

TRABAJO CIENTÍFICO

Efecto de tratamientos silvícolas en variables dasométricas de *Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Sylvicultural treatments effects on forest variables of Pinus elliottii var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Torres, C. G.¹; F. J. Caniza¹; J. L. Aparicio¹ y R. A. Martiarena²

Recibido en abril de 2016; aceptado en marzo de 2017

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del raleo y la poda en el comportamiento temporal de variables dasométricas en plantaciones realizadas con F2 de pino híbrido (*Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*). El ensayo se estableció sobre una plantación de 55 meses de Pino Híbrido, con densidad inicial de 942 árboles.ha⁻¹, realizada sobre un suelo Psamacuente spódico. Las intensidades de raleo fueron 0 % (R1), 23 % (R2), 40 % (R3) y 64 % (R4) de la densidad inicial; y las intensidades de poda 40 % (P1), 50 % (P2) y 60 % (P3) de la altura del árbol. Mediante análisis de medidas repetidas se evaluó el diámetro cuadrático medio (d_g), área basal (G) y volumen total con corteza (V). Los efectos de las prácticas silviculturales (poda y raleo) resultaron independientes entre sí. El efecto del raleo fue significativo con diferencias que aumentaron temporalmente. Con altas intensidades de raleo los valores de d_g fueron mayores, mientras que los de G y V fueron menores. La intensidad de poda no afectó la producción y si lo hizo de forma inversa en el d_g , efecto que disminuyó con el tiempo. Los resultados demuestran que estas prácticas silviculturales pueden aplicarse independientemente a los niveles evaluados.

Palabras Claves: Prácticas silviculturales; Variables dasométricas.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the effect of thinning and pruning related to temporal behavior of dasometric variables in plantations originated from F2 hybrid pine (*Pinus elliottii* var. *elliottii* × *Pinus caribaea* var. *hondurensis*). The test was established on a plot of 55 month F2 hybrid pine, with an initial density of 942 trees.ha⁻¹, performed on a Psamacuente spódico (entysol) soil type. The thinning intensities were: 0 % (R1), 23 % (R2), 40 % (R3) and 64 % (R4) from the initial density. Pruning intensities were: 40 % (P1), 50 % (P2) and 60 % (P3) of each tree height. Repeated measurement analysis was performed to evaluate the mean quadratic diameter (d_g), basal area (G) and total volume with bark (V) of each individual. The effects of the silvicultural practices (pruning and thinning) were independent to each other, although the effect of thinning was significant and showed differences increasing temporarily. High thinning intensities resulted in higher d_g though those of G and V were lower. The intensity of pruning did not affect production but it did affect d_g values inversely which decreased over time. The results demonstrate that silvicultural practices can be applied regardless the level evaluated.

Key words: Sylvicultural practices; Dasometric variables.

¹ EEA - INTA Bella Vista, Corrientes. E-mail: torres.cesar@inta.gob.ar

² EEA – INTA Montecarlo, Misiones

1. INTRODUCCIÓN

En Argentina la producción forestal proveniente de bosques cultivados realiza un importante aporte a las economías regionales, con una producción anual estimada en 9,3 millones de toneladas (Beale y Ortiz, 2013). Entre las siete regiones agroecológicas aptas para la forestación se destaca la Mesopotámica que concentra un 76,5% de la superficie forestada del país (Beale y Ortiz, 2013). En la provincia de Corrientes la superficie forestada se estima en 474 mil hectáreas, de las cuales 346 mil corresponden a plantaciones de diferentes materiales comerciales de *Pinus sp.* (Elizondo, 2015). En dicha provincia la región de planicies y lomadas arenosas abarca una superficie aproximada de dos millones de hectáreas (Escobar *et al.*, 1996). A su vez, las planicies arenosas cuentan con suelos arenosos de baja fertilidad y drenaje deficiente, aptos para la realización de plantaciones forestales con destino maderable. En esta región es notable el avance de la superficie forestada con F2 de *Pinus elliottii var. elliottii x Pinus caribaea var. hondurensis*, conocido regionalmente como pino híbrido.

El pino híbrido es un material que se introduce en Argentina en la década de 1980 (Barrett *et al.*, 1991). Cappa *et al.* (2013) determinan que los materiales F1 y F2 de Pino Híbrido son superiores genéticamente en características deseadas, tales como productividad y rectitud de fuste, a los materiales comerciales de *P. elliotti* y *Pinus taeda*. Esta especie comienza a plantarse en Corrientes en la década del 90 con una tasa de 100 hectáreas por año (Pezzutti y Caldato, 2004). Desde entonces la tasa de estas forestaciones mostró una clara tendencia a incrementarse, actualmente las plantaciones de pino híbrido desplazan a las realizadas con *P. elliottii* en sitios bajos a intermedios. Así, al año 2008 la provincia contaba con 31 mil hectáreas forestadas con este material (Elizondo, 2009)

El desarrollo de la silvicultura en la Argentina se genera diferencialmente (Ferrere *et al.*, 2015). En regiones consideradas marginales hasta hace poco tiempo, como las planicies arenosas, y para materiales recientemente desarrollados como el pino híbrido, es escasa la información existente sobre la influencia de tratamientos silvícolas (técnicas de establecimiento, oportunidades e intensidades de raleo y poda) en el desarrollo de plantaciones. Esta información es sumamente necesaria en vista del avance hacia modelos de producción que incluyan la silvicultura de precisión (Pezzutti, 2014). La aplicación de prácticas silviculturales debe realizarse con el objetivo de incrementar la rentabilidad de las plantaciones forestales, aumentando la calidad y/o el volumen de la producción objetivo (Fassola *et al.*, 2002). La respuesta de las forestaciones a dichas prácticas silvícolas se encuentra determinada por un conjunto de variables, entre las que destacan: la densidad inicial, la edad a la que se realiza la intervención, la especie o material genético, la modalidad e intensidad del tratamiento y la calidad del sitio.

La modalidad de raleo determina las características del rodal remanente. En la Mesopotamia Argentina predomina el raleo por lo bajo, combinado con sistemático en el primer raleo y la extracción de árboles enfermos y defectuosos en todas las intervenciones que se realizan. Esta modalidad de raleo propicia el desarrollo de los árboles dominantes, los turnos de rotación se acortan y es posible lograr mejoras en la calidad de la producción (Fassola *et al.*, 2002; Martiarena *et al.*, 2011). A su vez, el volumen del rodal depende directamente de la densidad residual; por lo que elevadas intensidades de raleo determinan producciones significativamente menores (Zhang *et al.*, 1997). Por lo tanto, el raleo debe efectuarse con los parámetros adecuados para que los incrementos individuales compensen la disminución de la producción total. En pino híbrido, debido a las características estructurales de su copa más pequeña que las de otras especies (ej.: *P. taeda*), es posible que la aplicación de raleos con intensidades que dejen un determinado número de árboles por unidad de superficie produzcan resultados comparables a raleos de intensidades mayores aplicados en rodales de las mencionadas especies.

Mediante la poda se busca aumentar la producción de madera libre de defectos, la misma no afecta el desarrollo individual cuando se aplica con una intensidad que no afecte más del 30 % de la longitud de copa viva (Hawley y Smith, 1982; Daniels *et al.*, 1979). La reducción de la superficie fotosintetizante generada por la aplicación de podas puede determinar pérdidas

significativas, por lo que la misma debe aplicarse en las intensidades y frecuencias adecuadas. En el sentido opuesto a lo mencionado en el párrafo anterior, equivalentes intensidades de poda a las aplicadas en otras especies podrían establecer mayores pérdidas en pino híbrido a causa de su menor copa.

Los esquemas de manejo silvícola deben programarse de acuerdo a los efectos requeridos; combinando las oportunidades e intensidades de raleo y poda en los niveles que originan las respuestas deseadas. Para ello se requiere conocer el efecto de estas intervenciones en el comportamiento de las principales variables dasométricas. El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto del raleo y la poda en el comportamiento temporal de variables dasométricas en plantaciones realizadas con F2 de pino híbrido. Se formula como hipótesis de trabajo que, en plantaciones de F2 del híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* × *P. caribaea* var. *hondurensis*, la aplicación de intensidades de poda superiores al 50 % de la altura del árbol disminuye el crecimiento en las variables dasométricas y aumenta la pérdida de producción generada por intensidades de raleo mayores al 40 % de la densidad inicial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El estudio se desarrolló en el predio “Los Pepes” de la empresa Enrique Zeni y Cía. SACIAFei, ubicado en el Paraje Malvinas del departamento Esquina, provincia de Corrientes, Argentina. La localización geográfica del mismo corresponde aproximadamente a 29° 41' 47" S y 59° 03' 53" O.

De acuerdo al sistema Köppen el clima del lugar se clasificó como mesotermal, cálido a templado sin estación seca (Cfa). La precipitación media anual es de 1310 mm, de distribución bimodal con máximos en otoño y primavera. La temperatura media anual corresponde a 19,6 °C, en tanto que la temperatura media del mes más cálido (Enero) es de 25,2 °C y de 14,6 °C la correspondiente al mes más frío (Junio). El período libre de heladas corresponde a 361 días.

El suelo donde se instaló el ensayo corresponde al orden Entisol y se clasificó como *Psamacuente típico* de la serie Pampín. La descripción morfológica señaló que presenta un horizonte ócrico arenoso-franco, seguido de un Eb albico arenoso que se sobrepone a un argílico franco-arcillo-arenoso de lenta permeabilidad (Escobar *et al.*, 1996). La permeabilidad del agua se dificulta por el abrupto cambio textural que produce una falsa napa de agua fluctuante cerca de la superficie. La misma determina la profundidad de enraizamiento efectiva aproximadamente entre 1,0 a 1,2 m.

Caracterización del Ensayo

La plantación se realizó con material correspondiente a la generación de F2 del híbrido de *P. elliottii* var. *elliottii* × *P. caribaea* var. *hondurensis*, cuya semilla fue importada de UBS Australia y los plantines producidos en el vivero de la empresa donde se instaló el ensayo. La preparación de terreno se efectuó en el mes de junio del año 2000 y consistió en la formación de camellones con posterior aplicación de herbicida pre-emergente (Metsulfuron) sobre la línea de plantación. Los camellones se realizaron para aumentar la superficie de enraizamiento y sus dimensiones correspondieron a 80 cm de ancho y 50 cm de alto; para su realización se utilizó un arado de discos excéntricos enfrentados. La colocación de las plantas en terreno se efectuó en marzo del año 2001 con una densidad de 1000 árboles por hectárea (4 x 2,5 m). No se aplicó fertilizante como complemento nutricional en ninguna de las etapas del ensayo. El porcentaje de fallas corroborado a los 12 meses fue de 5,8 %, lo que determinó que la plantación lograda se estableciera con densidad inicial de 942 árboles por hectárea.

A los 55 meses de edad de la plantación se instaló un ensayo con 4 intensidades de raleo y 3 de poda (noviembre de 2005). El diseño utilizado responde a un proceso de aleatorización secuencial mediante el cual se asignó aleatoriamente el factor raleo, parcela principal, dentro de bloques y los niveles del factor poda se aleatorizaron sobre las parcelas principales. Particularmente, la parcela principal se constituyó de 162 árboles (superficie de 1620 m²), en tanto que cada subparcela contuvo 54 árboles (540 m²). Tanto entre parcelas principales como en subparcelas se respetaron borduras perimetrales simples. El diseño resultante corresponde a parcelas divididas en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y la superficie total del ensayo alcanzó 2,6 ha.

Las intensidades de raleo aplicadas fueron de 0 % (R1), 23 % (R2), 40 % (R3) y 64 % (R4) de remoción de la densidad al momento de inicio del ensayo. Los porcentajes corresponden a la cantidad de árboles removidos respecto al tratamiento R1. Las densidades residuales obtenidas corresponden a 942, 725, 565 y 334 árboles.ha⁻¹ para las respectivas intensidades aplicadas (R1, R2, R3 y R4). La modalidad del raleo fue por lo bajo priorizando la eliminación de árboles oprimidos, dominados, intermedios, de forma tortuosa y/o enfermos. Al aumentar la severidad de la intervención (R3 y R4) se combinaron las modalidades por lo bajo y sistemático para conseguir distribuciones espaciales uniformes de los individuos remanentes.

Las intensidades de poda aplicadas se establecieron en función del porcentaje de extracción que se afecta en relación a la altura total del árbol. Para alcanzar la altura objetivo de 5,5 metros de fuste podado, cada nivel requirió de diferentes números de levantes aplicados semestralmente, a partir de los 48 meses. Los niveles del factor aplicado corresponden a 40 % (P1), 50 % (P2) y 60 % (P3) cuyos números de levantes fueron 3, 2 y 1, respectivamente.

Medición y Análisis de Datos

A partir de su instalación el ensayo se midió a los 13, 23, 31, 51, 71 y 82 meses. En cada oportunidad se midieron todos los individuos vivos de cada parcela, cuyas variables registradas fueron la circunferencia a la altura de pecho (*c*) y la altura total (*h*). A partir de los datos registrados, y luego de la transformación de las circunferencias en diámetro (Dap), se efectuaron los siguientes cálculos: diámetro cuadrático medio (*d_g*), área basal (*G*) y volumen total con corteza (*V*).

El conjunto de datos resultó del tipo longitudinal con observaciones irregularmente espaciadas y desbalanceado. Por lo que se modeló la correlación entre observaciones sucesivas, mediante la aplicación de modelos lineales mixtos para medidas repetidas (Littell *et al.*, 1996). El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkn} = \mu + r_i + p_j + \tau_n + (rp)_{ij} + (r\tau)_{in} + (p\tau)_{jn} + (rpt)_{ijn} + b_{kn} + \alpha_{kin} + \epsilon_{ijkn}$$

Dónde:

Y_{ijn} : variable observada repetida en *i*-ésimo nivel del factor raleo y *j*-ésimo nivel del factor poda, en el *k*-ésimo bloque al *n*-ésimo nivel del factor tiempo.

μ : media general de la variable observada.

r_i : efecto del *i*-ésimo nivel del factor raleo.

p_j : efecto del *j*-ésimo nivel del factor poda.

τ_n : efecto del tiempo al *n*-ésimo nivel.

$(rp)_{ij}$: interacción entre el *i*-ésimo nivel del factor raleo y *j*-ésimo nivel de poda.

$(r\tau)_{in}$: interacción entre el *i*-ésimo nivel de raleo y el *n*-ésimo nivel del factor tiempo.

$(p\tau)_{jn}$: interacción de los factores poda y tiempo a los respectivos *i*-ésimo y *n*-ésimo nivel.

$(rpt)_{ijn}$: interacción al *i*-ésimo nivel de raleo, *j*-ésimo nivel de poda y *n*-ésimo nivel de tiempo.

b_{kn} : efecto aleatorio del *k*-ésimo bloque en el tiempo *n*.

α_{kin} : efecto aleatorio asociado a la *i*-ésima parcela dentro del *k*-ésimo bloque al *n*-ésimo tiempo.

ϵ_{ijkn} : error aleatorio asociado a la observación proveniente del *i*-ésimo raleo, *j*-ésima poda, en el *k*-ésimo bloque y *n*-ésimo tiempo.

Para modelar la covarianza entre observaciones (σ_s) se utilizaron diferentes estructuras de matriz de varianza-covarianza. La selección de los modelos se realizó en función de los criterios de verosimilitud penalizada, utilizándose el criterio de información de Akaike (AIC) y el Bayesiano (BIC) (Di Rienzo *et al.*, 2012). Así, para d_g se utilizó la estructura auto-regresiva de primer orden con componentes de varianza homoscedásticos; mientras que para G y para V se aplicó el modelo no estructurado con heteroscedasticidad modelada con la función potencial. El procesamiento de datos se realizó mediante la función lme de la librería nlme (Pinheiro *et al.*, 2015) del software R (2015) por medio de la interfaz de InfoStat/E (Di Rienzo *et al.*, 2016); se utilizó el método de máxima verosimilitud restringida (MVR).

3. RESULTADOS

Análisis de los efectos (fijos) del modelo

En la Tabla 1 se denotan las pruebas de hipótesis secuenciales de las tres variables analizadas. Los efectos simples, raleo y poda, y sus interacciones con el tiempo determinan los resultados en el d_g . En tanto que en G el raleo y el tiempo tuvieron efectos significativos, no así la poda; para esta variable las interacciones del raleo y la poda con el tiempo denotan efectos significativos. Por su parte en el V el único de los factores individuales que presenta efectos de significancia fue el tiempo (t); la interacción del raleo x tiempo presenta efectos significativos, lo cual no ocurre en la interacción de este último con la poda.

En las tres variables analizadas se detecta que el efecto combinado de las prácticas silvícolas (Poda x Raleo) no es significativo, tampoco lo es la interacción triple de los factores analizados (Raleo x Poda x Tiempo). Así, el desempeño de d_g y G se evalúa en función del efecto combinado de los factores simples, raleo y poda, con el tiempo. En el caso del V solo se evalúa por la interacción de raleo y el tiempo.

Tabla 1. Prueba de significancia de los efectos fijos en el diámetro cuadrático medio (d_g), área basal (G) y volumen total con corteza (V) de *P. elliottii* var *elliottii* x *P. caribaea* var *hondurensis*

Factor	Gl	d_g		G		V	
		F	p	F	p	F	p
Raleo	3	20,69	0,0002	8,08	0,0064	2,32	0,1435
Poda	2	6,67	0,0016	2,10E-03	0,9979	0,21	0,8135
Tiempo	5	3763,18	<0,0001	706,45	<0,0001	539,08	<0,0001
Raleo x Tiempo	15	25,02	<0,0001	10,28	<0,0001	9,04	<0,0001
Poda x Tiempo	10	5,86	<0,0001	4,24	<0,0001	2,34	0,0126
Raleo x Poda	6	2,03	0,0629	0,99	0,4332	0,52	0,7908
RaleoxPodaxTiempo	30	0,59	0,9553	0,51	0,9852	0,77	0,8031

Referencias: Gl: grados de libertad; F: valor de la distribución F y, p: valor de probabilidad (95% de confiabilidad).

Efecto del Raleo

En la Tabla 2 se presentan las medias ajustadas de las tres variables para las cuatro intensidades de raleo aplicadas en función del tiempo; en la misma se denota el análisis de comparación de medias entre y dentro de grupos (raleo x tiempo).

Tabla 2. Medias ajustadas del diámetro cuadrático medio, área basal y del volumen total corteza de *P. elliottii* var *elliottii* x *P. caribaea* var *hondurensis* en función de la interacción de la intensidad de raleo (R1, R2, R3 y R4) con el tiempo.

Variable	Meses	0% de Raleo (R1)	23 % de raleo (R2)	40% de raleo (R3)	64% de raleo (R4)
Diámetro cuadrático medio (cm)	13	15,4(± 0,4) M	16,0(± 0,4) LM	16,7(± 0,4) KL	16,9(± 0,4) KL
	23	16,6(± 0,4) KL	17,4(± 0,4) JK	18,3(± 0,4) IJ	18,7(± 0,4) I
	31	18,0(± 0,4) IJ	18,8(± 0,4) I	19,8(± 0,4) H	20,4(± 0,4) H
	51	20,5(± 0,4) H	21,6(± 0,4) G	23,0(± 0,4) EF	23,9(± 0,4) D
	71	22,4(± 0,4) FG	23,8(± 0,4) DE	25,4(± 0,4) C	27,1(± 0,4) B
	82	23,4(± 0,4) DE	25,0(± 0,4) C	26,7(± 0,4) B	28,6(± 0,4) A
Área basal (m ² .ha ⁻¹)	13	17,5(±0,85) J	14,7(±0,8) LM	12,6(±0,8) MN	7,6(±0,7) P
	23	20,4(±0,91) HI	17,3(±0,9) JK	14,9(±0,8) L	9,3(±0,8) O
	31	23,9(±1,03) FG	20,2(±1,0) HI	17,4(±0,9) JK	11,0(±0,8) N
	51	30,9(±1,19) CD	26,5(±1,1) EF	23,3(±1,0) G	15,0(±0,9) KL
	71	36,8(±1,3) B	32,1(±1,2) C	28,5(±1,1) DE	19,2(±0,9) IJ
	82	40,1(±1,36) A	35,3(±1,3) B	31,5(±1,2) C	21,3(±1,0) GH
Volumen total con corteza (m ³ .ha ⁻¹)	13	77,6(±4,51) LM	67,3(±4,3) MN	59,1(±4,1) NO	35,2(±3,6) P
	23	105,7(±5,5) IJ	92,9(±5,1) JK	80,3(±4,7) KL	50,5(±4,0) O
	31	131,4(±6,69) H	115,1(±6,0) HI	99,0(±5,4) J	63,3(±4,3) N
	51	202,2(±9,41) DE	179,0(±8,4) EF	159,5(±7,6) FG	103,8(±5,6) IJ
	71	277,5(±11,11) BC	252,0(±10,2) C	222,1(±9,1) D	152,4(±6,7) G
	82	316,0(±13,07) A	292,0(±12,2) AB	255,0(±10,7) C	176,0(±7,8) F

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0,05). Los valores entre paréntesis corresponden a los errores de estimación.

Los valores de d_g del tratamiento R2 se diferencian de los alcanzados por R1 a partir de los 51 meses posteriores a la aplicación de las intensidades de raleo. Esa diferencia se inicia en un 5,4% y aumenta hasta ser de 6,8 % a los 82 meses, siempre a favor del tratamiento menos denso. El análisis del comportamiento de los tratamientos consecutivos (R3vsR2 y R4vsR3) denota diferencias relativas y tendencias similares a las descritas para los tratamientos anteriores. Entre tratamientos que no son consecutivos la tendencia es equivalente a los anteriores y presenta un patrón acumulativo de las diferencias parciales (Figura 1A).

Mediante la Tabla 2 y Figura 1B, se puede observar que en cada fecha de medición el valor obtenido de G difiere de forma significativa para cada intensidad de raleo aplicada. La única excepción se da en el primer tiempo de evaluación (13 meses). Asimismo, se observa que la intensidad del raleo afecta de forma inversamente proporcional a G . Durante todo el período evaluado la mejor performance corresponde al del tratamiento R1, seguido consecutivamente por los tratamientos R2, R3 y R4.

Durante el período evaluado, el volumen generado en el tratamiento R1 no presenta diferencias estadísticamente significativas del que se obtiene en R2. Por otra parte, en R3 se observan valores significativamente menores que los de R2 a partir de los 71 meses y que los de R1 en todo el período de evaluación. Las diferencias encontradas (Tabla 2) tienden a incrementarse en el tiempo. La menor producción de volumen se obtiene en el tratamiento R4, con diferencias que aumentan de forma pronunciada desde la primera medición (Figura 1C).

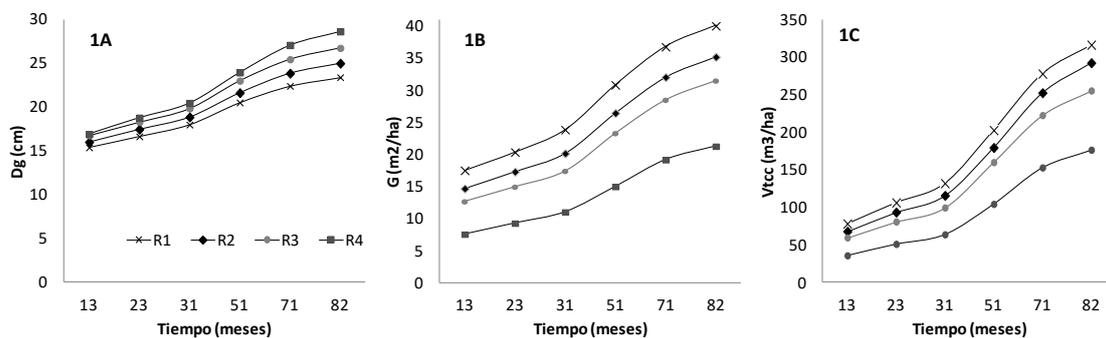


Figura 1. Perfiles longitudinales de las 4 intensidades de raleo evaluadas en *P. elliottii* var *elliottii* x *P. caribaea* var *hondurensis*. 1A) diámetro cuadrático medio (cm); 1B) área basal ($m^2 \cdot ha^{-1}$) y, 1C) volumen total con corteza ($m^3 \cdot ha^{-1}$).

Efecto de la Poda

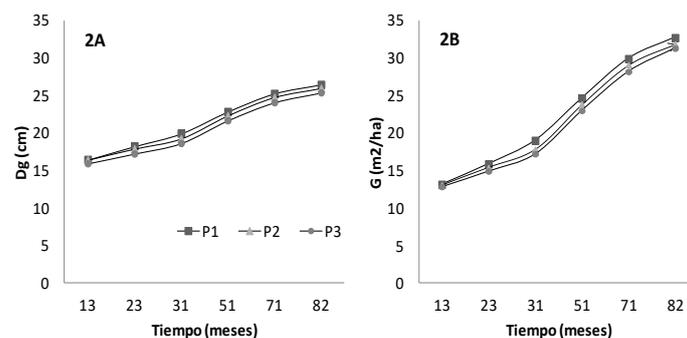
La Tabla 3 presenta los valores medios de las variables afectadas (d_g y G) por la aplicación de diferentes intensidades de poda en el tiempo. Se observa que la intensidad de esta práctica tiene un efecto inversamente proporcional en el d_g ($P3 < P2 < P1$), efecto que se mantiene en todo el perfil longitudinal evaluado (Figura 2A). Se aprecia que en los dos primeros tiempos de evaluación las medias ajustadas de P1 y P2 no difieren significativamente. En tanto que a los 31 meses el d_g del tratamiento P1 supera en un 3,6% al de P2; dicha diferencia se reduce hasta ser de 1,9 % a los 82 meses. Similar comportamiento se observa al compararse las intensidades de P1 y P3.

En la Figura 2B se aprecia la incidencia de la intensidad de la poda en el área basal del rodal. Esta práctica solo tiene efectos significativos a los 31 meses, cuando el tratamiento P1 supera a P3 en $1,8 m^2 \cdot ha^{-1}$ (Tabla 3).

Tabla 3. Medias ajustadas del diámetro cuadrático medio y del área basal de *P. elliottii* var *elliottii* x *P. caribaea* var *hondurensis* en función de la interacción de la intensidad de poda (P1, P2 y P3) con el tiempo.

	Tiempo	P1	P2	P3
Diámetro cuadrático medio (cm)	13	16,4(±0,31) N	16,4(±0,31) N	15,9(±0,31) O
	23	18,2(±0,31) KL	17,8(±0,31) L	17,2(±0,31) M
	31	19,9(±0,31) I	19,2(±0,31) J	18,6(±0,31) K
	51	22,8(±0,31) F	22,3(±0,31) G	21,6(±0,31) H
	71	25,2(±0,31) C	24,7(±0,31) D	24,0(±0,31) E
	82	26,4(±0,31) A	25,9(±0,31) B	25,3(±0,31) C
Área Basal (m ² .ha ⁻¹)	13	13,2(±0,48) I	13,2(±0,48) I	12,9(±0,48) I
	23	15,9(±0,54) H	15,5(±0,53) H	15,0(±0,53) H
	31	19,1(±0,64) F	17,9(±0,62) FG	17,3(±0,61) G
	51	24,7(±0,77) E	23,9(±0,76) E	23,1(±0,74) E
	71	30,0(±0,87) BCD	29,2(±0,86) CD	28,3(±0,84) D
	82	32,8(±0,92) A	32,0(±0,91) AB	31,4(±0,9) ABC

Referencias: P1, P2 y P3 corresponden a las intensidades de poda de 40, 50 y 60%. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0,05). Los valores entre paréntesis corresponden a los errores de estimación.

**Figura 2.** Perfiles longitudinales de las 3 intensidades de poda evaluadas en *P. elliottii* var *elliottii* x *P. caribaea* var *hondurensis*. 1A) diámetro cuadrático medio (cm) y, 1B) área basal (m².ha⁻¹).

4. DISCUSIÓN

Las prácticas silvícolas aplicadas, poda y raleo, en el presente trabajo tuvieron efectos independientes entre sí. Como respuesta al control de la competencia mediante el raleo, el diámetro cuadrático medio de las plantaciones de Pino Híbrido se incrementa de acuerdo a la intensidad de la intervención. La diferencia relativa entre diferentes intensidades aumenta con el

tiempo, de acuerdo al rango de las densidades residuales generadas. El aumento del diámetro al aplicar raleos se explica en que la reducción de la densidad genera un aumento en la disponibilidad de los recursos (agua, nutrientes, luz y espacio), favoreciendo el desarrollo de los individuos remanentes (Ferrere *et al.*, 2015; Martiarena *et al.*, 2014; Martiarena *et al.*, 2011; Pezzutti, 2011; Smith *et al.*, 1997). Por otra parte, el incremento de dichas diferencias en el tiempo puede entenderse como el aumento relativo de la competencia por los recursos en las situaciones más densas respecto a las más raleadas.

El efecto positivo del raleo en el diámetro es reportado por otros autores en otras especies. Ferrere *et al.* (2015), Pezzutti (2011) y Crechi *et al.* (2005) encuentran diferencias significativas entre tratamientos con raleos más intensos en relación a tratamientos con raleos moderados o nulos, con densidades iniciales mayores al presente trabajo. En el presente trabajo, a los 82 meses el d_g de Pino Híbrido obtenido en R4 supera un 22% al del tratamiento sin raleo (R1). Con este mismo material Crechi *et al.* (2004), en un ensayo de raleo en la provincia de Misiones (calidad de sitio mayor y densidad inicial de 1736 árboles.ha⁻¹), obtienen 19,0 y 22,0 cm de Dap en las densidades residuales respectivas de 900 y 600 árboles.ha⁻¹, a los 24 meses del raleo (edad de 7 años). En el presente trabajo en las densidades residuales de 940 (R1) y 565 árboles.ha⁻¹ (R3), se obtuvieron los respectivos d_g de 17,9 y 19,8 cm a los 31 meses (7,2 años de edad), valores comparables a los obtenidos por los mencionados autores.

El área basal disminuyó proporcionalmente con la intensidad de raleo aplicada y las diferencias detectadas variaron con el tiempo de evaluación. Al comparar tratamientos de intensidades consecutivas hasta niveles moderados, R1 vs R2 o bien R2 vs R3, las diferencias fueron significativas y mostraron una tendencia estable. A su vez, el tratamiento con alta intensidad de raleo (R4) presentó valores inferiores al resto de los tratamientos, diferencia que relativamente se incrementó con el tiempo. De acuerdo a ello, el nivel de subocupación en R4 puede evaluarse como excesivo y se mantiene durante todo el período evaluado. Pezzutti (2011) observa subocupación del sitio en todo el turno de rotación de *P. taeda* a partir de densidades residuales iguales e inferiores a 416 árboles.ha⁻¹. Durante el período evaluado no se observa sobreocupación del sitio en ninguna de las densidades residuales generadas. En tanto, Pezzutti (2011) encuentra sobreocupación de sitio a partir de los 10 años en densidades de 1666 árboles.ha⁻¹, densidad con la que obtiene un área basal máxima de 56,3 m².ha⁻¹ a los 15 años. De acuerdo a lo enunciado la plantación evaluada no alcanzó la máxima capacidad de sitio, dado que el mayor valor de área basal obtenida corresponde a 40,1 m².ha⁻¹, a los 82 meses en el tratamiento R1. Por otra parte, los valores obtenidos por Crechi *et al.*, (2004) presentan diferencias leves debidas a la menor calidad de sitio del presente trabajo, pero congruentes con las densidades residuales alcanzadas. A los 7 años estos autores obtienen 29,0 y 20,0 m².ha⁻¹ en las densidades residuales de 900 y 600 árboles.ha⁻¹; en tanto que en el presente trabajo se obtuvieron 23,9 y 17,4 m².ha⁻¹ en los tratamientos R1 y R3 a los 7,2 años (31 meses de aplicado el tratamiento).

La menor ocupación del sitio (mayores intensidades de raleo), generó menores volúmenes. Se destaca que el volumen obtenido en el tratamiento de intensidad suave (R2) no resultó diferente del tratamiento sin raleo (R1), en todo el perfil temporal evaluado. Lo cual implica que dicho nivel de reducción de la densidad no genera un descenso significativo de la producción forestal y otorga mayores tamaños individuales. Pezzutti (2011) encontró resultados similares en *P. taeda* de 15 años de edad. Observó diferencias de producción entre las densidades residuales de 1666 y 800 árboles.ha⁻¹. Por otra parte, la reducción de la producción volumétrica en R4 en el presente trabajo es muy pronunciada en contraste con la ganancia en tamaño individual. En este caso, la reducción del 64% de la densidad inicial implicó una producción menor del 44% respecto al tratamiento sin raleo. Espinosa *et al.* (1994) y Ferrere *et al.* (2015), quienes trabajaron con *Pinus radiata*, señalan que al aplicar 75 % de intensidad de raleo sobre diferentes densidades iniciales se obtiene la mitad de la producción volumétrica total. Crechi *et al.* (2012), también aconsejan la utilización de raleos fuertes solo para objetivos de producción específicos.

La intensidad de poda afectó de forma inversa el desempeño del d_g y de G, obteniéndose el mejor resultado a la intensidad del 40 % de la altura del árbol. Este resultado coincide con el obtenido por Hoppe y Freddo (2003), quienes al estudiar el efecto de la intensidad de esta práctica

silvícola en *P. elliottii* concluyen que intensidades de poda superiores al 40 % determinan pérdidas en diámetro y volumen total. En tanto Neilsen y Pinkard (2003), señalan que al podar hasta un 45% de la altura del árbol no se afecta el crecimiento en *P. radiata*. Los mismos autores señalan que se debe mantener una longitud de copa viva del 55% para no comprometer el desarrollo individual. Mientras que Schoelzke (2003) aconseja no aplicar intensidades de poda que remuevan el 50% de la copa.

En el presente trabajo se pudo observar que el efecto negativo de la intensidad de poda tiende a reducirse con el tiempo. En el caso del área basal se anula a partir de los 51 meses y en d_g significa una reducción relativa de solo un 1,9 % (0,5 cm) entre las intensidades sucesivas a los 82 meses, permitiendo inferir que el efecto desaparecerá al final del turno. A su vez, mayores intensidades de poda implicaron menor cantidad de intervenciones posteriores, para lograr la altura de poda objetivo (5,5 m). A mayores intensidades se eliminan ramas de diámetros menores, lo que permitiría oclusiones pequeñas y mayor producción de madera clear.

5. CONCLUSIONES

Las plantaciones de pino híbrido (*P. elliottii* var *elliottii* x *P. caribaea* var *hondurensis*), establecidas en sitios con suelos arenosos hidromórficos de la provincia de Corrientes, se están convirtiendo en una alternativa productiva para el sector forestal.

Como resultado de elevadas intensidades de poda, iguales o superiores al 50% de la altura del árbol, aplicadas en plantaciones de 55 meses de pino híbrido, se obtienen menores tamaños individuales. Este efecto se reduce con el tiempo, no incide en la producción total y es independiente de la intensidad de raleo aplicada. En cuanto al raleo, destaca que la intensidad del 64% determina una disminución de la producción total que se acentúa en el tiempo; por ello su aplicación es poco recomendable.

Si bien se debe avanzar en el estudio de las prácticas silviculturales en pino híbrido para esta región del país, las respuestas diferenciales a las intensidades de poda y raleo obtenidas en el presente trabajo le permiten al gestor forestal adoptar esquemas de manejo en función de objetivos de producción y de análisis financiero.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Enrique Zeni y Cía. SACIAFei por permitir la instalación del ensayo y brindar los recursos necesarios para su seguimiento. A los colegas Mariano Hernández y Alberto M. Gochez por las consideraciones brindadas en el presente trabajo. A Ana M. Lupi, coordinadora del proyecto PNFOR-1104073, por las colaboraciones realizadas durante la redacción del presente trabajo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrett, W. H.; S. M. Danner y A. Henning. 1991. *Híbridos de P. elliottii* var. *elliottii* x *P. caribaea* var. *hondurensis* en cultivo en el norte de Corrientes. En Jornadas sobre *Pinus caribaea*, Actas, Centro de Investigaciones y Experiencias Forestales. Eldorado, Misiones-Argentina. 25-26 de Abril. Eldorado, Misiones, pp. 107-111.
- Beale, I. y E. C. Ortiz. 2013. El Sector Forestal Argentino: Bosques Implantados. *Revista de Divulgación Técnica Agrícola y Agroindustrial - REDITA*, 41(1):1-6.
- Cappa, E. P.; M. Marcó; D. G. Nikles and I. S. Last. 2013. Performance of *Pinus elliottii*, *Pinus caribaea*, their F1, F2 and backcross hybrids and *Pinus taeda* to 10 years in the Mesopotamia region, Argentina. *New Forests*, 44(2):197-218.

- Crechi, E.; A. Keller, H. Fassola, J. Fahler y R. Maletti. 2012. *Efectos de la intensidad del raleo en Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sobre el crecimiento y la producción en el NO de Misiones. En 15^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. Eldorado, Misiones: 9p.
- Crechi, E.; F. A. Moscovich; R. Friedl; H. E. Fassola y J. Fahler. 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. En 11^{as} Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNaM - EEA Montecarlo, INTA. 8p.
- Crechi, E.; H. E. Fassola y R. Fernández. 2005. Efectos del raleo en *Pinus taeda*. Noroeste de Misiones. *IDIA XXI. Revista de información sobre investigación y desarrollo agropecuario* 5(8): 43-47.
- Daniels, P. W.; U. E. Helm y F. S. Baker. 1979. *Principles of Silviculture* 2a ed., Ed. McGraw-Hill Book Co. USA 456p.
- Di Rienzo, J. A.; F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzáles, M. Tablada y C. Robledo. 2016. *InfoStat versión 2016*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available at: <http://www.infostat.com.ar>.
- Di Rienzo, J. A.; R. E. Macciavelli y F. Casanoves. 2012. *Modelos Lineales Mixtos: aplicaciones en InfoStat* 2a ed., Córdoba, Argentina: Grupo Infostat.
- Elizondo, M. H. 2015. *Actualización del inventario de plantaciones forestales de la provincia de Corrientes*. Consejo Federal de Inversiones, Corrientes. 97p.
- Elizondo, M. 2009. *Primer inventario forestal de la Provincia de Corrientes. Metodología, trabajo de campo y resultados*. Consejo Federal de Inversiones, Provincia de Corrientes. 66p.
- Escobar, E. H.; H. D. Ligier; R. Melgar; H. Mattelo y O. Vallejos. 1996. *Mapa de suelos de la provincia de Corrientes 1:500.000*. Área de Producción Vegetal y Recursos Naturales E. E. A. INTA-Corrientes. 432p.
- Espinosa, M.; J. Garcia y O. Valeria. 1994. Efecto de intensidades diferentes de raleo en el crecimiento de un rodal de pino radiata. *Bosque* (Chile) 15(1):55-65.
- Fassola, H. E.; F. A. Moscovich; P. Ferere y F. Rodríguez. 2002. Evolución de las principales variables de árboles de *Pinus taeda* L. sometidos a diferentes tratamientos silviculturales en el nordeste de la provincia de Corrientes, Argentina. *Ciência Florestal, Santa Maria* 12(2):51-60.
- Ferrere, P., A. M. Lupi y T. Boca. 2015. Crecimiento del *Pinus radiata* sometido a diferentes tratamientos de raleo y poda en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Bosque* (Valdivia) 36(3):423-434.
- Hawley, R. C. & Smith, D. M., 1982. *Silvicultura Práctica* 2a ed. J. Terradas. Ed. Omega S.A. Barcelona, España. 5537p
- Hoppe, J. M. y Á. R. Freddo. 2003. Efeito da intensidade de desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm., no município de Piratini, RS. *Ciência Florestal* 13(2):47-56.
- Littell, R. C.; G. Milliken; W. Stroup and R. Wolfinger. 1996. *SAS System for Linear Mixed Models*, Cary, NC: SAS Institute Inc. 633 p.
- Martiarena, R.; E. Crechi, M. Pinazo, A. Von Wallis, J. Marquina y S. Monteoliva. 2014. Efecto del raleo sobre el crecimiento y la densidad de la madera de *Pinus taeda* plantada en Misiones, Argentina. *Ciência Florestal, Santa Maria* 24(3): 655-663.
- Martiarena, R.; J. L. Frangi, M. A. Pinazo, A. Von Wallis and R. A. Fernández. 2011. Effect of Thinning and Harvest Type on Storage and Losses of Phosphorous in *Pinus taeda* L. Plantations in Subtropical Argentina. *International Journal of Forestry Research*, 2011:1-10. Disponible en: <<http://www.hindawi.com/journals/ijfr/2011/761532/>>.
- Neilsen, W. A. and E. A. Pinkard. 2003. Effects of green pruning on growth of *Pinus radiata*. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 2067-2073

- Pezzutti, R. V. 2014. *Silvicultura sitio específica, una herramienta para ajustar el manejo a la capacidad productiva del sitio*. XXVIII Jornadas Forestales De Entre Rios, (November), pp.1-12.
- Pezzutti, R. V & Caldato, S. L., 2004. Efecto del control de malezas en el crecimiento de plantaciones de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii* var. *elliottii* y *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Bosque* (Valdivia) 25(2):77-87.
- Pezzutti, R.V. 2011. *Efeitos biológicos e econômicos de tratamentos silviculturais em plantios de Pinus taeda L. no nordeste argentino*. Doctoral dissertation, Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil.
- Pinheiro, J.; D. Bates, S. DebRoy, D. Sarkar and R Core Team. 2015. *nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-125. Disponible en: <<http://cran.r-project.org/package=nlme>>.
- R Development Core Team, 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. (version 3.1.0). Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponible en: <<http://www.R-project.org/>> [Fecha de consulta: marzo 2015]
- Schoelzke, D. 2003. La poda en una plantación de *Pinus elliottii*. *Quebracho*, 10:26-38.
- Smith, D. M.; B. C. Larson, M. J. Kelty and P. M. Ashton. 1997. *The practice of silviculture: applied forest ecology*. 9.a ed. Wiley and Sons, New York, USA. 537p.
- Zhang, S. Y.; H.E. Burkhart and R. L. Amateis. 1997. The influence of thinning on tree height and diameter relationships in loblolly pine plantations. *Southern Journal of Applied Forestry*, 21(4): 199-205.

