



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**ACLAREO Y FERTILIZACIÓN EN LA
PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA Y
RECIRCULACION NUTRIMENTAL EN
PLANTACIONES DE PINO**

IRMA VÁSQUEZ GARCÍA

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, 2014.

La presente tesis titulada: “Aclareo y fertilización en la productividad primaria neta y recirculación nutrimental en plantaciones de pino”, realizada por la alumna: Irma Vásquez García bajo la dirección del consejo particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

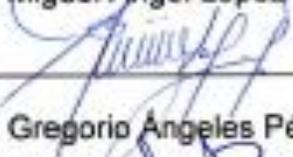
POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

CONSEJERO



Dr. Miguel Ángel López López

ASESOR



Dr. Gregorio Angeles Pérez

ASESOR



Dr. Marcos Jiménez Casas

ASESOR



Dr. Antonio Trinidad Santos

ASESOR



Dra. Gisela Águilar Benítez

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, 2014.

AGRADECIMIENTOS

Por el valioso apoyo, información y colaboración de conocimientos que recibí de investigadores del Colegio de Postgraduados durante el desarrollo del presente proyecto de investigación, quiero agradecer sinceramente:

Al Dr. Miguel Ángel López López, por su valiosa colaboración en la planeación, supervisión, dirección del proyecto, y por ser un investigador comprometido con los recursos naturales en México. También por sus sugerencias y comentarios con respecto al trabajo de investigación.

Al Dr. Marcos Jiménez Casas, al Dr. Gregorio Ángeles Pérez, al Dr. Antonio Trinidad Santos y a las Dra. Gisela Aguilar Benítez, por sus sugerencias y apoyo brindado durante la realización del proyecto de investigación.

Al Dr. Cetina por ser una gran persona y un excelente amigo, siempre dispuesto a ayudar y a escuchar.

A Agustina Sánchez Parada y a mi hermano David Arturo personas que me apoyaron en el trabajo de campo y en el aspecto emocional.

A mis papas y mis hermanos que también contribuyeron apoyándome en el aspecto moral y emocional.

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos por todo el apoyo y comprensión que me brindaron, en esta etapa de mi vida.

Al Colegio de Postgraduados y todas las personas del Colegio de Postgraduados que contribuyeron a mi formación académica, en esta etapa de aprendizaje.

A CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), por el apoyo y manutención durante mi estancia en el doctorado en el Colegio de Postgraduados, durante el doctorado.

A Dios porque él ha estado siempre a mi lado y porque gracias a él soy lo que soy.

ACLAREO Y FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA Y RECIRCULACION NUTRIMENTAL EN PLANTACIONES DE PINO

Irma Vásquez García, DC.

Colegio de postgraduados, 2014

RESUMEN GENERAL

Tanto, el estudio de la productividad primaria neta y la recirculación de nutrientes dentro de los ecosistemas forestales son pasos importantes para comprender el funcionamiento de los ecosistemas y mejorar las técnicas para su manejo. En este estudio, se determinaron los efectos de aclareo y fertilización química en la Productividad primaria neta aérea (PPNA), así como la recirculación de N, P y K en dos plantaciones de *Pinus patula schiede ex schltl. et cham.* Las plantaciones se establecieron en los años 1998 and 2000, en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México. Dentro de cada una de plantaciones, se estableció un experimento un factorial 2x2, siendo los factores el aclareo y la fertilización, cada factor tiene dos niveles: con y sin. La unidad experimental fue una parcela de 10x10m y 8x8 m, para las plantaciones de 1998 y 2000, respectivamente. Cada tratamiento se replicó tres veces y las repeticiones se distribuyeron al azar en las plantaciones experimentales. La fertilización no mostró efectos significativos pero tendió a disminuir el incremento de biomasa (IB) y aumentar la producción de hojarasca (PHo) y PPNA en la plantación de 1998. En la plantación 2000, este aumentó el IB, redujo PHo e incremento la PPNA. El aclareo aumento el IB redujo el PHo en ambas plantaciones. La fertilización no afecto significativamente la absorción de N, P y K; sin embargo este afectó significativamente los reservorios de N en el follaje en la plantación de 1998, en fuste en ambas plantaciones y en la capa de materia orgánica en la plantación 1998. Ni la descomposición de hojarasca ni la mineralización de nutrientes fueron significativamente afectadas por la fertilización. El aclareo no afecto significativamente la absorción de nutrientes, la descomposición de materia orgánica y mineralización de nutrientes en las plantaciones estudiadas, pero afectó los reservorios de N, P y K en el follaje, fuste y ramas, así como los de P en las raíces finas en la plantación 1998. Concluimos que los tratamientos de fertilización deben complementarse con control de malezas para reducir la competencia con especies comerciales por agua y nutrientes. Recomendamos que se retire la capa de materia orgánica antes de aplicar los fertilizantes químicos para evitar la inmovilización de nutrientes dentro de la materia orgánica.

THINNING AND CHEMICAL FERTILIZATION EFFECTS ON NET PRIMARY PRODUCTIVITY AND NUTRITIONAL TURNOVER PINE PLANTATIONS

Irma Vásquez García, DC.
Colegio de postgraduados, 2014

ABSTRACT

Both, the study of net primary productivity and nutrient cycling within forest ecosystems are important steps to comprehensively understand ecosystems functioning and improve techniques for their management. In this study, we determined the effects of thinning and chemical fertilization on aboveground net primary productivity (PPNA) as well as on N, P, and K cycling within two *pinus patula schiede ex schltl. et cham.* plantations established in the years 1998 and 2000, in Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, Mexico. Within each plantation, a factorial 2x2 experiment was established, being the factors the thinning and fertilization, each factor having two levels: with and without. The experimental unit was a 10x10 m and 8x8 m plot, for the 1998 and 2000 plantations, respectively. Each treatment was replicated three times and replicates were randomly distributed within the experimental plantations. Fertilization did not show significant effects but it tended to decrease biomass increment (IB) and increase litter production (PHo) and PPNA in the 1998 plantation. In the 2000 plantation, it increased IB, reduced PHo and increased PPNA. Thinning increased IB and reduced PHo in both plantations. fertilization did not significantly affect N, P or K absorption; however it did significantly affect the pools of n in foliage in the 1998 plantation, in stems at both plantations and in the organic matter layer at the 1998 plantation. Neither organic matter decomposition nor nutrient mineralization were significantly affected by fertilization. Thinning did not significantly affect nutrient absorption, organic matter decomposition or nutrient mineralization in the plantations studied, but it affected the pools of N, P, and K in foliage, stems, and branches as well as those of P in fine roots at the 1998 plantation.

We conclude that fertilization treatments must be complemented with weed control to reduce competition with commercial species for water and nutrients. We recommend to remove the organic matter layer before applying chemical fertilizers to avoid nutrient immobilization within the organic matter.

CONTENIDO

RESUMEN GENERAL.....	v
ABSTRACT	vi
CAPITULO I. INTRODUCCION GENERAL	1
CAPITULO II. ACLAREO Y FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA EN DOS PLANTACIONES DE <i>Pinus patula</i>	3
RESUMEN.....	3
ABSTRACT	4
2.1 INTRODUCCIÓN	5
2.2 MÉTODOS.....	6
2.3 RESULTADOS.....	9
2.4 DISCUSIÓN.....	13
2.5 CONCLUSIONES.....	17
CAPITULO III. RECIRCULACIÓN DE NUTRIMENTOS EN PLANTACIONES DE <i>Pinus patula</i> SCHIEDE EX SCHLTDL. ET CHAM.: EFECTOS DE ACLAREO Y FERTILIZACION.....	18
RESUMEN.....	18
ABSTRACT	19
3. 1 INTRODUCCIÓN.....	20
3.2 MATERIALES Y METODOS.....	21
3.2.1 Descripción del área del estudio.....	21
3.2.2 Diseño experimental	22
3.2.3 Variables evaluadas.....	23
3.2.4 Análisis estadístico.....	28
3.3 RESULTADOS.....	29
3.4 DISCUSION.....	43
3.5 CONCLUSIONES.....	46
4. CONCLUSIONES GENERALES.....	47
5. LITERATURA CITADA.....	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Almacenes y flujos de nutrimentos.....	28
Figura 2. Flujos de absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en las plantaciones de <i>Pinus patula</i> 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.....	33
Figura 3. Pérdida de nutrimentos por caída de hojarasca en las plantaciones de <i>Pinus patula</i> 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.	34
Figura 4. Almacenes de nitrógeno en fuste, follaje, ramas, raíces gruesas y finas en las plantaciones de <i>Pinus patula</i> 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.	35
Figura 5. Almacenes de fósforo en fuste, follaje, ramas, raíces gruesas y finas en las plantaciones de <i>Pinus patula</i> 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.	36
Figura 6. Almacenes de potasio en fuste, follaje, ramas, raíces gruesas y finas en la plantaciones de <i>Pinus patula</i> 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.	37
Figura 7. Almacenes de nitrógeno en mantillo y suelo mineral en la plantaciones de <i>Pinus patula</i> 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.....	38
Figura 8. Almacenes de fósforo en mantillo y suelo mineral en las plantaciones de <i>Pinus patula</i> 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.	39

Figura 9. Almacenes de potasio en mantillo y suelo mineral en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México. 40

Figura 10. Constantes de descomposición (k) en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México. 41

Figura 11. Liberación de nutrimentos por descomposición de hojarasca en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México. 42

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Factores y niveles probados en el estudio.....	7
Cuadro 2. Ecuaciones de regresión para estimar peso seco (kg) de cada uno de los componentes de la parte aérea del árbol de <i>P. patula</i> (N = 27).	8
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, Veracruz.	10
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, Veracruz.	11
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, Veracruz.	11
Cuadro 6. Pruebas de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$) del experimento de fertilización y aclareo en la plantación de 15 años, Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.	12
Cuadro 7. Modelos desarrollados por Castellanos <i>et al.</i> (1998), estimación de biomasa de fuste, follaje y ramas de <i>Pinus patula</i>	24
Cuadro 8. Niveles de probabilidad correspondientes al análisis de varianza del experimento de fertilización y aclareo en la plantación 1998, Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.	29
Cuadro 9. Niveles de probabilidad correspondientes al análisis de varianza del experimento de fertilización y aclareo en la plantación 2000, Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.	31

CAPITULO I. INTRODUCCION GENERAL

Por causa de la compleja problemática ambiental, en el país se han establecido plantaciones forestales para recuperar e incrementar la cubierta forestal, restaurar el equilibrio de los terrenos forestales degradados, recargar manantiales y prolongar la vida útil de las presas reduciendo el azolve, restaurar áreas degradadas para proteger el suelo y reducir la erosión, restablecer el hábitat de la fauna, mejorar el paisaje y el medio ambiente y crear fuentes de empleo así como reducir el impacto por cambio de uso del suelo.

Pinus patula schiede ex schldl. et cham. es una especie muy utilizada en México para plantaciones forestales. Es una especie mexicana de rápido crecimiento que en las últimas décadas ha obtenido un importante reconocimiento, convirtiéndose en la especie de pino mexicano más plantada en el mundo (Wormald, 1975). Países como Swazilandia, Rodesia, Madagascar, Angola y Malawi tienen plantado *P. patula* en más del 60% de su superficie destinada a plantaciones forestales (Wormald, 1975).

Para que una plantación forestal tenga un funcionamiento sustentable debe haber un mantenimiento y una estabilidad de su productividad y capital de nutrimentos, (Cuevas y Medina, 1998). La disponibilidad de nutrimentos y sus tasas de absorción y de traslocación constituyen factores cruciales en la productividad (Nambiar y Fife, 1991; Dalla Tea y Jokela, 1994; Jokela y Martin, 2000). La caída de detritos es la principal fuente de ingreso de nutrimentos al mantillo, que actúa como válvula de control entre los dos subsistemas principales de los ecosistemas terrestres: los productores primarios y el suelo (Charley y Richards, 1983). Los nutrimentos rara vez se hallan en balance exacto y en cantidades óptimas para el crecimiento vegetal y en consecuencia las plantas están siempre compensando las tensiones impuestas por su ambiente nutricional (Chapin y Van Cleve, 1989).

P. patula en los primeros 20 años tiene el período de más rápido y pronunciado desarrollo, de mayor cambio en la demanda de nutrimentos por los árboles, y de

cambios en los suelos. A partir de esa edad la acumulación y ciclo de nutrimentos se acercan a un balance nutricional, definiendo las características del sistema (Chapin y Van Cleve, 1989).

OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar el efecto del aclareo y fertilización química sobre la productividad Primaria Neta (PPN) y recirculación de nutrimentos en una plantación de *Pinus patula*

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del aclareo fertilización sobre la absorción, pérdida por caída de hojarasca y mineralización de n, p y k por descomposición en dos plantaciones de *Pinus patula*.
- Evaluar el efecto de aclareo y fertilización sobre los reservorios de N, P, K en raíces gruesas, raíces finas, follaje, ramas, fuste, mantillo, suelo mineral y en los flujos de absorción de nutrimentos, perdida de nutrimentos por caída de hojarasca, y constante de descomposición en dos plantaciones de *Pinus patula*.

CAPITULO II. ACLAREO Y FERTILIZACIÓN QUÍMICA EN LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA NETA EN DOS PLANTACIONES DE *Pinus patula*

RESUMEN

La productividad primaria neta aérea (PPNA) es un parámetro que permite evaluar las prácticas silviculturales en ecosistemas manejados, ya que constituye la base para entender su capacidad de almacenamiento de biomasa y carbono. Se evaluó el efecto del aclareo y fertilización sobre la PPNA en dos plantaciones de *Pinus patula*, de 13 y 15 años, en Huayacocotla, Veracruz, México. En cada plantación se estableció un experimento factorial 2^2 , para probar los factores aclareo y fertilización con dos niveles cada uno. La unidad experimental fue una parcela de 8x8m y 10 x 10 m para la plantación de 13 y 15 años, respectivamente. Se establecieron tres repeticiones por tratamiento. Se obtuvo una área basal residual de 18 y 21 m² ha⁻¹ en las parcelas aclareadas de las plantaciones de 13 y 15 años, respectivamente. El área basal promedio en parcelas no aclareadas fue de 28 y 42 m² ha⁻¹. Las dosis de fertilización fueron: 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. Se evaluó caída de hojarascautilizando trampas de 0,5 m² de superficie. La fertilización no tuvo efectos significativos, pero tendió a disminuir el incremento de biomasa (IB) y a aumentar la producción de hojarasca (PHo) y PPNA en la plantación de 13 años. En la de 15 años, aumentó IB y PPNA y disminuyó PHo. El aclareo aumentó IB en ambas plantaciones, pero disminuyó PHo. El aumento de IB por el aclareo, junto con el reducido efecto de la fertilización, indica que el recurso más limitante probablemente es la luz, mientras que la disponibilidad de nutrimentos no es un factor limitante primario.

Palabras clave: producción de hojarasca, biomasa de fuste, biomasa de follaje, biomasa de ramas, PPNA.

THINNING AND CHEMICAL FERTILIZATION ON NET PRIMARY PRODUCTIVITY IN TWO PLANTATIONS *Pinus patula*

ABSTRACT

Aboveground net primary productivity (PPNA) is a parameter that allows to evaluate silvicultural practices in managed ecosystems, since it is a key to understanding their biomass and carbon storage capacity. The effects of thinning and fertilization on PPNA were evaluated in two *Pinus patula* plantations 13 and 15 years in age, located at Huayacocotla, Veracruz, Mexico. One 2² factorial experiment was established at each of the plantations to test the effects of thinning and fertilization, at two levels each. The experimental unit was an 8x8 and 10x10 m plot for the 13 and 15 years old plantations, respectively. Three replicates were established per treatment. Residual basal areas after the thinning treatments were 18 and 21 m² ha⁻¹ for the 13 and 15 years old plantations, respectively. Corresponding mean basal areas for the no thinning plots were 28 and 42 m² ha⁻¹. Fertilization rates were 0,64; 0,128; 2,68 and 1,4; 0,4; 8,34 kg of urea, triple superphosphate, and potassium sulfate for the 13 and 15 years old plantations, respectively. Litterfall was evaluated by using rounded traps 0,5 m² in surface. Fertilization did not have significant effects but it tended to decrease biomass increment (IB), increase litterfall (PHo) and PPNA in the 13 years old plantation. In the 15 years old plantation, it increased IB, decreased PHo and increased PPNA. Thinning increased IB in both plantations but it decreased PHo. Increased IB by thinning, along with the low effects of fertilization, mean that the most limiting resource is likely to be light availability, while nutrient availability is not a primary limiting factor.

Key words: Litterfall, stem biomass, foliage biomass, branch biomass, ANPP.

2.1 INTRODUCCIÓN

El estudio de la productividad primaria neta (PPN) de plantaciones forestales es importante por varias razones: 1) la sostenibilidad de un sistema forestal sólo se logra cuando la productividad primaria neta es cercana a la potencial (Binkley *et al.* 1997), 2) financieramente, es deseable que las plantaciones forestales presenten valores elevados de PPNA, de lo contrario su rentabilidad puede verse amenazada (Rodríguez *et al.* 2011) y 3) la determinación de la PPN de plantaciones forestales también es importante desde el punto de vista del cambio climático global porque cuanto mayor es la PPN, mayor es también la tasa de captura de carbono atmosférico y el papel del bosque como mitigante de la acumulación de CO₂ en la atmósfera, por lo que una forma de estabilizar la concentración de CO₂ atmosférico es a través del incremento de la productividad primaria de plantaciones forestales y bosques naturales, ya que con ello es posible almacenar carbono en los componentes aéreos y subterráneos del ecosistema (Salas y Infante 2006).

En las plantaciones forestales, el aclareo es una práctica silvicultural de gran importancia para mantener las tasas de crecimiento y productividad en niveles financieramente viables (Rodríguez *et al.* 2011). El aclareo es el corte realizado en un rodal entre su establecimiento y su cosecha final, en el cual los árboles eliminados son de la misma especie que los árboles favorecidos. Los objetivos principales de un aclareo son reducir el número de árboles en un rodal para disminuir competencia y lograr que los árboles remanentes tengan más espacio para el desarrollo de sus raíces y copas, favoreciendo su crecimiento, desarrollo, PPNA y beneficios económicos. Además, el aclareo también es útil para seleccionar los árboles más vigorosos y mejor conformados fenotípicamente (Rodríguez *et al.* 2011).

Otra práctica silvicultural básica en las plantaciones forestales es la fertilización, la cual ayuda a mejorar el crecimiento, aumentar la producción y a mejorar la calidad de la madera (Lázaro *et al.* 2012). La fertilización es la aportación de productos que suministran elementos nutritivos disponibles para las plantas, en un plazo más

o menos corto (Lázaro *et al.* 2012). Esta práctica, en combinación con el aclareo, por lo general produce mayor crecimiento en diámetro y promueve el desarrollo fisiológico en los árboles y la PPNA (Lindgren *et al.* 2007). Con base en lo mencionado anteriormente, el objetivo de este estudio es determinar el efecto del aclareo, la fertilización química y su interacción sobre la PPNA y sus componentes, en plantaciones de *Pinus patula schiede ex schltl. et cham.* con alta cobertura de copa, para probar la hipótesis de que los factores mencionados mejoran la PPNA.

2.2 MÉTODOS

Área de estudio. Las dos plantaciones de *P. patula* analizadas en este estudio se localizan en el ejido de Palo Bendito, municipio de Huayacocotla, ubicado en la zona norte del estado de Veracruz, a 20° 27' N y 98° 29' O y a una altitud de 2.460 m s.n.m. El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y nieblas frecuentes, con una temperatura media anual del mes más frío (enero) entre 3 y 8 °C y del mes más caliente (mayo) mayor de 16 °C. La precipitación pluvial media anual varía de 633,9 a 1.385,1 mm. La plantación de 15 años de edad fue establecida 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. Los suelos se originaron a partir de rocas sedimentarias, principalmente lutitas y areniscas, presentando una textura general franco–arcillosa. El drenaje es superficial rápido y lento en el interior por altas cantidades de humus textura arcillosa predominante. Los principales suelos son feosemlúvico, 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 ambas plantaciones de *P. patula* se realizó un experimento factorial con dos factores (fertilización y aclareo) y dos niveles de cada factor. Los niveles del factor fertilización fueron 1) sin fertilización y 2) aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio; los del factor aclareo fueron 1) sin

aclareo y 2) con aclareo (Cuadro 1). Cada tratamiento tuvo tres repeticiones y la unidad experimental fue una parcela de 100 y 64 m² para las plantaciones de 15 y 13 años, respectivamente. Con la combinación de los niveles de los factores se generó cuatro tratamientos que se aplicaron a cada plantación (Cuadro 1), distribuidos de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar.

Cuadro 1. Factores y niveles probados en el estudio.

		Factores	
		Fertilización	Aclareo
Niveles	Sin	Sin	Sin
	Con (N-P-K)	Con	Con

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

Los tratamientos de fertilización química fueron aplicados el 10 de septiembre del 2011, y 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 se aplicaron: 0,64, 0,128 y 2,68 kg parcela⁻¹ de los mismos materiales fertilizantes.

Los tratamientos de aclareo fueron realizados el 10 de septiembre del 2011 y consistieron en la eliminación de árboles en las parcelas correspondientes a este tratamiento, hasta lograr un área basal residual aproximada de 21 y 18 m² ha⁻¹ para las parcelas de la plantación de 15 y 13 años, respectivamente. Durante la selección de los árboles a derribar se consideró, además del área basal residual, el obtener una adecuada distribución de los árboles dentro de la parcela y el derribo de árboles suprimidos.

Diámetro a la altura del pecho (DAP). Esta medición se hizo en abril del 2012 y 2013. La variable se utilizó para alimentar los modelos de estimación de biomasa

de los diversos compartimientos del árbol y estimar los incrementos de biomasa en el periodo considerado.

Producción de hojarasca. Para evaluar esta variable, se colocaron en forma aleatoria en cada unidad experimental, tres trampas de 0,5 m² de superficie de colecta. La hojarasca de cada trampa se colectó cada mes, desde abril del 2012 hasta abril del 2013. La hojarasca recolectada cada mes se llevó al laboratorio y se secó a 70 °C, hasta peso constante; posteriormente, se dividió en follaje, ramillas, conos y conillos y el peso de cada componente fue registrado.

Productividad primaria neta aérea (PPNA). La estimación de la PPNA se realizó con la metodología sugerida por Clark *et al.* (2001), quienes proponen la fórmula general: PPNA = incrementos de biomasa + pérdidas.

Los incrementos de biomasa se estimaron para cada componente estructural del árbol: fuste, ramas y follaje, utilizando los modelos alométricos elaborados por Castellanos *et al.* (1996) (Cuadro 2), para la especie en estudio. Los modelos estiman la biomasa de los mencionados compartimientos, a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP). Dentro del concepto de pérdidas, sólo se consideró la caída de hojarasca, incluyendo 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 *P. patula* (N = 27).

Componente	Ecuación de regresión	R ²
Fuste total C/C	$\ln Y = -2,06082 + 2,30026 \ln (\text{DN})$	0,99
Ramas	$\ln Y = -4,4555 + 2,33325 \ln (\text{DN})$	0,96
Follaje total	$\ln Y = -3,74989 + 1,73807 \ln (\text{DN})$	0,92

Fuente: Castellanos *et al.* (1996).

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 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 (SAS Institute 2004).

2.3 RESULTADOS

Los tratamientos aplicados no tuvieron efecto significativo en la PPN en la plantación de 13 años (cuadro 3). Ni el factor fertilización ni el aclareo tuvieron efectos estadísticamente significativos sobre la PPN y la interacción entre ambos factores resultó no significativa. La producción de hojarasca en la plantación de 13 años, tampoco fue afectada por la fertilización ni por el aclareo. La interacción fertilización por aclareo resultó no significativa para esta variable de respuesta.

En la plantación en cuestión, los tratamientos tuvieron un efecto significativo ($P = 0,0420$) en el incremento de biomasa de fuste. La fertilización no afectó significativamente el incremento de biomasa de fuste, pero el aclareo sí presentó efectos significativos ($P = 0,0071$) sobre esta variable. La interacción fertilización x aclareo no resultó significativa en el caso del incremento de biomasa de fuste (cuadro 3).

El incremento de biomasa de follaje fue afectado significativamente por los tratamientos ($P = 0,0213$). La fertilización no tuvo un efecto significativo en esta variable, no obstante, el aclareo tuvo un efecto altamente significativo ($P \leq 0,0044$) en la misma. La interacción fertilización x aclareo no afectó significativamente el incremento de biomasa de follaje.

Se puede aseverar ($P \leq 0,0391$, Cuadro 3) que algunos de los tratamientos aplicados tuvieron efecto significativo en el incremento de biomasa de ramas. Si bien, la fertilización no tuvo un efecto significativo en esta variable, el aclareo presentó un efecto altamente significativo ($P \leq 0,0069$) en el incremento de biomasa de ramas. En cuanto a la interacción fertilización x aclareo, ésta, no tuvo un efecto significativo sobre esta variable dependiente (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, Veracruz.

Fuente de variación	Grados de libertad	Nivel de significancia				
		PPNA	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: $P > 0,10$.

En la plantación de 15 años, no se presentaron efectos significativos de los factores probados sobre la PPN, Hojarasca, IBFu, IBFo ni IBR (cuadro 4). La interacción fertilización x aclareo no fue significativa para la producción de hojarasca.

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, Veracruz.

Fuente de variación	Grados de libertad	Nivel de significancia				
		PPNA	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: $P > 0,10$.

El cuadro 5 muestra una tendencia de la PPN a incrementar con la fertilización en la plantación de 13 años, (5.767,9 vs 5.0382,8 kg ha⁻¹ año⁻¹ con y sin fertilización, respectivamente), aunque la diferencia no es estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95%. La fertilización tampoco impactó significativamente ($\alpha = 0,05$) la PPN en la plantación de 15 años (cuadro 6).

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, Veracruz.

		PPN (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est	Hoja (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est	IBFu (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est	IBFo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est	IBR (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est					
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. Desv est: Desviación estándar. Hoja: Hojarasca. IBFu:

Incremento de biomasa de fuste. IBFo: Incremento de biomasa de follaje. IBR: Incremento de biomasa de ramas

Cuadro 6. Pruebas de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$) del experimento de fertilización y aclareo en la plantación de 15 años, Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.

		PPN (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est		Hoja (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est		IBFu (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est		IBFo (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est		IBR (kg ha ⁻¹ año ⁻¹)	Desv est
Fertilización	Con	8.062	6.460,4	a	4.132,0	753,3	A	3.716	6.112,0	a	37,3	24,0	a	176,4	129,6
	Sin	5.766	955,9	a	4.365,2	1.296,5	A	1.245	401,1	a	28,0	8,9	a	127,8	41,2
Aclareo	Con	7.793	6.589,8	a	3.698,1	732,1	A	3.863	6.038,6	a	41,1	21,8	a	191,3	121,8
	Sin	6.034	729,1	a	4.799,1	1.008,8	A	1.098	361,4	a	24,2	7,8	a	112,9	37,2

PPN: Productividad primaria neta. Desv est: Desviación estándar. Hoja: Hojarasca. IBFu: Incremento de biomasa de fuste. IBFo: Incremento de biomasa de follaje. IBR: Incremento de biomasa de ramas

En el cuadro 5 se puede observar la variable producción de hojarasca en la plantación de 13 años. Esta variable mostró valores más altos con fertilización (4.618,9 kg ha⁻¹ año⁻¹) que sin fertilización (4.110,2 kg ha⁻¹ año⁻¹). En cuanto a la plantación de 15 años, cuando se fertilizó, la producción de hojarasca fue de 4.132 kg ha⁻¹ año⁻¹, y fue inferior a la obtenida cuando no se fertilizó (4.365,2 kg ha⁻¹ año⁻¹, cuadro 6).

Los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas en la plantación de 13 años fueron de 1.021,4, 22,62 y 105,04 kg ha⁻¹ año⁻¹, respectivamente, cuando se aplicó la fertilización. Cuando no se fertilizó los valores respectivos fueron más altos (1.124,9, 28, 12, 119, 6, cuadro 5). En cuanto a la plantación de 15 años los valores de incremento de biomasa de fuste (3.716 kg ha⁻¹ año⁻¹), follaje (37,34 kg ha⁻¹ año⁻¹) y ramas (176,44 kg ha⁻¹ año⁻¹) fueron más altos cuando se fertilizó que cuando no se fertilizó (cuadro 6).

Aunque el aclareo no afectó significativamente la PPNA, el valor de esta variable en la porción del bosque que fue aclareada fue de 7.793 kg ha⁻¹ año⁻¹, mientras que en las parcelas no aclareadas fue de 6.034 kg ha⁻¹ año⁻¹ en la plantación de 15 años (cuadro 6). En la plantación de 13 años, la PPNA en las parcelas aclareadas fue de 5.552,9 kg ha⁻¹ año⁻¹ mientras que en las no aclareadas fue de 5.597,9 kg ha⁻¹ año⁻¹; es decir, la PPNA fue muy parecida entre los tratamientos de aclareo (Cuadro 5).

El aclareo no afectó significativamente la producción de hojarasca en ninguna de las plantaciones. Sin embargo, en las parcelas con aclareo, la producción de hojarasca siempre fue menor que en las parcelas sin aclareo (3.896,6 Vs. 4.381,5 kg ha⁻¹ año⁻¹ en la plantación de 15 años y 3.698,1 Vs. 4.799,1 kg ha⁻¹ año⁻¹ en la plantación de 15 años, Cuadro 6).

Los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas en la plantación de 13 años fueron afectados significativamente por el aclareo (Cuadro 5). En la plantación de 15 años aunque no hubo efecto significativo, los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas fueron más altos en las parcelas aclareadas que en las parcelas sin aclareo (Cuadro 6).

2.4 DISCUSIÓN

La PPNA media con fertilización para las plantaciones de 13 años y 15 años es de 6.914,95 kg ha⁻¹ año⁻¹. Estos niveles son similares a los determinados en el estudio de Pacheco *et al.* (2007), quienes encontraron una PPNA de 5,8 Mg ha⁻¹ año⁻¹, en una plantación de *Pinus greggii* Englem. de 6 años de edad, en Cuanepantla, municipio de Acaxochitlan, en el Estado de Hidalgo.

La fertilización no tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la PPNA en ninguna de las plantaciones estudiadas, debido probablemente a la alta densidad de arbolado (Cuadro 5 y 6). La alta densidad de arbolado probablemente ha generado competencia por luz entre las copas de los árboles, convirtiéndose la radiación solar incidente en las copas en el factor limitante del crecimiento. En estas plantaciones, López-López y Estañol-Botello (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, respectivamente, indicando que en aquel año, estos nutrimentos eran los limitantes del crecimiento.

No obstante la falta de efecto significativo de la fertilización sobre la PPNA, los valores de esta variable fueron superiores con fertilización (8.062 kg ha⁻¹ año⁻¹)

que sin fertilización ($5.766 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en la plantación de 15 años al igual que en la plantación 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 y 6). La fertilización, generalmente, incrementa la capacidad fotosintética de las hojas (Gough *et al.* 2004) y el aumento de la tasa fotosintética se refleja en una mayor acumulación de biomasa y mayor PPNA.

La producción de hojarasca aumentó con la fertilización en la plantación de 13 años y disminuyó en la plantación de 15 años. La plantación de 13 años actualmente tiene menor cobertura de copas que la plantación de 15 años porque los árboles son menores. Esto permite la entrada de luz al piso forestal, por lo que en esta plantación se encuentra visiblemente mayor cantidad de malezas como pastos y herbáceas, en comparación con la plantación de 15 años. Es probable que la fertilización en esta plantación (13 años) haya incrementado la biomasa de pastos (variable no cuantificada) y herbáceas, incrementando así la competencia por agua entre estas malezas y los árboles, aumentando la mortalidad de hojas y producción de hojarasca. Esta posibilidad está de acuerdo con la disminución (no significativa) de los incrementos de 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, por otro lado, la tendencia de la fertilización a mejorar los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas (Cuadro 6), pudo deberse a que la fertilización mejoró el estado nutrimental de los árboles, aumentando (no significativamente) las biomasa mencionadas y quizá la longevidad del follaje, lo cual pudiera explicar la disminución de la producción de hojarasca, registrada con fertilización en la plantación de 15 años.

Los valores de producción de hojarasca obtenidos en este estudio son bajos, en comparación con los encontrados en el estudio de Ramírez *et al.* (2007), quienes reportaron, para plantaciones de *P. patula*, valores de producción de hojarasca de $8.362,47 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en Antioquia, Colombia. Por otro lado, León (2009) reporta valores de producción de hojarasca similares a los encontrados en este estudio ($4.866,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), para una plantación de *P. patula* en la cuenca de Piedras Blancas, al sureste de Antioquia, Colombia.

En las dos plantaciones la fertilización no tuvo efecto significativo en los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas; sin embargo, las tendencias de los efectos de la fertilización fueron diferenciales entre plantaciones; es decir, en la plantación de 13 años, la fertilización tendió a disminuir los incrementos de biomasa (de fuste, follaje y ramas), mientras que en la plantación de 15 años, las tendencias fueron contrarias. Los mecanismos de acción de los fertilizantes probablemente fueron diferentes y estuvieron en función de la condición del dosel. En la plantación de 13 años, el dosel es sensiblemente más abierto que en la plantación de 15 años debido a que la plantación de 13 años es de menor edad. Esta condición permite la entrada de radiación solar al piso forestal, facilitando el establecimiento de vegetación herbácea, la cual pudo incrementar su biomasa debido al tratamiento de fertilización, compitiendo agresivamente con los árboles, especialmente por agua, ya que en el área de estudio, la disponibilidad de humedad en el suelo es una limitante del crecimiento, especialmente durante los meses de febrero a mayo (Medrano *et al.* 1999 y Donoso *et al.* 2007).

La tendencia del efecto de la fertilización en la plantación de 15 años es positiva; sin embargo, ésta no fue significativa probablemente porque la disponibilidad de nutrimentos no constituye el principal factor limitante en esta plantación. Es probable que el factor limitante primario en la plantación de 15 años sea la falta de radiación solar; es decir, la competencia entre copas por luz, dado que la cobertura de copas en esta sección es muy elevada comparada con la plantación de 13 años.

Si las explicaciones detalladas anteriormente para los efectos de la fertilización en ambas secciones son acertadas, entonces es posible deducir que en la plantación de 13 años, los tratamientos de fertilización deben acompañarse con tratamientos de control de malezas (Donoso *et al.* 2007), mientras que en la plantación de 15 años, la fertilización debiera acompañarse por tratamientos de aclareo.

Con respecto a los efectos del aclareo, la PPNA no fue afectada significativamente, aunque existen diferencias numéricas importantes con aclareo que sin aclareo en la plantación de 15 años (Cuadro 6). El aclareo aumenta la disponibilidad de luz para los árboles remanentes, lo que permite aumentar la

actividad fotosintética y esto contribuye a la fijación de carbono en el rodal (Zhenmin Tang *et al.* 1997). Recursos tales como nutrientes y agua del suelo también aumentan, su disponibilidad después del aclareo, lo que mejora la fisiología general de los árboles y las tasas de crecimiento. La falta de diferencias significativas entre los niveles de aclareo sobre la PPNA probablemente fue inducida, al menos parcialmente, por la alta variabilidad en cuanto a las dimensiones de los árboles. En cuanto a la plantación de 13 años la PPNA fue igual cuando se realizó el aclareo que cuando no se realizó debido a que la PPNA, resulta de la suma de incrementos de biomasa más la masa de follaje caído (Cuadro 5). Este segundo factor disminuyó por el aclareo, lo cual contribuyó a que la PPNA fuera menor en las parcelas aclareadas.

Es menester recalcar que el aclareo disminuyó la producción de hojarasca en ambas plantaciones al disminuir la densidad de arbolado (Cuadro 5 y 6). Considerando que la producción de hojarasca es un factor en el cálculo de la PPNA, debe advertirse que la PPNA difícilmente puede verse mejorada significativamente por el aclareo. No obstante lo anterior, en este estudio se registró un aumento (aunque no significativo) en la PPNA, lo que indica que la práctica del aclareo es necesaria actualmente en ambas plantaciones.

Los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas aumentaron con la aplicación de aclareo aunque en la plantación de 15 años, las diferencias no fueron significativas en estas variables. Los efectos significativos del aclareo sobre los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas en la plantación de 13 años se explican porque el follaje de los árboles, probablemente, estuvo sombreado por entrecruzamiento de ramas y, después del aclareo, el follaje, recibió más luz y, por consiguiente, permaneció vivo por más tiempo (posterga la recesión de copas) (Cuadro 5 y 6). 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). El peso de follaje-árbol⁻¹ puede ser varias veces mayor en un rodal aclareado, dando por resultado una mayor superficie activa para la fotosíntesis y, así, un aumento en la tasa de crecimiento. Comúnmente, 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 por 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 actualmente de un aclareo para reactivar el crecimiento.

2.5 CONCLUSIONES

Las prácticas silviculturales no tuvieron efecto significativo sobre la productividad primaria neta aérea, en ninguna de las plantaciones estudiadas. Sin embargo, el aclareo mejoró significativamente los incrementos de biomasa de fuste, follaje y ramas en la plantación de 13 años. Los resultados sugieren que dichas plantaciones, actualmente requieren de un aclareo para mejorar el crecimiento en biomasa de fuste, follaje y ramas y eventualmente la PPNA. Al relacionar la PPNA con tratamientos de aclareo se sugiere tomar en consideración que el aclareo siempre disminuye, al menos durante los primeros años posteriores al tratamiento, la producción de hojarasca y por tanto, la PPNA. La respuesta en crecimiento a la fertilización fue más ligera que la respuesta al aclareo; sin embargo, la fertilización mostró tendencias a mejorar el crecimiento de los árboles en la plantación de 15 años. Se presume que la falta de efectos de la fertilización se debe a que la disponibilidad de nutrimentos no es el factor limitante primario en las plantaciones, probablemente el factor limitante sea la escasa radiación solar incidente sobre las copas de los árboles en la plantación de 15 años. Se recomienda combinar la fertilización con control de malezas en la plantación de 13 años de edad y con aclareo en la de 15.

CAPITULO III. RECIRCULACIÓN DE NUTRIMENTOS EN PLANTACIONES DE *Pinus patula* SCHIEDE EX SCHLTDL. ET CHAM.: EFECTOS DE ACLAREO Y FERTILIZACION.

RESUMEN

Se evaluó el efecto del aclareo y fertilización en los almacenes de biomasa en raíces finas, raíces gruesas, suelo mineral, mantillo, follaje, ramas y fuste, así como en los flujos de caída de hojarasca, constante de descomposición de materia orgánica (k) y absorción de nutrientes (N, P y K) en dos plantaciones de *Pinus patula* establecidas en 1998 y 2000, en Huayacocotla, Veracruz, México. En cada plantación se estableció un experimento factorial 2X2, con dos factores (aclareo y fertilización) a dos niveles de cada factor. La unidad experimental fue una parcela de 10x10 m y 8x8 m en las plantaciones 1998 y 2000, respectivamente. Se establecieron tres repeticiones por tratamiento. El área basal residual en las parcelas 2000 y 1998 fue de 18 y 21m² ha⁻¹, respectivamente, mientras que el área basal promedio en parcelas no aclareadas fue de 28 y 42 m² ha⁻¹, respectivamente. Las dosis de fertilización fueron: 0,64; 0,128; 2,68 para la plantación 2000 y 1,4; 0,4; 8,34 para la plantación 1998 de kg de urea, superfosfato triple de calcio y sulfato de potasio. La fertilización tuvo efectos significativos en los reservorios de N en follaje en la plantación 1998 y fuste en ambas plantaciones. La liberación de nutrientes por caída de hojarasca incrementó en la plantación 1998. El aclareo aumentó de manera significativa el almacén de P en raíces finas al igual que los almacenes de P y K en suelo mineral en la plantación 2000, pero disminuyó los almacenes de N, P y K en la parte aérea.

Palabras clave: Descomposición, caída de hojarasca, reservorio de nutrientes, flujo de nutrientes, absorción.

NUTRIENT TURNOVER IN PLANTATIONS OF *Pinus patula* SCHIEDE EX SCHLTDL. ET CHAM: EFFECTS OF THINNING AND FERTILIZATION

ABSTRACT

The effect of thinning and fertilization were evaluated to quantify biomass stocks in fine roots, coarse roots, mineral soil, litter, leaves, branches and stem; we also evaluated litterfall, organic matter decomposition rates (k) and nutrient absorption (N, P and K) in two *Pinus patula* plantations established in 1998 and 2000, in Huayacocotla, Veracruz, Mexico. In each plantation a factorial 2 X 2 experiment was established; the two factors were thinning and fertilization. Each factor had two levels (with and without either thinning and/or fertilization). The experimental unit was a plot of 10x10 m and 8x8 m in 1998 and 2000 planting, respectively. Three replicates per treatment were established. The residual basal area in plots of 2000 and 1998 plantations were 18 and 21 m² ha⁻¹, respectively, while the mean basal area in unthinned plots were 28 and 42 m² ha⁻¹, respectively. The fertilization rates were: 0.64, 0.128, 2.68 kg for plantation 2000 and 1.4, 0.4, 8.34 kg for the plantation of 1998 of urea, calcium superphosphate triple and potassium sulphate. The fertilization had significant effects on the reservoirs of N in foliage of the plantation of 1998 and the stem of both plantations. The release of nutrients by litterfall increased in 1998 plantation. The thinning significantly increased the stocks of P in fine roots as well as the storage of P and K in mineral soil in 2000 plantation, but caused a decrease of aboveground N, P and K stocks.

Keywords: decomposition, litterfall, nutrient reservoir, nutrient flow, absorption.

3. 1 INTRODUCCIÓN

Los nutrientes en cualquier ecosistema natural, se mueven de un compartimento a otro, con continuas transformaciones entre formas orgánicas e inorgánicas debido a la energía solar. En los ecosistemas forestales, este flujo global se retrasa, por secuestro de nutrientes en diferentes compartimentos durante el ciclo interno, en la planta. Estos flujos están relacionados con la producción de materia orgánica, al estar estrechamente ligados con las transferencias de carbono y agua (Bosco et. al. 1994). Las actividades forestales afectan a los flujos de nutrientes en los bosques, y en ocasiones, los efectos pueden resultar irreversibles, produciéndose alteraciones importantes de la productividad y de otras funciones (Bosco et. al. 1994)

Los nutrientes junto con la penetración de la luz son un factor determinante para el crecimiento de la productividad primaria. La circulación de nutrientes es uno de los aspectos clave de la dinámica de los ecosistemas terrestres, y recibe atención creciente como manifestación integradora de la conducta de los sistemas ecológicos, ya sea en condiciones naturales o bien sometidas a perturbaciones experimentales (Santa Regina y Gallardo, 1989).

La descomposición de materia orgánica constituye un proceso clave y limitante en los ciclos de macronutrientes por lo que desde hace tiempo se ha intentado comprender los mecanismos que lo controlan. Se han desarrollado modelos que relacionan el proceso de descomposición con variables climáticas, edáficas, de composición del detrito o incluso microbiológicas (Moorhead *et al*, 1996). No obstante, esta modelización está muy lejos de ser satisfactoria ya que la descomposición no es simplemente el proceso inverso a la producción primaria. Así, la producción primaria es un proceso que, en última instancia, reside y se desarrolla en cada organismo productor de forma individual, mientras que la descomposición se manifiesta al nivel de la comunidad, siendo un proceso compuesto e integrador cuyos mecanismos de funcionamiento varían entre

distintos sistemas y con la escala de análisis, constituyendo probablemente el proceso ecológico más complejo de la biosfera (Álvarez, 2005).

El término descomposición se emplea de forma general para referirse a la destrucción (desintegración) de materiales orgánicos de origen animal, microbiano o vegetal (Mason, 1976). Este proceso de desintegración engloba a su vez dos subprocesos simultáneos: por un lado la fragmentación de partículas de un tamaño mayor en otras cada vez menores, hasta que los componentes estructurales (incluidos los celulares) no son ya reconocibles y por otro lado el catabolismo de los compuestos orgánicos (Satchell, 1974). De forma general se asume que las moléculas orgánicas complejas de gran tamaño son degradadas por procesos hidrolíticos, bióticos y abióticos en compuestos de bajo peso molecular, y que, posteriormente, se produce una oxidación de estos compuestos orgánicos hasta obtener los compuestos inorgánicos simples que los constituyen (CO_2 , H_2S , NH_4^+ , PO_4^{3-} , H_2O) que es lo que se conoce como mineralización. A la vez, en este proceso catabólico parte de los materiales orgánicos son incorporados como biomasa en distintos organismos detritívoros (Álvarez, 2005).

Los objetivos del presente estudio son: 1) Evaluar el efecto de aclareo y fertilización sobre el almacén de N, P, K en las biomásas de follaje, ramas y fuste así como en el mantillo de pino, suelo mineral y raíces gruesas y finas; 2) Determinar la tasa de recirculación de N, P, K en plantaciones de *Pinus patula*.

3.2 MATERIALES Y METODOS

3.2.1 Descripción del área del estudio

Las dos plantaciones de *P. patula* analizadas en este estudio se localizan en el ejido de Palo Bendito, municipio de Huayacocotla, ubicado en la zona norte del estado de Veracruz, a $20^\circ 27' \text{N}$ y $98^\circ 29' \text{O}$ y a una altitud de 2,460 m. El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y nieblas frecuentes, con una

temperatura media anual del mes más frío (enero) entre 3 y 8 °C y del mes más caliente (mayo) mayor de 16 °C. La precipitación pluvial media anual varía de 633.9 a 1,385.1 mm (Domínguez *et al.*, 1997). La plantación 1998 fue establecida durante la estación lluviosa (julio) de 1998 y la plantación 2000 en el verano (junio) del año 2000, ambas con un espaciamiento de 2.5 m entre árboles.

Los suelos se originaron a partir de rocas sedimentarias, principalmente lutitas y areniscas, y la textura general es franco–arcillosa. El drenaje es superficial, es rápido y lento en el interior; el primero, por altas cantidades de humus y el segundo, por la textura arcillosa predominante. 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). La vegetación natural en la zona corresponde al bosque de pino-encino.

3.2.2 Diseño experimental

En ambas plantaciones de *P. patula* se realizó un experimento factorial con dos factores (fertilización y aclareo) y dos niveles de cada factor. Los niveles del factor fertilización fueron 1) sin fertilización y 2) aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio; los del factor aclareo fueron 1) sin aclareo y 2) con aclareo. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones y la unidad experimental fue una parcela de 100 y 64 m² para las plantaciones de 1998 y 2000, respectivamente. Con la combinación de los niveles de los factores se generó un diseño de tratamientos 2² con tres repeticiones que se aplicaron a cada plantación, distribuidos de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar.

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

3.2.3 Variables evaluadas

Se evaluó la biomasa de raíces gruesas (Brg) haciendo tres excavaciones de 30*30cm por lado y 70 cm de profundidad en cada parcela, generando 36 excavaciones por plantación y sumando un total de 72 muestras por las dos plantaciones.

La estimación de raíces gruesas se hizo separándolas manualmente del suelo extraído de cada perforación. La biomasa de raíces gruesas por parcela se estimó mediante el procedimiento siguiente: Biomasa promedio de raíces gruesas en las excavaciones (Kg) *tamaño de parcela (m²)/superficie media de las excavaciones (m²).

La biomasa de raíces finas (Brf) se cuantificó por muestreo de suelo a una profundidad de 30 cm utilizando un muestreador de suelos de 9.7cm de diámetro. Se extrajeron cinco unidades de muestreo en cada parcela, sumando un total de 120 unidades de muestreo en ambas plantaciones. La biomasa de raíces finas por parcela se estimó mediante el procedimiento siguiente:

Brf = Biomasa promedio de raíces finas (kg)*tamaño de parcela (m²)/área de la perforación (m²).

Las biomásas de fuste, follaje y ramas de los árboles se obtuvieron a partir del diámetro normal utilizando los modelos alométricos desarrollados por Castellanos *et al.* (1998) para *Pinus patula*, (Cuadro 1).

Cuadro 7. Modelos desarrollados por Castellanos *et al.* (1998), estimación de biomasa de fuste, follaje y ramas de *Pinus patula*

Componente	Ecuación de regresión
Fuste total CC	$\ln Y = -2.06082 + 2.30026 \ln(DN)$
Ramas	$\ln Y = -4.45555 + 2.33251 \ln(DN)$
Follaje total	$\ln Y = -3.74989 + 1.73807 \ln(DN)$

Se evaluó el almacén de nutrimentos en raíces gruesas (ANrg, Figura 1), para esto, las muestras de raíces gruesas se lavaron, se secaron en la estufa a 70°C hasta peso constante, se molieron, se hizo una muestra compuesta por parcela en la que cada excavación aportó igual cantidad de raíces. Las muestras compuestas se llevaron al laboratorio para determinar N, P y K. El nitrógeno (N) se determinó en un digestado obtenido con mezcla diácida, por arrastre de vapor; el fósforo (P) y potasio (K) se determinaron, después de un digestado con mezcla diácida, por fotocolorimetría por reducción con molibdo-vanadato y espectrofotometría de absorción atómica, respectivamente. Los almacenes de nutrimentos en raíces gruesas se estimaron mediante la siguiente fórmula:

$$ANrg = Brg * [N]rg / 100$$

Dónde:

ANrg=Almacén de un nutrimento en raíces gruesas (kg/hectárea)

Brg=Biomasa de raíces gruesas (kg/hectárea)

[N]rg = Concentración de un nutrimento en raíces gruesas (%)

Para la cuantificación del almacén de nutrimentos en raíces finas (ANrf, Figura 1), en cada unidad de muestreo se escogieron las raíces finas y se lavaron con agua destilada para después secarlas en una estufa a 70° a peso constante. Estas

muestras una vez secas se pesaron y se hicieron muestras compuestas por parcela para después molerlas y enviarlas al laboratorio para hacer las determinaciones de N, P y K, mediante las técnicas de laboratorio descritas anteriormente. Los almacenes de nutrimentos se estimaron mediante la fórmula antes mencionada adaptada para raíces finas.

Para la evaluación del almacén de nutrimentos en fuste (ANfu, Figura 1), se tomó una muestra de madera de fuste de cada uno de tres árboles por parcela el 17 de febrero del 2012, utilizando un taladro de Pressler. Éstas se enjuagaron con agua destilada y se secaron en una estufa a 70° a peso constante. Después se pesó cada muestra y se molió para hacer muestras compuestas por parcela mismas que se enviaron al laboratorio para determinar N, P y K utilizando las técnicas de laboratorio descritas anteriormente. Los almacenes de nutrimentos se estimaron mediante la fórmula antes mencionada adaptada para fuste.

Para cuantificar el almacén de nutrimentos en ramas (ANra, Figura 1), las muestras se colectaron el 17 de febrero y 14 de marzo de 2012. Se utilizaron tijeras de podar y se cortaron tres porciones de ramas en tres árboles de cada parcela. Una vez obtenidas las muestras se enjuagaron con agua destilada, se metieron en bolsas de papel y se llevaron a la estufa de secado a 70° a peso constante. Después se pesaron, se molieron, se hicieron muestras compuestas por parcela y se mandaron al laboratorio para obtener N, P y K por los métodos descritos anteriormente. Los almacenes de nutrimentos se estimaron mediante la fórmula antes mencionada adaptada para ramas.

Para estimar el almacén de nutrimentos en follaje (ANfo, Figura 1) las muestras de follaje se recolectaron el 17 de febrero de 2012, utilizando tijeras de podar, adaptadas a una garrocha para poder alcanzar el follaje necesario del tercio superior de la copa. Las muestras de follaje se tomaron de tres árboles de cada parcela y se enjuagaron con agua destilada, se metieron en bolsas de papel y se llevaron a la estufa de secado a 70 °C hasta peso constante. Una vez secas, las muestras se molieron y se conformaron muestras compuestas por parcela, se

enviaron al laboratorio y se determinó N, P y K. Los almacenes de nutrimentos se estimaron mediante la fórmula antes mencionada adaptada para follaje.

Para estimar el almacén de nutrimentos en mantillo de pino (AN_{man}, Figura 1) las muestras de mantillo se tomaron recolectando toda la materia orgánica contenida en tres áreas rectangulares de 30 X 30 cm por parcela hasta alcanzar el suelo mineral. Estas muestras se secaron en la estufa a 70 °C y después se pesaron, molieron e hicieron muestras compuestas por parcela para determinar N, P, y K por los métodos de laboratorio antes señalados. Los almacenes de nutrimentos se estimaron mediante la fórmula antes mencionada adaptada para mantillo.

La determinación del almacén de nutrimentos en suelo mineral (AN_{sm}, Figura 1) se hizo mediante muestreo de suelo a una profundidad de 30 cm utilizando un muestreador de suelo agrícola. Se obtuvieron cinco muestras de suelo mineral en cada una de las parcelas. Estas muestras se metieron en bolsas de plástico y se pesaron para hacer muestras compuestas por parcela. La muestra compuesta de suelo se envió al laboratorio para determinar N, P y K. El nitrógeno se determinó mediante el método Kjeldahl; el fósforo por el método Bray y el potasio por extracción con acetato de amonio y cuantificado por espectrofotometría de emisión de flama. El almacén de nutrimentos en suelo mineral (g) se estimó multiplicando la concentración del nutrimento (%) por la masa de suelo en la parcela (kg/ha, considerando la densidad aparente del suelo y una profundidad de 30 cm) y dividiendo por 0.1.

La absorción de nutrimentos (AbN, Flujo 1, Figura 1) se determinó mediante la estimación de la PPN de cada componente aéreo del árbol multiplicado por la concentración de nutrimentos en ese componente y sumando el almacén de nutrimentos de todos los componentes del árbol. La PPN de cada uno de los componentes aéreos de los árboles se determinó utilizando los modelos de Castellanos *et al.* (1997) y la metodología propuesta por Clark (2001), para dos años consecutivos (2012 y 2013). La PPN de raíces gruesas y finas se estimó a partir de datos de biomasa de los años 2012 y 2013. Para el caso de la biomasa

2012, la estimación por parcela se hizo por procedimientos de campo como se mencionó anteriormente. Para el año 2013, los datos de biomasa de raíces gruesas y finas se estimaron mediante modelos matemáticos elaborados exprofeso los cuales estimaron dichas biomásas en función del área basal por parcela.

La pérdida de nutrimentos por caída de hojarasca (PNch, Flujo 2, Figura 1) se estimó cuantificando la caída de hojarasca, la cual se evaluó mediante el uso de trampas de 0.5 m² de superficie en la cuales se recolectó el material mensualmente durante dos años. En la temporada de otoño 2012-2013, se tomaron muestras del follaje recolectado en las trampas, se secaron a 70 °C a peso constante y se llevaron al laboratorio para sus determinaciones de N, P y K por los métodos descritos para follaje. Considerando la caída promedio anual de hojarasca y las concentraciones nutrimentales de la misma se estimó el flujo anual de nutrimentos para cada parcela.

La constante de descomposición (k) (Flujo 3, Figura 1) se estimó cuantificando la descomposición de la hojarasca sobre el suelo mineral. Se utilizaron bolsas de malla de 2 mm de abertura las cuales se llenaron con 8 g de hojarasca de *Pinus patula* recién caída. En cada parcela se colocaron 24 bolsas. Cada mes se recolectaron dos bolsas de cada parcela. El material de cada bolsa se secó a 70°C hasta peso constante y se pesó en una balanza analítica para conocer la biomasa perdida en el periodo correspondiente. El valor de la constante de descomposición de cada parcela se determinó utilizando el modelo exponencial negativo (Petit-Aldana *et al.*, 2012). En función del almacén nutrimental del mantillo y de la tasa de descomposición del mantillo se determinó la tasa de liberación de nutrimentos o flujo de nutrimentos del mantillo hacia el suelo mineral (Lndh).

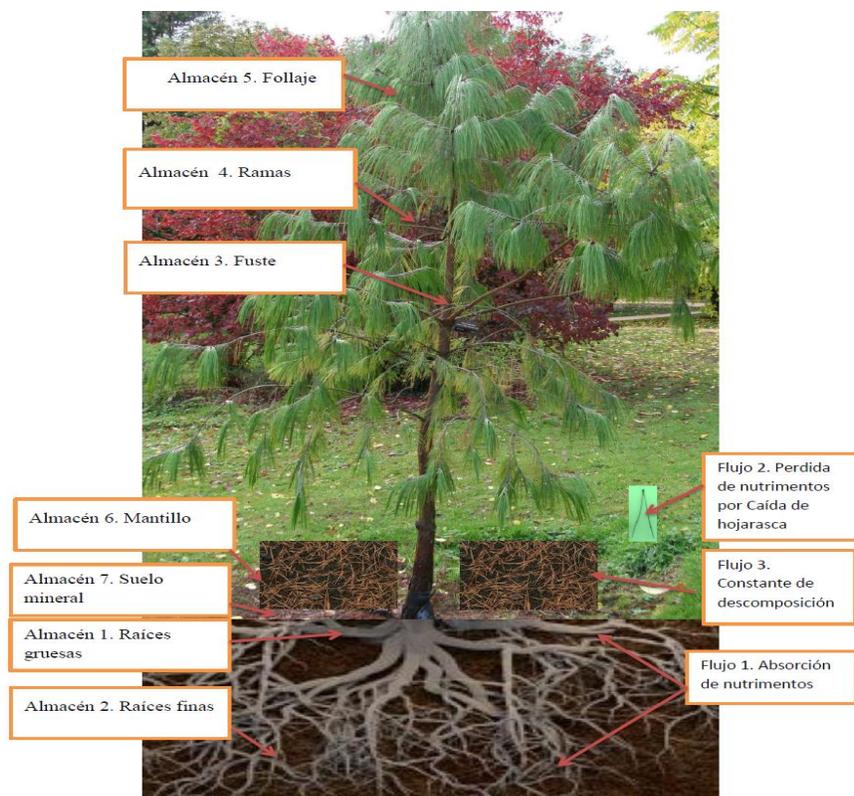


Figura 1. Almacenes y flujos de nutrientes.

3.2.4 Análisis estadístico

Las estimaciones de almacenes y flujos de nutrientes se hicieron por unidad experimental (parcela). Los datos se procesaron mediante análisis de varianza de acuerdo con el diseño experimental completamente al azar. Se realizó la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$) para comparar las medias de los tratamientos. Para el procesamiento de estos datos se usó el paquete SAS (SAS Institute, 2004).

3.3 RESULTADOS

La fertilización tuvo efecto significativo en el almacén de N en mantillo ($p=0.0067$), sin embargo no tuvo efecto significativo en las demás variables en la plantación 1998, como se muestra en el Cuadro 2. Por su parte, el aclareo afectó la absorción de N, P y K ($p=0.0249$, 0.0783 y 0.0222 , respectivamente), así como también la pérdida de N ($p=0.0748$) por caída de hojarasca y los almacenes o reservorios de N, P y K ($p < 0.0001$, 0.0003 y 0.0024 , respectivamente) en follaje. El aclareo también tuvo efectos significativos en los almacenes de P y K ($p = 0.0282$ y 0.0495 , respectivamente) en ramas, en los almacenes de N, P y K ($p = 0.0142$, 0.0819 , 0.0022 , respectivamente) en fuste, así como también en el almacén de P ($p= 0.0352$) en raíces finas. Las demás variables no fueron afectadas por el aclareo (Cuadro 2). La interacción fertilización*aclareo no tuvo efectos significativos en las variables bajo estudio (Cuadro 2).

Cuadro 8. Niveles de probabilidad correspondientes al análisis de varianza del experimento de fertilización y aclareo en la plantación 1998, Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.

	Modelo	Fertilización	Aclareo	Fertilización*aclareo
AbN	0.1007	0.499	0.0249	0.4424
AbP	0.2156	0.4603	0.0783	0.3734
AbK	0.0815	0.3894	0.0222	0.3702
PNCh	0.128	0.2729	0.0748	0.1851
PPCh	0.4926	0.31	0.2657	0.8837
PKch	0.447	0.3318	0.2266	0.6891
ANfo	0.0002	0.1035	<.0001	0.599
APfo	0.002	0.5842	0.0003	0.1607

AKfo	0.0128	0.9708	0.0024	0.2248
ANra	0.5461	0.7701	0.2156	0.551
APra	0.1328	0.5575	0.0282	0.9502
AKra	0.1911	0.5532	0.0495	0.5973
ANfu	0.042	0.37	0.0142	0.1514
APfu	0.2324	0.4264	0.0819	0.4531
AKfu	0.0107	0.1908	0.0022	0.4562
ANman	0.0307	0.0067	0.6394	0.2481
APman	0.8561	0.835	0.4288	0.8845
AKman	0.7215	0.6023	0.3319	0.9692
ANsm	0.2664	0.0907	0.3618	0.7215
APsm	0.1164	0.1976	0.1436	0.0988
AKsm	0.6134	0.868	0.3299	0.3979
ANrg	0.7369	0.6326	0.3405	0.8984
APrg	0.5732	0.3137	0.4369	0.5978
AKrg	0.4313	0.2309	0.2924	0.7338
ANrf	0.3849	0.2452	0.2578	0.541
APrf	0.0878	0.1346	0.0352	0.67
AKrf	0.4408	0.6364	0.1592	0.5698
Cdesc	0.6657	0.5008	0.333	0.7931
LNdh	0.0205	0.1245	0.3683	0.1437
LPdh	0.5116	0.1728	0.6714	0.7984
LKdh	0.5049	0.1627	0.8407	0.7181

AbN, AbP y AbK: absorción de Nitrogeno, fósforo y potasio. PNch, PPch y PKch: Perdida de nitrógeno, fósforo y potasio en caída de hojarasca. ANfo, APfo y AKfo: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en follaje. ANra, APra y AKra: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en ramas. ANfu, APfu y AKfu: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en fuste. ANman, APman, AKman: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en mantillo. ANsm, APsm y AKsm: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en suelo mineral. ANrg, APrg y AKrg: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en raíces gruesas. ANrf, APRf y AKrf: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio

en raíces finas. Cdesc.: Constante de descomposición. LNdh: Liberación de nitrógeno por descomposición de hojarasca, LPdh: Liberación de fósforo por descomposición de hojarasca, LKdh: : Liberación de potasio por descomposición de hojarasca.

En la plantación 2000, la fertilización tuvo un efecto significativo en el almacén de K en el suelo mineral ($p=0.0463$), pero no tuvo efecto significativo en las demás variables (Cuadro 3). El aclareo afectó significativamente los almacenes de P ($p = 0.0162$) y K ($p = 0.0313$) en el suelo mineral pero no tuvo efecto significativo en las demás variables bajo estudio (Cuadro 3).

La interacción fertilización*aclareo influyó en la liberación de P ($p = 0.059$) por descomposición de hojarasca pero no tuvo un efecto significativo en las demás variables estudiadas (Cuadro 3).

Cuadro 9. Niveles de probabilidad correspondientes al análisis de varianza del experimento de fertilización y aclareo en la plantación 2000, Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz.

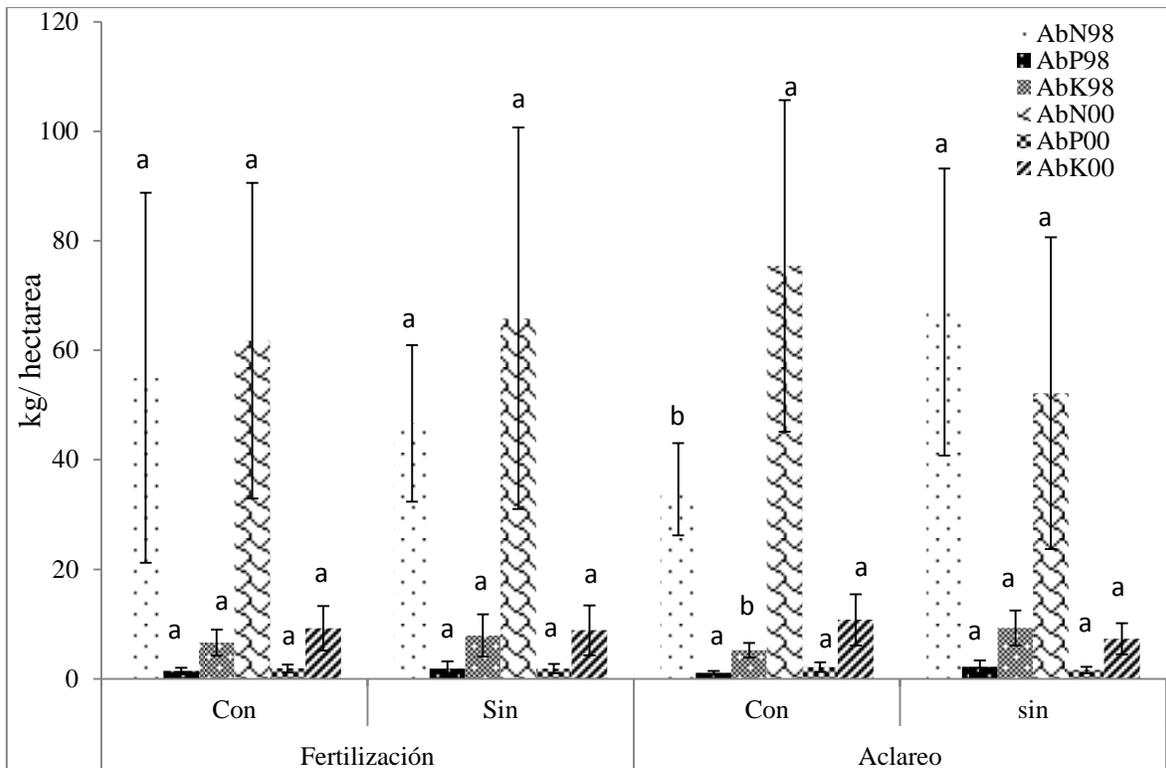
	Modelo	Fertilización	Aclareo	Fertilización*aclareo
AbN	0.6433	0.832	0.2496	0.7026
AbP	0.7638	0.9822	0.3231	0.8134
AbK	0.6029	0.8832	0.2033	0.8965
PNCh	0.5376	0.7767	0.1779	0.7963
PPCh	0.2303	0.7719	0.1508	0.139
PKch	0.3639	0.2595	0.2595	0.5705
ANfo	0.7224	0.4946	0.4236	0.7225
APfo	0.6619	0.4692	0.4681	0.5022
AKfo	0.8391	0.5488	0.5858	0.7344
ANra	0.7792	0.5522	0.5879	0.5466

APra	0.5976	0.5202	0.2537	0.8794
AKra	0.4721	0.3913	0.2019	0.8972
ANfu	0.6572	0.9956	0.4855	0.3168
APfu	0.586	0.6271	0.3402	0.4056
AKfu	0.8047	0.9419	0.5817	0.4427
ANman	0.2919	0.3059	0.5832	0.1262
APman	0.3962	0.4573	0.8786	0.1371
AKman	0.7326	0.3548	0.8173	0.6052
ANsm	0.8941	0.6006	0.9035	0.6082
APsm	0.0904	0.905	0.0162	0.8997
AKsm	0.0406	0.0463	0.0313	0.3453
ANrg	0.3843	0.4436	0.1321	0.9268
APrg	0.787	0.565	0.4467	0.8053
AKrg	0.8613	0.8406	0.4561	0.7789
ANrf	0.4063	0.4359	0.3046	0.2702
APrf	0.567	0.7849	0.5301	0.2345
AKrf	0.9763	0.6698	0.9827	0.9625
Cdesc	0.7647	0.6024	0.6024	0.4695
LNdh	0.9536	0.6221	0.8686	0.8686
LPdh	0.1674	0.2745	0.5737	0.059
LKdh	0.4373	0.2247	0.3445	0.6043

AbN, AbP y AbK: absorción de Nitrogeno, fósforo y potasio. PNch, PPch y PKch: Perdida de nitrógeno, fósforo y potasio en caída de hojarasca. ANfo, APfo y AKfo: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en follaje. ANra, APra y AKra: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en ramas. ANfu, APfu y AKfu: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en fuste. ANman, APman, AKman: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en mantillo. ANsm, APsm y AKsm: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en suelo mineral. ANrg, APrg y AKrg: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en raíces gruesas. ANrf, APRf y AKrf: Almacén de nitrógeno, fósforo y potasio en raíces finas, Cdesc.: Constante de descomposición. LNdh: Liberación de nitrógeno por descomposición de hojarasca, LPdh: Liberación de fósforo por descomposición de hojarasca, LKdh: : Liberación de potasio por descomposición de hojarasca.

En la Figura 2 se presenta la absorción de N, P y K por parte de los árboles de las plantaciones 1998 y 2000. La fertilización no afectó significativamente la absorción de los macronutrientes en ninguna de las plantaciones; sin embargo, el aclareo

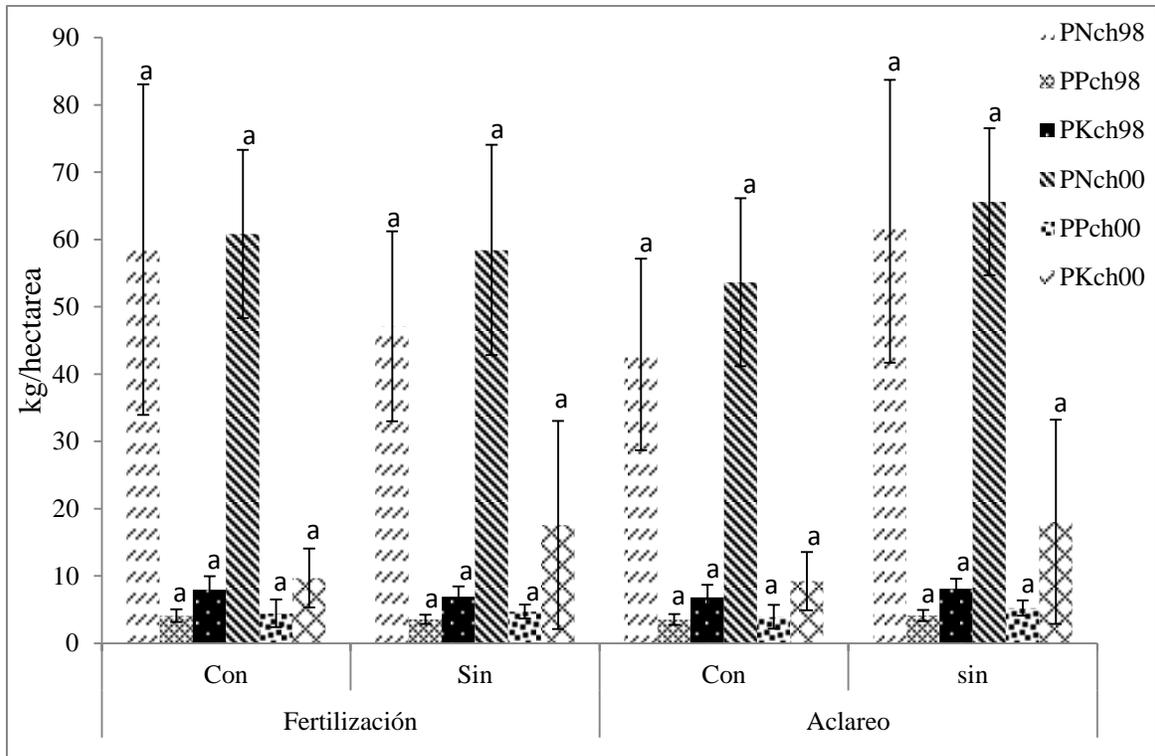
disminuyó la absorción de N (34.61 vs. 67 kg/hectárea) y K (5.22 vs. 9.27 kg/hectárea) en la plantación 1998, pero no en la 2000.



AbN98 y AbN00: Absorción de Nitrógeno en las plantaciones 1998 y 2000. AbP98 y AbP00: Absorción de fósforo en las plantaciones 1998 y 2000. AbK98 y AbK00: Absorción de potasio en las plantaciones 1998 y 2000. Para un mismo flujo, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 2. Flujos de absorción de nitrógeno, fósforo y potasio en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

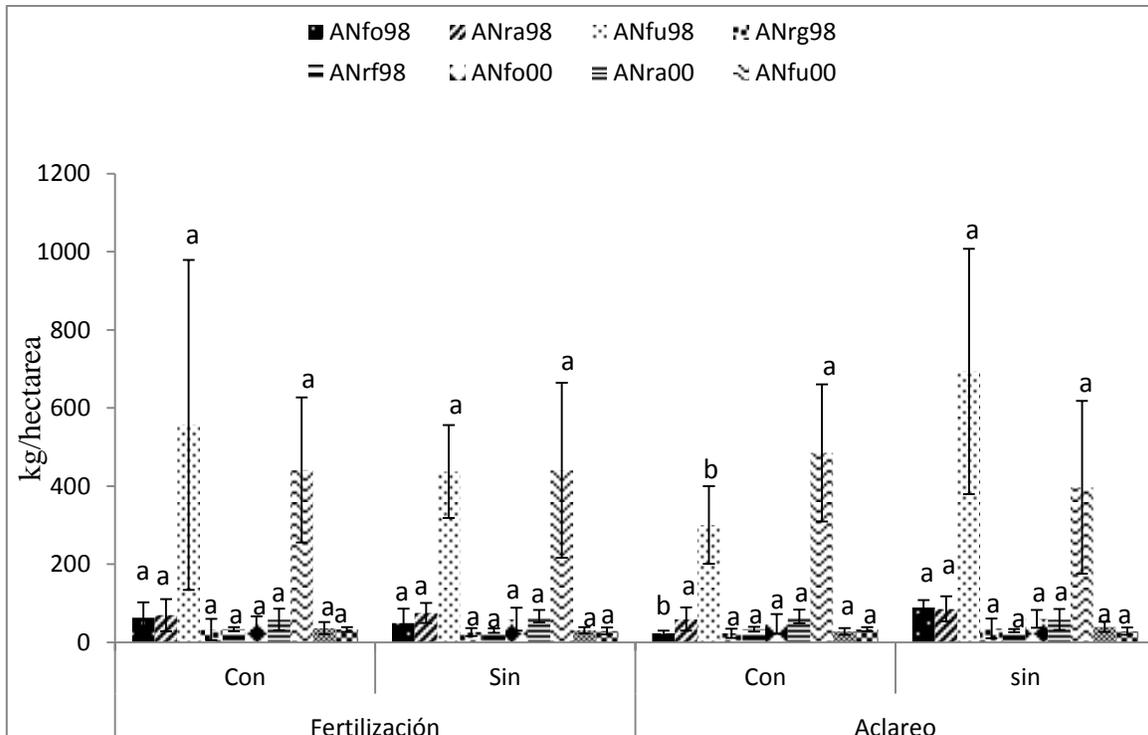
La Figura 3 representa las pérdidas de N, P y K por caída de hojarasca por parte de los árboles de las plantaciones 1998 y 2000. La fertilización y el aclareo no afectaron significativamente la pérdida de los macronutrientes por caída de hojarasca en ninguna de las plantaciones.



PNch98 y PNch00 : Perdida de Nitrógeno por caída de hojarasca en las plantaciones 1998 y 2000. PPch98 y PPch00: Perdida de fósforo por caída de hojarasca en las plantaciones 1998 y 2000. PKch98 y PKch00: Perdida de potasio por caída de hojarasca en las plantaciones 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 3. Pérdida de nutrimentos por caída de hojarasca en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

En la Figura 4 se representa el almacén de N en follaje, ramas, fuste, raíces gruesas y raíces finas en las plantaciones 1998 y 2000. La fertilización no afectó significativamente el almacén de N en follaje, ramas, fuste, raíces gruesas y raíces finas en ninguna de las plantaciones; sin embargo, el aclareo disminuyó el almacén de N en follaje (23.9 vs. 89.5 kg/hectárea) y en fuste (300.8 vs. 693.5 kg/hectárea), pero no en los demás componentes del árbol en la plantación 1998. En la plantación 2000, el aclareo no afectó significativamente el almacén de N en los componentes del árbol ya mencionados.

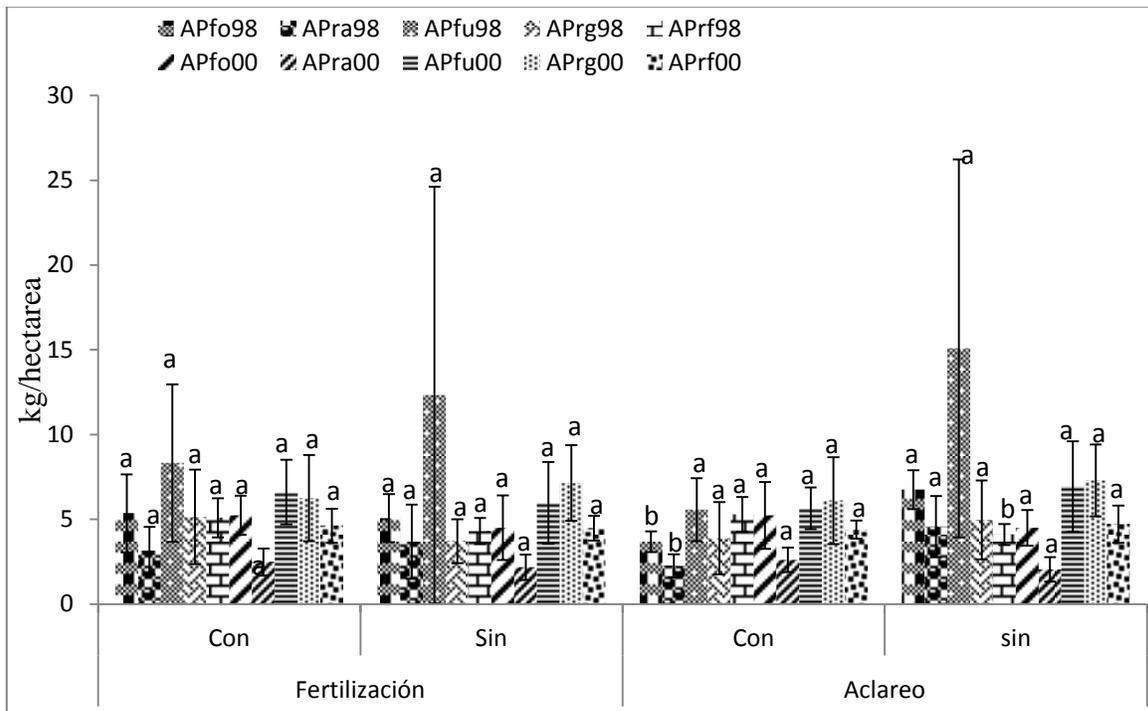


ANfo98 y ANfo00: Almacén de nitrógeno en follaje en la plantación 1998 y 2000. ANra98y ANra00: Almacén de nitrógeno en ramas en la plantación 1998 y 2000. ANfu98 y ANfu00: Almacén de nitrógeno en fuste en la plantación 1998 y 2000. ANrg98 y ANrg00: Almacén de nitrógeno en raíces gruesas en la plantación 1998 y 2000. ANrf98y ANrf00: Almacén de nitrógeno en raíces finas en la plantación 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo con las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 4. Almacenes de nitrógeno en fuste, follaje, ramas, raíces gruesas y finas en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

En la Figura 5 se representa el almacén de P en follaje, ramas, fuste, raíces gruesas y raíces finas en las plantaciones 1998 y 2000. La fertilización no afectó significativamente el almacén de P en follaje, en los componentes del árbol en ninguna de las plantaciones; no obstante, en la plantación 1998, el aclareo disminuyó los almacenes de P en follaje (3.68 vs. 6.75 kg/hectárea) y en ramas (2.26 vs. 4.57 kg/hectárea) pero aumentó el almacén de P en raíces finas (5.29 vs.

4.1 kg/hectárea). El aclareo no tuvo efecto significativo en el almacén de P en follaje, ramas, fuste, raíces gruesas y raíces finas en la plantación 2000.

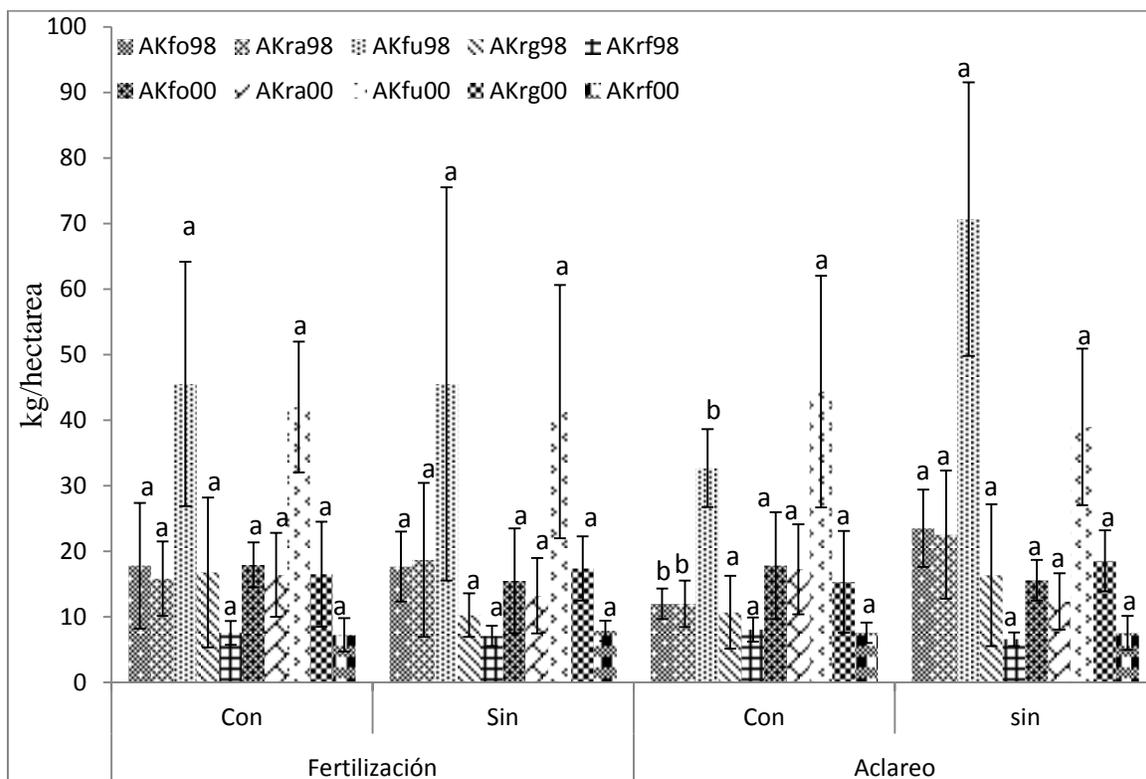


APfo98 y APfo00: Almacén de fósforo en follaje en las plantaciones 1998 y 2000. APra98 y APra00: Almacén de fósforo en ramas en las plantaciones 1998 y 2000. APfu98 y APfu00: Almacén de fósforo en fuste en las plantaciones 1998 y 2000. APrg98 y APrg00: Almacén de fósforo en raíces gruesas en las plantaciones 1998 y 2000. APrf98 y APrf00: Almacén de fósforo en raíces finas en las plantaciones 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 5. Almacenes de fósforo en fuste, follaje, ramas, raíces gruesas y finas en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

En la Figura 6 se representa los almacenes de K en follaje, ramas, fuste, raíces gruesas y raíces finas en las plantaciones 1998 y 2000. La fertilización no afectó significativamente los almacenes de K; no obstante, en la plantación 1998, el

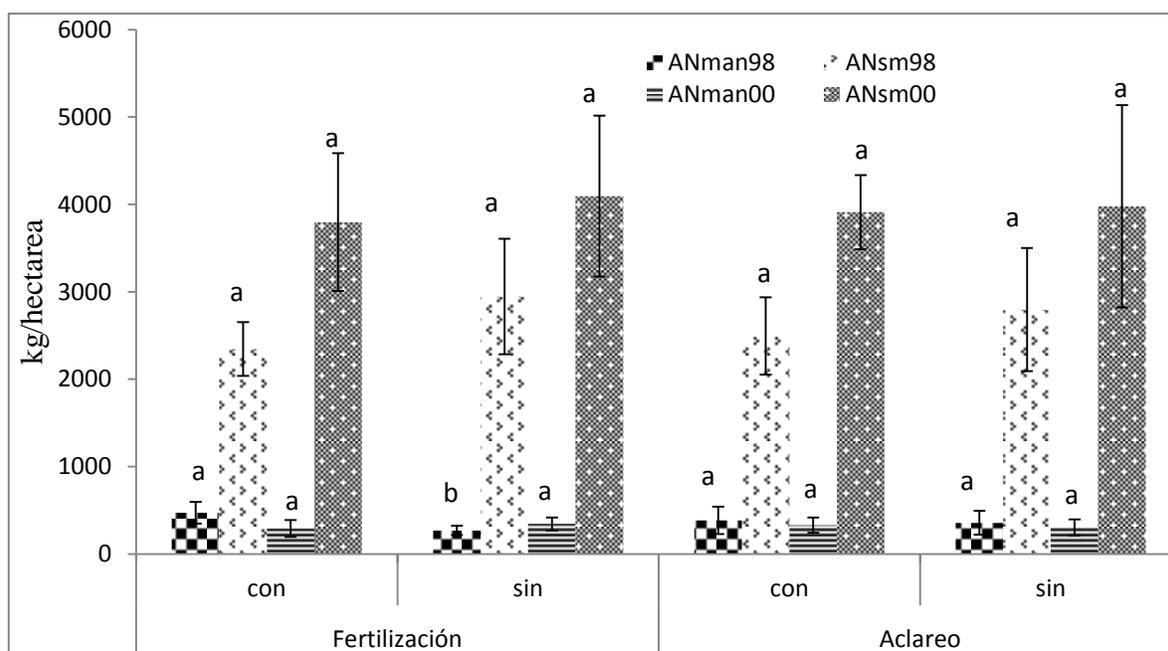
aclareo disminuyó los almacenes de K en follaje (11.99 vs. 23.52 kg/ha), en ramas (12 vs. 22.54 kg/ha) y en fuste (32.69 vs. 70.67 kg/ha), pero no tuvo efecto significativo en los demás componentes del árbol. El aclareo no tuvo efecto significativo en los almacenes de K en follaje, ramas, fuste, raíces gruesas y raíces finas en la plantación 2000.



AKfo98 y AKfo00: Almacén de potasio en follaje en las plantaciones 1998 y 2000. AKra98 y AKra00: Almacén de potasio en ramas en las plantaciones 1998 y 2000. AKfu98 y AKfu00: Almacén de potasio en fuste en las plantaciones 1998 y 2000. AKrg98 y AKrg00: Almacén de potasio en raíces gruesas en las plantaciones 1998 y 2000. AKrf98 y AKrf00: Almacén de potasio en raíces finas en las plantaciones 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 6. Almacenes de potasio en fuste, follaje, ramas, raíces gruesas y finas en la plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

Los almacenes de N en mantillo y suelo mineral en las plantaciones 1998 y 2000 se muestran en la Figura 7. La fertilización no afectó significativamente el almacén de N en suelo mineral y mantillo en la plantación 2000. La plantación 1998, la fertilización tampoco afectó significativamente al almacén de N en suelo mineral pero si al almacén de N en mantillo, aumentándolo significativamente (472.73 vs 269.68 kg/hectárea). El aclareo no tuvo efecto significativo en almacén de N en suelo mineral y mantillo en ninguna de las plantaciones.

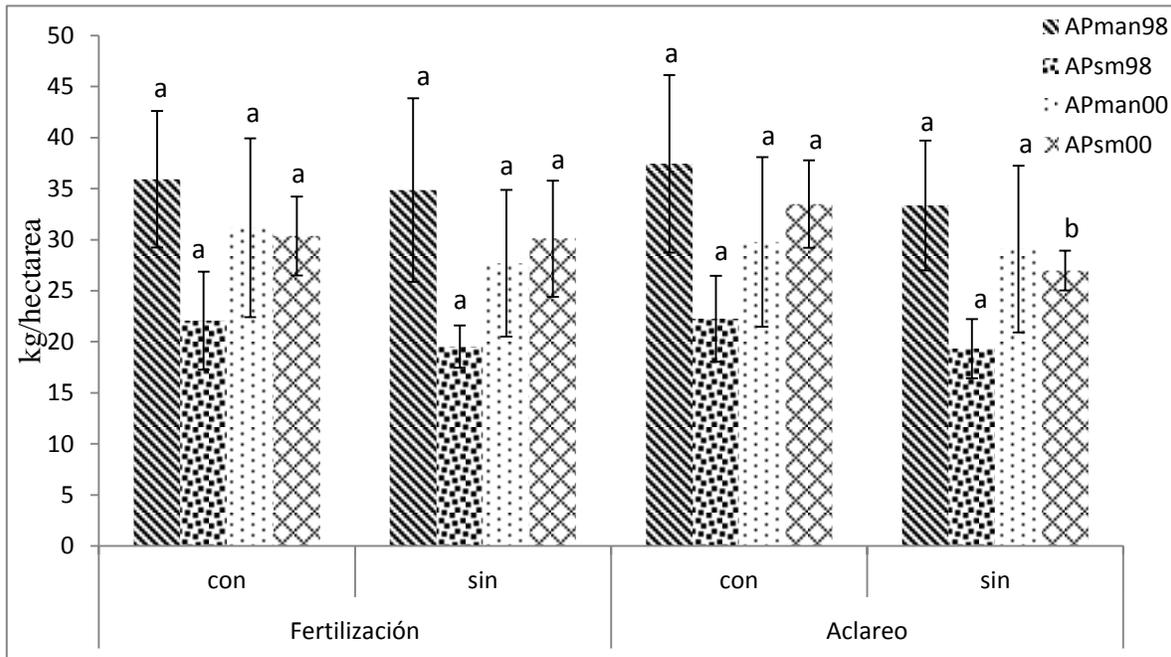


ANman98 y ANman00: almacén de nitrógeno en mantillo en las plantaciones 1998 y 2000. ANsm98 y ANsm00: almacén de nitrógeno en suelo mineral en las plantaciones 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 7. Almacenes de nitrógeno en mantillo y suelo mineral en la plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

Los almacenes de P en mantillo y suelo mineral en las plantaciones 1998 y 2000 se muestran en la Figura 8. La fertilización y el aclareo no afectaron significativamente los almacenes de P en mantillo en ninguna de las plantaciones.

El aclareo no afectó significativamente el almacén de suelo mineral en la plantación 1998. No obstante en la plantación 2000 sí tuvo un efecto significativo en los almacenes de P en suelo mineral (33.48 vs 26.96 kg/hectárea).

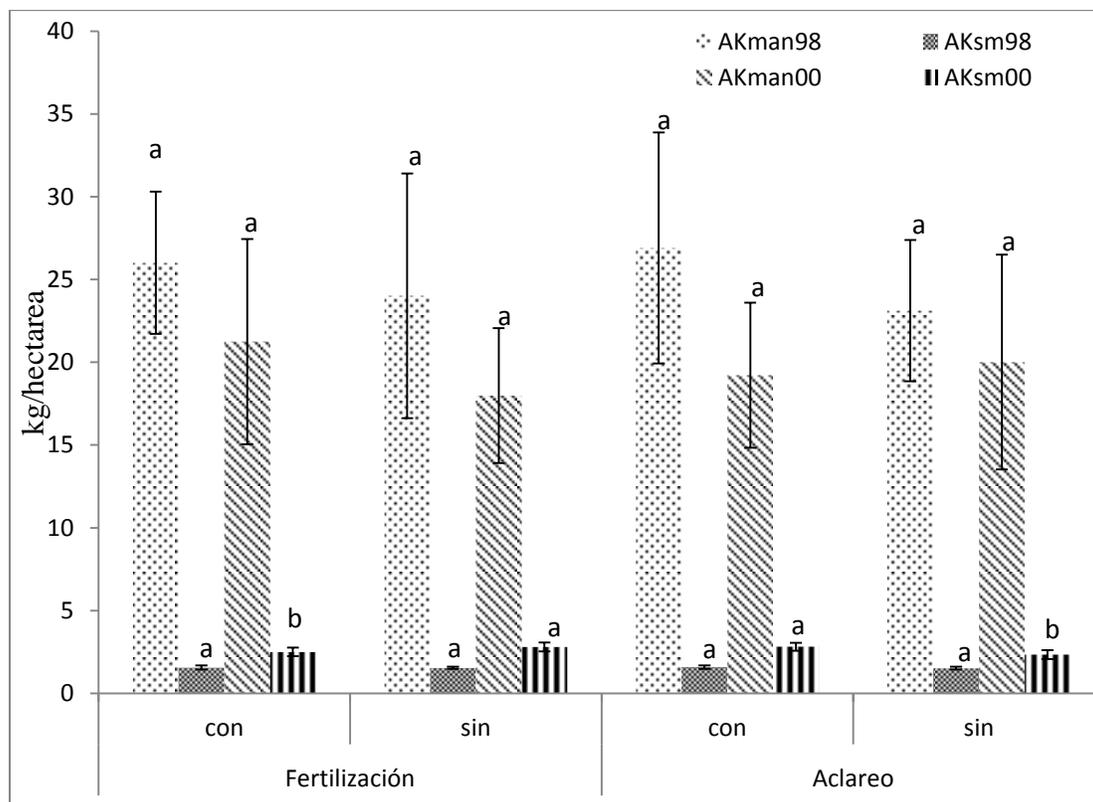


APman98 y APman00: almacén de fósforo en mantillo en las plantaciones 1998 y 2000. APsm98 y APsm00: almacén de fósforo en suelo mineral en las plantaciones 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 8. Almacenes de fósforo en mantillo y suelo mineral en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

Los almacenes de K en mantillo y suelo mineral en las plantaciones 1998 y 2000 se muestran en la Figura 9. La fertilización no afectó significativamente el almacén de K en suelo mineral en la plantación 1998, como tampoco afectó el almacén de K en mantillo en ambas plantaciones. No obstante, en la plantación 2000, la fertilización afectó significativamente al almacén de K en suelo mineral disminuyéndolo (2.5 vs 2.8kg/hectárea). El aclareo no afectó significativamente

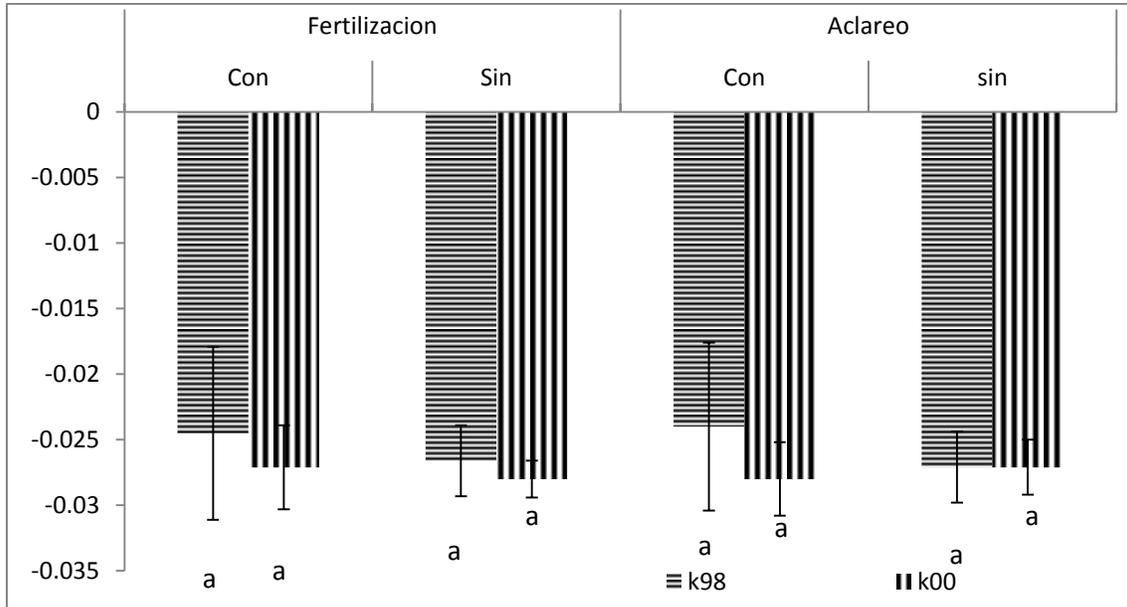
los almacenes de K en mantillo en ambas plantaciones, pero si afecto significativamente los almacenes de potasio en suelo mineral en la plantación 2000 (2.8 vs 2.3 kg/hectárea).



AKman98 y AKman00: almacén de potasio en mantillo en las plantaciones 1998 y 2000. AKsm98 y AKsm00: almacén de potasio en suelo mineral en la plantación 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 9. Almacenes de potasio en mantillo y suelo mineral en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

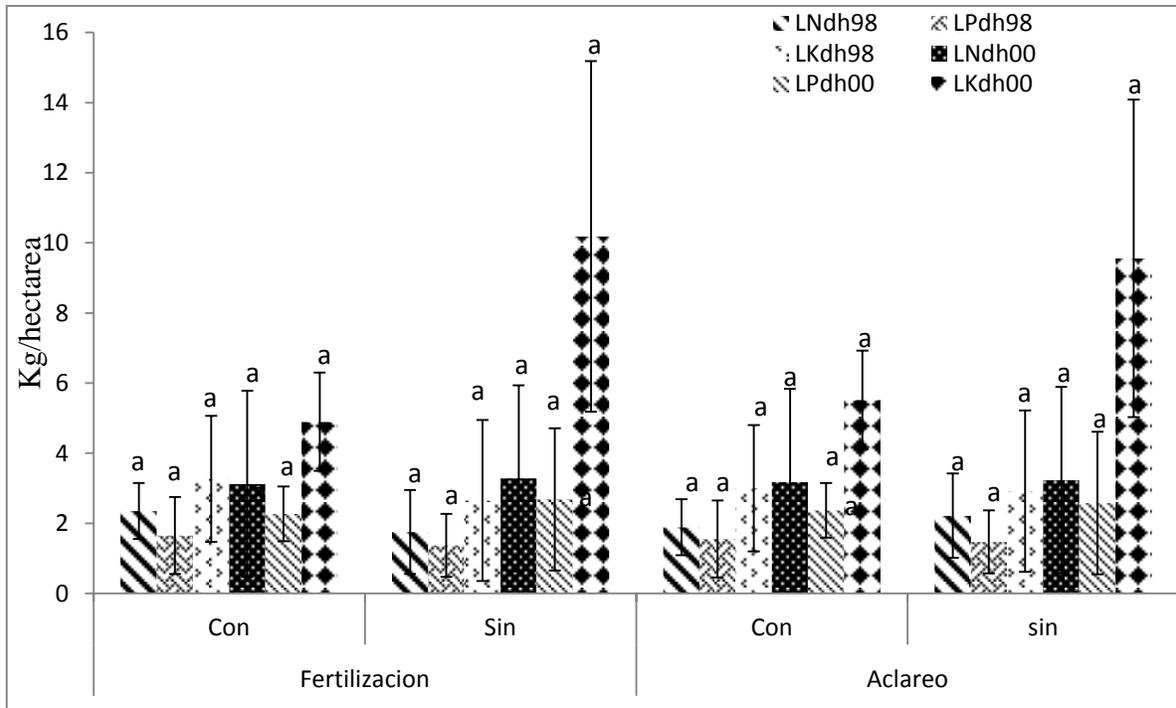
La Figura 10 representa la constante de descomposición (k) en las plantaciones 1998 y 2000. La fertilización y aclareo afectaron significativamente la descomposición de materia orgánica en ninguna de las plantaciones.



k98 y k00: Constante de descomposición plantaciones 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 10. Constantes de descomposición (k) en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

La Figura 11 muestra la liberación de nutrimentos (N, P y K) por descomposición de hojarasca (mineralización) en las plantaciones 1998 y 2000. Ninguno de los factores probados (fertilización y aclareo) afectó significativamente la liberación de N, P y K por descomposición de hojarasca en ninguna de las plantaciones.



LNdh98 y LNdh00: Liberación de nitrógeno por descomposición de hojarasca en las plantaciones 1998 y 2000, LPdh98 y LPdh00: Liberación de fósforo por descomposición de hojarasca en las plantaciones 1998 y 2000, LKdh98 y LKdh00: Liberación de potasio por descomposición de hojarasca en las plantaciones 1998 y 2000. Para un mismo compartimento, dentro de un mismo factor experimental letras iguales significan ausencia de diferencias significativas de acuerdo a las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

Figura 11. Liberación de nutrimentos por descomposición de hojarasca en las plantaciones de *Pinus patula* 1998 y 2000 en Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México.

3.4 DISCUSION

La disminución de los almacenes de N, P y K en follaje ramas y fuste con el tratamiento de aclareo, probablemente se debió a que esta práctica implica una disminución de biomasa aérea, que es el compartimento del ecosistema que contiene los almacenes mencionados. La disminución de los mencionados almacenes es congruente con la disminución (no significativa) del flujo de nutrimentos por caída de hojarasca con el tratamiento de aclareo, como también lo determinaron Kunhamu et al. (2009), quienes encontraron una reducción de la adición de nutrimentos por descomposición de materia orgánica, generada por diferentes intensidades de aclareo. Estos autores determinaron que las máximas cantidades de N, P y K adicionadas al piso forestal debido a la descomposición de hojarasca, ocurrieron en los rodales no aclareados (82.9, 3.3 y 71.9 Kg ha⁻¹, resectivamente).

Es frecuente que el aclareo incremente las tasas de descomposición de materia orgánica del suelo (Schlesinger *et al.*, 1982; Gréggio *et al.*, 2007; Kunhamu *et al.*, 2009; Neng *et al.*, 2010). Sin embargo, en el presente estudio las tasas de descomposición no fueron afectadas por el aclareo en ninguna de las plantaciones estudiadas. En la plantación 1998, los árboles son de 20 m de altura aproximadamente, lo cual implica que la extracción de algunos árboles, como se hizo en el presente estudio, no fue suficiente para permitir una entrada significativa de radiación solar al piso forestal durante la mayor parte del día, lo que puede explicar la falta de efectos del aclareo sobre la tasa de descomposición. En el caso de la plantación 2000, los árboles son de menor talla que en la plantación 1998; sin embargo, en esta plantación la densidad inicial del arbolado es tan baja que fue necesario derribar muy pocos árboles durante la operación de aclareo, lo cual resultó en efectos no significativos de esta práctica silvícola sobre las tasas de descomposición.

Babbar y Ewel (1989), deducen que la descomposición de materia orgánica es el proceso clave que enlaza el ciclo interno de nutrimentos con la productividad del

bosque y que la temperatura, humedad y propiedades fisicoquímicas del material en descomposición son los reguladores más importantes de la presencia y actividad de los organismos descomponedores. Si estas condiciones no se presentan de manera óptima las tasas de descomposición son bajas o nulas (Gallardo *et al.*, 2009). Al parecer, estas condiciones no fueron suficientemente alteradas por los tratamientos de aclareo proporcionados en el presente estudio.

La absorción de nutrimentos fue disminuida por el aclareo, lo cual puede ser debido a la disminución de la biomasa de los tejidos demandantes de nutrimentos como es el follaje, ramas y fuste al realizar esta práctica silvícola (Rodríguez *et al.*, 2011).

El aumento en el almacén de P en raíces finas con el aclareo, probablemente se debe a que al disminuir la densidad del arbolado los nutrimentos quedaron disponibles en mayor cantidad en el suelo mineral y éstos fueron absorbidos por las raíces (Baldwin *et al.*, 2000; Yu *et al.*, 2003).

En lo que respecta a la fertilización, ésta tendió a incrementar los reservorios de N en follaje (plantación 1998) y fuste (ambas plantaciones), probablemente como consecuencia de la mayor disponibilidad de nutrimentos lograda con la aplicación de fertilizante, a pesar de que en el mantillo quedó inmovilizada una proporción del N aplicado mediante la fertilización (Figura 7). Al respecto, Uribe *et al.* (1998), en su trabajo en Ghana, África determinaron, en plantaciones de cacao, que la aplicación de fertilizantes sin remoción de mantillo incrementó la producción en 25%. Sin embargo, la simple remoción del mantillo elevó la producción de 750 a 2875 kg/ha, lo que implicó un incremento mayor a 200%. Algo parecido encontró Molina (1982) en ensayos de fertilización en un monte bajo de *E. globulus* con retornos de dos años de edad. Este autor aplicó tres dosis de urea y superfosfato triple (N y P), no encontrando diferencias significativas de incrementos diamétricos y de altura entre las dosis aplicadas. Los factores que influyeron para la carencia de respuesta, de acuerdo con lo que señala el autor son: el corto periodo de

estudio (11 meses, para este estudio) que hace que los nutrientes aplicados sigan en el mantillo y suelo mineral y se liberen lentamente.

La liberación de nutrientes por descomposición de la materia orgánica en la plantación 1998 tuvo un incremento significativo con fertilización. Tal vez esto sucedió por el aumento de la concentración de N en el mantillo en las parcelas fertilizadas, lo cual probablemente implicó que con la misma tasa de descomposición en parcelas fertilizadas y no fertilizadas, aquellas parcelas que recibieron fertilización liberaron una mayor cantidad de nutrientes hacia el suelo mineral en comparación con las parcelas sin fertilizar.

La aplicación de fertilizantes en los bosques puede alterar varios procesos del ecosistema debido a las múltiples interacciones que ocurren entre los diversos nutrientes y entre éstos y otros componentes del ecosistema, como son la estructura de especies vegetales, microorganismos e incluso animales superiores (Sheng-nan *et al*, 2014). En el presente estudio, el almacén de K en el suelo mineral disminuyó en la plantación 2000 con el tratamiento de fertilización, aun cuando éste incluyó la aplicación de K. Estudios de nutrición en el área indican que los nutrientes más deficientes para *Pinus patula* son N y P y probablemente también lo sean para algunas malezas. La aplicación de nutrientes en las parcelas fertilizadas sin control de malezas pudo haber promovido el crecimiento de éstas, incrementando la demanda de potasio por parte de las mismas, habiendo sido absorbido el nutriente y reduciéndose el almacén de potasio en el suelo mineral por absorción. Rubilar *et al.*, (2012) evaluaron la remoción de malezas y la aplicación de fertilización en una plantación de *Pinus radiata* en Chile y encontraron que después de cuatro años, la fertilización por si sola indujo un incremento en volumen máximo del 52%, mientras que fertilizando y aplicando control de maleza se generó un incremento en volumen que varió de 28 a 300%. Toro (2004) sugiere que para tener plantaciones de calidad y elevar la productividad, debe haber un control de malezas para evitar competencia por nutrientes y agua, ya que en su estudio destaca la fuerte competencia que realizan las malezas, tanto el pasto como los matorrales, con las plantaciones de

pino radiata. Sobresale el hecho que la extracción y acumulación de nutrimentos por parte de las malezas es significativo (Toro 2004). Esto también es apoyado Gerding *et al.* (1986), Medrano *et al.* (1999) y Donoso *et al.* (2007).

3.5 CONCLUSIONES

La fertilización incrementa ligeramente los reservorios de N en follaje (plantación 1998), fuste (ambas plantaciones) y mantillo (plantación 1998). La liberación de nutrimentos por el proceso de descomposición incrementa con la fertilización, aun cuando el proceso de descomposición no se vea afectado. El control de malezas es una práctica necesaria en la plantación estudiada, para evitar la absorción de nutrimentos por parte de las mismas, como sucedió en el caso de K en la plantación 2000. El aclareo disminuye los almacenes de N, P y K en follaje, ramas y fuste y los flujos de los mismos nutrimentos por caída de hojarasca; sin embargo, aumentaron los reservorios de P y K en suelo mineral. Aunque existen reportes de que la fertilización y aclareo pueden afectar las tasas de descomposición de materia orgánica, no fue el caso en la presente investigación. La absorción de nutrimentos disminuye con el aclareo. Se recomienda realizar la remoción de la capa de mantillo, especialmente cuando ésta es demasiado profunda, para disminuir la retención de nutrimentos en esta capa y éstos queden disponibles para su absorción por los árboles.

4. CONCLUSIONES GENERALES

La producción anual de hojarasca de las plantaciones de *Pinus patula* de Palo bendito, Huayacocotla Veracruz, representó una fuente importante de materia orgánica y de nutrimentos para estos suelos. Las concentraciones foliares de N, P y K y su retorno potencial a través de la hojarasca foliar fueron similares a otros estudios realizados en México y otras partes del mundo.

Se debe realizar control de malezas y remoción de mantillo al momento de fertilizar ya que puede ser el motivo por el cual las prácticas silviculturales realizadas en este estudio no tuvieron efecto significativo en la PPN y recirculación de nutrimentos estudiados en este trabajo de investigación.

El presente estudio es una contribución al conocimiento del comportamiento de la producción primaria neta y recirculación de nutrimentos ecosistemas forestales. Con este estudio se dan algunas bases para estudios posteriores que se realicen en México con objetivos de restauración ecológica y/o rehabilitación fisicoquímica de los suelos así como también para captura de carbono y mitigación del cambio climático.

5. LITERATURA CITADA

- Álvarez, S. 2005. La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. *Ecosistemas* 14 (2): 17-29.
- Babbar L. I. y J. J. Ewel. 1989. Descomposición del Follaje en Diversos Ecosistemas Sucesionales Tropicales. *Biotropica*, Vol. 21, No. 1 (Mar., 1989), pp. 20-29.
- Baldwin V C, K D Peterson, A Clark, R B Ferguson, M R Strub, D R Bower (2000) The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 3-year-old loblolly pine. *For. Ecol. Manage.* 137:91–102.
- Binkley D, A MO'Connell, K VSankaran, 1997. Stand development and productivity. *In: Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forest.* Sadanandan, E. K. N, and A. G. Brown (eds). Australian Centre for International Agricultural Research. Ciudad, País. Editorial. p.419-441.
- Bosco I. J., J. A. Blanco y F. J. Castillo. 2008. Capítulo 17, Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. En: Valladares F. 2008. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante.* Páginas 481-508. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 978-84-8014-738-5.
- Castellanos JF, A Velázquez, J Vargas, aC Rodríguez, AM Fierros.1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia* 30:123-128.
- Chapin FS III, Van Cleve K (1989) Approaches to studying nutrient uptake, use and loss in plants. En Pearcy RW, Ehleringer J, Mooney HA, Rundel PW (Eds.) *Plant physiological ecology-field methods and instrumentation.* Chapman and Hall. Londres, RU. pp. 187-207.

- Charley JL, Richards BN (1983) Nutrient allocation in plant communities. En Lange OL, Nobel PS, Osmond CB, Ziegler H (Eds.) *Physiological plant ecology IV. Ecosystem processes: mineral cycling, productivity and man's influence*. Springer. Berlin, Alemania. pp. 5-45.
- Chaves SE, Mora F. 2010. Incrementos en diámetro, área basal y altura en un ensayo de aclareos para *Pachiraquinata* (Jacq.) W.S. Alverson, Nicoya, Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Venezolana*. 54: 131-146.
- Cuevas E, Medina E (1998) The role of nutrient cycling in the conservation of soil fertility in tropical forested ecosystems. En *Ecology today: an anthology of contemporary ecological research: International Scientific Publications*. New Delhi, India. pp. 263-278.
- Clark D A, S Brown, D W Kicklighter, JQ Chambers, JR Thomlinson, Jian Ni, 2001. Measuring net primary production in forests: Concepts and field methods. *Ecological Applications* 11: 356–370.
- Dalla Tea F, Jokela E (1994) Needlefall returns and resorption rates of nutrients in young intensively managed slash and loblolly pine stands. *For. Sci.* 40: 650-662.
- Domínguez AFA, M Rodríguez , M Rivera. 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* 22:15-32.
- Donoso JP, V Gerding, D Uteau, DP 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: 249-255.
- Gallardo, A., F. Covelo, L. Morillas y M. Delgado. 2009. Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres: especificidades del caso

mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas* 18 (2): 4-19.

Gerding V, J. E. Schlatter y L. Barriga. 1986. Fertilización para el establecimiento de *Pinus radiata* D. Don en Valdivia. *Bosque* 7: 121-128.

Gough CM, JR Seiler, CA Maier. 2004. Short-term effects of fertilization on loblolly pine (*Pinus taeda* L.) physiology. *Plant Cell and Environment* 27: 876–886.

Gréggio, T. C., L. C. Assis. y E. Nahas, 2007. Descomposición del mantillo del árbol del caucho *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg. en dos profundidades.

Jokela EJ, Martin TA (2000) Effects on ontogeny and soil nutrient supply on production, allocation, and leaf area efficiency in loblolly and slash pine stand. *Can. J. For. Res.* 30: 1511-1524.

Kunhamu,, T. K., B. M. Kumar y S. Viswanath. 2009. Does thinning affect litterfall, litter decomposition, and associated nutrient release in *Acacia mangium* stands of Kerala in peninsular India?. *Can. J. For. Res.* 39(4):792-801.

Lázaro DMO, J Velázquez , JJ Vargas , A Gómez , ME Álvarez ,MA López. 2012. Fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en un latizal de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Chapingo*:33-42.

León JDP, MI González , JF Gallardo. 2009. Retranslocación y eficiencia en el uso de nutrientes en bosques del centro de Antioquia. *Colombia Forestal* 12: 119-140.

Lindgren, PM F, TP Sullivan, DS Sullivan, RP Brockley and R Winter. 2007. Growth response of young lodgepole pine to thinning and repeated fertilization treatments: 10-year results. *Forestry* 80: 587-611.

- López-López MA, E Estañol-Botello. 2014. Fertilización química, crecimiento y ataque de pájaro carpintero (*Sphyrapticusvarius*) en *Pinus patula* Schl. et Cham. IV Congreso Forestal Latinoamericano. Morelia Mich., México. 1 p.
- Mason, C.F. 1976. Relative importance of fungi and bacteria in the decomposition of *Phragmites* leaves. *Hydrobiologia* 51:65-69.
- 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. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16: 583-596.
- Molina, H. 1982. Estudio de fertilización de Monte Bajo de *Eucalyptus globulus* Labill. En la Provincia de San Antonio. Memoria Ing. Forestal. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Santiago. 145p.
- Moorhead, D. L., Sinsabaugh, R. L., Linkins, A. E. y Reynolds, J. F., 1996. Decomposition processes: modelling approaches and applications. *The Science of the Total Environment* 183: 137-149.
- Neng, Ch. P., J. Chu Y., Y. Nan W. y Y. Min T., 2010. Effect of nutrient cycle by different thinning practice in temperate forest. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia. Published on DVD: 58-61.
- Pacheco EFC, A Aldrete, A Gómez G, AM Fierros G, VM Cetina, HVaquera . 2007. Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30:251-254.
- Petit- Aldana, J., G. Uribe-Valle, F. Casanova-Lugo, J. Solorio-Sánchez y L. Ramírez-Avilés. 2012. Descomposición y liberación de nitrógeno y materia orgánica en hojas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. Y *Moringa oleifera* Lam. en un banco mixto de forraje. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 18(1): 5-25, 2012

- Ramírez CJA, CM Zapata, JDL Peláez, MI González.2007. Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montanos andinos de Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia* 32: 303-311.
- Rodríguez OG, A Aldrete, VA González, HM De los Santos , A Gómez , AM Fierros.2011.¿Afectan los aclareos la acumulación de biomasa aérea en una plantación de Pinus patula?. *Agrociencia* 45: 719-732.
- Rubilar, A. R., T. J. Albaugh, H. L. Allen, J. Álvarez, T. R. Fox y J. L. Stape. 2012. Influences of silvicultural manipulations on above- and belowground biomass accumulations and leaf area in young *Pinus radiata* plantations, at three contrasting sites in Chile. *Forestry*, 86, 27–38, doi:10.1093/forestry/cps055.
- Salas RJ, A Infante. 2006. Producción Primaria Neta Aérea en algunos ecosistemas y estimaciones de biomasa en plantaciones forestales. *Revista Forestal Latinoamericana* 40:47-70.
- Santa Regina y F. J. Gallardo, 1989. Ciclos Biogeoquímicos en la sierra de Bejar (Provincia de Salamanca). *Options méditerranéenes, Série séminaires*. Numero 3. 147-149.
- Satchell, J.E. 1974. Litter-interface of animate/inanimate matter. En *Biology of Plant Litter Decomposition*. Vol.1. Dickinson, C.H. y G.J.F. Pugh (Eds.). Academic Press. London.xii-xliv p.
- Schlesinger W. H., J. T. Gray y F. S. Gilliam. 1982. Atmospheric Deposition processes and their importance as sources of nutrients in a chaparral ecosystem of Southern California. *Water Resources Research*, 18: 623-629.
- Sheng-nan S., Y, Zahn-yuan y Z. Quiong. 2014. Resposes of plant diversity and species composition to the cessation of fertilization in a sandy grassland. *Journal of Forestry Research* 25:337-342.

- SAS Institute 2004. SAS Institute Inc., SAS 9.1.3 Help and Documentation, Cary, NC: SAS Institute Inc., 2000-2004.
- Toro, J. 2004. Alternativas silvícolas para aumentar la rentabilidad de las plantaciones forestales. *Bosque* 25: 101-113.
- Uribe, H. A. y Mantilla J. 1998. Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de cacao en Colombia. *Revista Suelos Ecuatoriales*, 28:31-36.
- Wormald, T. J.. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry Papers No. 7. Comm. For. Inst., Oxford, England. 234 p.
- Zhenmin Tang J. L Chambers, S Guddanti, JP. Barnett.1997. Thinning, fertilization, and crown position interact to control physiological responses of loblolly pine. *Tree Physiology* 19:87-94.