

Análisis de la eficiencia de la silvicultura destinada a la obtención de madera libre de nudos en plantaciones de pino radiata en Chile

Efficiency analysis of clear forestry for Radiata pine plantations in Chile

MARIO MENESES¹, SERGIO GUZMAN²

¹ Instituto de Manejo Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile - E-mail: mmeneses@uach.cl

² Departamento Manejo Forestal, Forestal Mininco S.A., Los Canelos 79, Concepción, Chile.

SUMMARY

The efficiency of the implicit silvicultural process was analyzed in a sample of 30 stands. Efficiency was defined as the capacity of the process to produce a stand with a high potential of clear wood production for a given site, that is, a stand with a high PLI (Pruned Log Index). This was done firstly by visualizing the individual effects of pruning and thinning in the configuration of stand potential, and secondly by determining the combined effect of the interaction between these activities and the site in reaching a certain PLI level. This confirmed a high relation between records of stand management and their PLI. Appropriate silviculture recommendations were derived from the analysis to apply to each site type.

Key words: PLI, clear forestry, Radiata pine.

RESUMEN

Se analiza la eficiencia del proceso silvicultural implícito en una muestra de 30 rodales, entendiendo por eficiencia la capacidad del proceso para producir un rodal con alta potencialidad de producción de madera clear para un sitio dado, es decir, un rodal con alto PLI (Pruned Log Index). Para ello se procede, en primer lugar, a visualizar el efecto individual de podas y raleos en la configuración de la potencialidad de los rodales; y, en segundo lugar, a determinar el efecto conjunto de la interacción entre tales actividades y el sitio para alcanzar un cierto nivel de PLI, constatándose una alta relación entre las historias de manejo de los rodales y su PLI. Del análisis se derivan recomendaciones apropiadas de silvicultura a aplicar por clases de sitio.

Palabras claves: PLI, silvicultura clear, pino radiata.

INTRODUCCION

En Chile, a partir de la primera mitad de los años ochenta, se inicia masivamente la aplicación de regímenes silviculturales orientados a la producción de madera clear. A la fecha, se han podado sobre las 700 mil hectáreas con diversos esquemas y condiciones iniciales (Ortega 1998), generándose un heterogéneo panorama silvícola a nivel nacional. Hoy, cuando los primeros bosques podados están siendo cosechados, se visualiza una modesta producción de madera clear en relación a las expectativas creadas, surgiendo en consecuencia ciertas interrogantes respecto de la poten-

cialidad de estos bosques para producir madera clear.

Al respecto, el presente trabajo se plantea como objetivo analizar la potencialidad física de los bosques podados para producir madera aserrada clear larga, utilizando para ello un indicador que asocia estrechamente la calidad de la materia prima con la producción de este tipo de maderas. Se trata del PLI (Pruned Log Index), desarrollado por Park (1989a) como punto culmine de una larga línea de investigación orientada a la evaluación de los bosques podados en Nueva Zelandia, desde los primeros trabajos de Fenton y Sutton en la década de los setenta (Fenton y Sutton 1968, Fenton *et al.*

1972, Fenton 1977) y que ya en 1980 había generado el Grade Index (Park 1980) como indicador de calidad de trozas podadas.

El PLI es un indicador a nivel de troza, y expresa la potencialidad de ésta para producir madera aserrada clear a partir de variables medibles, independientemente de variables propias de las unidades industriales de procesamiento. De allí que el PLI presente una gran versatilidad de aplicaciones, tanto en el campo industrial como en el propiamente forestal (Park 1989b, Park 1989c, Park 1989d, Park 1994). En este último caso es factible determinar la potencialidad de producir madera clear a nivel de rodal, determinando un PLI representativo proveniente de una muestra de trozas de aquel rodal. Luego, en la medida que el rodal es portador de una historia de manejo, el PLI puede utilizarse para analizar tal historia en relación al objetivo de producción clear, siempre y cuando se demuestre asociación empírica entre el PLI e historia de manejo. En el presente trabajo este análisis se hace para tres clases de sitio, de forma tal de generar propuestas de silvicultura específicas para cada una de ellas.

METODOLOGIA GENERAL

La muestra. Se seleccionó una muestra global de 30 rodales podados (20 en edades sobre 14 años y 10 en edades entre 10 y 14), distribuidos por clases de edad, sitios y esquemas de poda (ver cuadros 3, 4 y 5). De cada rodal se extrajeron 10 árboles -distribuidos alrededor del diámetro medio del rodal- extrayéndose dos trozas (basal y superior) de 4 m de largo por árbol. Como resultado final de la aplicación de estos criterios se obtuvo una muestra compuesta de 550 trozas: 285 basales y 265 superiores.

Determinación del diámetro del cilindro con defectos (DCD). Para la determinación del DCD se utilizó la técnica de aserrío descrita por Park y Leman (1983). Cada troza fue aserrada con el mismo programa de corte (ver figura 1). Este consistió en la obtención de tablas de una pulgada de espesor, comenzando en una dirección determinada en el plano X hasta la aparición del primer nudo, y continuando en la dirección opuesta en el mismo plano, hasta nuevamente la aparición del primer nudo. Finalmente se aserró completamente la basa central (plano Y). Esta forma de aplicación

de la técnica de aserrío permitió medir con bastante exactitud el DCD en el plano Y, utilizando por tanto dicho plano para representar las variables a nivel de troza.

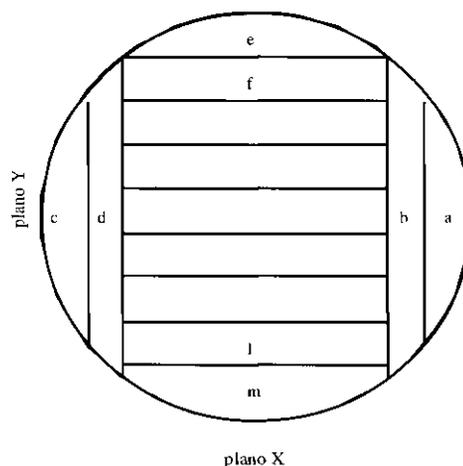


Figura 1. Esquema de aserrío utilizado en la medición del DCD.

Saw pattern used in the DC measurement.

Determinación del índice de troza podada (PLI). Previo al aserrío, en cada troza se registraron las variables necesarias para la determinación del PLI, según la formulación matemática desarrollada por Park (1989a):

$$PLI = ((D_{1.3} - DCD)/10)^{0.5} \times (D_{1.3}/DCD) \times (C_{vol}/L_{vol})^{1.6} \quad (1)$$

donde:

- DCD = diámetro del cilindro con defectos (mm)
- $D_{1.3}$ = diámetro de la troza sin corteza a 1.3 m desde el diámetro mayor (mm)
- C_{vol} = volumen de madera común en la troza (m^3 ssc)
- L_{vol} = volumen total de la troza, según Newton (m^3 ssc)

A nivel de rodal se utilizó como estimación el promedio aritmético del conjunto de trozas que conforman la muestra por rodal. Con el objeto de generar una base de comparación se determinó para todos los rodales un PLI a la edad de 26 años. El $D_{1.3}$ se obtuvo mediante proyección realizada por

CUADRO 1

Relación entre $D_{1,3}$, DCD y PLI de trozas básales y superiores por clase de PLI.

Relationship between $D_{1,3}$, DCD and PLI of basal logs and superiority per PLI class.

Clase PLI	N° rodales	$D_{1,3}$ (cm)		DCD (cm)		PLI (26 años)	
		T. basal*	T. sup.**	T. basal*	T. sup.**	T. basal*	T. sup.**
8+	1	42,7	33,8	18,0	19,1	8,3	4,8
7+	3	44,2	35,6	20,3	19,0	7,2	5,2
6+	4	41,8	33,0	20,2	19,9	6,6	4,1
5+	10	41,0	32,5	22,7	21,7	5,4	3,5
4+	8	37,9	30,0	22,6	21,5	4,4	2,8
2+ -3+	4	33,9	26,9	24,0	22,0	3,0	1,8

* T. basal, troza basal; ** T. sup. troza superior.

el *simulador radiata* a partir de las variables de estado actuales de los rodales; y el factor de forma C_{vol}/L_{vol} se obtuvo de la siguiente función estimadora (Interface Forest and Mill 1996):

$$C_{vol}/L_{vol} = 0.495 + 0.004 \times \text{EDAD} + 0.0006 \times \text{I.SITIO} \quad (2)$$

$(r^2 = 0.52; F = 31.59)$

Historias de manejo. Para cada rodal se consignó su historia de manejo en términos del régimen de raleos (edad e intensidad) y podas efectuados (edad y altura) durante su desarrollo. Las historias recogidas de los rodales representan diversas situaciones silvícolas, permitiendo analizar un amplio espectro de intensidades de intervención. Los regímenes silvícolas analizados se presentan en los resultados en los cuadros 3, 4 y 5.

EFFECTO DEL REGIMEN DE PODAS

El régimen de podas afecta el comportamiento y magnitud del diámetro del cilindro con defectos (DCD) y en alguna medida tiene influencia sobre el diámetro a la edad de cosecha, limitándolo más de lo conveniente en el caso de podas muy severas. La variedad de regímenes de poda que se en-

cuentran implícitos en la muestra de rodales analizados permite hacer recomendaciones sobre dos aspectos decisivos: altura de poda, edad y frecuencia de ellas¹.

Altura de poda. Es un hecho que la mayor potencialidad para producir madera clear se encuentra en la troza basal del árbol. Al comparar esta troza con la troza superior, se observa la enorme diferencia al respecto (ver cuadro 1). El PLI de la troza superior se sitúa en niveles relativos y absolutos muy bajos, debido exclusivamente a los pequeños diámetros finales que alcanzan estas trozas, ya que se consiguen DCD apropiados. A juzgar por el diámetro promedio de la troza a 1,3 m desde la base ($D_{1,3}$), gran parte de las trozas superiores alcanzan un diámetro menor inferior a 32 cm, que según la práctica neocelandesa es el mínimo requerido para aceptarla como troza apropiada para la producción de madera clear. Esta situación obviamente se agrava con edades de rotación inferiores a 26 años.

¹ Lamentablemente no se pudo controlar la variable número de árboles podados, que en muchos casos se aplica sólo a una parte de los árboles residuales de los raleos, incluso ni siquiera a todos los árboles de la cosecha final. Este es un antecedente que de alguna manera se debe tener en cuenta a la hora de analizar los resultados.

Por otra parte, la producción de madera clear en una segunda troza por árbol impacta negativamente esta producción en la troza basal, por el efecto que tiene la poda en el crecimiento diamétrico. Podas posteriores a las necesarias para producir sólo la troza basal podada retardan el crecimiento global del árbol, y especialmente el crecimiento en diámetro, sin compensar esta reducción con la formación de madera clear en la troza superior. Es en relación a estos antecedentes que se recomienda que la producción de madera clear se circunscriba sólo a la troza basal, restringiendo la poda a una altura no mayor a los 5,5 m.

Edad y frecuencia de las podas. Estas variables son fundamentales para controlar el DCD, y por tanto también el PLI, aunque en este último influyen también otros factores, que se relacionan con el diámetro de cosecha final. En el cuadro 2 se observa la alta asociación entre edad de la primera y segunda poda y el DCD. Los menores diámetros se logran con podas tempranas y frecuentes (5-6 años). Se aprecia el efecto negativo de atrasar la segunda poda un año (5-7 y 7-9 años). En estos casos el DCD sube considerablemente, en especial en sitios muy buenos en donde éste alcanza casi 4 cm más por el año de atraso de la poda (5-7 años en comparación con 5-6 años). También es bastante fuerte el aumento del DCD con podas atrasadas, sobre los 7 años.

CUADRO 2

Comportamiento del DCD y PLI según edad de la 1ª y 2ª poda.
Behavior of DCD and PLI according to age at the first and second pruning.

Edad 1ª - 2ª poda	Nº rodales	índice sitio	DCD (cm)	PLI 26 años
5-6	4	31,5	18,4	6,6
5-7	4	34,3	23,2	5,6
6-7/8	6	28,7	20,5	5,6
7-8	5	31,8	22,1	6,0
7-9	7	31,3	23,6	4,7
> 8	4	29,0	24,7	3,1

La relación con el PLI es un poco menos marcada, ya que como se dijo en éste influyen además otras variables. Sin embargo, la tendencia delineada anteriormente se mantiene, y en general el PLI disminuye en la medida que el DCD aumenta.

EFFECTO DEL REGIMEN DE RALEOS

El régimen de raleos es determinante en el tamaño del diámetro a la edad de cosecha del rodal, siendo su objetivo lograr el mayor diámetro posible. Contrariamente a lo que ocurre con los regímenes de poda, en este caso no se dispone de una batería adecuada de regímenes, como para discutir ampliamente el problema. En general se trata de esquemas de raleos similares, especialmente en lo que respecta al segundo raleo, en el cual su realización se encuentra supeditada comercialmente. En la muestra de rodales se observó una tendencia muy general del diámetro final en relación a la edad del segundo raleo y de la densidad final: 14 rodales con diámetro final (a los 26 años) entre 30 y 40 cm (35,7 promedio) presentaron una densidad promedio de 345 árboles/ha y una edad promedio del primer raleo de 14,4 años; y 16 rodales con diámetro entre 41 y 48 cm (43,2 cm promedio) presentaron valores medios de 268,1 árboles/ha y 12,8 años respectivamente. En la actualidad se promueven raleos más tempranos, cuestión que no es posible discutir con la información generada a partir de la muestra de rodales bajo análisis. No obstante, cuando se analiza el régimen silvicultural en su conjunto se vislumbra el efecto de esto.

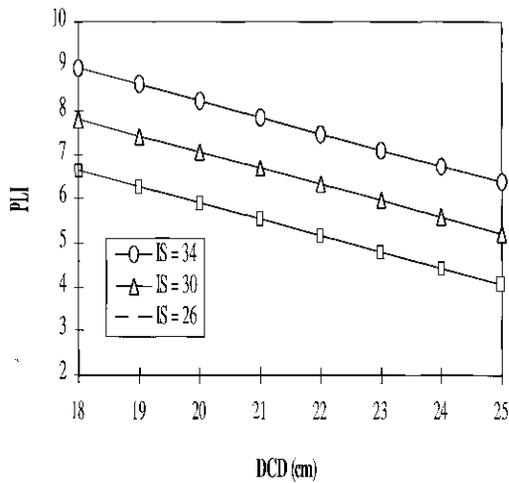
ANALISIS DE LA EFICIENCIA SILVICOLA

Como quedó en evidencia en los puntos anteriores, existe una estrecha relación entre las podas y raleos que se aplican a un rodal y la potencialidad de éste para producir madera clear. En general se detecta que esta producción se potencia con la aplicación de podas tempranas y frecuentes (DCD pequeños) y raleos también tempranos (diámetros finales altos). La forma en que estas actividades silvícolas se combinan (esquema silvicultural) y definen una cierta potencialidad de producción de madera clear se plantea en la siguiente ecuación:

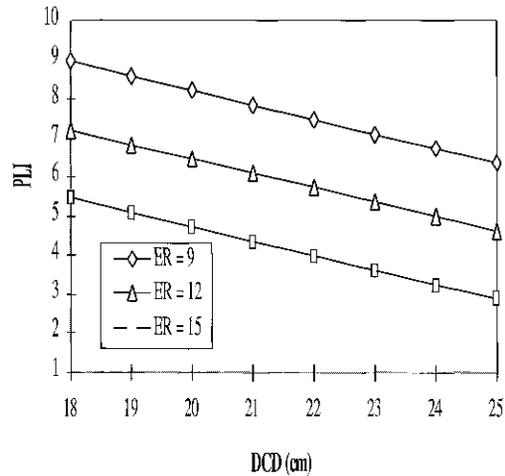
$$\begin{aligned}
 \text{PLI} = & (12.796 + 0.289 \cdot \text{IS}) \\
 & - (0.369 \cdot \text{DCD} + 0.212 \cdot \text{EDAD}_{1\text{er raleo}} + \\
 & 0.197 \cdot \text{EDAD}_{2\text{do raleo}} + 0.014 \cdot \text{NHA}_{\text{final}}) \quad (3) \\
 & r^2 = 0.86; n = 29
 \end{aligned}$$

La estructura de esta función expresa, en primer lugar, la importancia del sitio en la potencialidad del rodal para producir madera clear, y, en segundo lugar, que para una potencialidad dada ($12,796 + 0,289 \cdot IS$) su realización depende de un factor resultante del esquema silvícola, tanto de las podas ($0,369 \cdot DCD$) como de los raleos aplicados ($0,212 \cdot EDAD_{1er\ raleo} + 0,197 \cdot EDAD_{2do\ raleo} + 0,014 \cdot NHA_{final}$). La ecuación confirma el comportamiento de la relación entre PLI y silvicultura: altos PLI se logran en buenos sitios y con un régimen de podas y raleos tempranos que minimicen el DCD y maximicen el diámetro de cosecha final. Esta relación se muestra gráficamente en la figura 2.

Empíricamente, la relación global que expresa la ecuación de PLI se ilustra con meridiana claridad en el comportamiento de los rodales muestra, en los cuales se basa dicha función. En los cuadros 3, 4 y 5 se ilustra este comportamiento clasificando el sitio en tres categorías: buena, media y mala. Una primera mirada a dichos cuadros permite plantear que: a) en los sitios definidos como buenos y medios se logran en general altos PLI, pero también que una cierta proporción importante de rodales no alcanza un PLI de 5,5² a los 26 años; y b) en los sitios definidos como malos no se logran PLI adecuados.



a)



b)

Figura 2. Comportamiento del PLI según: a) DCD e índice de sitio (edad raleos: 5, 12; $NHA_{final}=300$); y b) DCD y edad segundo raleo ($IS = 34$; $EDAD_{1er\ raleo} = 5$; $NHA_{final} = 300$).

Performance of PLI according to: a) DC and site index; and b) DC and age second thinning.

Un análisis más detallado revela que en los sitios buenos y medios la obtención de PLI bajos se debe exclusivamente a las características de los esquemas silviculturales aplicados.

Sitios de alta calidad ($IS \geq 32 m$). En estos sitios (cuadro 3) el PLI más alto se alcanza en el rodal A-1, en donde se aplicó un esquema silvícola consistente en podas tempranas y frecuentes y un primer raleo también temprano. Con ello se obtuvo un DCD bajo y un diámetro final no muy alto. Como consecuencia este rodal logró un PLI de 8,3 y una edad mínima de corta a los 22 años, donde su PLI llegó a 6,7. En los demás rodales el PLI

baja considerablemente, y ello principalmente por tres motivos: podas atrasadas y con intervalos mayores a un año, raleos atrasados y altas densidades finales. Su efecto se verá mejor analizando estos rodales en dos subgrupos: aquellos con $PLI \geq 5,5$ y aquellos que no alcanzan dicho valor.

² Este PLI corresponde al mínimo esperado en Nueva Zelanda para obtener resultados satisfactorios desde bosques podados (Interface Forest and Mill 1996). Complementariamente, en su escala de calidad de trozas podadas, Park (1989d) considera un PLI de 8 como muy bueno y de 10 como excelente.

CUADRO 3

Potencialidad de producción de madera clear en sitios buenos (IS \geq 32 m).Potential of clear wood production on good sites (IS \geq 32 m).

Rodal	Indice sitio (m)	Edad PLI \geq 5,5	PLI 26 años	DAP Edad PLI \geq 5,5 (cm)	DCD (cm)	Edad podas	Raleos edad NHA
A-1	33,9	22	8,3	38,9	18,0	05-06-07-08-09-10	05-13 683-300
A-2	33,4	22	7,0	42,4	21,4	06-07-08	06-11 675-300
A-3	33,2	22	6,6	42,3	22,0	07-08-10	07-11 647-300
A-4	35,4	24	5,9	42,6	23,6	07-08-09	07-12 543-314
A-5	33,2	26	5,7	38,0	19,9	05-07-09	7-12-16 7-470-318
A-6	36,8	26	5,5	47,7	27,9	05-07-09	08-13 674-279
A-7	36,0	26	5,5	39,6	21,8	05-07-08	12-15 425-315
A-8	32,4	26	5,5	42,0	23,0	05-07-09	05-12 594-303
A-9	33,2	28	5,2	42,9	24,1	07-09-11	08-12 487-252
A-10	33,4	30	5,0	36,3	19,5	05-06-07-09	05-13 790-408
A-11	32,6	30	5,0	42,7	23,9	07-09-11	08-12 487-252
A-12	32,1	NA	4,5	38,9	22,5	07-08-09-10	07-14 647-349
A-13	34,1	NA	4,0	36,6	22,6	09-11	10-14 740-300
A-14	32,8	NA	2,8	43,1	32,4	10	10-13 568-236

NA: no se alcanza un PLI de 5.5 a los 30 años (en estos casos el DAP es a los 30 años).

?: Desconocido.

En la última situación se encuentran seis rodales, en los cuales se ilustra con claridad el efecto combinado de los motivos recién mencionados. Exceptuando el rodal A-10, todos los demás tienen una primera poda atrasada (7 años) o muy atrasada (9 y 10 años), y consecuentemente altos DCD³. Además de esta primera poda atrasada, la segunda se efectúa con un intervalo de dos años, excepto en el rodal A-12, el cual efectivamente logra un DCD más bajo que sus homólogos, pero por el régimen de raleo aplicado (segundo raleo tarde) no logra un buen diámetro final. Este efecto del raleo también puede apreciarse en el rodal A-10 que sí tiene un régimen de podas adecuado, logrando un DCD bajo, pero como el régimen de raleos se caracteriza por sus altas densidades finales y oportunidad del segundo raleo más bien atrasada para su potencialidad, llega a un diámetro final de tan sólo 36 cm a los 30 años.

³ Comentario aparte merece el rodal A-14 al cual se le aplicó un tratamiento de shock, que en algún momento se recomendó como buen tratamiento a aplicar en rodales pasados. Se logra un DCD muy alto y un diámetro final muy bajo. Consecuentemente se obtiene un PLI reducido, el más bajo de los 30 rodales de la muestra, incluyendo todos los rodales de los sitios inferiores a 29 m (ver cuadro 3).

Por otra parte, los rodales que alcanzan un PLI de 5,5 y más a los 26 años presentan en general esquemas de poda un tanto mejores. Aquí existen cuatro rodales con PLI entre 5,5 y 5,7. En éstos, tal PLI se forma por efectos diversos: en un caso (rodales A-5 y A-7) DCD relativamente bajos, pero con diámetros finales también relativamente bajos; y en el otro caso (rodales A-4 y A-6) por altos DCD, aun cuando se logren diámetros finales adecuados. En ambas situaciones el factor discriminante es la oportunidad de los raleos: raleos (primero y segundo) bastante atrasados y raleos no tan atrasados. En los restantes cuatro rodales con PLI altos (entre 5,9 y 8,3), las podas tienen frecuencias anuales. El atraso de la primera poda en tres de ellos se deja ver en que el PLI disminuye en más de un punto respecto del mejor rodal; y ello atenuado por el logro de un alto diámetro final (en relación al rodal A-1), explicable tal vez por la oportunidad del segundo raleo (11 años) y porque es probable que el primer rodal esté sobrepodado. Ello permite pensar que en estos sitios se podría obtener una producción de madera clear mayor que la sugerida por el PLI de 8,3.

Sitios de calidad media ($32\text{ m} > IS \cong 29\text{ m}$). En los sitios medios (cuadro 4), como es natural, se detecta una situación con menor potencial de producción de madera clear, aun cuando en términos relativos un mayor número de rodales alcanza el PLI mínimo de 5,5 a los 26 años. Concretamente, seis rodales alcanzan esta condición. Esto se explica fundamentalmente por DCD más bien bajos, cuestión más fácil de lograr en sitios de menor productividad. De allí que ello se logre con esquemas de poda más tardíos y menos frecuentes que en los buenos sitios. Aquí un esquema de poda *a tiempo* genera un DCD de tan sólo 17.1 cm (rodal B-5) y un diámetro final también bastante bajo, de apenas 35 cm a los 24 años. En este rodal, a la baja productividad del sito se suma la alta densidad final del rodal. Los demás rodales, exceptuando el B-2, alcanzan buenos PLI debido principalmente a la baja densidad final, entre 200 y 260 árb/ha. En estos sitios es probable que un buen esquema de manejo esté ejemplificado en el rodal

B-2, el cual logra un PLI igual a 7 con una densidad final de 320 árb/ha.

En estos sitios medios, cinco rodales no alcanzan el PLI mínimo que se está usando como referencia. En todos ellos el esquema de poda es similar: una primera poda a los 7 años y una segunda a los 9 años. Con ello se logran DCD relativamente altos, excepto en el rodal B-9, el cual por alguna razón (desconocida) no logra desarrollos diamétricos adecuados: 35,7 cm a los 30 años. Su bajo DCD se debe básicamente a ello.

Sitios de mala calidad ($IS \cong 29\text{ m}$). En estos sitios la situación es completamente desfavorable a la producción de madera clear. Ningún rodal alcanza el PLI mínimo, ni siquiera a los 30 años. La razón radica exclusivamente en la baja productividad y no en los esquemas de manejo aplicados. Los DCD son preferentemente bajos, al igual (y esto es lo que define la situación) que el diámetro final. Se trata de rodales con un crecimiento anual medio de 1 a 1,3 cm.

CUADRO 4

Potencialidad de producción de madera *clear* en sitios medios ($32\text{ m} > IS \cong 29\text{ m}$).
Potential of clear wood production on average sites ($32\text{ m} > IS \cong 29\text{ m}$).

(Predio) rodal	Indice sitio (m)	Edad PLI $\cong 5,5$	PLI 26 años	DAP Edad PLI $\cong 5,5$ (cm)	DCD (cm)	Edad podas	Raleos edad NHA
B-1	29,9	22	7,6	41,2	20,6	06-08-09-10	06-12-15 789-444-197
B-2	29,3	22	7,0	38,7	19,0	05-06-08	05-11 572-320
B-3	30,7	22	6,9	39,3	20,4	07-08-09-10	07-13 633-260
B-4	30,2	24	6,6	41,6	21,1	06-08	06-12-15 7-400-253
B-5	31,3	24	6,2	35,0	17,1	05-06-07-08-10	05-11 720-479
B-6	29,4	26	5,9	42,3	21,8	07-08-10-11	07-13-15 572-382-236
B-7	31,6	30	5,1	39,5	21,3	07-09	08-14 664-371
B-8	31,4	NA	4,8	43,2	24,8	07-09-11	09-12-14 857-427-231
B-9	31,7	NA	4,6	35,7	19,9	07-09-10	07-14-16 825-524-367
B-10	30,3	NA	4,3	40,9	24,6	07-09	7 400
B-11	30,3	NA	4,1	42,9	26,4	07-09	07-13 700-257

NA: no se alcanza un PLI de 5.5 a los 30 años (en estos casos el DAP es a los 30 años).
?: Desconocido.

CUADRO 5

Potencialidad de producción de madera *clear* en sitios malos (IS < 29 m).
Potential of clear wood production on bad sites (IS < 29 m).

(Predio) rodal	Indice sitio (m)	Edad PLI $\geq 5,5$	PLI 26 años	DAP Edad PLI $\geq 5,5$ (cm)	DCD (cm)	Edad podas	Raleos edad NHA	
C-1	25,8	NA	4,6	38,2	20,8	06-07-09-11	06-13	492-254
C-2	27,2	NA	4,5	35,8	19,5	06-08-10-11	06-12-15	807-460-303
C-3	28,6	NA	3,3	31,2	19,7	06-08	11-15	523-400
C-4	27,6	NA	3,0	35,2	23,5	09-11	10-18	508-238
C-5	23,8	NA	2,9	31,1	18,2	08-09-11	08-13	741-340

NA: No se alcanza un PLI de 5.5 a los 30 años (en estos casos el DAP es a los 30 años).

De lo visto más arriba se desprende que, en primer lugar, la producción de madera *clear* debe concentrarse en sitios medios y buenos, es decir, más o menos en sitios con índices sobre 29 m. Según la función para estimar el PLI a los 26 años, el sitio límite para alcanzar 5,5 -para un esquema de podas que genere un DCD de 21 cm, un raleo inicial junto con la primera poda a los 5 años, un segundo raleo a los 10 años y una densidad final de 350 árboles- es de 29 metros. Por ejemplo, un sitio de 26 para ese manejo genera un PLI de 4,6 a dicha edad.

En segundo lugar, se deducen ciertas diferencias en los esquemas silviculturales en los sitios buenos y en los sitios medios. En el primer caso, el DCD es de difícil control. Para ello se recomiendan podas tempranas y frecuentes. La primera poda alrededor de los 5 años, esto es, cuando el rodal alcanza un diámetro de los 350 individuos que quedarán para la cosecha final de alrededor de 12 cm. La segunda y siguientes podas deben ser realizadas con una periodicidad no mayor a un año, especialmente la segunda. En los sitios muy buenos, un año para la segunda poda es mucho tiempo. Por otra parte, con objeto de obtener un alto crecimiento en diámetro se debe evitar la sobre poda. Esto implica podas de baja severidad, inferior al 50% de la copa viva, y no sobrepasar una altura final de poda de más de 5,5 m. Pero aquí lo fundamental es el régimen de raleos: el primer raleo se debe realizar junto con la primera poda, y el segundo raleo cuando ocurre el cierre de copas, que en los buenos sitios debe suceder

antes de los 10 años. Respecto de la densidad final, los datos indican que se puede alcanzar un buen PLI con alrededor de 300 a 350 árb/ha. En los sitios medios la situación es bastante parecida. Las podas pueden espaciarse un poco más, al igual que el primer y el segundo raleo.

Ejemplos de regímenes parecidos a los que se describen en el párrafo anterior serían el rodal A-1 en los sitios buenos y el rodal B-2 en los sitios medios. El primero alcanza un PLI de 8,3, que muy probablemente podría ser superior si se disminuye la severidad de las podas y la altura final que alcanza a 7,9 m.

A la luz de este resultado, es factible pensar en una potencialidad para los sitios buenos definida en torno a un PLI de alrededor de 9-10 a los 26 años. El segundo rodal alcanza un PLI de 7, y dadas las características del manejo aplicado, se plantea éste como un buen valor para definir la potencialidad de los sitios medios. Es en relación a estos PLI que se debe analizar la *performance* del proceso silvícola en la producción de rodales con potencialidad de producir madera *clear*. Y, como se aprecia, en la mayoría de los rodales se estuvo lejos de alcanzar tal potencialidad.

CONCLUSIONES

- Existe una alta relación entre el PLI de un rodal a una edad determinada (26 años en este caso) y el régimen de podas y raleos aplicados en un sitio dado, obteniéndose para los rodales mues-

tra una buena relación ($r^2 = 0,86$) en base a las siguientes variables: índice de sitio, DCD, edades del primer y segundo raleo y número final de árboles por hectárea. La estructura de la función resultante expresa la potencialidad de producir madera clear, como la diferencia entre la potencialidad del sitio y un factor determinado en función del régimen silvícola aplicado. En consecuencia, resulta enteramente adecuado utilizar el PLI como herramienta de análisis de la silvicultura clear.

- b) Empíricamente, esta relación se manifiesta nítidamente en la muestra de los 30 rodales analizados. En los sitios buenos (≥ 32 m) se distribuyen 14 rodales, alcanzándose un amplio rango de PLI, que va desde rodales con PLI de 8,3 hasta 2,8. Su análisis revela que tal diferencia se debe exclusivamente a los regímenes silviculturales aplicados. En los sitios medios (≥ 29 y < 32 m) se aprecia algo similar. Aquí se distribuyen 11 rodales con PLI entre 7,6 y 4,1. Estos resultados además demuestran que tanto en los sitios buenos como en los medios existe una subutilización del sitio, como consecuencia de la aplicación de regímenes silviculturales inadecuados. En los sitios buenos, aproximadamente el 43% de los rodales no alcanzó un PLI mínimo de 5,5. En los sitios medios esto ocurrió con el 45% de los rodales. Por otra parte, los resultados obtenidos en los sitios malos (< 29 m) -en donde cinco rodales logran PLI menores a 4,6- corroboran la apreciación de no dedicar estos sitios a la producción de madera de alta calidad.
- c) Finalmente, con regímenes silvícolas apropiados es factible alcanzar altos PLI: en los sitios buenos PLI del orden de 9-10 y en los sitios

medios del orden de 7. Para ello, la silvicultura debe caracterizarse por la aplicación de podas tempranas y frecuentes (5-6-7 años) y raleos a tiempo (el primero junto con la poda y el segundo alrededor de los 10 años), y una densidad final de alrededor de 300 a 350 árboles/ha, considerando variaciones en la intensidad de la aplicación entre ambos tipos de sitios. Rodales en donde se aplicaron regímenes con estas características, alcanzaron un PLI de 8,3 en los sitios buenos y de 7 en los sitios medios.

BIBLIOGRAFIA

- FENTON, R. 1977. "Pruning results from 2.44-, 4.27-, and 5.49-, m pruned 19-year-old radiata pine", *N.Z.J. For. Sci.* 7 (2): 216-39.
- FENTON, R., W. SUTTON. 1968. "Silvicultural proposal for radiata pine on high quality sites", *N.Z.J. For. Sci.* 13 (2): 220-8.
- FENTON, R., W. SUTTON, J. TUSTIN. 1972. "Clearwood yields from tended 26-year-old, second-crop, radiata pine", *N.Z.J. For. Sci.* 1 (2): 140-59.
- INTERFACE FOREST AND MILL. 1996. Analyses and projections of pruned sawlog quality 30 stands of Forestal Mininco. Concepción.
- ORTEGA, A. 1998. Antecedentes técnicos proyecto Disponibilidad de Madera de Plantaciones. Centro Experimental Forestal, UACH. Valdivia.
- PARK, J. 1989a. "Pruned log index", *N.Z.J. For. Sci.* 19 (1): 44-53.
- PARK, J. 1989b. "Comparison, via the seesaw simulator, of three sawing systems for pruned logs", *N.Z.J. For. Sci.* 19 (1): 54-67.
- PARK, J. 1989c. "Applications of the seesaw simulator and Pruned Log Index to pruned resource evaluations - A case study", *N.Z.J. For. Sci.* 19 (1): 68-82.
- PARK, J. 1989d. "Classing pruned logs and benchmarking sawmill recoveries", *N.Z.J. For. Sci.* 19 (1): 83-96.
- PARK, J.C. 1994. "Evaluating pruned sawlog quality and assessing sawmill recoveries in New Zealand", *For. Prod. Jour.* 44 (4): 43-52.
- PARK, J., C. LEMAN. 1983. A sawing study method for evaluating timber from pruned logs. FRI Bulletin 47, New Zealand.