

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: dinámica poblacional durante siete años

Pinus elliottii natural regeneration in forest gaps: seven years population dynamics

Silvia L. Rebottaro¹, Daniel A. Cabrelli¹

RESUMEN

Se evaluó la dinámica de la regeneración natural de *Pinus elliottii* (Engelm.) en claros silvícolas generados mediante una cosecha en fajas. Se probó el efecto de dos orientaciones: EO y NS, y tres tamaños de apertura: razón ancho de faja/altura de árboles de 0,5; 0,8 y 1,1. Las poblaciones fueron evaluadas a partir del segundo año de apertura del dosel durante siete años. Se cuantificó la densidad, el reclutamiento, la mortalidad y el crecimiento en diámetro y altura. Para caracterizar el ambiente lumínico dentro de los claros se utilizó fotografía hemisférica del dosel, cuantificando la radiación relativa directa (Rd), indirecta (Ri) y total (Rt). En general, la densidad fue suficiente para iniciar un ciclo productivo (2,7 a 8,1 brinzales m⁻²). La única condición limitante se encontró en el claro 0,5 con orientación NS (con radiación inferior al 55%), donde la densidad fue 0,2-0,3 plantas m⁻². Los claros 0,8 y 1,1 presentaron buen establecimiento, independientemente de su orientación, y presentaron un ingreso de radiación relativa superior al 65%. El reclutamiento se concentró durante invierno-primavera, mientras que la mortalidad fue más frecuente en primavera-verano. La condición más favorable para el crecimiento se presentó en el claro 1,1 con orientación E-O, en el que se registró una Rt=73%. Nueve años después de la apertura de los claros, el análisis de las plantas más grandes de cada población permitió establecer claramente las diferencias entre los tratamientos de apertura.

PALABRAS CLAVE:

Claros, crecimiento, mortalidad, *Pinus elliottii*, radiación solar, reclutamiento.

ABSTRACT

We evaluated the dynamics of *Pinus elliottii* (Engelm.) natural regeneration in silvicultural gaps after strip clearcutting. Two orientations: EW and NS, and three size of gaps: ratio strip width/height tree of 0,5; 0,8 y 1,1 were analyzed. Density, recruitment, mortality, diameter and height of plants were monitored during seven years. The light environment was characterized using hemispherical photographs, and calculating relative radiation direct (Rd), indirect (Ri) and total (Rt). In general, plants density was enough to begin a productive cycle (2,7-8,1 plants m⁻²). The only critical condition was generated in strip 0,5 with NS orientation (radiation < 55%), where density was 0,2-0,3 plants m⁻². Whatever of the orientation, the strips 0,8 y 1,1 have good plants establishment, and relative higher than 65%. The recruitment was registered mainly during winter and spring. The mortality had more impact during spring-summer. More favorable condition for the growth was found in 1,1 strip with EW orientation, where Rt was 73%. Nine years after opening canopy, the analysis of tallest plants demonstrated differences between gaps.

KEY WORDS:

Gaps, growth, mortality, *Pinus elliottii*, solar radiation, recruitment.

¹ Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, (CP 1417), Buenos Aires. Argentina. C.e.: rebottar@agro.uba.ar

INTRODUCCIÓN

En el continente americano, el género *Pinus* tiene un área de dispersión natural en América del norte y parte de Centroamérica. Por lo tanto, los pinos no forman parte de las comunidades naturales en Argentina. Sin embargo, dos especies de este género ocupan la mitad de la superficie cultivada con especies forestales en el país: *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. y *Pinus taeda* Lin. (SAGYP, 1999). Ambas son originarias del sudeste de Estados Unidos, y han tenido un excelente comportamiento en diferentes regiones del mundo, presentando una productividad elevada. Estas especies, principalmente *P. elliottii*, presentan un elevado potencial para regenerarse naturalmente en determinados ambientes. En Argentina, varios autores han reportado la existencia de rodales regenerados naturalmente con diferente grado de desarrollo (Lombardi, 1982; De Bellis, 1986; Cozzo *et al.*, 1988; Torres *et al.*, 1994). La regeneración es el puente entre la cosecha del rodal anterior y el establecimiento del nuevo. Pero, para transformarse en un recurso comercialmente aprovechable es necesario conocer diferentes aspectos de su comportamiento ecofisiológico.

La mayor información sobre regeneración natural de estos pinos proviene principalmente del área de origen (McCulley, 1950; Brewer y Linnartz, 1974; Langdon, 1981; Backer y Murphy, 1982; Edwards, 1987; Cain, 1987, 1988, 1991; Wheeler *et al.*, 1988; Cain y Barnett, 1994; Lloyd *et al.*, 1995). Los estudios preliminares llevados a cabo en Argentina a partir de los años de 1990, permitieron establecer algunas bases para el manejo de ese recurso. En primer término, uno de los factores que condicionan el éxito de la regeneración lo constituye la cantidad de semilla disponible. *P. elliottii* produce abundante semilla a partir de los 10 a 15 años de edad, presentando un patrón de

producción cíclico (Daniel *et al.*, 1982; Lohrey y Kossuth, 1990). Este patrón ha sido detectado en Argentina (Rezzano *et al.*, 1997), donde además se registró que la mayor dispersión de semillas se concentra durante los meses de abril y mayo (otoño del hemisferio sur). Pocos meses después de su diseminación, la semilla viable en el suelo representa sólo 3% del total (Méndez, 1996). Otro estudio realizado en la misma zona (Cordeiro, 2004), mostró la poca importancia que tiene la semilla viable en el suelo pocos meses después de su dispersión. Por lo tanto, si se pretende favorecer el establecimiento de la regeneración natural es importante definir el momento en que se realizará la cosecha de los árboles semilleros.

El proceso sucesional de bosques nativos básicamente presenta tres fases: la perturbación, la invasión o regeneración y la madurez. Estos procesos también son definidos, en los términos de Whitmore (1989), como apertura, crecimiento y cierre del dosel. La perturbación genera claros de diferente forma y tamaño, y las primeras especies que ocupan esos claros, en general, son las heliófitas. Estas especies se caracterizan por su baja tolerancia a la sombra, pero poseen un alto potencial fotosintético frente a elevados niveles de radiación solar. A este grupo ecológico pertenece *P. elliottii*, cuya regeneración natural bajo dosel cerrado no logra superar el estado de plántula (Cabrelli *et al.*, 1997; Cordeiro, 2004; Cabrelli *et al.*, 2008). Por ello, todas las prácticas de manejo dirigidas a favorecer el crecimiento de la regeneración deben basarse en la remoción parcial o total del dosel.

Los métodos más comunes de corta de regeneración son: de selección, cortas sucesivas, árboles semilleros y mata-rasa, ordenados de menor a mayor nivel de remoción del dosel (Brewer y Linnartz,

1974; Langdon, 1981; Edwards, 1987). El sistema de remoción total (o matarrasa) requiere contar con una cantidad mínima de semillas en el suelo en el momento de la corta, para poder alcanzar una densidad adecuada de plantas después de la cosecha. Cuando las características de la especie o del sitio determinan que la producción de semillas sea errática o las condiciones de sequía son frecuentes, es necesario mantener una fuente de semilla para asegurar el establecimiento (Edwards, 1987). Los métodos de remoción parcial presentan la ventaja de dejar árboles en pie, los cuales constituyen una fuente permanente de semilla, además del beneficio ambiental de ese tipo de intervención. Esto implica un arreglo espacial del área basal residual para regular las características de los claros, generando diferentes patrones de ingreso de radiación (Battaglia *et al.*, 2002). La competencia por luz y las diferencias entre especies respecto a su tolerancia son consideradas la llave que determina la estructura y dinámica de los rodales (Zavala *et al.*, 2007). De este modo, es posible manejar las condiciones microambientales para regular la emergencia, la sobrevivencia y el crecimiento de las diferentes especies. En este sentido, Cabrelli *et al.* (2002) encontraron que la sobrevivencia de plántulas de *P. elliotii* estuvo condicionada por la interacción entre la disponibilidad de agua y los niveles de radiación. La intensidad de radiación solar puede ser controlada variando la densidad de los árboles o las características de los claros. De este modo, el tamaño y la forma de las aperturas tendrán efecto sobre la dinámica de la vegetación que se establece dentro de las mismas (Canham 1989; Chazdon y Fetcher, 1984). Así, la geometría de los claros representa una herramienta en el manejo silvícola (Diaci, 2002).

Aunque los silvicultores reconocen la ventaja ambiental de las cortas

parciales, prefieren efectuar la cosecha en una sola etapa debido a su menor costo. En este sentido, el costo de la cosecha podría reducirse si la misma se realiza mediante un diseño en fajas, ya que dicho diseño combina la aplicación de aperturas parciales con una alta eficiencia operativa en el campo. Los dos parámetros básicos del diseño de la cosecha parcial en fajas son la orientación y el ancho de las mismas, permitiendo regular el ingreso de radiación, y por lo tanto el microambiente condicionante de la dinámica de las poblaciones que crecen en ellas.

OBJETIVOS

El presente trabajo fue planteado sobre la base de principios que regulan la dinámica sucesional de especies leñosas en comunidades naturales, para aplicarlos a la silvicultura sostenible de una especie heliófita muy cultivada en Argentina. El objetivo general del estudio fue evaluar el efecto del claro sobre la dinámica poblacional de la regeneración natural de *P. elliotii*. Los objetivos específicos fueron evaluar el efecto de dos orientaciones y tres tamaños de claro sobre: 1) la estructura poblacional, 2) la densidad de plantas, 3) el reclutamiento, 4) la mortalidad, y 5) el crecimiento en diámetro y altura de las plantas durante siete años.

METODOLOGÍA

Sitio de estudio

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Yuquerí, del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), ubicada en Concordia (31°22' S, 58°07' O, 47 msnm), provincia de Entre Ríos, Argentina. La región posee un clima templado a subtropical húmedo de llanura, con una tempe-

ratura media anual de 18,5 °C y una precipitación media anual de 1 274 mm distribuida durante todo el año, pero con algo de deficiencia hídrica durante parte de la primavera y del verano (SMN, 1992). La temperatura media del mes más frío (julio) es de 12 °C, y la del mes más cálido (enero) es de 25 °C. Los suelos son arenosos pardos, del grupo Hapludol fluvéntico (INTA, 1993), con textura superficial franco arenosa que puede variar hacia areno franca, con baja capacidad de retención hídrica. Son suelos de baja fertilidad química y bajo contenido de materia orgánica (Rebottaro *et al.*, 2004). La vegetación natural es un pastizal (Cabrera, 1976), pero se encuentra alterado por la actividad agrícola, ganadera, frutícola y forestal.

Tratamientos de apertura del dosel

La dinámica de la regeneración natural fue evaluada en claros silviculturales mediante un diseño espacial de cosecha en fajas, que consiste en cortar un grupo de hileras de árboles alternando con grupos de hileras sin cortar. Los claros fueron realizados en dos plantaciones de *P. elliottii* 18 años de edad, separadas entre sí por una calle cortafuego de 8 m. Las plantaciones habían sido establecidas a 3 m x 3 m, y fueron aclareadas a los 13 años. Al momento de aplicar los tratamientos de apertura del dosel las plantaciones tenían un promedio de 600 árboles por hectárea, dap de 28 cm y 22 m de altura. Mediante un experimento factorial con cinco repeticiones se probaron 6 tratamientos, resultantes de la combinación de dos orientaciones (Este-Oeste y Norte-Sur), y tres tamaños de fajas (12 m, 18 m y 24 m de ancho). El largo de las fajas fue de aproximadamente 80 m. El tamaño relativo de las fajas puede ser expresado mediante la razón entre el ancho de faja y la altura de árboles vecinos (Af/Aa), como fuera sugerido por Gray y Spies (1996). Los valores

promedio de esa razón resultaron de 0,5; 0,8 y 1,1 para los respectivos tamaños probados. La cosecha de las fajas se efectuó entre abril-junio de 1996. En marzo de 1998 se instaló una parcela permanente en cada repetición. Debido a que el presente trabajo tuvo un objetivo de análisis poblacional, se eligió una parcela de forma rectangular (6 m x 2 m), con el fin de cubrir la posible variación a lo ancho de la faja. Se instalaron en total 30 parcelas (6 tratamientos x 5 repeticiones), y se midieron aproximadamente un total de 2 000 plantas a lo largo del estudio.

Ambiente lumínico en las aperturas

Para caracterizar el ambiente lumínico generado por la apertura parcial del dosel fue usada la técnica de la fotografía hemisférica (Anderson, 1964). Esta metodología permite tener una descripción de los claros y del ingreso de radiación solar mediante una fotografía del dosel. Un claro representa una apertura en el dosel extendido hasta 1 (Myers *et al.*, 2000) a 2 m sobre el nivel del suelo (Gray y Spies, 1996). Para el presente estudio, durante el primer y tercer año (1998 y 2000), se tomaron 3 fotografías por parcela, a una altura de 1,3 m sobre el nivel del suelo. Para el análisis de los resultados se tomó el valor promedio de los dos años. El material de campo consistió en una lente hemisférica "Fisheye" Nikkor 8 mm F/2.8, una cámara Nikon FM2, un Data Back Nikon MF-16, películas de 35 mm blanco y negro de 400 ASA. Cada fotografía fue digitalizada usando un escáner Coolscan Nikon LS-1000 y analizada mediante el programa HemiView 2.1 (1999). Las variables del programa utilizadas para la caracterización del dosel fueron: "direct, indirect y global site factor", definido por Anderson (1964). Estas son medidas de radiación relativa directa (R_d), indirecta (R_i) y total (R_t) bajo dosel, con respecto a la radiación sobre el dosel.

Mediciones en las plantas

El presente experimento forma parte de un proyecto mayor sobre regeneración natural de la especie. Para fines del presente estudio se evaluó la categoría de planta mayor a 25 cm de altura. En otros trabajos del proyecto fueron estudiados otros procesos como la dinámica de semillas, germinación, emergencia y sobrevivencia de plantas más pequeñas. El límite de 25 cm fue tomado principalmente por dos motivos. En primer lugar porque a partir de dicho límite se ha superado el estado de plántula y el individuo puede definirse como un brinzal establecido con al menos un año de edad. En segundo término, porque corresponde al tamaño más utilizado cuando se efectúa una plantación con coníferas en la zona del estudio. Bajo estas pautas, dentro de cada parcela toda planta que superaba el límite mencionado se identificó con una etiqueta de aluminio numerada. Dado que en NS-0,5 había baja densidad, y con el fin de contar con suficientes plantas, en esta faja también fue marcado un grupo de plantas ubicadas afuera de las parcelas para su seguimiento. El tallo de las plantas fue marcado con pintura a 5 cm del nivel del suelo y se midió el diámetro a la base (Db) y de altura total (A) en junio de cada año desde 1998 hasta el 2002. A partir de este año se marcó y midió el diámetro a 1,3 m del suelo (dap), y se continuaron las mediciones de altura, hasta el 2005. Para los diámetros se usó un calibrador digital "Mitutoyo" (resolución 0,01 mm). Las alturas fueron medidas con regla graduada y, luego de 1,5 m, con vara telescópica (resolución 0,1 cm). Toda planta nueva que al momento de cada medición superaba la categoría de 25 cm de altura era identificada, marcada, medida y monitoreada. En cada momento de medición también se registraban las plantas muertas. El reclutamiento y la muerte de plantas fueron registrados en

forma trimestral (coincidiendo con la estación calendario), durante los tres primeros años del estudio. Las tasas de reclutamiento (Re) y de mortalidad (Mo) fueron calculadas utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Re(\%)_{[(n+1)-n]} = \frac{r[(n+1) - n] \cdot 100}{N} \quad (1)$$

$$Mo(\%)_{[(n+1)-n]} = \frac{m[(n+1) - n] \cdot 100}{N} \quad (2)$$

donde:

Re = porcentaje de plantas reclutadas durante el periodo [(n+1)-n]

Mo = porcentaje de plantas muertas durante el periodo [(n+1)-n]

m [(n+1)-n] = número de plantas muertas durante el periodo [(n+1)-n]

r [(n+1)-n] = número de plantas reclutadas durante el periodo [(n+1)-n]

N = número de plantas existentes en el momento n

Análisis de los datos

Para fines de la descripción de los resultados, primero serán presentados los datos que caracterizan al ambiente lumínico, comparando los valores de radiación relativa entre fajas. Las poblaciones de plantas al inicio del estudio fueron caracterizadas en diámetro y altura, usando la media, la mediana, los coeficientes de variación y de asimetría, y la distribución de frecuencia por clases de tamaño. Debido a la asimetría en la distribución de tamaño, las pruebas entre poblaciones fueron realizadas mediante métodos no paramétricos (Kruskal-Wallis), haciendo comparaciones de a pares. Se evaluó la evolución de la densidad de plantas y los patrones estacionales de reclutamiento y mortandad.

Las variables porcentuales fueron analizadas utilizando la transformada ($y = \arcsen \sqrt{p}$), y sometidas a análisis de varianza, y prueba de Tukey. Se calculó la correlación entre el crecimiento en un periodo y el tamaño de las plantas al inicio del mismo. La variable crecimiento en diámetro y altura fue sometida a un análisis de covarianza (covariable tamaño inicial). Todos los análisis estadísticos fueron realizados mediante el programa Statistical Analysis System (SAS, 2002).

RESULTADOS

Ambiente lumínico en los claros

Los valores promedios de R_t , R_d y R_i fueron algo superiores en la orientación EO (Tabla 1), pero las diferencias entre orientaciones no resultaron significativas. En cambio, los valores de radiación aumentaron a medida que crecía el tamaño de la faja (Anova, $P > F = 0,0001$). En la tabla 2 se presentan los valores promedio y las comparaciones entre los diferentes tamaños. La R_i sólo dependió del tamaño de la apertura, mientras que

para la R_d se detectó efecto de interacción entre factores (Anova, $P > F = 0,0108$). De modo que, en EO la R_d resultó ser significativamente inferior en la faja más angosta, mientras que en NS los valores fueron crecientes con el aumento en el tamaño del claro. La R_t presentó un patrón similar al encontrado en la R_d .

Un análisis visual de la fotografía hemisférica (Figura 1), muestra que existe un patrón diferente entre orientaciones, con respecto a la manera en que la radiación directa ingresa en el claro durante el año (observar las trayectorias solares). En fajas EO, la radiación directa ingresa principalmente durante primavera-verano (etapa de activo crecimiento), y en ese periodo el ingreso ocurre durante casi todo el día. Mientras que en las fajas NS, el ingreso se produce durante todo el año, pero la contribución diaria ocurre solamente alrededor de las horas del mediodía. Estos patrones son importantes para comprender el comportamiento de las plantas, como veremos en los siguientes resultados.

Tabla 1. Valor promedio (%) y desviación para radiación relativa directa (R_d), indirecta (R_i) y total (R_t) según orientación.

	E-O	N-S
R_d	67,57 (7,46)	63,03 (9,41)
R_i	64,99 (8,49)	63,31 (9,32)
R_t	66,69 (8,02)	63,13 (9,53)

Tabla 2. Valor promedio (%) de radiación relativa directa (R_d), indirecta (R_i) y total (R_t). Dentro de cada orientación, letras distintas indican diferencias (Tukey, $P < 0,05$)

Claro	R_d	R_i	R_t
EO-0,5	59,18 a	55,46 a	57,60 a
EO-0,8	70,04 b	67,74 b	69,70 b
EO-1,1	73,48 b	71,76 c	72,76 b
NS-0,5	52,20 a	53,12 a	52,58 a
NS-0,8	65,88 b	65,42 b	65,70 b
NS-1,1	71,00 c	71,40 c	71,12 c

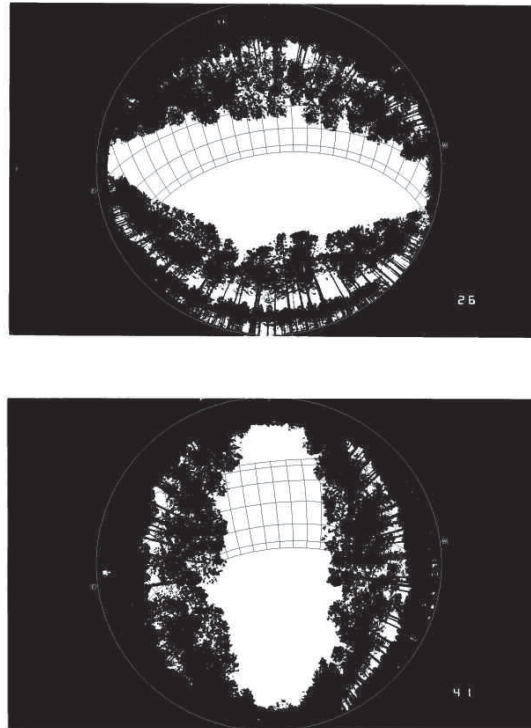


Figura 1. Foto hemisférica en los claros 0,8 para la orientación EO (arriba) y NS (abajo), donde se observan las trayectorias solares a través del año, para la localidad donde se hizo el estudio (31°22' Lat.S., 58°07' Long.O.).

Estructura inicial de las poblaciones

En la tabla 3 se presenta la caracterización poblacional al inicio del estudio para las variables diámetro y altura, en las diferentes poblaciones. Se observa que el diámetro en todos los casos presentó mayor variabilidad que la altura. Los valores del coeficiente de asimetría mostraron que las poblaciones en general tenían cierta asimetría positiva, lo cual indica una alta proporción de plantas pequeñas y pocas plantas grandes. Adicionalmente se observó que dentro de cada población, la asimetría siempre

resultó más pronunciada para el diámetro que para la altura.

Dos años después de efectuadas las aperturas, momento en que se inició el estudio, aún no se detectó una tendencia respecto al tamaño de las plantas en función del tipo de claro. La única faja que presentó plantas con menor diámetro y altura fue EO-0,5. En NS-0,8 las plantas tuvieron un diámetro significativamente menor, siendo esta población la de mayor densidad inicial, como veremos posteriormente.

Tabla 3. Diámetro en la base (Db, mm) y altura (A, cm) de plantas al inicio del estudio. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos al nivel de $P < 0,05$, según prueba de Kruskal-Wallis.

Claro	Db				A			
	M	Me	CV	Ca	M	Me	CV	Ca
EO-0,5	11,80 a	10,75	51	1,08	71,7 a	71,0	34	0,62
EO-0,8	14,27 b	13,38	52	1,02	87,9 b	83,0	39	1,37
EO-1,1	15,20 b	13,04	54	0,77	89,2 b	81,0	37	0,87
NS-0,5	13,37 b	12,36	28	1,37	82,7 b	78,0	23	1,16
NS-0,8	11,78 a	9,21	73	1,77	87,3 b	74,0	45	1,36
NS-1,1	13,77 b	11,43	70	1,99	92,2 b	84,5	46	1,57

M = media; Me = mediana; CV = coef. de variación; Ca = coef. de asimetría

Al describir las poblaciones mediante la distribución de frecuencia del diámetro (Figura 2), se observa la asimetría mencionada y la existencia en los claros grandes de tamaños de plantas que no están presentes en los claros pequeños. La figura 3 permite visualizar la menor asimetría en la distribución para la variable altura.

Densidad, reclutamiento y mortalidad de plantas

La figura 4 muestra la evolución de la densidad durante los siete años de estudio. Las fajas intermedias fueron las que alcanzaron la mayor densidad. Pero, en general las densidades fueron similares, no habiéndose registrado diferencias significativas. El único comportamiento distinto se registró en la situación NS-0,5, que presentó una densidad significativamente inferior a las demás ($P < 0,05$), manteniendo ese comportamiento a través del tiempo. Cabe aclarar que aunque en esa faja se observó la

presencia de muchas plantas pequeñas, en distintos momentos de nuestro estudio, esas plantas no superaron el límite de 25 cm de altura. La figura 4 también permite observar que hay un pico de densidad dentro del primer año del estudio, asociado al reclutamiento de plantas y que la muerte de plantas comenzó a producirse en mayor medida en el segundo y tercer año del estudio.

En las figuras 5 y 6, se muestran los dos procesos que condicionan la dinámica del número de plantas, o sea el reclutamiento y la mortalidad en función de la estación del año. Los valores promedio de los tres primeros años de estudio indicaron que el reclutamiento se produjo principalmente durante el invierno y la primavera, mientras que la muerte de plantas fue más frecuente en primavera y verano.

El reclutamiento no fue diferente entre orientaciones. En cambio, la mortalidad en NS fue mayor (Anva, $P > F = 0,03$).

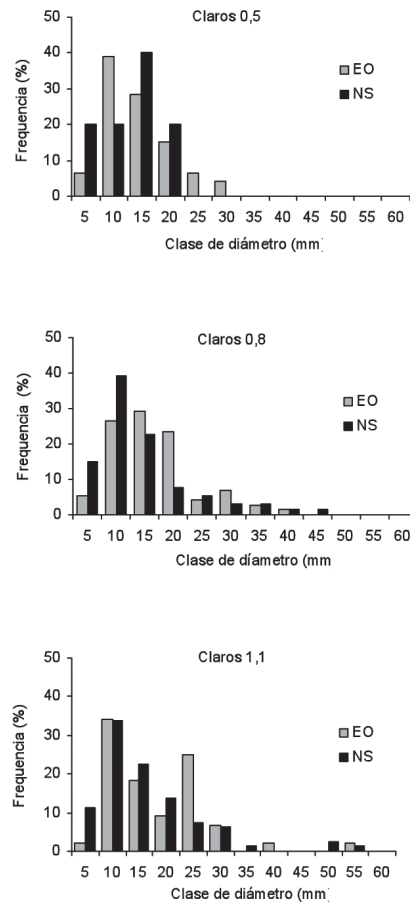


Figura 2. Distribución de frecuencia de plantas (%) por clases de diámetro, al inicio del estudio (dos años después de la apertura del dosel).

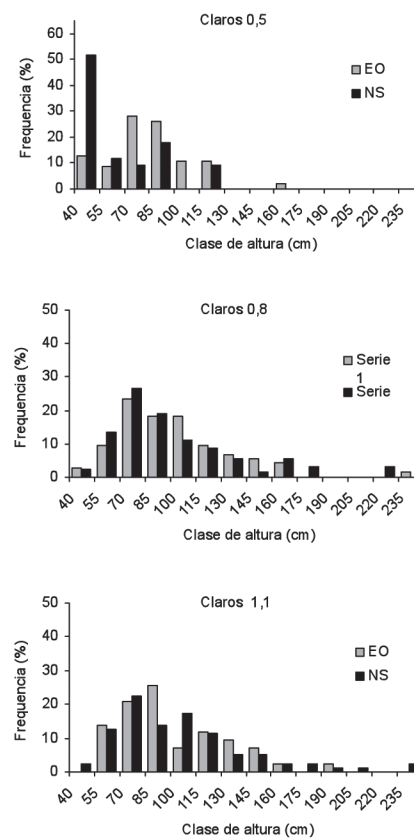


Figura 3. Distribución de frecuencia de plantas (%) por clases de altura, al inicio del estudio (dos años después de la apertura del dosel).

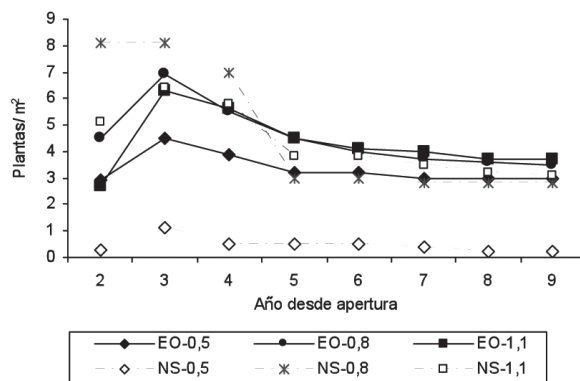


Figura 4. Evolución de la densidad (plantas m-2) en las diferentes aperturas.

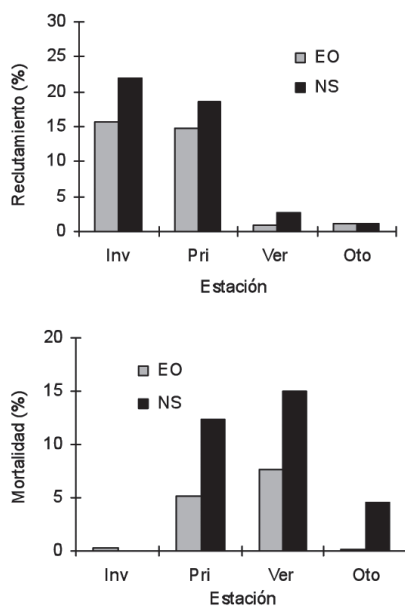


Figura 5. Valores estacionales de las tasas de reclutamiento y mortalidad de plantas (%), discriminado por orientación. Los datos corresponden al promedio de tres años de medición.

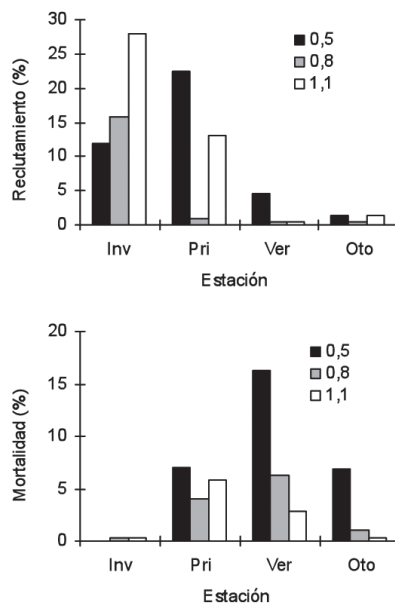


Figura 6. Valores estacionales de las tasas de reclutamiento y mortalidad de plantas (%), discriminado por tamaño de claros. Los datos corresponden al promedio de tres años de medición.

Tabla 4. Supervivencia (%) de plantas presentes al inicio del estudio (Pi), y reclutadas en años posteriores (Pr). Se acompaña el valor de densidad inicial (Di, plantas m⁻²).

Claro	Di	Pi	Pr
EO-0,5	2,9	82,1 a	5,9 a
EO-0,8	4,5	93,1 a	40,0 b
EO-1,1	2,7	97,7 a	50,9 b
NS-0,5	0,3	100,0 a	25,0 a
NS-0,8	8,1	29,3 b	0,5 b
NS-1,1	5,1	63,9 c	37,5 a

Dentro de cada orientación, y para cada variable las letras distintas indican diferencias (Tukey, $P < 0,05$).

Un análisis individual, donde se identificó la pertenencia de cada planta a una cohorte en particular, permitió detectar que la mayoría de las plantas muertas correspondieron a plantas reclutadas después de comenzado el estudio, o sea cohortes más jóvenes y, por lo tanto, plantas más pequeñas. Estas plantas registraron un valor promedio de 49,5 cm

de altura, antes de considerarse planta muerta. En cambio, las plantas que se encontraban establecidas al inicio del estudio, alcanzaron un valor promedio de 138 cm de altura antes de morir. En la tabla 4 se refleja el comportamiento diferente según tipo de planta, a través de los valores de supervivencia al final del estudio. Se observa que la faja con mayor densidad inicial (NS-0,8) presentó valores más bajos de supervivencia de plantas.

Crecimiento de las plantas

En todas las poblaciones el crecimiento anual, tanto en diámetro como en altura, estuvo correlacionado con el tamaño de la planta al inicio de cada periodo de análisis (Tabla 5, Figura 7), y en todos los casos fue significativa ($P = 0,0001$). El análisis del crecimiento de las plantas se realizó considerando dos escenarios. En un caso se analizó el incremento medio (Db y altura) de todas las plantas durante el periodo 1998-2002. Para un segundo análisis, se comparó el crecimiento en dap y altura de aproximadamente 25% de las plantas considerando las más grandes, es decir, aquellas mejor posicionadas competitivamente.

Tabla 5. Coeficiente de correlación de Pearson entre el incremento corriente anual (ICA) y el tamaño (Db y A), para los dos primeros años de estudio (1 y 2).

	ICA * Db ₁	ICA * Db ₂	ICA * A ₁	ICA * A ₂
EO-0,5	0,85	0,87	0,81	0,81
EO-0,8	0,77	0,77	0,65	0,93
EO-1,1	0,86	0,84	0,76	0,63
NS-0,5	0,80	0,60	0,83	0,73
NS-0,8	0,83	0,69	0,85	0,78
NS-1,1	0,79	0,86	0,73	0,77

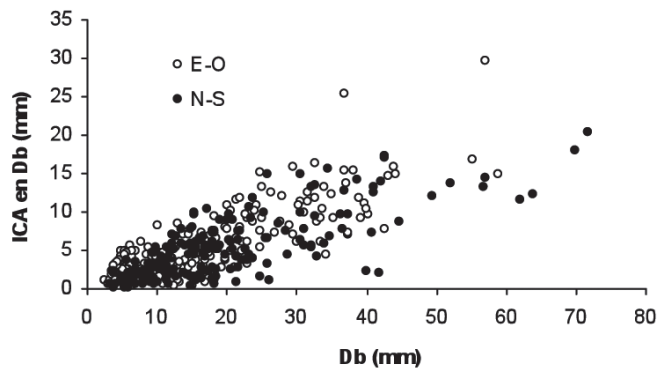


Figura 7. Relación entre el crecimiento y el diámetro de la plantas para el cuarto año de estudio, discriminado por orientación.

La evaluación de la población completa, no mostró diferencias significativas para el crecimiento en diámetro (Tabla 6). El comportamiento de la altura fue algo distinto, y se detectó que las fajas más angostas presentaron menor crecimiento.

El análisis de las plantas grandes permitió detectar claramente las diferencias entre las poblaciones de los diferentes claros (Tabla 7). Estas plantas son importantes ya que representan una población residual potencial luego de un control de la densidad y, por lo tanto, la

Tabla 6. Incremento Medio Anual (IMA) del diámetro a la base (Db, mm) y de la altura (A, cm), en el periodo 1998-2002. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos (Tukey, $P < 0,05$).

	IMA-Db	IMA-A
EO-0,5	7,78 a	66,6 a
EO-0,8	7,38 a	78,9 b
EO-1,1	8,79 a	87,3 b
NS-0,5	7,52 a	65,3 a
NS-0,8	7,69 a	79,1 b
NS-1,1	8,11 a	82,5 b

Tabla 7. Incremento Medio Anual (IMA) del diámetro a altura del pecho (dap, mm) y altura (A, cm), del periodo 2002-2005, para las plantas más grandes de cada población. Letras distintas indican diferencias entre tratamientos (Tukey, $P < 0,05$).

	MA-dap	IMA-A
EO-0,5	15,91 a	95,4 a
EO-0,8	19,34 b	109,0 ad
EO-1,1	25,01 c	126,1 b
NS-0,5	11,37 d	79,7 c
NS-0,8	16,64 a	108,6 ad
NS-1,1	20,74 b	112,5 d

futura cosecha. Con el fin de visualizar estas poblaciones, en la figura 8 se presenta la distribución de frecuencia por clases de dap para el último año de estudio, tomando como base las 2 000 plantas por hectárea más grandes de cada población. La figura 8 permite observar el desplazamiento hacia la derecha de la distribución al aumentar el tamaño del claro y una diferenciación de la faja EO-1,1 respecto a las demás.

DISCUSIÓN

Estructura de la población inicial

En las primeras etapas, luego de la apertura del dosel, el tamaño de las plantas establecidas no fue significativamente diferente y no se detectó un patrón o tendencia en función del tipo de claro. Sin embargo, la distribución de frecuencia permitió visualizar que en las fajas angostas no se encontraron clases de tamaño que estaban presentes en las fajas más grandes (figuras 2 y 3). Esto se puede atribuir en parte a los diferentes niveles de radiación directa que condicionaron el crecimiento de las plantas establecidas. Algunas de las plantas grandes corresponden a individuos categorizados como regeneración anticipada (es decir, establecidos antes de efectuarse la apertura), y que por lo tanto estarían en igual cantidad antes de los tratamientos. Debido al carácter heliófito de la especie, esas plantas no tendrían más de dos años cuando se produjo la apertura. Pero el ingreso diferencial de radiación entre fajas impactó en forma distinta sobre el crecimiento inicial de dichas plantas.

La distribución de frecuencia por clases de tamaño también es afectada por el nivel de competencia. Las poblaciones tuvieron una distribución asimétrica positiva coincidiendo con lo descrito por Mohler *et al.* (1978), para los primeros

estadios en poblaciones de alta densidad inicial. La gran variabilidad de tamaño puede atribuirse a que las plantas provienen de regeneración natural, lo que genera poblaciones más heterogéneas comparadas con las poblaciones jóvenes de regeneración artificial (Liu y Burkhardt, 1993). Esto se explica en parte por el mayor periodo de germinación y

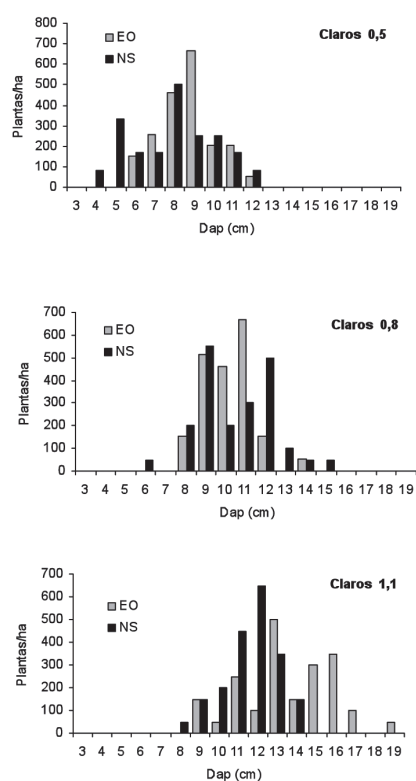


Figura 8. Distribución de frecuencia por clases de dap en el último año de medición (nueve años después de la apertura del dosel), considerando en cada población el equivalente a los 2 000 árboles más grandes por hectárea.

emergencia a campo, comparado con la etapa más corta en condiciones controladas del vivero, y por el efecto de la competencia temprana debido a la densidad inicial elevada.

El comportamiento diferencial de acuerdo con la variable considerada coincide con otros trabajos que muestran una mayor variación para el diámetro que para la altura (Liu y Burkhart, 1993; Torres *et al.*, 1994; Cabrelli *et al.*, 1997). Esta mayor variabilidad del diámetro pudiera explicarse en términos de una mayor plasticidad fenotípica para dicha variable, para plantas creciendo en competencia. En cambio, la altura de la planta condiciona el estrato del perfil vertical que ocupa dentro de una población y define la cantidad y variabilidad de radiación que llega sobre un individuo (Pukkala *et al.*, 1991).

Densidad, reclutamiento y mortandad de plantas

La densidad de plantas representa uno de los indicadores del potencial de utilización de la regeneración. Es posible inferir esa potencialidad para la zona de estudio, comparándola con datos del área de origen de la especie. Para los pinos del sudeste de EEUU se considera aceptable que tres años después de la cosecha de la plantación madre, la regeneración natural presente al menos unas 2 000 plantas por hectárea (Cain y Shelton, 2001b). En la zona donde se llevó a cabo el presente estudio, el valor máximo de densidad reportado fue de 16 brinzales por metro cuadrado (Torres *et al.*, 1994), tratándose de un situación de apertura total del dosel o matarrasa.

Considerando los antecedentes sobre el tema, puede decirse que, en términos generales, en el presente trabajo la densidad inicial de plantas fue alta. La única condición que puede consi-

derarse más comprometida se generó en la faja NS más angosta. Aquí hubo una baja densidad inicial, que se mantuvo a través del tiempo, indicando que en esas condiciones las plantas tuvieron una baja probabilidad de sobrevivencia. Considerando que todos los claros poseían árboles linderos con características similares, la faja más angosta debería tener mayor número de semillas por unidad de superficie de suelo. Se estima que 200 mil semillas por hectárea es una buena densidad para que la regeneración natural tenga posibilidades de ser exitosa (Cain y Shelton, 2001b). En las plantaciones donde se llevó a cabo el presente experimento, se registraron entre 500 y 800 mil semillas en el suelo por hectárea, dependiendo del año y la estación (Rezzano *et al.*, 1997; Cordeiro, 2004; Rezzano, 2004). Por lo tanto, la cantidad de semillas no fue un factor limitante, como tampoco las condiciones para la germinación y emergencia de plantas (Cordeiro, 2004; Rezzano, 2004). Entonces, es posible inferir que las restricciones aparecieron en las etapas más avanzadas de los brinzales y que existieron factores microambientales que condicionaron la baja probabilidad de alcanzar una altura mayor a 25 cm. Considerando que se trata de una especie heliófita, toma fuerza la hipótesis sobre la importancia de la radiación solar dentro del claro, como recurso y como generador de condiciones. En un estudio llevado a cabo en la misma zona, la mortalidad anual de plantas de *P. elliottii* bajo dosel fue de 88% y los valores de radiación relativa de 30% (Cabrelli *et al.*, 1997). En los claros evaluados en este estudio, los niveles de radiación fueron superiores y la variabilidad menor. Sin embargo, el valor de alrededor de 50% de radiación relativa en la faja NS-0,5, puede considerarse condicionante para el establecimiento de plantas mayores a 25 cm de altura. El carácter heliófita de la especie, también se manifiesta en la limi-

tación para el reclutamiento en poblaciones muy densas (NS-0,8), cuando el sombramiento de las plantas ya establecidas impide el desarrollo de plantas emergidas más tardíamente.

La mayor densidad alcanzada en las fajas 0,8, sería la consecuencia de una combinación de alta cantidad de semillas por unidad de superficie, y condiciones microambientales favorables para el establecimiento. Sin embargo, la alta densidad inicial determinó un proceso de competencia intraespecífica más temprana, con la consecuente muerte de individuos y un bajo reclutamiento.

El comportamiento estacional del reclutamiento se puede asociar en parte a la marcada estacionalidad del momento de caída de las semillas (Rezzano *et al.*, 1997; Rezzano, 2004) y a la estacionalidad del crecimiento en altura (variable usada para el reclutamiento). Este patrón estacional fue reportado por Kramer (1943), y también se registró en la zona de estudio donde el crecimiento en altura se inicia a fines del invierno, ya que éste es relativamente benigno y se sostiene hasta principios del verano (Cabrelli *et al.*, 1997; Rebottaro *et al.*, 1997; Amoroso, 2000; Giuliani, 2001; Piva, 2002). En cambio, la mayor mortalidad ocurrida durante primavera-verano está asociada a la existencia de un periodo de deficiencia hídrica. Si bien en la zona de estudio las precipitaciones ocurren durante todo el año, el ascenso de la temperatura condiciona el estado hídrico del suelo durante los meses de primavera y verano. Según Langdon (1981) para lograr un establecimiento exitoso de la regeneración natural se requiere no sólo una buena diseminación de semillas, sino también condiciones adecuadas de humedad, principalmente durante las etapas iniciales. La menor probabilidad de sobrevivir encontrada en las plantas reclutadas más tarde, y por lo tanto de

menor tamaño, es coincidente con otros estudios (Verwer *et al.*, 2008).

Los resultados obtenidos en este estudio guardan gran similitud con los obtenidos para *Pinus thunbergii*, cuando se evaluó la densidad de la regeneración en claros circulares de tamaño relativo 0,5; 1,0 y 1,5 y donde la radiación también fue evaluada mediante fotografía hemisférica (Zhu *et al.*, 2003). En dicho estudio, el establecimiento de plantas fue pobre en claros pequeños y bajo dosel y no se encontraron diferencias de densidad entre claros. Pero, los claros grandes tuvieron mayor proporción de plantas de mayor edad y, a medida que disminuía el tamaño del claro, la participación de cohortes nuevas era mayor, hasta llegar a la ausencia de plantas de más de dos años en la condición bajo dosel. Para claros con dimensiones similares, se encontraron valores de radiación mayores que los reportados por Zhu *et al.* (2003), pero dicho estudio se llevó a cabo a mayor latitud (37°52' N) que la de este trabajo (31°22' S).

Crecimiento de las plantas

En este estudio existieron dos factores que tuvieron efecto sobre el tamaño de las plantas de cada población en cada momento: uno fue el ingreso de radiación y otro la densidad. Por ejemplo, en las fajas intermedias, la elevada densidad inicial actuó negativamente y el crecimiento en diámetro fue menor. Sin embargo, la densidad no afectó de la misma manera el crecimiento en altura. Esto puede explicarse, como ya se ha mencionado anteriormente, en términos de la menor plasticidad de la altura respecto al diámetro. Cuando la regeneración natural presenta en los primeros años más de 12 500 árboles por hectárea, se recomienda realizar un aclareo precomercial (Mann y Lohrey,

1974). De lo contrario, las plantas restringirán fuertemente el crecimiento (Cain, 1988; Duryea, 1987; Rebottaro y Cabrelli, 2007).

La evaluación de las plantas más grandes permitió expresar las diferencias, ya que además el potencial de crecimiento de la regeneración no se vio enmascarado por el comportamiento de plantas muy pequeñas. Este resultado es coincidente con el estudio con regeneración de *Pinus echinata* Mill. y *P. taeda*, donde el análisis del crecimiento de las plantas más grandes permitió detectar diferencias entre tratamientos (Cain, 1991). En nuestro caso, las plantas grandes de las fajas EO tuvieron mayor crecimiento que sus pares NS y en general el crecimiento fue mayor a medida que la apertura era más grande. Dos situaciones se presentaron como claramente opuestas: fajas EO-1,1 y NS-0,5. En la faja EO-1,1 se combinaron características de orientación y tamaño que generaron un microambiente más favorable. Esto no sólo se debe al mayor ingreso de radiación, sino también probablemente a un mayor nivel de agua y nutrientes (Canham 1989; Chazdon y Fetcher, 1984).

Los valores absolutos de crecimiento en las fajas 1,1 resultaron similares a los encontrados para las plantas más grandes de una población joven sin raleo de *P. elliottii* regenerada naturalmente (Rebottaro y Cabrelli, 2007).

La alta correlación entre el crecimiento y el tamaño de la planta es común para plantas creciendo en competencia y también fue encontrado en otros estudios con diferentes especies (Cain, 1991; Nutto *et al.*, 2006; Coomes y Allen, 2007; Verwer *et al.*, 2008). Dicha correlación es un dato útil al momento de aplicar raleos precomer-

ciales. La aplicación de raleos selectivos por lo bajo agregaría un componente adicional al crecimiento debido a la reducción de la competencia. En la zona de estudio, Rebottaro y Cabrelli (2007) encontraron una respuesta significativa al aclareo temprano en poblaciones de regeneración natural con alta densidad inicial.

En este sentido, e independientemente de los resultados estadísticos, desde el punto de vista práctico otro componente desfavorable de la faja NS-0,5 es que, en términos de densidad, presenta una base muy estrecha para la selección de plantas al efectuar un raleo precomercial.

Finalmente, se considera que al analizar la dinámica de la regeneración bajo diferentes condiciones de apertura, el efecto de la radiación sobre las plantas debe ser vista desde diferentes perspectivas. En las primeras etapas, la cantidad de radiación solar dependerá sólo de las características del claro. Esto determinará la cantidad potencial de radiación que recibirán las plantas que crecen dentro del mismo y su probabilidad de establecerse con éxito. En etapas más avanzadas (después de los 3 o 4 años de la apertura), se agrega un componente en la limitación por luz, vinculado con la competencia entre plantas que ocupan diferentes posiciones dentro del perfil vertical. En este estudio la dinámica poblacional estuvo definida por ambos efectos. Por un lado, el ingreso diferencial de radiación entre distintas aperturas influyó sobre la cantidad de radiación que llegaba a la parte superior de las plantas. Pero, además, las plantas de poblaciones más densas reciben menor cantidad de radiación por efecto de la presencia de las vecinas, siendo el efecto más pronunciado en plantas suprimidas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio durante siete años de la regeneración natural de *P. elliotii* creciendo en claros, permitió llegar a las siguientes conclusiones:

Dos años después a la apertura del dosel, la distribución de tamaño de las plantas presentó cierta asimetría positiva. Tanto la asimetría de la distribución como la variabilidad de tamaños, siempre fue mayor para el diámetro que para la altura.

En general, la densidad de plantas fue más que suficiente para iniciar un ciclo productivo. Pero, en la faja con orientación NS y tamaño relativo 0,5 las plantas presentaron menor probabilidad de establecerse exitosamente y la densidad puede considerarse baja. Esto se produjo en condiciones de ingreso relativo de radiación menor al 55%.

Las fajas con una tamaño relativo 0,8 y 1,1 no presentaron problemas para el establecimiento de las plantas, independientemente de la orientación. Esto coincidió con un ingreso de radiación relativa superior al 65%.

El reclutamiento de plantas fue más frecuente en invierno y primavera. Mientras que la mortalidad fue más alta en primavera-verano. Las plantas reclutadas más tarde presentaron mayor probabilidad de morir que las plantas establecidas en las primeras etapas de las aperturas.

En todas las poblaciones el crecimiento anual, tanto en diámetro como en altura, estuvo correlacionado con el tamaño de la planta al inicio de cada periodo de análisis. La evaluación de las plantas más grandes permitió expresar las diferencias entre fajas. En general, el crecimiento de estas plantas aumentó a

medida que la apertura era más grande. Dos situaciones se presentaron como claramente opuestas: la faja EO-1,1 con mayor crecimiento y $R_t = 73\%$, y NS-0,5 con menor crecimiento.

En situaciones con alta densidad, como en este estudio, se recomienda un raleo precomercial por lo bajo, a fin de liberar las plantas y mejorar el crecimiento.

La dinámica de poblaciones jóvenes de regeneración natural de *P. elliotii* en el área de estudio, demuestra que las mismas representan un recurso productivo alternativo a la regeneración artificial. A escala local, se recomienda evaluar principalmente dos aspectos: el efecto del raleo precomercial sobre el crecimiento de plantas establecidas en claros y el efecto del sistema de cosecha parcial sobre el suelo, sobre todo en aquellos de baja fertilidad química como en este estudio.

Finalmente, considerando que estas prácticas permiten combinar un sistema de establecimiento económicamente atractivo (por su bajo costo), con actividades de menor impacto negativo sobre el ambiente, se recomienda repetir este tipo de ensayos en otros sitios de la región donde la especie es cultivada. Se sugiere además, explorar la dinámica en claros para otras especies del género *Pinus* en otras regiones. En este último caso, debe tenerse en cuenta el impacto diferencial que tendrá el tamaño del claro sobre el ingreso de la radiación solar, principalmente en función de la latitud.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a los ingenieros Martín Marcó, Diana Díaz, Martín Sánchez Acosta, Graciela Rembado, Federico Larocca y a todo el personal del

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). También agradecemos a Carlos Rezzano, Alberto Torres, Roberto Benítez y Roberto Giménez. El estudio se llevó a cabo en el marco de los proyectos UBACYT G-06 y AG017, financiados por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad de Buenos Aires, y los Proyectos de Investigación Aplicada PIA 14/96 y PIA 34/98, del Proyecto Forestal de Desarrollo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca de la República Argentina, con financiamiento del Banco Mundial.

REFERENCIAS

- Amoroso, M. 2000. Regeneración natural de *Pinus elliottii*: análisis del crecimiento en el segundo año de instalación de fajas silviculturales con orientación este-oeste. Tesis de Grado, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 28 p.
- Anderson, M.C. 1964. Studies of the woodland light climate. The photographic computation of light conditions. *Journal of Ecology* 52:27-41.
- Backer, J., P. Murphy. 1982. Growth and yield following four reproduction cutting methods in loblolly-shortleaf pine. A case study. *Southern Journal of Applied Forestry* 6(2):66-74.
- Battaglia, M., P. Mou, B. Palik y R. Mitchell. 2002. The effect of spatially variable overstory on the understory light environment of an open-canopied longleaf pine forest. *Canadian Journal of Forest Research* 32(11):1984-1991.
- Edwards, M.B. 1987. Natural Regeneration of Loblolly Pine. A Loblolly Pine Management Guide. General Technical Research Paper SE-47. USDA, Forest Service, 17 p.
- Brewer, C.W. y N.E. Linnartz. 1974. Regeneration loblolly pine by direct seeding, seeds trees and shelterwood. Louisiana State University and A and M College. *Forestry Notes* N° 111. 3 p.
- Cabrelli, D., S. Rebottaro y C. Winckler 1997. Dinámica de poblaciones jóvenes de regeneración natural de *Pinus elliottii* Engelm. en el subtrópico húmedo de Argentina. In: *Actas del XI Congreso Forestal Mundial*, 12-22 Oct 1997, Antalya, Turquía. Vol. 3, p. 65.
- Cabrelli D., S. Rebottaro, C. Rezzano. 2002. Interaction between water and light level: effect on the seedling survival of slash pine (*Pinus elliottii* Engelm. var. *elliottii*). In: Frochot, C. Collet, P. Balandier, H. (eds). *Popular Summaries Fourth International Conference on Forest Vegetation Management*. INRA-CEMAGREF, France, pp. 302-304.
- Cabrelli, D., S. Rebottaro y S. Cordeiro. 2008. Annual and seasonal variation of seedfall, seed viability, germination and survival of seedlings below canopy in slash pine stands. In: 15th Biennial Southern Silvicultural Research Conference, Hot Springs, Arkansas, USA. p. 50.
- Cabrera, A.L. 1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. Segunda Edición. Ed. Acme. Buenos Aires, Argentina. 85 p.
- Cain, M.D. 1987. Site-preparation techniques for establishing natural pine regeneration on small forest properties. *Southern Journal of Applied Forestry* 11(1):41-45.
- Cain, M.D. 1988. Competition impacts on growth of naturally regenerated loblolly pine seedlings. *Research Note SE-345*. USDA Forest Service, 5 p.

- Cain, M.D. 1991. Five-year response of natural loblolly and shortleaf pine regeneration to release treatments. General Technical Research Paper SO-265. USDA, Forest Service, 13 p.
- Cain, M.D. y J.P. Barnett. 1994. Five years field comparison of naturally regenerated *Pinus taeda* L. to genetically improved containers stock, with and without release. New Forest 8(2):123-141.
- Cain M.D. y M.G. Shelton. 2001b. Twenty years of natural loblolly and shortleaf pine seed production on the Crossett Experimental Forest in southeastern Arkansas. Southern Journal of Applied Forestry 25(1):40-45.
- Canham, C.D. 1989. Different responses to gaps among shade-tolerant tree species. Ecology 70(3):548-550.
- Chazdon, R.L. y N. Fetcher. 1984. Photosynthetic light environments in a lowland tropical rainforest in Costa Rica. Journal of Ecology 72:553-564.
- Coomes, D.A. y R.B. Allen. 2007. Effects of size, competition and altitude on tree growth. Journal of Ecology 95(5): 1084-1097.
- Cordeiro, S. 2004. Dinámica de la semilla de *Pinus elliottii* en el suelo como indicador del potencial de regeneración natural. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 22 p.
- Cozzo, D., D. Cabrelli, S. Cozzo, J. Darraidou, M. Dimitri, J. Gambini, C. Rezzano, M.R. Larrieu y A. Torres. 1988. Introducción a una propuesta de plantaciones asilvestradas como alternativa de transición entre la economía maderera y la conservación ambiental. Primeros resultados obtenidos en la Argentina en *Pinus elliottii* y *Pinus taeda*. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. 71 p.
- Daniel, P.W., U.E. Helms y F. Baker. 1982. Principios de silvicultura. 1a. Ed. español. Traducción Ramón Elizondo Mata. McGraw Hill. México. 492 p.
- De Bellis, S. 1986. Contribución para el estudio sobre la regeneración natural de *Pinus elliottii* - *taeda* en el Delta inferior del Paraná. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina, 26 p.
- Diaci, J. 2002. Regeneration dynamics in a Norway spruce plantation on a silver fir-beech forest site in the Slovenian Alps. Forest Ecology and Management 161(1):27-38.
- Duryea, M.L. 1987. Forest Regeneration Methods: natural regeneration, direct seeding and planting. Coop. Ext. Serv, Univ. Florida, Inst. Food and Agri. Sci. Cir. 759. 9 p.
- Gray, A.N. y T.A. Spies. 1996. Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. Journal of Ecology 84:635-645.
- Giuliani, A.V. 2001. Análisis del crecimiento de la regeneración natural de *Pinus elliottii* durante el tercer año desde su implantación en fajas silviculturales de distinto ancho con orientación este-oeste. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad Buenos Aires, Argentina, 28 p.

- HemiView. 1999. HemiView User Manual Version 2.1. Delta- T Devices, Ltd. Cambridge, UK.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) 1993. Carta de Suelos de Concordia, provincia de Entre Ríos. Argentina.
- Kramer, P.J. 1943. Amount and duration of growth of various species of tree seedlings. *Plant Physiology* 18(2):239-251.
- Langdon, O.G. 1981. Natural regeneration of loblolly pine: A sound strategy for many forest landowners. *Southern Journal of Applied Forestry* 5(4):170-176.
- Liu, J. y H.E. Burkhart. 1993. Dynamics of size-variable distribution parameters in juvenile loblolly pine (*Pinus taeda* L.) stands. *Forest Ecology and Management* 58(3-4):321-347.
- Lloyd, F.T., T.A. Waldrop y D.L. White. 1995. Fire and fertilizer as alternative to hand thinning in a natural stand of precommercial sized Loblolly pine. *Southern Journal of Applied Forestry* 19(1):5-9.
- Lombardi, C. 1982. Índice de crecimiento de especies en la provincia de Corrientes. *Revista Asociación Forestal Argentina* 26:19-31.
- Lohrey, R.E. y S.V. Kossuth. 1990. *Pinus elliottii* Engelm. slash pine. In: *Silvics of North America*. Vol. 1. Conifers. Edited by R. M. Burns and B. H. Honkala. U.S. Dep. Agric. Agric. Handb. 654. pp. 338-347.
- Mann, W.F. Jr. y R.E. Lohrey. 1974. Precommercial thinning of southern pines. *Journal of Forestry* 72(9):557-560.
- McCulley, R.D. 1950. Management of natural slash pine stands in the flatwoods of south Florida and north Florida. U.S. Dep. Agric. Circular N° 845.
- Méndez, H. 1996. Estudio de la estructura y composición de la hojarasca y su relación con el proceso de regeneración natural en plantaciones de *P. elliottii* Engelm. y *P. taeda* Lin., en la Mesopotamia Argentina. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 29 p.
- Mohler, C.L., P. L. Marks y D.G. Sprugel. 1978. Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. *Journal of Ecology* 66:599-614.
- Myers, G.P., A.C. Newton y O. Melgarejo. 2000. The influence of canopy gap size on natural regeneration of Brasil nuy (*Bertholletia excelsa*) in Bolivia. *Forest Ecology and Management* 127(1): 119-128.
- Nutto, L., P. Spathelf e I. Selling. 2006. Management of individual tree diameter growth and implications for pruning for brazilian *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. *Floresta* 36(3):397-413.
- Piva, A.A. 2002. Análisis del crecimiento de la regeneración natural de *Pinus elliottii* durante el tercer año desde su establecimiento en fajas silviculturales de distinto ancho con orientación nortesur. Tesis de Grado, Cátedra de Dasonomía, Facultad de Agronomía, Universidad Buenos Aires, Argentina. 33 p.
- Pukkala, T., T. Kuuluvainen y P. Oker-Blom. 1991. Predicting spatial distribution of direct radiation below forest canopies. *Agricultural and Forest Meteorology* 55(3-4):295-307.

- Rebottaro, S. y D. Cabrelli. 2007. Crecimiento y rendimiento comercial de *Pinus elliotii* en plantación y en regeneración natural manejada con raleos en Entre Ríos, Argentina. *Bosque* 28(2):152-161.
- Rebottaro, S., D. Cabrelli, C. Winckler y A. Torres. 1997. Efecto del raleo temprano (precomercial) sobre la regeneración natural de *Pinus elliotii* Engelm. establecida con posterioridad a la tala rasa. En: *Actas 2o. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano*. Asociación Forestal Argentina (eds). 13-15 Agos. 1997. Posadas, Misiones, Argentina.
- Rebottaro, S., D. Cabrelli, E. Rivero, D. Ceballo y E. Rienzi. 2004. Importancia del mantillo forestal de pinos subtropicales en suelos de baja fertilidad. XII Congreso Forestal Mundial. Comisión B4: Management and development of forests land. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/ARTICLE/WFC/XII/0369-B4.htm>
- Rezzano, C., E. Borodowski, A. Torres y A. Scopel. 1997. Dinámica de la caída de acículas y semillas en rodales de *Pinus elliotii* Engelm. con diferentes manejos silvícolas y su relación con el proceso de regeneración natural bajo dosel en la Mesopotamia Argentina. En: XI Congreso Forestal Mundial, 12-22 Oct 1997, Antalya, Turquía. Vol. 3, p. 158.
- Rezzano, C. 2004. Efecto de diferentes factores microambientales sobre la germinación y el establecimiento de la regeneración natural de pinos subtropicales en el área de la Mesopotamia Argentina. Tesis de Maestría, Escuela para Graduados, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. 89 p.
- SAS. Institute Inc. 2002. SAS/STAT. User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (S.A.G.y P.) 1999. El sector forestal argentino. S.A.G. y P. Buenos Aires, Argentina. 295 p.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 1992. Datos climáticos 1961-1990. EEA INTA Concordia, SMN, Fuerza Aérea, Argentina.
- Torres, A., D. Cabrelli, C. Winckler, S. Rebottaro y C. Rezzano. 1994. Evaluación preliminar de la regeneración natural de *Pinus elliotii* Engelm. en Gualeguaychú, provincia de Entre Ríos. *Rev. Fac. Agron.* 14(3):219-227.
- Verwer, C., M. Peña-Claros, D. van der Staak, K. Ohlson-Kiehn y F. J. Sterck. 2008. Silviculture enhances the recovery of overexploited mahogany *Swietenia macrophylla*. *Journal of Applied Ecology* 45(6):1770-1779.
- Wheeler, L., T.T. Ku y R.J. Clovin. 1988. The effects of silvicultural practices on soil water chemistry of southern pine forests. In: *Proceedings of the Fifth Biennial Southern Silvicultural Research Conference*. General Technical Research SE-74. USDA, Forest Service, pp. 473-476.
- Whitmore, T.C. 1989. Canopy gaps and two major groups of forest trees. *Ecology* 70:536-538.
- Zavala, M.A., O. Angulo, R.R. Bravo de la Parra y J. C. López-Marcos. 2007. An analytical model of stand dynamics as a function of tree growth, mortality and recruitment: The shade tolerance-stand structure hypothesis revised. *Journal of Theoretical Biology* 244(3):440-450.

- Zhu, J.J., T. Matsuzaki, F.G. Lee e Y. Gonda.
2003. Effect of gap size created by thinning on seedling emergency, survival and establishment in a coastal pine forest. *Forest Ecology and Management* 182(1-3):339-354.

Manuscrito recibido el 2 de septiembre de 2009
Aceptado el 04 de mayo de 2010

Este documento se debe citar como: Rebottaro, S. L. y D. A. Cabrelli. 2011. Regeneración natural de *Pinus elliottii* en claros silvícolas: dinámica poblacional durante siete años. *Madera y Bosques* 17(1):49-70.