation, the fertilization and thinning factors had no statistically significant effect on the NPP or upon litter production and their interaction either over any of the variables under study (Table 3).

In the increment of foliage biomass, fertilization had no significant effect, however, thinning did ($P \leq 0.0044$). The contrary effect occurred in the stem biomass increase but thinning did have significant results (Table 3).

In the 15 year-old plantation, there were non- significant effects of the factors tested on the NPP, litter, IBFu, IBFo or IBR (Table 4). The fertilization x thinning interaction was not significant for litter production or the other variables under study.

With respect to Tukey's mean test, fertilization had no significant effect on NPP with a confidence level of 95 % in both plantations which s extensivo to litter production, increases in biomass of stem, leaves and branches (Table 5).

Cuadro 5. Pruebas de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) del experimento de fertilización y aclareo en la plantación de 13 años, Palo Bendito, Huayacocotla, Ver.

		PPN (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	D S	Hoja (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	D S	IBFu (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	D S	IBFo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	D S	IBR (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	D S
Fertilización	Con	5 767.9	1 034.6 a	4 618.9	995.4 a	1 021.4	462.6 a	22.6	9.2 a	105.0	47.8 a
	Sin	5 382.8	867.7 a	4 110.2	853.6 a	1 124.9	622.4 a	28.1	15.0 a	119.6	69.3 a
Aclareo	Con	5 552.9	1 105.3 a	3 897.6	830.9 a	1 465.8	425.3 a	34.5	10.3 a	155.0	47.4 a
	Sin	5 597.9	830.3 a	4 831.5	813.1 a	680.4	238.5 b	16.2	4.5 b	69.7	24.7 b

PPN = Productividad primaria neta; D S = Desviación estándar; Hoja = Hojarasca; IBFu = Incremento de biomasa de fuste; IBFo = Incremento de biomasa de follaje; IBR = Incremento de biomasa de ramas.

Table 5. Tukey Tests ($\alpha = 0.05$) of the fertilization and thinning experiment in the 13 year-old plantation, *Palo Bendito, Huayacocotla, Ver.*

		NPP (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	D S	Hoja (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	D S	IBFu (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	D S	IBFo (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	D S	IBR (kg ha ⁻¹ year ⁻¹)	D S
Fertilization	With	5 767.9	1 034.6 a	4 618.9	995.4 a	1 021.4	462.6 a	22.6	9.2 a	105.0	47.8 a
	Without	5 382.8	867.7 a	4 110.2	853.6 a	1 124.9	622.4 a	28.1	15.0 a	119.6	69.3 a
Thinning	With	5 552.9	1 105.3 a	3 897.6	830.9 a	1 465.8	425.3 a	34.5	10.3 a	155.0	47.4 a
	Without	5 597.9	830.3 a	4 831.5	813.1 a	680.4	238.5 b	16.2	4.5 b	69.7	24.7 b

NPP = Net Primary Productivity; D S = Standard Deviation; Hoja = Litter; IBFu = Stem biomass increment; IBFo = Foliage biomass increment; IBR = Branch biomass increment.

Discusión

La PPN media con fertilización para las dos plantaciones fue de 6 914.95 kg ha⁻¹ año⁻¹; estos niveles son similares a los citados por Pacheco *et al.* (2007), quienes calcularon un valor de 5.8 Mg ha⁻¹ año⁻¹ en una plantación de *Pinus greggii* Engelm. de 6 años de edad, en Cuanepantla, municipio Acaxochitlán, en el estado de Hidalgo.

La ausencia de impacto de la fertilización sobre la PPN las plantaciones estudiadas puede explicarse por la alta densidad, ya que el aclareo del arbolado fue ligero (plantación de 15 años con 3 577 m² de superficie) (Cuadro 5); condición que propició competencia por luz entre las copas de los árboles, lo que convirtió a la radiación solar incidente en el factor limitante del crecimiento. En estas plantaciones, López y Estañol (2014) instalaron un experimento de fertilización en el año 2008; y la aplicación de nitrógeno y fósforo, de manera independiente, incrementó el diámetro a la altura del pecho (DAP) en 48.2 y 49.5 % con respecto al testigo, lo que sugiere que en aquel año, esos nutrientes limitaban el desarrollo de los árboles.

En la plantación de 13 años (2 619 m² de superficie) es posible que la falta de efecto significativo sobre la PPN se deba a la presencia de herbáceas (zarzamora y pasto), y como no se hizo un control de maleza, con el fertilizante, dichas

In the case of thinning, it did not significantly affect the NPP or the litter production in the 13 year-old plantation (Table 5). In the 15 years-old one, the same thing happened. But in regard to the increases in stem, foliage and branches biomass of the 13 year-old plantation, they were significantly affected by thinning; the opposite occurred in the 15 year-old plantation (Table 5).

Discussion

The average NPP with fertilizer for plantations of 13 and 15 years was 6 914.95 kg ha⁻¹ yr⁻¹. These levels are similar to those of Pacheco *et al.* (2007), who calculated a value of 5.8 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, in a 6 year-old *Pinus greggii* Engelm. plantation in *Cuanepantla, Acaxochitlán* municipality in the state of *Hidalgo*.

Fertilization had no statistically significant effect on NPP in any of the studied plantations, probably due to the high density, since the thinning of trees was light (plantation of 15 years with 3 577 m² surface) (Table 5); this condition has led to competition for light among the treetops, which has made the incident solar radiation as the limiting factor for growth. In these plantations, López and Estañol (2014) installed a fertilization experiment in 2008 and the application of nitrogen and phosphorus independently, increased the diameter at breast height (DBH) in 48.2 and 49.5 % compared with the control, suggesting that in that year, these nutrients limited the development of the trees.

plantas absorbieron parte del mismo. Algo similar obtuvo Toro (2004), quien sugiere que para tener plantaciones de calidad y elevar la productividad, debe haber un control de malezas que evita la competencia por nutrimentos y agua, ya que en su estudio destaca dicho comportamiento con *Pinus radiata* D. Don. pues resulta sobresaliente la extracción y acumulación de nutrimentos por la vegetación asociada; lo anterior también es sustentado por Gerding *et al.* (1986), Medrano *et al.* (1999) y Donoso *et al.* (2007).

A pesar de la irrelevancia de la fertilización sobre la PPN, sus valores fueron superiores cuando se adicionó ($8\ 062\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$) que sin ella ($5\ 766\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$), tanto en la plantación de 15 años como en la de 13 años ($5\ 767.9\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ vs $5\ 382.8\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$) (Cuadro 5). Esto se explica porque dicha práctica, por lo general, incrementa la capacidad fotosintética de las hojas (Gough *et al.*, 2004) que se refleja en una mayor acumulación de biomasa y de PPN.

La producción de hojarasca aumentó con la fertilización en la plantación de 13 años y disminuyó en la de 15, que no tiene herbáceas. Resultados que pueden responder a que, en la actualidad, la primera tiene menor cobertura de copas que la última porque los árboles son menos altos; esto permite la entrada de luz al piso forestal, por lo que en ella hay mayor cantidad de malezas como pastos y herbáceas, en comparación con la plantación de 15 años. Es probable que la fertilización haya incrementado la biomasa de pastos (variable no cuantificada) y herbáceas, lo que se traduce en competencia por agua entre las malezas y los árboles, lo que, a su vez, resulta en el eventual desprendimiento de las hojas y la producción de hojarasca. Esa posibilidad es acorde con la disminución (no significativa) de los incrementos de la biomasa de fuste, foliar y de ramas registrada en las parcelas fertilizadas, con respecto a las no fertilizadas en la plantación de 13 años (Cuadro 5).

En la plantación de 15 años, la tendencia del efecto de la fertilización sobre los aumentos de biomasa de fuste, follaje y ramas, pudo deberse a que mejoró el estado nutricional de los árboles, al aumentar (no significativamente) la biomasa mencionada y quizá la longevidad del follaje, que explicaría la disminución de la producción de hojarasca.

Los valores de producción de hojarasca obtenidos en este estudio son similares, en comparación con los señalados en el estudio de Ramírez *et al.* (2007), quienes registraron cifras de $8\ 362.47\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$ para plantaciones de *P. patula* de 42 años con área basal de $41.7\ \text{m}^2\ \text{ha}^{-1}$ en Antioquia, Colombia. León (2009) calculó números similares a los de ($4\ 866.5\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$) para la misma especie en la cuenca de Piedras Blancas, al sureste de dicha población. Con respecto a lo anterior, los valores que se documentaron en el presente trabajo están en el intervalo de producción de hojarasca para la especie.

In the plantation of 13 years ($2\ 619\ \text{m}^2$) it is possible that the lack of significant effect on the NPP is due to the presence of herbaceous (blackberry and grass), and of course became a weed control, to apply the fertilizer, such plants absorbed part of it. Something similar is found Toro (2004), who suggests that to have quality plantations and raising productivity, must be weed control to avoid competition for nutrients and water, since in his study he highlights such behavior with *Pinus radiata* D. Don where the extraction and nutrient accumulation by the associated vegetation was outstanding; this, too, is supported by Gerding *et al.* (1986), Medrano *et al.* (1999) and Donoso *et al.* (2007).

Despite the irrelevance of fertilization on the NPP, the values of this variable were higher with it ($8\ 062\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{yr}^{-1}$) than without it ($5\ 766\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{yr}^{-1}$), in both the 15 year-old and in the 13 year-old plantation ($5\ 767.9\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{yr}^{-1}$ vs $5\ 382.8\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{yr}^{-1}$) (Table 5). This is because such a practice usually rises the photosynthetic capacity of the leaves (Gough *et al.*, 2004) and the increase in this rate is reflected in a greater accumulation of biomass and NPP.

Litter production increased with fertilization in the 13 year-old plantation and decreased in the 15 year-old one, which has no herbs, which can respond to the fact that at present, the first one has less crown cover than the latter because the trees are less tall. This allows light to enter the forest floor, so in this plantation there is an evident amount of weeds such as grasses and herbs, compared to the plantation of 15 years. Probably fertilization has increased grass (not quantified variable) and herb biomass which results in competition for water between these weeds and the trees and eventually, the possible shedding of leaves and litter production. This possibility is consistent with the decrease (not significant) increase of stem, leaf and branches biomass registered in the fertilized plots compared to unfertilized plots in the 13 year-old plantation (Table 5).

On the other hand, in the 15 year-old plantation, the trend of the effect of fertilization on stem, foliage and branches biomass increases, could be due to the improvement of the nutritional status of the trees, to increase (not significantly) the mentioned biomass and perhaps the longevity of foliage, which could explain the decrease in litter production.

The litter production values obtained in this study are similar compared to those found in the study of Ramírez *et al.* (2007), who recorded figures of $8\ 362.47\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{yr}^{-1}$ for 42 year old of *P. patula* plantations with basal area of $41.7\ \text{m}^2\ \text{ha}^{-1}$ in Antioquia, Colombia. León (2009) estimated similar to those of this study numbers ($4\ 866.5\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{yr}^{-1}$) for the same species in the Piedras Blancas basin, southeast of this population. These numbers indicate that the results obtained in this study are in the range of litter production for the species.

En las dos plantaciones, la fertilización no tuvo efecto significativo en los incrementos de biomasa de fuste, follaje ni ramas; sin embargo, las tendencias de su repercusión fueron diferentes entre plantaciones; es decir, en la de 13 años se observó una disminución en los incrementos de la biomasa, mientras que en la de 15 años, su comportamiento fue de forma contraria.

Los mecanismos de acción de los fertilizantes estuvieron en función de la condición del dosel. En la plantación de 13 años, es sensiblemente más abierto que en la de 15 años, debido a que la primera es más joven. Esta condición permite la entrada de radiación solar al piso forestal, y estimula el establecimiento de la vegetación herbácea, lo que se traduce en mayor biomasa, como respuesta a la fertilización; además, la facultad para competir ventajosamente con los árboles, en especial por el agua, ya que en el área de estudio, la disponibilidad de humedad en el suelo es una limitante del crecimiento, cuya carencia se acentúa de febrero a mayo (Medrano *et al.*, 1999; Donoso *et al.*, 2007). No obstante que los fertilizantes tienen un efecto parcial, por la escasez de agua, y que se les aplicó en época de lluvias, es posible que solo las herbáceas los aprovecharon.

La tendencia del efecto de la fertilización en la plantación de 15 años es positiva; sin embargo, no fue significativa porque la disponibilidad de nutrientes no constituye el principal factor limitante en este grupo de árboles. Tal vez, el factor limitante primario sea la falta de radiación solar; en otras palabras, la consecuencia de la competencia entre copas por la luz, dado que la cobertura del dosel es muy amplia, comparada con la de 13 años.

Si las explicaciones detalladas con respecto a la fertilización en ambas plantaciones son acertadas, entonces es posible deducir que en la de 13 años, además de la aplicación de fertilizantes se les debe agregar el control de malezas (Donoso *et al.*, 2007), mientras que la de 15 años, aunado a los nutrientes, es necesario que reciba tratamientos de aclareo.

Con respecto a los efectos del aclareo, la PPN no fue afectada significativamente, aunque existen diferencias numéricas importantes, cuando se practica ($7\ 793\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$), que al omitírsele ($6\ 034\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{año}^{-1}$), en la plantación de 15 años. La ausencia de árboles aumenta la disponibilidad de luz para los remanentes, lo que favorece la actividad fotosintética, y contribuye a la fijación de carbono en el rodal (Zhenmin *et al.*, 1997). Recursos como los nutrientes y el agua del suelo también elevan su disponibilidad después del aclareo, con la consecuente mejora de la fisiología general de los árboles y sus tasas de crecimiento. La falta de diferencias significativas entre los niveles de aclareo sobre la PPN probablemente fue inducida, al menos de forma parcial, por la alta variabilidad en

In the two plantations fertilization had no significant effect on stem, foliage or branches biomass increments; however, their impact trends were different between plantations, *i. e.*, in the 13 year-old one increments a decrease in biomass was observed, while in the 15 year-old plantation, it had an opposite behavior.

The mechanisms of action of fertilizers were different and probably based on the condition of the canopy. In the 13 year-old plantation, the canopy is substantially more open than in the 15 year-old since the first is younger. This condition lets in sunlight to the forest floor, facilitating the establishment of herbaceous vegetation. This favors the establishment of the herbaceous vegetation and its resulting biomass increment due to the fertilization treatment; in addition, it enables it to compete aggressively with trees, especially water, as in the study area, availability of soil moisture is growth-limiting, especially from February to May (Medrano *et al.*, 1999; Donoso *et al.*, 2007). However, fertilizers have a partial effect from water scarcity, but even though fertilization was applied in the rainy season, maybe the herbs were the only ones which took advantage of them.

The tendency of the fertilization effect in the 15 year-old plantation is positive; however, it was not significant because the availability of nutrients does not correspond to the major limiting factor in this group of trees. Maybe the primary limiting factor would be the lack of solar radiation; that is, the result of the competition between crowns for light, as the cover of this canopy in this section is very wide compared to the 13 year-old plantation.

If the detailed explanations above for the purposes of fertilization in both sections are correct, then it is possible to deduce that in the 13 year-old plantation, fertility treatments must be accompanied by weed control treatments (Donoso *et al.*, 2007) whereas in the 15 year-old plantation, fertilizing should be accompanied by thinning treatments.

With respect to the effects of thinning, NPP was not significantly affected, although there are significant numerical differences with thinning ($7\ 793\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{yr}^{-1}$) than without thinning ($6\ 034\ \text{kg ha}^{-1}\ \text{yr}^{-1}$) in the 15 year-old plantation. The absence of trees increases the availability of light to the remnants, which favors photosynthetic activity, and contributes to carbon sequestration in the stand (Zhenmin *et al.*, 1997). Resources such as nutrients and soil water availability also rise after thinning, which improves the overall physiology of trees and their growth rates. The lack of significant differences between the levels of thinning on the NPP probably was induced, at least in part, by the high variability in the size of the trees. In the 13 year-old plantation the NPP was the same when thinning when not performed because the NPP is the sum of increases in biomass plus the mass of fallen foliage. This second factor decreased by thinning, which contributed to NPP becoming lower in plots free of vegetation (Table 5).

las dimensiones del arbolado. En la plantación de 13 años la PPN fue igual con aclareo que cuando no se realizó, debido a que esta variable resulta de la suma de incrementos de biomasa más la masa de follaje caído. Este segundo factor disminuyó por el aclareo, lo cual contribuyó a que la PPN fuera menor en las parcelas libres de vegetación (Cuadro 5).

A partir de que la producción de hojarasca es un elemento para el cálculo de la PPN, debe advertirse que esta no mejora de forma notoria por el aclareo en el corto plazo, como lo consignan Beverly *et al.* (2013), quienes determinaron que dicha práctica en los bosques jóvenes del noroeste de Estados Unidos de América disminuye la PPN en 9 %. No obstante, en el estudio que se documenta se registró un aumento (aunque no significativo) en la PPN, lo que indica actualmente, que la remoción de la malezas es necesaria en ambas plantaciones.

Los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas fueron más altos con la aplicación de aclareo aunque en la plantación de 15 años las diferencias no fueron significativas. El efecto contrario en la plantación de 13 años, se explica porque el follaje de los árboles, probablemente, estuvo sombreado por el entrecruzamiento de ramas, y después del aclareo, el dosel recibió más luz; por consiguiente, las hojas permanecieron vivas por más tiempo (se postergó la recesión de las copas) (Cuadro 5). Además, al disminuir la densidad del arbolado con el aclareo, se estimula el desarrollo lateral de sus ramas, follaje y raíces (Chaves y Mora, 2010), que debería reflejarse en una mayor PPN en la plantación, pero no sucedió debido a que después de aplicar esa práctica silvícola el aporte de follaje se redujo.

El peso de follaje-árbol¹ puede ser varias veces mayor en un rodal con aclareo, lo que da por resultado una mayor superficie activa para la fotosíntesis y, con ello, un aumento en la tasa de crecimiento secundario. Por lo general, el efecto de los aclareos es un crecimiento más rápido del diámetro de los árboles (Chaves y Mora, 2010).

Los efectos positivos del aclareo sobre los incrementos de biomasa, aunados a los reducidos niveles de significancia de la interacción fertilización x aclareo indican que en las plantaciones estudiadas está ocurriendo competencia por recursos, derivada de la elevada densidad de arbolado, lo que sugiere que ambas plantaciones requieren de la remoción de árboles para reactivar el crecimiento. En la de 13 años, al momento del aclareo existió un área basal de 19.52 m² ha⁻¹, misma que para un rodal de pino de 10 m de altura promedio (aproximadamente), de acuerdo con Kerr y Haufe (2011) es inferior a la de saturación para especies de pino; sin embargo, al final del periodo de evaluación es probable que esta condición se haya revertido. En el caso de la plantación de 15

As litter production is a factor in the calculation of the NPP, it should be noted that it can hardly improve notoriously by thinning in the short term, as reported by Beverly *et al.* (2013), who determined that this practice in young forests of northwestern United States decreases this concept by 9 %. Nevertheless, in this study an increment (although not significantly) in NPP was recorded, which means that removal of vegetation is required in both plantations today.

The increases of stem, foliage and branches biomass increased with thinning although the 15 year-old plantation, the differences were not significant in these variables. Significant effects of thinning on such increases in the 13 year-old plantation can be explained because the foliage probably was shaded by intersecting branches and after thinning, the canopy received more light and therefore the remaining leaves lived longer (the recession of the cups was postponed) (Table 5). In addition, the thinning of the woodland stimulates the lateral development of its branches, foliage and roots (Chaves and Mora, 2010), which should be reflected in greater NPP in the plantation, but it did not happen because after thinning the contribution of foliage was reduced.

The weight of foliage-tree⁻¹ can be several times greater in a thinned stand, which results in a larger active surface for photosynthesis and, thus, an increase in the rate of secondary growth. Usually, the effect of thinning is faster in the growth of the diameter of trees (Chaves and Mora, 2010).

The positive effects of thinning on biomass increases, combined with low levels of significance of fertilization interaction by thinning, indicate that in the studied plantations competition for resources is going on as a consequence of the high density of trees, which suggests that both currently plantations require thinning to revive growth. In that of 13 years, the basal area was 19.52 m² ha⁻¹ when thinning, which as for a stand of pines of 10 m tall average (approximately), according to Kerr and Haufe (2011) is less than the saturation for these species; however, at the end of the evaluation period, this tendency might have reverted. In the 15 year-old plantation, the basal area when thinning was 30.26 m² ha⁻¹, which is a saturation value for pine species (Kerr and Haufe, 2011).

Conclusions

Forestry practices had no significant effect on aboveground net primary production (NPP), in any of the studied plantations. However, thinning significantly improved biomass stem, foliage and branches increments in the 13 year-old plantation. Results suggest that these plantations, at present, require the removal of and tree and associated vegetation to promote growth in the aforementioned biomass and, therefore, of NPP. When relating the thinning treatments with NPP, it is suggested to make the assumption that this practice always decreases, at least

años de edad, el área basal al momento del aclareo fue de $30.26 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, misma que corresponde, desde entonces, a un valor de saturación para dicha especie (Kerr y Haufe, 2011).

Conclusiones

Las prácticas silviculturales no tuvieron efecto significativo sobre la productividad primaria neta aérea (PPN) en ninguna de las plantaciones estudiadas. Sin embargo, el aclareo mejoró significativamente los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas en la de 13 años. Los resultados sugieren que estas últimas, en la actualidad, requieren de la remoción de la vegetación arbórea y la asociada para favorecer el crecimiento en la biomasa referida, y en consecuencia, en la PPN. Al relacionar los tratamientos de aclareo con ella se sugiere asumir que esta práctica siempre disminuye, al menos durante los primeros años, la producción de hojarasca y en consecuencia, la PPN, en especial cuando su estimación solo considera incrementos de biomasa y mortalidad de hojarasca, sin otros componentes.

La respuesta del crecimiento del arbolado a la fertilización fue más ligera que al aclareo; sin embargo, mostró tendencias a mejorarlo en la opción de 15 años. Se presume que esta pobre reacción se debe a que la disponibilidad de nutrimentos no es el factor limitante primario y que probablemente lo sea la escasa radiación solar incidente sobre las copas. Se recomienda combinar la aplicación de fertilizantes con el control de malezas en la plantación de 13 años de edad y con aclareo en la de 15 años.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Irma Vásquez García: diseño del experimento, establecimiento de unidades experimentales en campo, recolección y análisis del material biológico y recolección de datos y análisis y elaboración del manuscrito; Miguel Ángel López López: asesoría de todo el proyecto, recolección de material biológico y revisión del manuscrito; Gregorio Ángeles Pérez: asesoría y revisión del manuscrito; Antonio Trinidad Santos: asesoría, análisis de suelos, y revisión del manuscrito; Marcos Jiménez Casas: asesoría y revisión de manuscrito; Gisela Aguilar Benítez: asesoría y revisión del texto.

Referencias

- Binkley D., A. M. O'Connell and K. V. Sankaran. 1997. Stand development and productivity. In: Sadanandan N., E. K. and A. G. Brown (eds). Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra, Australia. pp. 419-441.
- Castellanos, J. F., A. Velázquez, J. Vargas, C. Rodríguez y A. M. Fierros. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. Agrociencia 30: 123-128.
- Chaves S., E. y F. Mora Ch. 2010. Incrementos en diámetro, área basal y altura en un ensayo de aclareos para *Pachira quinata* (Jacq.) W. S. Alverson, Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. Revista Forestal

in the early years, litter production and consequently NPP, especially when its estimate considers only biomass increases and litter mortality without other components.

The response of trees growth to fertilization was lighter than to thinning; however, it showed tendencies to improve it in the 15 year-old option. It is presumed that this reaction is due to the fact that the poor availability of nutrients is not the primary limiting factor, which probably is the low solar radiation incident in the crowns. It is recommended to combine the application of fertilizers with weed control in the 13 year-old plantation and thinning in the 15 year-old plantation.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Irma Vásquez García: design of the experiment, establishment of experimental units at the field, collection and analysis of biological material, collection and analysis of data and writing of the manuscript; Miguel Ángel López López: technical advice through the whole project, collection of biological material and review of the manuscript; Gregorio Ángeles Pérez: advice and review of the manuscript; Antonio Trinidad Santos: advice, soil analysis and review of the manuscript; Marcos Jiménez Casas: advice and review of the manuscript; Gisela Aguilar Benítez: advice and review of the manuscript.

End of the English version



- Venezolana 54(2): 131-146.
- Clark, D. A., S. Brown, D. W. Kicklighter, J. Q. Chambers, J. R. Thomlinson and J. Ni. 2001. Measuring net primary production in forests: concepts and field methods. Ecological Applications 11(2): 356-370.
- Dominguez A., F. A., M. Rodríguez A. y C. Mallén R. 1997. Evaluación de cuatro intensidades de poda en una plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Huayacocotla, Veracruz. Revista Ciencia Forestal en México 22 (82): 15-32.
- Donoso, J. P., V. Gerding, D. Teau, D. P. Soto, O. Thiers y C. Donoso. 2007. Efecto de fertilización y cobertura de malezas en el crecimiento inicial y la mortalidad de una plantación de *Nothofagus dombeyi* en la Cordillera de Los Andes. Bosque 28 (3): 249-255.
- Gerding, V., J. E. Schlatter y L. Barriga. 1986. Fertilización para el establecimiento

- de *Pinus radiata* D. Don en Valdivia. *Bosque* 7 (2): 121-128.
- Gough, C. M., J. R. Seiler and C. A. Maier. 2004. Short-term effects of fertilization on loblolly pine (*Pinus taeda* L.) physiology. *Plant Cell and Environment* 27(7): 876-886.
- Kerr, G. and J. Haufe. 2011. Thinning practice, a silvicultural guide, Forestry Commission. [http://www.forestry.gov.uk/pdf/Silviculture_-_Thinning_Guide_v1_Jan2011.pdf/\\$FILE/Silviculture_-_Thinning_Guide_v1_Jan2011.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/Silviculture_-_Thinning_Guide_v1_Jan2011.pdf/$FILE/Silviculture_-_Thinning_Guide_v1_Jan2011.pdf) (10 de agosto de 2014).
- Lázaro-Dzul, M. O., J. Velázquez-Mendoza, J. J. Vargas-Hernández, A. Gómez-Guerrero, M. E. Álvarez-Sánchez y M. A. López-López. 2012. Fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Chapingo* Vol 18 (1): 33-42.
- León J, D. P., M. I. González y J. F. Gallardo. 2009. Retranslocación y eficiencia en el uso de nutrientes en bosques del centro de Antioquia. *Colombia Forestal* 12: 119-140.
- Lindgren, P. M. F., T. P. Sullivan, D. S. Sullivan, R. P. Brockley and R. Winter. 2007. Growth response of young lodgepole pine to thinning and repeated fertilization treatments: 10-year results. *Forestry* 80 (5): 587-611.
- López L, M. A. y E. Estañol B. 2014. Fertilización química, crecimiento y ataque de pájaro carpintero (*Sphyrpicus varius*) en *Pinus patula* Schl. et Cham. IV Congreso Forestal Latinoamericano. Morelia Mich., México. pp. 1.
- Medrano, C., V. Figueroa, W. Gutiérrez, Y. Villalobos, L. Amaya y E. Semprúm. 1999. Estudio de las malezas asociadas a plantaciones frutales en la planicie de Maracaibo, Venezuela. *Revista Facultad Agronomía* 16: 583-596.
- Pacheco E., F. C., A. Aldrete, A. Gómez G., A. M. Fierros G., V. M. Cetina y H. Vaquera. 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (3):251-254.
- Ramírez C., J. A., C. M. Zapata, J. D. L. Peláez y M. I. González. 2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia* 32: 303-311.
- Rodríguez, O. G., A. Aldrete, V. A. González, H. M. De los Santos, A. Gómez G. y A. M. Fierros. 2011. ¿Afectan los aclareos la acumulación de biomasa aérea en una plantación de *Pinus patula*? *Agrociencia* 45(6): 719-732.
- Salas, R. J. y A. Infante. 2006. Producción Primaria Neta Aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Revista Forestal Latinoamericana* 40:47-70.
- Statistical analysis system (SAS) 2004. SAS Institute Inc., SAS 9.1.3 Help and Documentation. Cary, NC, USA. n/p.
- Toro, J. 2004. Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las

