

EFFECTOS DE LOS RALEOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL CANOPEO EN PLANTACIONES DE *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Morelet. EN LA PROVINCIA DE MISIONES.

THINNING EFFECTS ON CANOPY CHARACTERISTICS IN PLANTATIONS OF *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Morelet. IN MISIONES PROVINCE.

de la Vega, M. A.¹; Pinazo, M. A.²; Marquina J.³; Crechi E.⁴.

1. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Email: acuol1@yahoo.com.ar.
2. INTA EEA Montecarlo. Av. Libertador 2472, (3384). Misiones. Argentina. Email: mpinazo@montecarlo.inta.gov.ar
3. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Email: jmarqui@agro.unlp.edu.ar
4. INTA EEA Montecarlo. Av. Libertador 2472, (3384). Misiones. Argentina. Email: ecrechi@montecarlo.inta.gov.ar

RESUMEN

Las forestaciones juegan un rol determinante en el ambiente productivo de Misiones y el pino híbrido ha cobrado una mayor importancia en la provincia. El presente trabajo tiene por objeto evaluar el efecto de diferentes esquemas de raleos sobre las características del canopeo de estas forestaciones. Se realizaron estimaciones de la cobertura, radiación total (PAR) e Índice de Área Foliar (IAF). Los valores de las variables estudiadas reflejan el efecto de los raleos respecto al testigo. La radiación (PAR) y la cobertura manifestaron cambios significativos en los raleos del 50 % del área basal. Las diferencias en IAF entre los diferentes grupos resulto no significativa, pero la tendencia mostro que la frecuencia tendría un mayor efecto respecto a la intensidad. El coeficiente de agrupamiento de acículas resulto significativamente diferente entre grupos de intensidad de raleo. Las combinaciones de intensidad y frecuencia de raleos generan cambios en el canopeo de las forestación del híbrido. Sin embargo, estudios que involucren una serie de años pueden arrojar resultados mas certeros respecto a las variables estudiadas.

Palabras clave: silvicultura, radiación, cobertura, IAF.

SUMMARY

Afforestation play a determining role in the productive scenario of Misiones and the hybrid pine grown in importance in the province. The present study aims to assess the effect of different thinning patterns on the canopy characteristics of these forests. We estimate, total radiation (PAR), Leaf Area Index (LAI) and canopy cover. The values of the studied variables reflect the effect of thinning respect the control treatment. Radiation (PAR) and canopy cover showed significant changes in the thinning of 50% of basal area. The differences in LAI between the different groups was not significant, but the trend showed that the frequency would have a greater effect respect the intensity. The clustering coefficient of needles was significantly different between groups, intensity of thinning. The combinations of thinning intensity and frequency driving changes in the canopy of the afforestation of the hybrid pine. However, studies that involve a number of years can yield more accurate results regarding the variables studied.

Key words: silviculture, radiation, canopy cover, LAI

INTRODUCCIÓN

Según la estimación publicada por el Ministerio de Ecología de la provincia de Misiones, para el año 2001 la superficie forestada en la provincia con el género *Pinus* abarcaba 260.000 ha (MERNRyT, 2001); las forestaciones estaban constituidas en su mayoría con *Pinus taeda* L. y *Pinus elliottii* Engel. A partir de la década del noventa, con la introducción del pino híbrido (*Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* Morelet. var. *hondurensis*) desde Australia, este ha sido el preferido por los forestadores para su plantación y ya suman unas 6.000 las hectáreas implantadas en la región. Mayores crecimientos del pino híbrido frente a materiales de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* son reportados por Pezzutti (2004), Rodríguez (2003) y Báez *et al* (2003). Además de la mayor producción, otras características elevan la demanda por este híbrido: buena rectitud de fuste, pocas ramas y de diámetro reducido, favorable ángulo de inserción y muy buena permeabilidad a la luz (Niella & Rocha, 2008); esta última característica hace al híbrido muy deseable para los sistemas silvopastoriles. En estos sistemas, el dosel de árboles reduce la cantidad y calidad de luz disponible para el forraje, afectando su productividad y calidad (Peri, 1999).

La luz del sol que pasa a través del dosel de árboles en las plantaciones, altera su calidad debido a la absorción preferencial por la luz en las longitudes de onda entre los 400-700 nm por parte de las hojas. Las longitudes de onda azul y roja se reducen considerablemente en contraposición con a las de verde y rojo-lejano (Holmes, 1981 citado por Peri 1999). El grado de atenuación de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) probablemente varía entre especies de árboles, dependiendo de la transmisividad de sus hojas (Peri, 1999). Así también la cantidad de luz que llega al piso forestal dependerá del tipo de dosel que ésta atraviesa, de la densidad de plantación, la altura y la edad (Chen *et al.*, 1997).

El aumento del número de árboles o la edad de los mismos son la principal fuente de generación de competencia directa por recursos con los pastizales en los sistemas silvopastoriles; luz, nutrientes del suelo y agua son los recursos más requeridos (Peri, 1999). Las prácticas silviculturales afectan de manera directa la competencia, al modificar principalmente el porcentaje de cobertura de copas (Hale, 2003; Chen *et al*, 1997) y otros parámetros estructurales del canopy como el Índice de Área Foliar (IAF) (Will *et al*, 2005; Leblanc *et al*, 2005).

Conocer la cantidad de luz que atraviesa el dosel y llega al suelo, permitirá conocer la disponibilidad de este recurso para el cultivo de pasturas, y estudiar su impacto en las características microclimáticas bajo dosel como temperatura del aire, humedad relativa, temperatura y contenido hídrico del suelo, que a su vez influyen sobre la actividad microbiana (Cabrelli *et al*, 2006).

El objetivo del presente trabajo fue analizar la variación en cantidad de luz transmitida en relación a la estructura del dosel arbóreo en forestaciones de Pinos híbridos sometidos a 6 tratamientos de raleo, y comparar los valores estimados de la apertura del dosel y de IAF entre los tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio:

El ensayo está localizado en Campo Casualidad, propiedad de la empresa LIPSIA S.A., en la localidad de Esperanza, Departamento de Iguazú, Provincia de Misiones, Argentina. Se encuentra instalado sobre un suelo “kandiudult” (Soil Survey Staff, 1987), caracterizado por un desarrollo de suelo mayor de 2 metros, secuencia de horizontes A-Bt-C, rojo, libre de pedregosidad, permeabilidad moderada, bien drenado, relativamente insaturado (Crechi *et al.*, 2004). Según Golfari (1965) la región donde se sitúa el ensayo pertenece a un clima subtropical o montano bajo, subhúmedo, húmedo o perhúmedo, con régimen uniforme.

Las mediciones fueron realizadas sobre un ensayo montado para evaluar la intensidad y oportunidad de raleo en una plantación de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, que ocupa un total de 5 ha y cuenta con 12 años de edad. Fue tratado con 2 intensidades de raleo (T), 25% y 50% del área basal respecto al testigo, en 3 oportunidades distintas (F), a los 2, 4 y 6 años. La densidad inicial fue de 1736 pl/ha (2,4m x 2,4m). El diseño fue de bloques completos al azar con tres repeticiones, con parcelas de 864 m².

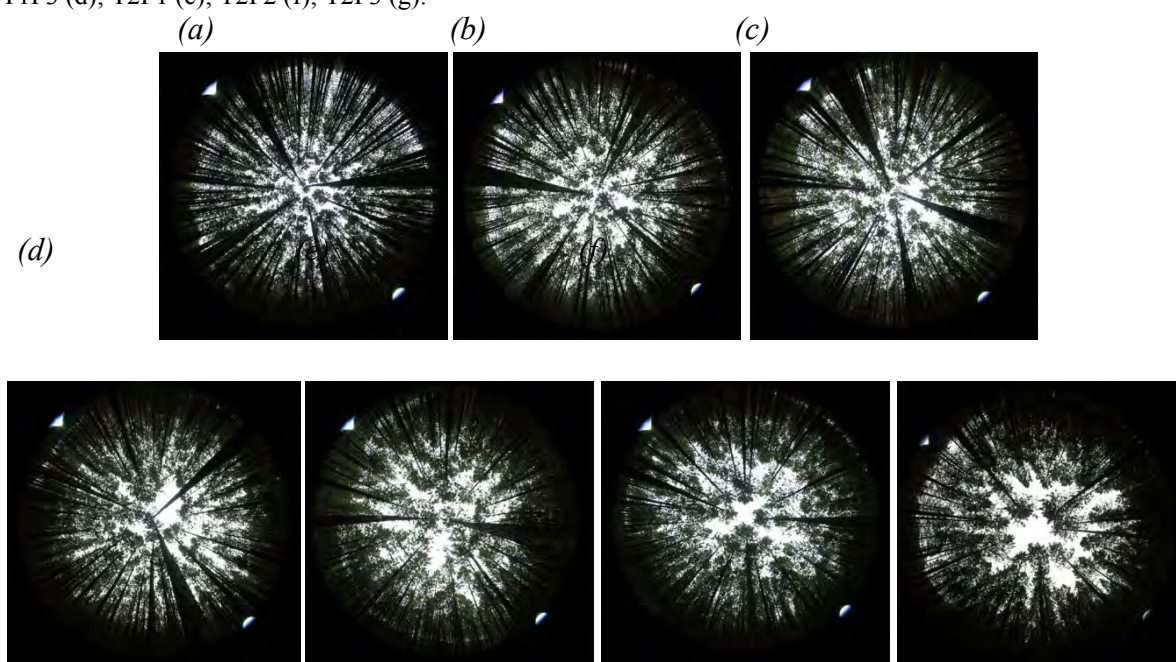
Determinación de la relación entre la luz transmitida y variables estructurales:

Para las determinaciones de la radiación transmitida y la cobertura del dosel, se tomaron 4 fotografías hemisféricas por parcela mediante la utilización de un lente ojo de pescado de 180° Nikon FC-E9 incorporado al sistema auto nivelante SML-6 (Delta T Devices) y cámara digital Nikon Coolpix 8400 adaptada al lente mediante adaptador UR-E16 de Nikon.

Las fotos hemisféricas se tomaron realizando un cuadrado de 5 m de lado, siendo los vértices los puntos de toma de las fotos. Las fotos fueron analizadas mediante el programa Hemiview (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK). Las fotografías fueron tomadas en condiciones de cielo cubierto para aumentar el contraste entre el cielo y las copas (**figura 1**). Para evitar posibles efectos o errores debido a subjetividad durante el proceso de clasificación de cada imagen, la determinación del umbral se realizó mediante el programa Sidelook (Nobis, 2005), que permite lograr un valor umbral de clasificación de la fotos mediante un algoritmo que maximiza el contraste de los píxeles de la fotografía (Nobis, 2005).

Figura 1: Ejemplos de fotografías hemisféricas para cada tratamiento. Testigo (a); T1F1 (b); T1F2 (c); T1F3 (d); T2F1 (e); T2F2 (f); T2F3 (g).

Figure 1: Examples of hemispherical photographs of the different treatments: Control (a); T1F1 (b); T1F2 (c); T1F3 (d); T2F1 (e); T2F2 (f); T2F3 (g).



La estimación del IAF se realizó mediante la toma de fotos digitales planas siguiendo la metodología propuesta por Mcfarlane et al. (2007) modificada por De la Vega *et al.* (en preparación). Para ello se tomaron 9 fotos por parcela (3 fotos entre filas, 3 en la fila y 3 en el centro de plantación) (**figura 2**).

Las fotos planas fueron analizadas mediante software Adobe Photo-Shop ® 7.0, de acuerdo a la metodología propuesta por Mcfarlane et al. (2007), seleccionando primero las aperturas

grandes del dosel y registrando el número de píxeles que ocupan en la fotografía (gL). Posteriormente se registra la totalidad de aperturas y los píxeles que ocupan (gT).

La estimación de Área Foliar implica la estimación de parámetros del canopeo como “Cobertura del Suelo” (f_c) y “Cobertura de Copas” (f_f); el primero asume a las copas como sólidos mientras que el segundo estima la superficie del suelo cubierta por ramas y hojas.

$$1) f_c = 1 - \frac{gL}{\text{Píxeles totales}} ; f_f = 1 - \frac{gT}{\text{Píxeles totales}}$$

Con estos parámetros se estimó la “Porosidad de Copas” (Φ) como la inversa de la cobertura del canopeo.

$$2) \Phi = 1 - \frac{f_f}{f_c}$$

El índice de Área Foliar Efectiva (L_t) se calculó entonces con una ecuación derivada de la ecuación de Lambert-Beer.

$$3) L_t = -f_c - \frac{\ln(\Phi)}{k} * \alpha$$

Donde α es la relación entre la superficie leñosa (ramas y tronco), respecto a la superficie total (ramas, tronco y hojas) (Kucharik, et al. 1998) y k es el coeficiente de transmisión del canopeo.

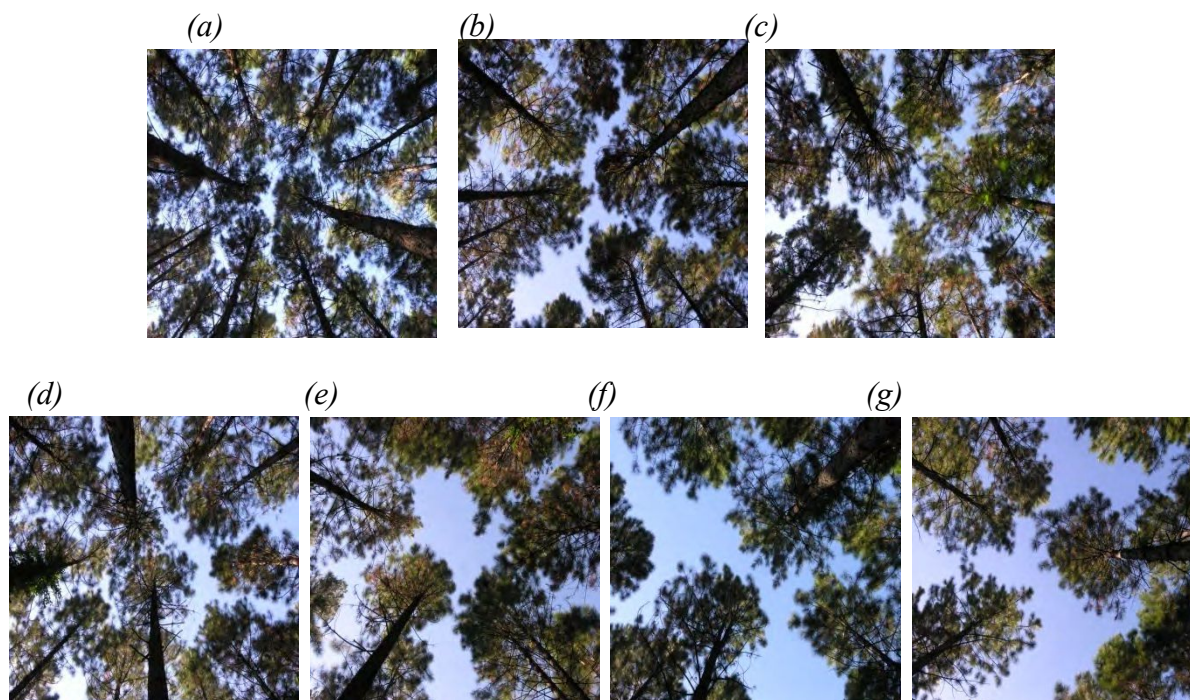
Por último, se estimó el “Índice de Agrupamiento” ($\Omega(0)$) al Cenit mediante la siguiente ecuación.

$$4) \Omega(0) = \frac{(1 - \Phi) \ln(1 - f_f)}{\ln(\Phi) f_f}$$

Este índice equivale al índice de agrupamiento corregido según lo sugerido por Leblanc et al. (2005) y es un parámetro ampliamente utilizado para realizar las correcciones de IAF estimados mediante métodos indirectos como fotos hemisféricas y Licor-LAI 2000 (Chen, 1996; Stenberg, 1996; Chen et al., 1997; Kucharik et al., 1998; van Gardingen et al., 1999; Leblanc et al., 2005). El $\Omega(0)$ es la proporción entre el IAF efectivo y el IAF, siendo el valor más cercano a 1 cuando el follaje se encuentra distribuido al azar y menor a 1 cuando se encuentra más agrupado. Es especialmente importante calcular este índice en coníferas puesto que tienen como característica de sus copas que las acículas se encuentran agrupadas en las ramas. Esto provoca una subestimación en el IAF porque al estar las acículas agrupadas, aumenta la superficie de aperturas del dosel (Stenberg, 1996).

Figura 2: Ejemplos de fotografías planas para cada tratamiento. Testigo (a); T1F1 (b); T1F2 (c); T1F3 (d); T2F1 (e); T2F2 (f); T2F3 (g).

Figure 2: Examples of digital photographs of the different treatments: Control (a); T1F1 (b); T1F2 (c); T1F3 (d); T2F1 (e); T2F2 (f); T2F3 (g).



Los análisis estadísticos se realizaron mediante ANOVA, la comparación de medias mediante test de Tukey y se ajustaron regresiones para las variables dasométricas y la luz (Zar, 1999). En todos los casos los análisis se realizaron con el programa estadístico STATGRAPHICS 3.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **tabla 1** resume las características dasométricas para cada tratamiento, mostrando diferencias entre los mismos (Testigo, los T1 y los T2) en las cuatro características evaluadas: Densidad, Área Basal, DAP y Diámetro Cuadrático.

Tabla 1: Valores de Densidad, Área Basal, DAP y Diámetro Cuadrático para todos los tratamientos. Entre paréntesis el desvío estándar .(*)

Table 1: Tree density, basal area, DHB and quadratic diameter values of the different treatments (mean \pm standard error).

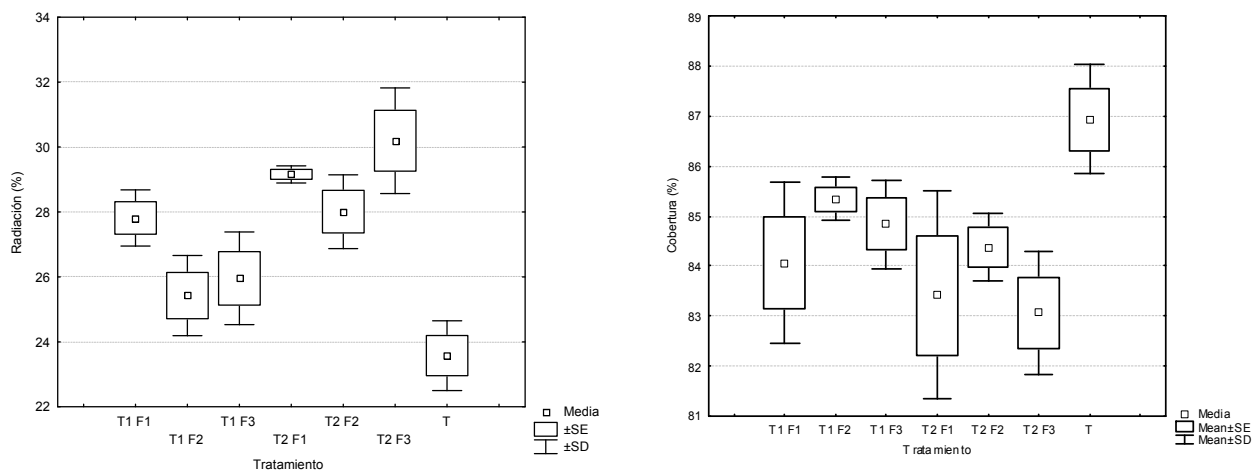
	TESTIGO	T1 F1	T1 F2	T1 F3	T2 F1	T2 F2	T2 F3
Densidad(N/ha)	1339 (± 97)	683 (± 40)	764 (± 20)	729 (± 50)	343 (± 7)	386 (± 24)	347 (± 12)
Area Basal (m²/ha)	47,5 ($\pm 0,6$)	37,3 ($\pm 0,8$)	39,7 ($\pm 1,0$)	37,1 ($\pm 1,1$)	26,8 ($\pm 0,4$)	29,3 ($\pm 0,8$)	25,5 ($\pm 1,2$)
DAP (cm)	20,8 ($\pm 0,7$)	26,1 ($\pm 0,6$)	25,5 ($\pm 0,5$)	25,3 ($\pm 1,1$)	31,4 ($\pm 0,1$)	30,9 ($\pm 0,8$)	30,4 ($\pm 0,7$)
Diam. Cuad. (cm)	21,3 ($\pm 0,7$)	26,4 ($\pm 0,5$)	25,7 ($\pm 0,6$)	25,5 ($\pm 1,1$)	31,5 ($\pm 0,1$)	31,1 ($\pm 0,9$)	30,5 ($\pm 0,7$)

*Crechi, E.: datos no publicados

Las diferencias en los parámetros estructurales de los tratamientos (**tabla 1**) no se reflejaron con claridad en el análisis de la radiación total que llega bajo el dosel, en el IAF, como así también en la cobertura.

Analizando la radiación pudieron detectarse diferencias significativas ($F=11,7$ $p=0,0001$) entre los tratamientos. La tendencia general resulto en una menor disponibilidad de radiación en el testigo, seguido por el tratamiento de raleo de 25% del área basal y el tratamiento de raleo del 50% del área basal, como el tratamiento de raleo que genera mayor disponibilidad de luz. Las diferencias encontradas fueron: el tratamiento Testigo se diferenció de los T2 y del T1F1, así también el T1F2 del T2F1 y del T2F3. El T1F3 se diferenció del T2F3. Estas diferencias pueden observarse en el gráfico de cajas (**figura 3A**) donde se quedan definidos 3 grupos, los T1, los T2 y el testigo. Si bien era esperable un escalonamiento de mayor a menor desde las F1 a F3 (mayor a menor frecuencia de intervención), esto no se verificó, posiblemente debido a que las F2, tanto para el T1 como el T2, marca que se ralearán el año próximo, mientras que en el caso de las F1 fueron raleadas el año anterior a la realización del presente estudio. Por lo tanto T1F2 y T2F2 presentarían doseles más cerrados por la expansión de las copas post tratamiento, mientras que T1F1 y T2F1 reflejarían aun el efecto del tratamiento realizado el año anterior. En el caso particular de T1F3 y T2F3, si bien no existen diferencias significativas respecto a T1F1 y T2F1 respectivamente, la tendencia de los valores promedios reflejarían el efecto de la intensidad del raleo sobre la estructura del canopeo. Los tratamientos de 50 % de área basal realizados cada 6 años tenderían a generar doseles muchos más abiertos por sobre los tratamientos realizados cada 2 años. En contrapartida los tratamientos de 25 % del área basal realizados cada 6 años no generarían ambientes más luminosos respecto a los tratamientos realizados cada 2 años.

Figura 3: Gráfico de cajas de valores de Radiación (A) y Cobertura (B) entre los tratamientos.
Figure 3: Box plots of radiation (A) and canopy cover (B) of the different treatments.



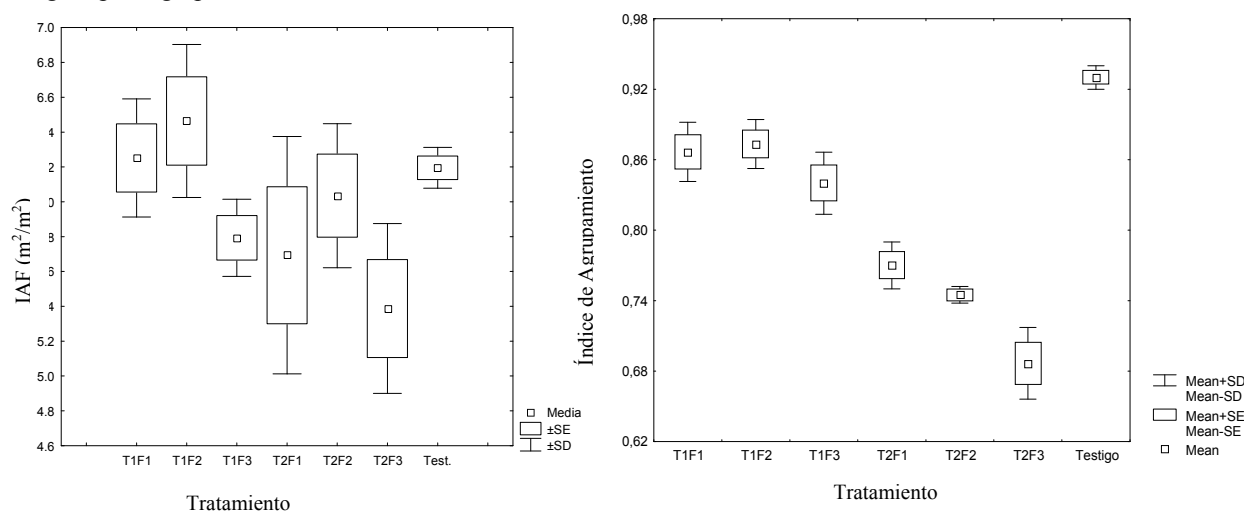
La cobertura presentó la misma tendencia al igual que los parámetros analizados anteriormente. En este caso se presentaron diferencias significativas ($F=3,23$ $p=0,332$) solo para el testigo respecto de los tratamientos T2F1 y T2F3. La dificultad para hallar diferencias entre los tratamientos puede deberse a que el rango de valores es muy pequeño (83 a 87%) como se observa en la **figura 3B**, y a que los raleos se realizan preferentemente por lo bajo.

La estimación de IAF mediante fotografías planas no reflejó diferencias significativas entre los tratamientos ($F=2,32$ $p=0,0914$) y esto puede deberse a diferentes causas: el valor de k no fue estimado para cada tratamiento, puesto que no se dispone de un IAF estimado por algún método directo para hacerlo, por lo que fue utilizado un valor de k de 0,245 como promedio para todas las parcelas; el testigo debiera tener un valor más alto y como contrapartida el T2F3 más bajo que el valor asumido. Para densidades altas, la superposición de hojas es mayor, y esto puede derivar al momento de la estimación en una subestimación del valor real.

Si bien no pudieron hallarse diferencias entre los tratamientos, en la figura 4A se puede observar las tendencias generales. El grupo con menor raleo (T1) presenta una tendencia a tener mayor área foliar que el grupo con un mayor raleo (T2), pero lo que más parece afectar no es la intensidad del raleo sino su frecuencia, como se observa en las F1y F2, con una rápida respuesta en el desarrollo o recuperación del área foliar que incluso llega a igualar o superar el área foliar del testigo (teniendo en cuenta también que particularmente el IAF del testigo puede estar siendo subestimado al utilizar un bajo valor de k considerando su alta densidad). Al contrario, las frecuencias más espaciadas (F3) parecerían demorar más su respuesta, apartándose de los demás valores.

Figura 4: Gráfico de cajas de valores de IAF (A) y valores el Índice de Agrupamiento (Ω) (B) estimados por fotografías planas entre los tratamientos.

Figure 4: Box plots of LAI (A) and clumping index (Ω) (B) of the different treatments estimated by means of digital photographs.



El análisis de los valores de Ω resultó en diferencias significativas ($F=41,87$ $p=0,0000$). Los tratamientos de 50 % de área basal se diferenciaron de todos los demás tratamientos, y dentro de estos, el T2F1 se diferenció del T2F3. No se presentaron diferencias dentro de los tratamientos de 25% de área basal, pero si T1F1 y T1F3 se diferenciaron del testigo; T1F2 no lo hizo. En la **figura 4B** se observan las tendencias generales, donde los tratamientos con un mayor porcentaje de raleo generan mayor agrupamiento al igual que las frecuencias más continuas. Este comportamiento probablemente tenga relación con la cantidad de luz disponible para la acículas, pudiéndose agrupar cuando disponen de abundante luz, no así para los doseles más cerrados, donde se agrupan con menor intensidad para poder recibir la luz suficiente. Estos Ω coinciden con los reportados por Chen (1995) y Bréda (2003) para *Pinus*, con valores entre 0,70 y 0,95.

CONCLUSIONES

La elección de una combinación adecuada de los tratamientos silviculturales que hacen a la estructura del rodal, deberá atender entre otras cuestiones al impacto que las mismas producen sobre el área foliar del mismo, característica que define el nivel de productividad.

Aquellos tratamientos que generan doseles más abiertos y más permeables a la radiación, favorecen el crecimiento de especies herbáceas y especies nativas, incrementando la biodiversidad en estos sistemas monoespecíficos característicos de la provincia de Misiones.

Para lograr una comprensión más precisa de la dinámica de las características del rodal analizadas en el presente estudio, las observaciones deberían extenderse por un periodo de tiempo que abarque al menos uno de los raleos prescritos para cada frecuencia.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Ing. Nardia Bulfe por colaborar en la gran cantidad de mediciones realizadas. A todo el personal de INTA Montecarlo por su predisposición a colaborar, especialmente al Ing. Aldo Keller, Ing. Sarah Bart, Sr. Otto Knebel y Sra. Iris Figueredo.

BIBLIOGRAFÍA

- Baez, M., Austin, R. y Dalprá, L. 2003. Implementación y mantenimiento de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* var *elliottii* en suelos arenosos del centro este de la provincia de corrientes. X Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Eldorado, Misiones.1-10.
- Bréda, N. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*. 54 (392) 2403-2417.
- Cabrelli, D.; Rebottaro S.; Efron D. 2006. Caracterización del dosel forestal y del microambiente lumínico en rodales con diferente manejo, utilizando fotografía hemisférica. *Quebracho* N° 13: 17-25.
- Crechi, E.; Moscovich, F.; Friedl, R.; Fassola, H.; Fahler, J. 2004. Efectos de la intensidad del 1º raleo en *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sobre el incremento y la producción en el noroeste de Misiones, Argentina. XI Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales – FCF, UNaM – EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina.
- Chen, J. 1996. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. *Agricultural and Forest Meteorology*. 80: 135- 163.
- Chen, J.; Rich, P.; Gower, S.; Norman, J.;Plummer, S. 1997. Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research*. 102 (24): 429-443.
- Golfari, L. 1965. Regiones potencialmente aptas para plantaciones de *Pinus* y otras coníferas en América Latina. IDIA Suplemento Forestal 2: 19-48.
- Hale, S. 2002. The effect of thinning intensity on the below-canopy light environment in a stika spruce plantation. *Forest Ecology and Management* 179: 341-349.
- Kucharik, C.; Norman, J.; Gower,S. 1998. Measurements of branch area and adjusting leaf area index indirect measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*. 91: 69-88.
- Leblanc, S.; Chen, J.; Fernandes, R.; Deering, D.; Conley, A. 2005. Methodology comparison for canopy structure parameters extraction from digital hemispherical photography in boreal forests. *Agricultural and Forest Meteorology*. 129: 187-207.
- Macfarlane, C.; Hoffman, M.; Eamus, D.; Kerp, N.; Higginson, S.; McMurtrie R.; Adams, M. 2007. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. *Agricultural and Forest Meteorology*. 143: 176-188.
- Machado, J.L.; Reich, P. 1999 Evaluation of several measures of canopy openness as predictors of photosynthetic photon flux density in deeply shaded conifer-dominated forest understory. *Canadian Journal of Forest Research*. 29: 1438-1444.
- Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo. Subsecretaría de Bosques y Forestación. Estimación del Área de Bosques Plantados en la Provincia de Misiones y NE de Corrientes (2001). Consulta del día 15 de Agosto del 2008 en:
<http://www.misiones.gov.ar/ecologia/Todo/Bosques/Bosques%20cultivados/FOLLETO%20MISIONES%20FORESTAL.pdf>
- Niella, F.; Rocha, P. 2008. Multiplicación axilar in vitro de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales - Facultad de Ciencias Forestales, UNAM - EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones, Argentina. 1-11.
- Nobis, M.; Hunziker, U. 2005. Automatic thresholding for hemispherical canopy-photographs based on edge detection. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128 : 243-250.
- Peri, P. 1999. Effects of shade on pastures in Agroforestry Systems. Publicación Técnica Forestal N° 15. Convenio UNPA-INTA-CAP. 1-20.

- Peduzzi, A. 2007. Leaf area assessments of the overstory and understory vegetation in Pine plantations located in South Georgia and North Florida, US. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales – Universidad de Carolina del Norte. 1-51.
- Pezzutti, R. 2004. El mejoramiento genético forestal en Bosque del Plata. Actas jornadas de mejoramiento genético para productores forestales, Posadas, Misiones. 52-58.
- Pierce, L.; Running, S. 1988. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. Ecology 69 (6): 1762-1767.
- Rodriguez, G. 2003. Jornadas técnicas foresto-industriales. Híbrido de PEE x PCH. INTA EEA. Montecarlo. Ensayo Comparativo de Pinos Mejorado.
- Soil Survey Staff. 1987. Keys to soil taxonomy. Technical Monograph 6.
- Stenberg, P. 1996. Correcting LAI-2000 estimates for the clumping of needles in shoots of conifers. Agricultural and Forest Meteorology 79: 1-8.
- van Gardingen, P.; Jackson, G.; Hernandez-Daumas, S.; Rusell, G.; Sharp, L. 1999. Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical pothography. Agricultural and Forest Meteorology 94: 243–257.
- Will R.; Narahari N.; Shiver B.; Teskey R. 2005. Effects of planting density on canopy dynamics and stem growth for intensively managed loblolly pine stands. Forest Ecology and Management 205: 29-41.
- Zar, J.H. 1999. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall. New Jersey. 663 p.