

# DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD DE MASAS DE PINO RADIATA EN EL PAÍS VASCO

L.M. Chauchard <sup>1</sup> y M. Olalde Fernández <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional del Comahue . Departamento Forestal - Administración de Parques Nacionales. 8370-SAN MARTÍN DE LOS ANDES (Argentina). Correo electrónico: chauchard@smandes.com.ar

<sup>2</sup> IKT SA. Apdo 46. 01080-VITORIA (País Vasco-España). Correo electrónico: molalde@ikt.es

## Resumen

A partir de alguna de las relaciones entre variables relacionadas con el tamaño y la densidad de los rodales es posible construir los llamados Diagramas de Manejo de la Densidad (DMD), que permiten planificar y describir cuantitativamente las interrelaciones entre producción, densidad y mortalidad en varias etapas del desarrollo del rodal. Con el fin de desarrollar los DMD para *Pinus radiata* se vincularon las variables Diámetro medio cuadrático y Número de pies, medidas en rodales sin intervenciones, con ello se determinó el nivel de máxima competencia y el Índice de densidad del rodal (IDR) y se estableció un algoritmo para la planificación selvícola. Las variables estudiadas mostraron un comportamiento lineal que permitió expresar el nivel de máxima densidad a través de una función lineal logarítmica. El IDR máximo promedio resultó ser de 1.274. El proceso de planificación selvícola se ejemplificó a través de una aplicación práctica.

Palabras Claves: *Pinus radiata*, Selvicultura, Índice de densidad, Producción

## INTRODUCCIÓN

La determinación de las densidades máximas promedios que puede alcanzar un rodal a lo largo de su vida se puede transformar en una útil herramienta para el diseño de la selvicultura que permita lograr los objetivos de la gestión. Normalmente estas densidades son alcanzadas en bosques sin intervenciones, donde la masa se encuentra en un grado tal de competencia, que el crecimiento de la misma puede ocurrir a expensas de la muerte de una proporción de sus individuos.

El grado de competencia del rodal es común expresarlo a través de índices de densidad que vinculan variables sobre el tamaño y la densidad del mismo. Algunas de estas relaciones cuantitativas son derivadas de estudios ecológicos concernientes a la competencia intraespecífica,

como es el caso de la Ley del Autoaclareo o Regla de los  $-3/2$  (YODA et al., 1963; CHAUCHARD et al., 1999). Esta ley biológica trata de explicar la mortalidad en poblaciones regulares bajo competencia extrema y en todos sus casos se parte de funciones que vinculan linealmente una variable relacionada con el tamaño y otra con la densidad del rodal.

A partir de alguna de estas relaciones es posible construir los llamados Diagramas de Manejo de la Densidad (DMD), que permiten planificar y describir cuantitativamente las interrelaciones entre producción, densidad y mortalidad en varias etapas del desarrollo del rodal.

Los DMD son modelos simples de dos parámetros, aunque existen otros que incluyen un mayor número de éstos, mejorando su utilidad en la predicción (LONG & MCCARTER, 1984;

CHAUCHARD et al., 2001). En su forma más básica constituyen un par de ejes coordenados a escala logarítmica en donde se representa la relación entre dos variables, una relacionada con el tamaño del rodal y la otra con la densidad. A partir de esta relación es posible ir planificando sobre el diagrama la selvicultura del rodal, permitiendo su cuantificación.

Poseer información sobre las densidades máximas promedios de rodales regulares permite establecer sobre los *DMD* las llamadas zonas de manejo, que constituyen fajas de densidades relativas en las cuales se debe gestionar el mismo para el logro de determinados objetivos productivos. Estas zonas se establecen como un porcentaje de las densidades máximas promedios (CHAUCHARD et al., 2001).

Los *DMD* son un atractivo mecanismo para la planificación selvícola porque le permite al técnico fijar una meta productiva y entonces seleccionar las combinaciones de espaciamiento inicial y claras que permitirían alcanzar el objetivo (CAMERON, 1988). A través de la implementación de tales modelos el selvicultor puede predecir producciones futuras para varias condiciones de densidad y así determinar si los objetivos productivos pueden ser alcanzados bajo una intensidad de manejo dada (NEWTON, 1987).

En una investigación iniciada en 1999 sobre el crecimiento y la producción de las repoblaciones de *Pinus radiata* D. Don en el País Vasco (CHAUCHARD, 2001), se realizaron los estudios para conocer el comportamiento de algunas variables relacionadas con el tamaño y la densidad del rodal, bajo competencia intraespecífica extrema de estas masas. El estudio se realizó a partir de vincular las variables Diámetro medio cuadrático (*Dg*) y Número de pies por hectárea (*N*) del rodal y con ello se analizó si las densidades máximas de las repoblaciones presentan cierta linealidad en correspondencia con la conocida Ley del Autoaclareo.

En la actualidad el proyecto continúa con el desarrollo y perfeccionamiento de las herramientas para la predicción de la producción, una de las cuales es a partir de los citados diagramas de manejo de la densidad.

## Finalidad

Desarrollar herramientas para predecir la producción de masas de *Pinus radiata* bajo diferentes selviculturas o intensidades de manejo.

## Objetivo

Desarrollo de los Diagramas de Manejo de la Densidad por aplicación de relaciones de máxima densidad entre variables relacionadas con la producción y la densidad de los rodales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En un estudio precedente (CHAUCHARD, 2001) con el fin de establecer el espacio de crecimiento de las repoblaciones de *Pinus radiata* en el País Vasco, se volcaron en un gráfico de escala logarítmica las variables Diámetro medio cuadrático y Número de pies por hectárea de distintos rodales. La fuente de datos provino de 602 parcelas del Inventario Forestal del País Vasco medidas en 1996, las tablas de producción normales de ECHEVERRÍA (1942) y 38 parcelas instaladas en la provincia de Guipúzcoa. Con los datos tamaño-densidad volcados en el gráfico se trazó de forma subjetiva la línea de máxima densidad y se cuantificó la relación funcional entre ambas variables. A partir de esta relación se obtuvo para la especie el Índice de Densidad del Rodal (*IDR*), índice establecido a partir de los estudios de REINEKE (1933).

La expresión funcional utilizada es la siguiente:

$$\begin{aligned} \log N &= 5,345 - 1,57 \log Dg \\ N &= 221.309,5 Dg^{-1,57} \end{aligned} \quad (1)$$

De la relación (1) y en referencia a un Diámetro medio cuadrático de 25 cm, se obtiene la expresión del *IDR*, que queda de la siguiente manera:

$$I.D.R. = N \left( \frac{Dg}{25} \right)^{1,57} \quad (2)$$

Obtenida la línea de máxima densidad ya se está en condiciones de construir el *DMD*, en el cual se pueden trazar, además de la línea de referencia superior, la línea de referencia inferior o

de inicio de la competencia y líneas inferiores paralelas a la superior, que representen un porcentaje de la densidad máxima.

Para realizar una comprobación de la relación obtenida en el estudio anterior, se instalaron parcelas en rodales que no habían sido intervenidos por claras y que cubrieran el rango de calidades de estación, y se graficaron sus parámetros de Diámetro medio cuadrático y Número de pies/ha junto a la línea de máxima densidad dada por la función (1). La finalidad fue confrontar gráficamente la ubicación y la pendiente de dicha relación contra los datos de densidades observadas en las nuevas parcelas sin intervención. Para realizar la confrontación analítica se ajustó por regresión lineal la función (1) con dichos datos observados, obteniendo nuevos valores para los coeficientes. La función ajustada y considerando su simpleza, fue evaluada a través del Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ), del Análisis de los Residuales (ANARE) y del análisis gráfico de la bondad del ajuste.

Para demostrar la aptitud de la función ajustada se volcó la nueva línea de máxima densidad con el conjunto de datos disponibles sin incorporar los nuevos utilizados en el ajuste, realizando una evaluación meramente gráfica.

Respecto de la línea de referencia inferior o de inicio de la competencia entre los individuos del rodal fue determinada anteriormente para *P. radiata* por CHAUCHARD Y OLALDE (2003), estudiando en árboles de crecimiento libre de competencia la relación entre el área de ocupación de la copa y el diámetro normal. Este límite inferior es aquel que establece la densidad relativa del rodal regular por encima del cual los individuos del mismo comienzan a competir por el espacio de crecimiento.

La secuencia para desarrollar cuantitativamente los regímenes de manejo se establecieron de la siguiente manera:

Se define el número de pies ( $N$ ) y el valor del  $IDR$  con el que el rodal llega a la primera clara e inicia el proceso de simulación; con estas dos variables se calcula el Diámetro medio cuadrático ( $Dg$ ), despejándolo de la fórmula (2). Posteriormente se está en condiciones de calcular el área basimétrica ( $G$ ) de partida del rodal. Estos parámetros constituirían los valores previos a la clara, para obtener los parámetros pos-

teriores a la aplicación de la clara se debe establecer el tipo de clara a través del Índice de Corta expresado en área basimétrica (fórmula 3), de cuya fórmula se despeja el área basimétrica de la clara ( $G_c$ ), la cual luego es restada del área basimétrica pre-corta para obtener la correspondiente post-clara ( $G_d$ ).

$$IC_g = \frac{g_c}{g_a} = \frac{G_c/N_c}{G_a/N_a} \quad (3)$$

Donde:

$IC_g$ : Índice de Corta expresado en área basimétrica.

$g_c$ : Área basimétrica promedio de la clara.

$g_a$ : Área basimétrica promedio antes de la clara (pre-clara).

$G_c$ : Área basimétrica de la clara [ $m^2/ha$ ].

$G_a$ : Área basal del rodal pre-clara [ $m^2/ha$ ].

$N_c$ : Número de pies de la clara.

$N_a$ : Número de pies del rodal pre-clara.

Como  $N_c = N_a - N_d$ , siendo  $N_d$  el número de pies post-clara, se puede reemplazar esta expresión en (3) y luego despejar  $G_c$ .

Una vez obtenidos los parámetros básicos del rodal, antes y después de cada clara, la estimación de los volúmenes de corta y de la producción total del régimen se realiza con adecuadas funciones de salida.

## DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se identificaron 19 masas que no tuvieran signos y registros de haber recibido claras anteriores, las que fueron cuantificadas a través de las parcelas instaladas en cada una. Las mismas cubrieron edades entre los 10 y 45 años y calidades de estación entre mala a superior (Índices de Sitios de 18 a 31 metros – Altura dominante a los 25 años según CHAUCHARD Y OLALDE, 2003).

Al confrontar en un gráfico de escala logarítmica los datos  $Dg-N$  de los nuevos rodales contra la línea de máxima densidad (función 1), se observó que la pendiente de la función presentaba una discrepancia respecto de los nuevos datos. Por ello se ajustó la función (1), ahora con los nuevos datos de máxima densidad, obteniendo la función (4), que logra explicar más del 98 % de la variabi-

lidad y cuya buena bondad gráfica se puede apreciar a través de la figura 1. En el ANARE no se observaron anomalías en la dispersión.

$$\begin{aligned} \log N &= 5,75992 - 1,89909 \log Dg \\ N &= 575.333,95 Dg^{-1,89909} \quad (4) \\ R^2 &: 98,6\% \end{aligned}$$

En la figura 1 se presentan las dos líneas de máxima densidad pudiendo observarse la mejor aptitud de la línea obtenida de la función (4). Para demostrar esto se volcó la nueva línea de máxima densidad con el conjunto de datos disponibles previamente, confirmando su buen desempeño para expresar la máxima densidad promedio de las repoblaciones de *Pinus radiata* (Figura 2).

Una consideración particularmente importante respecto a la ubicación y pendiente de la función que exprese la máxima densidad, tiene que ver con su utilización posterior para la simulación de la mortalidad natural y la planificación de la producción total de determinado régimen selvícola. Efectivamente si la línea de referencia superior no guarda relación con las densidades máximas promedios reales, se corre el riesgo de estar dejando crecer el rodal a niveles de población muy elevados o aun peor, inalcanzables y con ello estar sesgando la estimación de las densidades y la producción.

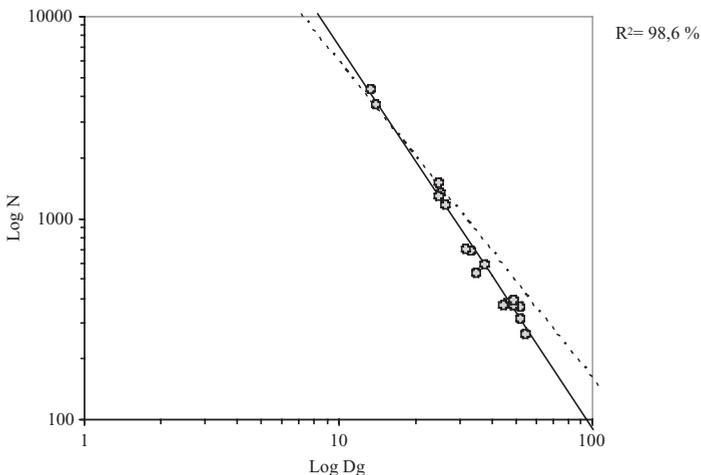
De acuerdo a los resultados obtenidos el IDR máximo promedio es de 1.274, mientras que el anterior ascendía a 1.430. Ambos números estable-

cen el número de pies por hectárea máximo cuando el rodal posee un diámetro medio cuadrático de 25 cm; bajo este supuesto teórico un rodal con 1.274 pies/ha y dicho diámetro medio cuadrático alcanzaría su máximo nivel de competencia y crecería en el tamaño medio de sus individuos merced a la ocurrencia de mortalidad natural. Con ello se puede interpretar que para la función (1), un rodal en las condiciones descritas anteriormente se ubicaría con una densidad del 89 % de la máxima, cuando en realidad ya alcanzó la máxima posible, llevando al gestor a un error de interpretación que afectará el proceso de planificación selvícola. La misma consideración es válida si se quiere establecer la línea de inicio de competencia como un porcentaje de la densidad máxima promedio.

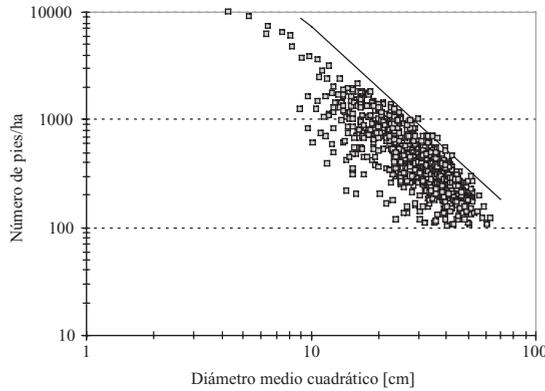
Otro aspecto particularmente importante lo constituye la demostración de la independencia de la calidad de estación en el establecimiento de las densidades máximas; efectivamente en la figura 1 se puede observar el buen alineamiento de los datos provenientes de un amplio rango de calidades de estación.

## CONCLUSIONES

- Se han establecido originalmente los *DMD* de rodales de *P. radiata* en el País Vasco, con el desarrollo de un procedimiento cuantitati-



**Figura 1.** En trazo continuo la nueva línea de máxima densidad (función 4) y en línea de trazo discontinuo la ajustada originalmente (función 1)



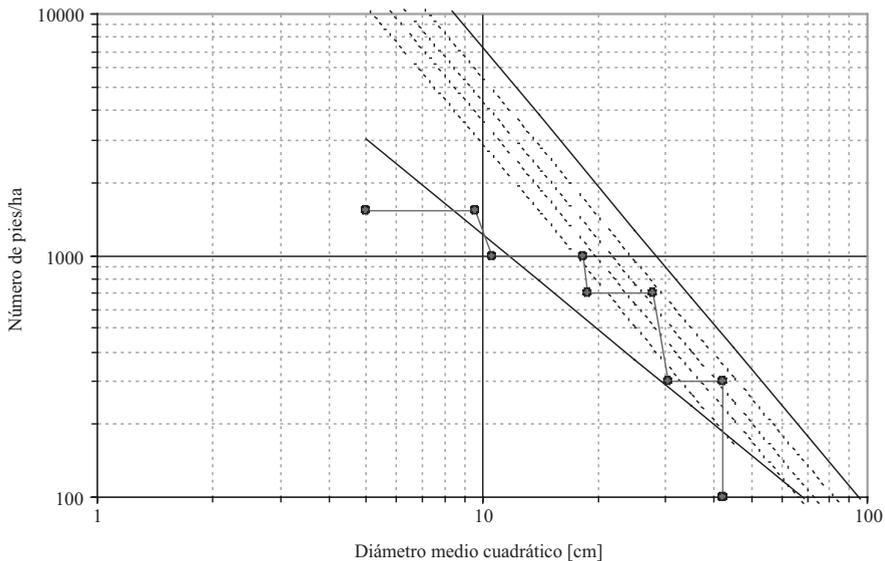
**Figura 2.** Nueva línea de máxima densidad (función 4) volcada sobre la base de datos originalmente disponible, sin incorporar los utilizados para el nuevo ajuste

- vo para realizar los planes de gestión y predecir la producción adicionándole adecuadas funciones de salida.
- Es importante establecer los valores particulares para cada especie de la relación tamaño-densidad máxima promedio, pues emplear valores equivocados puede producir importantes errores durante la planificación en la estimación de las densidades óptimas para el manejo de un rodal.

- Se ha demostrado independencia de la calidad de estación en la relación tamaño-densidad máxima promedio, para el rango de IS de 18 a 31 m.

### APLICACIÓN PRÁCTICA

A través de una aplicación práctica se mostrará como puede quedar confeccionado el



**Figura 3.** DMD para un régimen convencional en el País Vasco. Líneas continuas: límites superior e inferior de densidad; Líneas discontinuas: niveles de densidad relativa

Límite Superior de Manejo				Límite Inferior de Manejo				
N	Dg	G	IDR	ICg	N	Dg	G	IDR
1537	9,6	11,1	250	0,60	1000	10,6	8,5	196
1000	18,2	25,2	550	0,85	700	18,8	19,5	408
700	27,7	42,2	850	0,85	300	30,3	21,7	433
300	42,3	42,2	815	---	---	---	---	---

**Tabla 1.** Parámetros resultantes de la planificación selvícola utilizando el DMD ejemplificado en la figura 3. N: Número de pies/ha. Dg: Diámetro medio cuadrático [cm]. G: Área basimétrica [m<sup>2</sup>/ha]. ICg: Índice de corta en área basimétrica

**DMD.** En el mismo se muestran los límites de densidades superior e inferior, a través de sendas líneas continuas, diferentes niveles de densidad relativa con líneas de trazo y sobre ellos la evolución selvícola del rodal (Fig. 3).

Para realizar la aplicación se tomará un régimen selvícola convencional del País Vasco.

Régimen: producción de un rollo promedio de 1,47 m<sup>3</sup> a punta fina mínima de 14 cm.

Área geográfica: País Vasco

Fuente: Tablas de Producción (CHAUCHARD Y OLALDE, 2003).

Para el presente régimen el objetivo fue producir un Volumen promedio de rollo a punta fina de 14 cm de 1,47 metros cúbicos, que para *P. radiata* se alcanza con un Diámetro normal de 42,3 cm (Tabla 1). Este régimen en una calidad de estación buena se alcanza con un turno de 32 años.

## BIBLIOGRAFÍA

CAMERON, I.; 1988. *An evaluation of the density management diagram for coastal Douglas-fir*. For. Res. Develop. Agreement. B.C. Ministry of Forests and Lands-Canada.

CHAUCHARD, L.; SBRANCIA, R.; GONZÁLEZ, M.; MARESCA, L. Y RABINO, A.; 1999. Aplicación de leyes fundamentales de la densidad a bosques de Nothofagus: I. Regla de los  $-3/2$  o ley del autorraleo. *Bosque* 20(2): 79-94.

CHAUCHARD, L.; 2001. *Crecimiento y producción de las repoblaciones de Pinus radiata D.Don*

*en el Territorio Histórico de Gipuzkoa-País Vasco*. Tesis Doctoral U.P.M. Pub. 40 Serv. Pub. Gob. Vasco. Bilbao.

CHAUCHARD, L.; SBRANCIA, R.; GONZÁLEZ PEÑALBA, M.; MARESCA, L.; RABINO, A. Y MAZZUCHELLI, M.; 2001. Aplicación de leyes fundamentales de la densidad a bosques de Nothofagus: II. Línea de inicio de la competencia y diagramas de manejo de la densidad. *Bosque* 22(1): 3-10.

CHAUCHARD, L. Y OLALDE, M.; 2003. *Actualización de las tablas de producción de Pinus radiata en el País Vasco*. Informe final. (inérito). IKT SA.

ECHVERRÍA, I.; 1942. Ensayo de tabla de producción de *Pinus insignis* D.Don. en el Norte de España. *Inst. For. Inv. Exp.* 22. Madrid.

LONG, J. & McCARTER, J.; 1984. Density management diagram: A practical approach. *En: Growth and yield mensurational tricks*: 25-29. Reg. Tech. Conf. Estados Unidos.

NEWTON, P.; 1987. Development of a stand density management model for pure Black Spruce forests types within Central Newfoundland. I. Aplicability of the self-thinning rule. *En: Forest Growth Modeling and Prediction General Technical Report. NC-120*, I: 604-610. For. Ser. Estados Unidos.

REINEKE, L.; 1933. Perfecting a stand density index from even-aged forests. *J. Agr. Res.* 46: 627-638.

YODA, K.; KIRA, T.; OGAWA, H. Y OSUMI, K.; 1963. Self-Thinning in overcrowded pure stand under cultivated and natural conditions. *J. Biol.* 14: 107-129.