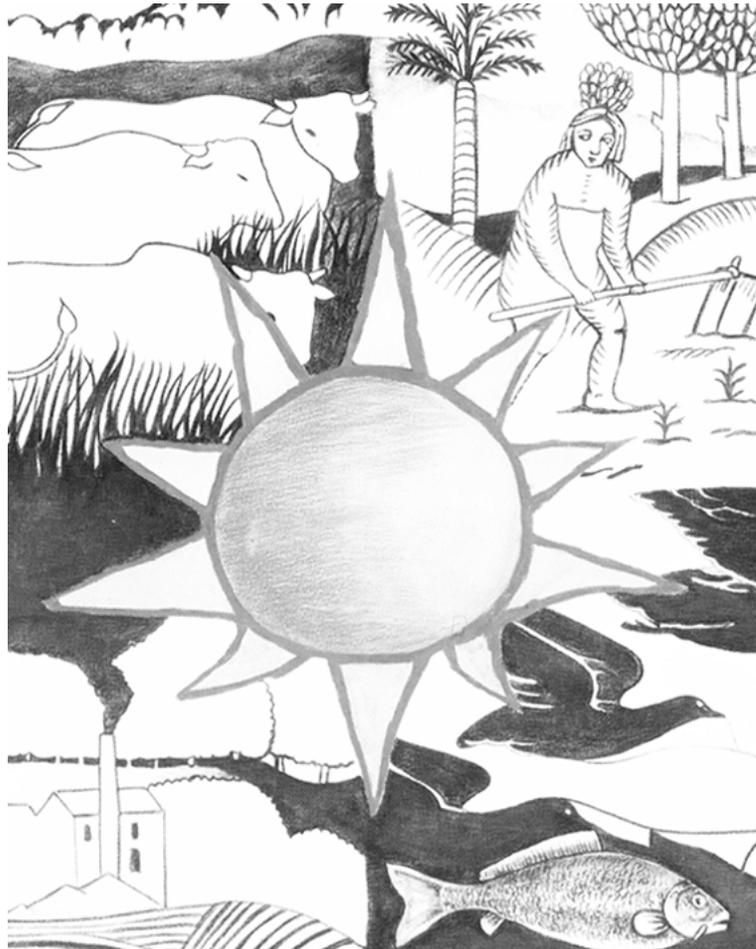


**DIAGRAMAS DE MANEJO DE LA DENSIDAD:
UNA HERRAMIENTA DE GESTIÓN SILVÍCOLA**

Diagrams of density management: a tool for forestry management

Celso Navarro, Julio Pinares, Claudia Pinilla, María José Sanhueza



Escuela de Ciencias Forestales, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco.
Chile. Correo electrónico: cnavarro@uct.cl

RESUMEN

Los diagramas de manejo de la densidad (DMDs) son simples modelos gráficos de la dinámica de rodales uniformes a diferentes edades, reflejan fundamentalmente la relación entre tamaño, densidad, competencia, ocupación del sitio y autorraleo. Constituyen una herramienta valiosa para la planificación de regímenes de tratamientos silvícolas que garanticen una óptima ocupación del sitio de acuerdo con los objetivos de producción propuestos y proveen de escenarios para tomar decisiones silviculturales a nivel de rodal. Se han desarrollado ampliamente a nivel mundial, pero en Chile han sido poco difundidos y muy poco utilizados; sin embargo existen avances en bosques de segundo crecimiento de *Nothofagus* y de *Drimys winteri* Forst. Este trabajo presenta el estado del arte sobre los diagramas de manejo de la densidad y su análisis para su potencial aplicación en Chile en bosques de segundo crecimiento de *Nothofagus* y de *Drimys winteri*.

Palabras claves: DMDs, densidad de rodal, gestión silvícola.

ABSTRACT

Diagrams of density management (DMDs) are simple graphic models of the dynamics of uniform stands at different ages, reflecting primarily the relationship between size, density, competition, site occupancy and self-thinning. They are valuable tools for planning silvicultural regimes that ensure optimal site occupancy in accordance with the proposed production targets and provide scenarios to make silvicultural decisions at the stand level. They have been widely developed worldwide, but in Chile they are little known and seldom used, nevertheless advances have been made in second-growth forests of *Nothofagus* and *Drimys winteri* Forst. This paper presents the state of the art on the diagrams of density management and their analysis for potential application in Chile in second-growth forests of *Nothofagus* and *Drimys winteri*.

Keywords: DMDs, stand density, silvicultural management.

El manejo de los bosques y la densidad de rodal

El manejo de los bosques siempre produce un grado de artificialización, pero que bien realizado conserva muchas de las funciones y sus características naturales. En este marco, las prescripciones silvícolas que emulan el régimen natural de perturbaciones aminorarían efectos en la biodiversidad y los procesos ecológicos. Además conocer las propiedades y efectos de los componentes del ecosistema sobre el todo, como son el crecimiento, competencia y mortalidad en la biomasa, permite adelantarse o comprender la lógica ecosistémica del bosque y así conducir éste a estados en los que se persiga un fin u objetivo, sin alterar sus funciones fundamentales.

Aislar componentes para el adecuado estudio del ecosistema corre el riesgo de no considerar el todo y la conexión de dichos componentes con cada uno de los restantes. Sin embargo la práctica silvícola reconoce el valor del análisis de ciertos elementos estructurales del bosque, lo cuales afectan claramente el desarrollo de los rodales. En este aspecto, el principal componente de la estructura cuantitativa del bosque que se modifica al intervenir un rodal, mediante raleo u otra corta intermedia, es la densidad. Este parámetro es el segundo factor en importancia, después de la calidad del sitio, para la determinación de la productividad de un sitio forestal (Daniels et al. 1982). La densidad del rodal es una medida cuantitativa de él, que puede ser expresada en términos absolutos o relativos. En términos absolutos es determinada directamente desde un rodal dado sin referencia a algún otro rodal y se cuantifica normalmente con los parámetros: número de árboles por unidad de superficie, área

basal, volumen de madera (Smith et al. 1997). En tanto, en términos relativos se basa sobre una densidad estándar seleccionada (Avery & Burkhart 1994).

La implicancia silvícola principal del manejo de la densidad es que su manipulación afecta el desarrollo futuro del bosque (Schexnayder et al. 2001). En este sentido es importante destacar que la tasa de crecimiento de un rodal forestal de constitución genética dada es consecuencia de su edad, del sitio, de la intensidad de la competencia y de la ocupación del área (Curtis 1970). Alterar positivamente dicha tasa sin afectar las funciones del bosque, es un desafío permanente en el manejo forestal; más aún cuando el sujeto de estudio es un bosque de segundo crecimiento o renoval, los cuales en Chile representan la base natural boscosa con mayor potencial de crecimiento. Al enfrentarnos al manejo de un bosque de segundo crecimiento con fines productivos, claramente actuamos sobre los niveles de competencia y el grado de ocupación del área. Estos dos factores se vinculan con la cantidad (número de árboles por unidad de superficie) y biomasa (tamaño del rodal) de un bosque; que son medidas directas de la densidad de los rodales.

La importancia del manejo de la densidad radica en que afecta directamente el desarrollo del rodal futuro, debido a que desencadena procesos de competencia intra e ínter específica. El manejo de la densidad es el control de los niveles de crecimiento a través de la manipulación de la densidad del rodal (Newton 1997). Conocer valores de densidad que representen estados de desarrollo del bosque, es un paso importante para un manejo orientando a maximizar la productividad física de los rodales sin disminuir su condición biológica.

Relaciones de tamaño - densidad

La más conocida de las relaciones de tamaño-densidad es la ley autorraleo, que fue definida separadamente por Reineke (1933) y Yoda (1963), la que describe una relación entre el tamaño y la densidad en rodales coetáneos, monoespecíficos, no intervenidos y en crecimiento activo: el primero determinó la denominada regla de la densidad del rodal que relaciona el número de árboles por hectárea con el diámetro medio cuadrático mediante una función lineal a escala logarítmica con una pendiente universal de $-1,605$; y, por su parte, Yoda (1963) determinaron la regla de autorraleo del $-3/2$, iniciando la más prominente y controversial discusión respecto de las escalas de las reglas .

Drew & Flewelling (1979), iniciaron el estudio de esta interrogante cuando plantearon que el tema central en el manejo de la densidad es encontrar un índice que permita cuantificar los efectos de la densidad en el crecimiento de los bosques. Estudiar la densidad y su vinculación con el desarrollo del rodal futuro es posible mediante el análisis de las relaciones de tamaño-densidad. Estas relaciones son básicas para determinar los índices de densidad del rodal, los cuales son utilizados para caracterizar estados de ocupación de sitio, como los de crecimiento libre, crecimiento con competencia y mortalidad debido a la competencia (Penner et al. 2002). La más conocida de las relaciones de tamaño-densidad es la ley de $-3/2$ de auto-raleo, que describe una relación entre el tamaño y la densidad en rodales coetáneos, monoespecíficos, no intervenidos y en crecimiento activo (Weller 1987). Yoda et al. (1963), quienes desarrollaron la ley, observaron una relación general, luego de mediciones sucesivas de un rodal después de iniciado el auto-raleo. Esta función representa el máximo potencial del rodal, recibiendo el nombre de línea o relación de

tamaño máximo densidad o, dada la disminución en densidad, línea de auto-raleo (Drew & Flewelling 1979, Zunino 1996). Estas relaciones han sido utilizadas por diversos autores en el desarrollo de modelos matemáticos para describir el desarrollo del rodal con el tiempo (Smith & Hann 1986).

Desde la derivación de la ley se han efectuado numerosos estudios con el fin de probar sus resultados para diferentes especies y condiciones (Barkham 1978, Malmberg & Smith 1982, Westoby 1984). Pitelka (1984) expresa que es «uno de los modelos teóricos más robustos y extensamente aplicables para describir la regulación intraespecífica en poblaciones de plantas». Por su parte, Drew & Flewelling (1979) indican que es «un principio general de la biología de las poblaciones de plantas»; Westoby (1984) cree que viene a ocupar un lugar en la comprensión de los ecosistemas. Más recientemente Zhang et al. (2005) indican que el autorraleo es un equilibrio dinámico entre el crecimiento vegetal y la mortalidad por aumento de la densidad y es gobernado por la ley del $-3/2$. Por el contrario, existen publicaciones y estudios como el de Weller (1987) quien concluyó que 19 de los 63 set de datos de poblaciones individuales previamente citados en apoyo de la Ley no mostraban una correlación significativa entre la biomasa del rodal y la densidad de plantas, y veinte de ellos dan pendientes significativamente diferentes de $-1/2$, por lo que «la regla como una ley cuantitativa debe ser desechada». Christensen & Peet (1981) reportaron que la relación entre el logaritmo del volumen medio por árbol y el logaritmo del número de árboles no es lineal y de este modo no tiene una pendiente constante. No obstante la crítica y controversia a las relaciones de tamaño y densidad a nivel de ley, han demostrado ser útiles como herramienta de manejo forestal.

Diagramas de manejo de la densidad

Las relaciones de tamaño-densidad integradas con otras funciones que caracterizan la estructura cuantitativa del rodal, conforman los denominados diagramas para el manejo de la densidad. Estos son esencialmente, simples modelos promedio del rodal que caracterizan gráficamente rendimiento, densidad y mortalidad en varios estados de desarrollo de un rodal (Newton & Weetman 1994, Shaw et al. 2007, Gezan et al. 2007, Vacchiano et al. 2008, Valbuena et al. 2008, Castedo et al. 2009). Al respecto Shaw & Long (2007) plantean que los diagramas de manejo de la densidad constituyen una herramienta valiosa para la planeación de regímenes de tratamientos silvícolas que garanticen una óptima ocupación del sitio de acuerdo con los objetivos de producción propuestos para éste.

El desarrollo de estos diagramas ha sido amplio luego de reconocer la simplicidad de sus componentes y la habilidad para desplegar las complejas relaciones dimensionales del desarrollo de un rodal (Kumar et al. 1995). A través de ellos es posible identificar los estados de mortalidad debido a la competencia y de tamaño potencial del rodal, orientando las acciones silvícolas para posicionar los rodales en aquellos valores de densidad que permitan que el crecimiento por unidad de superficie sea máximo sin alterar las funciones del bosque.

En este sentido en los DMD es posible identificar líneas que definen el grado de ocupación del sitio, donde se puede ver la potencialidad de esta herramienta para el manejo de rodales. Una primera línea (A), la línea de la máxima relación tamaño – densidad, marca el límite superior de las combinaciones de tamaño densidad, sobre ésta no es posible encontrar rodales. El desarrollo de las otras líneas se basa teóricamente en la línea de la máxima relación tamaño-densidad (A), la cual

tiene una densidad relativa de 1.0 o 100%. Una segunda línea (B), marca la iniciación de la mortalidad, se define cuando los rodales comienzan a presentar mortalidad producto de la densidad. Una tercera línea (C), marca las condiciones donde los árboles ocupan totalmente el sitio y el rodal es altamente productivo. Por último una cuarta línea (D), indica el cierre de copas. (Drew & Flewelling (1979), Newton 1997, Saunders & Puettmann (2000), Gezan et al. (2007) (Fig. 1).

Al respecto Drew & flewelling (1979) estimaron que para *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) la línea B (inminente mortalidad por competencia) se identifica con una densidad relativa de 0,55, 0,4 para la línea C o inicio de la máxima producción del rodal y 0,15 para la línea de cierre de copas. Ando (1968) adaptó un DMD para *Pinus resinosa* Aiton donde los índices de densidades relativas para las líneas B, C y D son de 0,8, 0,65 y 0,20 respectivamente. Newton (1997) utilizó índices de densidad relativa para *Picea mariana* (Miller) Briton de 0,13 para la línea de cierre de copas y 0.5 en la línea de mortalidad inminente por competencia. En Chile recientemente Gezan et al. (2007) construyeron un DMDs para *Nothofagus*, sugiriendo considerar índices de densidad de rodal de 60% para la línea de mortalidad inminente por competencia, 30% en la línea del límite inferior de ocupación del sitio (C), y un 20 % para la línea de cierre de copas, además indica que la línea de inicio de autorraleo o de inminente mortalidad por competencia idealmente debería ser obtenida a partir de experimentos en raleos de parcelas permanentes, registrándose el momento en que se empieza a producir la mortalidad inducida por la competencia.

Entre las líneas A y B, se encuentra la zona de autorraleo (sobre ocupación del sitio), donde el crecimiento por árbol y por hectárea disminuye a medida que se incrementa la

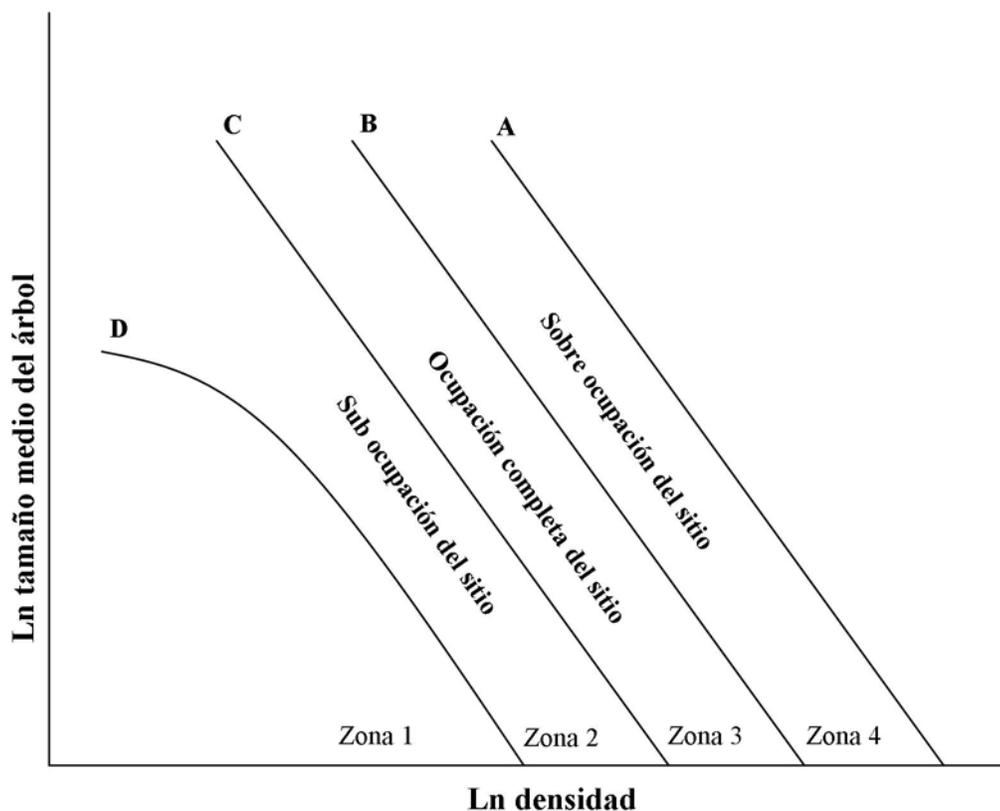


FIGURA 1. EJEMPLO DE DIAGRAMA DE MANEJO DE LA DENSIDAD (DMDs) SIMPLE, CON LÍNEAS QUE DEFINEN EL GRADO DE OCUPACIÓN DEL SITIO (RELACIONES TAMAÑO DENSIDAD A ESCALA LOGARÍTMICA) (NEWTON 1997).

Example of Stand density management diagram (DMDs), with lines that define the degree of occupation of the site (relate size density to logarithmic scale).

competencia. Rodales dentro de esta zona están sometidos a una competencia intensa y a medida que la trayectoria del rodal se aproxima a la línea límite de tamaño-densidad, cualquier incremento adicional en el tamaño del árbol medio del rodal irá acompañado por reducciones en densidad. Al continuar el crecimiento en tamaño, la mortalidad se acelerará y la trayectoria del rodal se desplazará paralelamente a esta línea. Bajo la línea B y sobre la línea C se encuentra una

zona de ocupación completa del sitio, donde se produce el máximo crecimiento por hectárea, en la cual el crecimiento por árbol continúa disminuyendo conforme aumenta la densidad, mientras que el crecimiento por hectárea alcanza su máximo; dentro de esta zona el manejo de rodales permite maximizar la producción de madera para pulpa y biomasa. Bajo la línea C se encuentra la zona de subocupación del sitio, aquí el crecimiento del árbol empieza a disminuir a medida que se

incrementa la densidad y el crecimiento por hectárea aumenta al incrementar la densidad. Finalmente la zona bajo la línea D se caracteriza por la sub utilización del rodal en donde el crecimiento por árbol es máximo, mientras que el crecimiento por hectárea se incrementa conforme se aumenta el número de árboles (Drew & flewelling 1979, Newton 1997, Saunders & Puettmann 2000, Gezan et al. 2007).

En relación a la composición de los diagramas, va a estar dada por el nivel de información presentada, lo que naturalmente incidirá en su complejidad. Según Farden (2002), los DMDs pueden ser agrupados de la siguiente forma:

(a) Los diagramas más simples contienen las líneas de límite básicas que describen la zona de autorraleo y posiblemente la línea de cierre de copas. Estos diagramas son una guía básica para el raleo de rodales o densidades de establecimiento.

(b) Un segundo nivel de complejidad es alcanzado agregando sistemas de iso-líneas que representan la altura dominante, y volumen o diámetro (dependiendo de formato). Esta categoría incluye la mayoría de los diagramas de manejo de la densidad producido hasta la fecha.

(c) Un tercer nivel de la complejidad se alcanza con la adición de la trayectoria del tamaño-densidad (curvas de mortalidad). Estas líneas agregan considerablemente precisión y exactitud a las predicciones.

(d) Menos comunes y menos desarrolladas son las propuestas para ampliar las capacidades de los diagramas de manejo de la densidad mediante la introducción de ejes adicionales. Las propuestas han incluido parámetros adicionales para explicar variaciones en el límite máximo de la relación tamaño-densidad resultado de combinaciones de especies y de calidad de sitio.

En la literatura se puede encontrar dos tipos principales de formatos de diagramas de manejo de la densidad: los primeros producidos por científicos japoneses e introducidos a Norteamérica por Drew & Flewelling (1977, 1979), que se caracterizan por el uso del volumen medio del árbol en el eje vertical y la densidad por hectárea en el eje horizontal, producido en varias regiones de Canadá, Estados Unidos, Japón y Corea. El segundo formato propuesto por Mc Carter & Long (1986) se diferencia del primero por emplear el DMC en el eje vertical en vez del volumen medio por árbol. Long y Smith (1984) discutieron la validez de usar el DMC como alternativa al volumen medio por árbol en los diagramas de manejo de la densidad señalando que estos diagramas son mas fáciles de utilizar debido a que el DMC es un parámetro de fácil obtención y que además, hay una mayor capacidad entre silvicultores de comprender el tamaño del árbol por el diámetro más que por el volumen del árbol del medio, este formato de DMD se ha aplicado principalmente a especies a través de los Estados Unidos, pero también a las plantaciones de *Tectona grandis* Linn en la India (Farden 2002) y en Italia (Vacchiano et al. 2008).

El desarrollo de software de diagramas de manejo de la densidad, como los desarrollados por Woods et al. (1998) en Canadá, que incorpora las mismas relaciones, pero simplificando aun más la herramienta en cuanto a su uso, estos son productos que deben incorporarse en el desarrollo de los DMD.

A través del uso de DMD el gestor forestal puede de manera objetiva determinar esquemas de control de la densidad, espaciamiento o intensidad de raleo y manejos para una multiplicidad de aplicaciones y usos, entre los que destacan los siguientes: (a) maximización de la productividad del sitio en base a objetivos de producción definidos (Drew & flewelling (1979), Newton 1997,

Farden (1996); (b) desarrollar regímenes relativos a la manipulación del hábitat de la vida silvestre (Smith & Long 1987, Lilieholm et al. 1994, Shaw & Long 2007); (c) para manejar la susceptibilidad de los rodales a ser atacados por pestes (Whitehead et al. 2001); (d) para manejar estructuras de bosques con la resistencia al viento; e) para aumentar la diversidad en los rodales (Powelson & Martin 2001) y (f) recientemente para la protección contra desprendimientos rocosos (Vacchiano et al. 2008) y evaluar la estabilidad del rodal (Castedo 2009).

Los diagramas se han desarrollado para numerosas especies japonesas, norteamericanas y canadienses (Flewelling et al. 1980, Flewelling & Drew 1985, McCarter & Long 1986, Smith 1989, Farden 1996, Saunders & Puettmann 2000, Penner et al. 2002, Swift 2003, Long et al. 2005, Shaw & Long (2007). Recientemente también se ha construido esta herramienta en Europa, específicamente en España e Italia (Vacchiano et al. 2008; Valbuena et al. 2008, Castedo et al. 2009).

En Chile los diagramas de manejo de la densidad han sido poco desarrollados a pesar de estar ampliamente estudiados en especies japonesas, norteamericanas, canadienses y europeas (Flewelling et al. 1980, Flewelling & Drew 1985, McCarter & Long 1986, Farden 1996, Saunders & Puettmann 2000, Penner et al. 2002, Swift 2003, Long & Shaw 2005, Shaw & Long (2007), Vacchiano et al. 2008, Valbuena et al. 2008, Castedo et al. 2009). Al respecto, Gezan et al. (2007) desarrolló un diagrama de manejo de la densidad para rodales de roble, raulí y coigue, basado en el modelo de Gingrich (1967), este diagrama constituye una guía básica para el raleo de rodales o densidades de establecimiento, que de acuerdo a Farden (1996), se clasifica como uno de los más simples a desarrollar, ya que contienen las líneas de límite básicas que

describen la zona de autorraleo y líneas de densidad relativa.

Los diagramas de manejo de la densidad actualmente ocupan la atención en Chile por su simplicidad y aporte práctico a la gestión de los bosques naturales, lo cual cobra relevancia para la implementación de la «Ley de Bosque Nativo».

Desafíos

Los diagramas desarrollados en Chile constituyen un importante avance, existiendo aún muchos desafíos respecto a esta herramienta, algunos de ellos son:

(a) Constituir mejores bases de datos para el desarrollo de funciones más consistentes y representativas para los bosques de segundo crecimiento en Chile.

(b) Considerar la construcción de funciones de altura dominante/edad para diversos sitios donde se encuentran las especies objetivos. Esta herramienta usada en combinación de los DMD permite la estimación de la edad de los rodales y por lo tanto, una mejor proyección de los programas de intervención propuestos.

(c) El desarrollo de diagramas de manejo de la densidad para aplicaciones distintas a la maximización de la productividad, como aquellas estudiadas por otros autores para desarrollar regímenes relativos a la manipulación del hábitat de la vida silvestre, para manejar la susceptibilidad de los rodales a ser atacados por pestes; para manejar estructuras de bosques con la resistencia al viento; para aumentar la diversidad en los rodales y recientemente para la protección contra desprendimientos rocosos y evaluar la estabilidad del rodal, son desafíos de corto plazo para nuestro país, dada la presión por el uso de estos bosques y la aprobación de la Ley del Bosque Nativo.

LITERATURA CITADA

- ANDO T (1968) Ecological studies on the stand density control in even-aged pure stands. Government Forest Experiment Station 210: 1-153.
- AVERY T & H BURKHART (1994) Forest Measurements. Editorial McGraw-Hill, Estados Unidos. 408 pp.
- BARKHAM JP (1978) Pedunculate oak woodland in a severe environment: Black Tor Copse, Darmoor. *Journal of Ecology* 66: 707-740.
- CASTEDO F, F CRECIENTE, P ALVAREZ & M BARRIO (2009) Development of a stand density Management diagram for radiata pine stand including assessment of stand stability. *Oxford Journal Life Sciences Forestry* 82: 1-16.
- CHRISTENSEN N & R PEET (1981) Secondary forest succession on the north Carolina Piedmont. En: Forest succession, concepts and application ;: 230-244. Editorial Springer-Verlag, New York, EE.UU. 517 pp
- CURTIS R (1970) Stand density measures: An interpretation. *Forest Science* 16:403-414.
- DANIELS P, U HELMS & F BAKER, ed (1982) Principios de Silvicultura. Editorial Mc Graw-Hill, México. 492 pp.
- DREW J & J FLEWELLING (1977) Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their application to monterey pine plantations. *Forest Science* 23: 517-534.
- DREW J & J FLEWELLING (1979) Stand density management: a alternative approach and its application to Douglas-fir plantations. *Forest Science* 25(3): 518-532.
- FARNDEN C (1996) Stand density management diagrams for Lodgepole pine, White spruce and interior Douglas fir. Canadian Forest Service. Information report BC-X- 360. 41pp.
- FARNDEN C (2002) Recommendations for constructing stand density Management diagrams for the Province of Alberta. Report to Alberta Land and Forest Division, Alberta Canada, Ministry of Sustainable Resource Development. 17 pp.
- FLEWELLING JW, KN WILEY & TJ DREW (1980) Stand density management in western hemlock. Weyerhaeuser Corporation. Western Forestry Research Center, Centralia WA, Forestry Research Technical Report N° (042-1417/80/32).
- FLEWELLING JW & TJ DREW (1985) A stand density management diagram for lodgepole pine. En: Baumgarter DM, RG Krebill., JT Arnott, GF Weetman (eds) Lodgepole pine: The species and its management. Editorial Pullman WA, Washington State University. 16 pp.
- GEZAN S, A ORTEGA & E ANDENMATTEN (2007) Diagramas de manejo de la densidad para renovales de Roble, Raúlí y Coigüe en Chile. *Revista Bosque* 28: 97-105.
- GINGRICH S (1967) Measuring and evaluating stocking and stand density in Upland Hardwoods. *Forest Science* 13 (1): 38-54.
- KUMAR M, J LONG & P KUMAR (1995) A density management diagram for teak plantations of Kerala in Peninsular India. *Forest Ecology and Management* 74: 125-131.
- LONG JN & JD SHAW (2005) A density management diagram for even-aged ponderosa pine stands. *West Journal of Applied Forestry* 20 (4): 205-215.
- LONG JN & FW SMITH (1984) Relation between size and density in developing stands: a description and possible mechanisms. *Forest Ecology and Management* 7: 191-206.

- LILIEHOLM R, J LONG & S PATLA (1994) Assessment of goshawk nest area habitat using stand density index. *Studies in Avian Biology* (16):18-23.
- MALMBERG C & H SMITH (1982) Relationship between plant weight and density in mixed population of *Medicago sativa* and *Trofolium platense*. *Oikos* (38): 365-368.
- MCCARTER JB & JN LONG (1986) A lodgepole pine density management diagram. *Western Journal of Applied Forestry* 1: 6-11.
- NEWTON P F & GF WEEMAN (1994) Stand density management diagram for managed black spruce stand. *Forestry Chronicle* 70: 65-74.
- NEWTON P (1997) Stand density management diagrams: Review of their development and utility in stand-level management planning. *Forest Ecology and Management* 98: 251-265.
- PERRY D (1994) *Forest Ecosystems*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- PENNER M, E SWIFT, R GAGNON & R BRISSETTE (2006) A stand density management diagram for balsam fir in New Brunswick. *Forestry Chronicle* 82(5): 700-711.
- PITELKAL (1984) Application of the $-1/2$ power law to clonal herbs. *American Naturalist* 123: 442-449.
- REINEKE L (1933) Perfecting a stand density index for even-age forest. *Journal of Agricultural Research* 46: 627-638.
- SAUNDERS M & K PUETTMANN (2000) A preliminary White Spruce density management diagram for the lake states. Minnesota Staff papers series N° 145. 15 pp.
- SMITH N (1989) A stand density control diagram for western red cedar (*Thuja aplicata*). *Forest Ecology and Management* 27: 235-244.
- SMITH N & D HANN (1986) A growth model based on the self-thinning rule. *Journal of Forest Research* 16: 330-334
- SMITH DJ & ME WOODS (1997) Red pine and white pine density management diagrams for Ontario. Ontario Min. Nat. Res., South Central Sciences Section. 31 pp.
- SAUNDERS M & K PUETTMANN (2000) A preliminary White Spruce density management diagram for the lake states. Minnesota Staff papers series N° 145. 15 pp.
- SHAW J & J LONG (2007) Density management diagram for Longleaf Pine stands with application to Red-Cockaded Woodpecker habitat. *Journal of Applied Forestry* 31(1): 28-38.
- SMITH N & J LONG (1987) Elk hiding and thermal cover guidelines in the context to lodgepole pine stand density. *Western Journal of Applied Forestry* 2: 6-10.
- SWIFT E (2003) Development of stand density management diagrams for eastern spruce-balsam fir forest on the Acadian forest region: progress report for 2002-2003. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. 19 pp.
- VACCHIANNI G, R MOTTA, J LONG & J SHAW (2008) A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris L.*): a tool for assessing the forest's protective effect. *Forest ecology and Management* 255(7): 2542-2554.
- VALBUENAP, C PESO & F BRAVO (2008). Stand density Management diagrams for two mediterranean pine species in Eastern Spain. *Investigación Agraria: Sistemas y recursos forestales* 17(2): 97-104.

- WELLER D (1987) A reevaluation of the -
3/2 power rule of plant self-thinning.
Ecological Monographs 57(1): 23-43.
- WESTOBY M (1984) The self-thinning rule.
Advances in Ecological Research 14: 149-
158.
- WOODS M, D KAMINSKI, F PINTO & P
KURTZ (1998) Ontario Density
Management Diagrams- ODMD (Beta
Version). Ontario Ministry of Natural
Resources. 25 pp.
- YODA K, T KIRA, H OGAWA & K
HOZUMI (1963) Self-thinning in
overcrowded pure stands under cultivated
and natural conditions (Intraspecific
competition among higher plants XI).
Journal of Biology 14:107-129.
- ZHANG L, H BI, J GOVE & L HEATH
(2005) A comparasion of alternative
methods for estimating the self-thinning
boundary line. Canadian Journal of Forest
Research 35: 1507-1514.
- ZUNINO C (1996) Análisis de la teoría de
auto-raleo en plantaciones de Pino Insigne
(*Pinus radiata* D. Don). Tesis Licenciado
Ingeniería Forestal. Universidad de Chile.
Santiago, Chile. 73 pp.

Recibido 19/11/2010; aceptado 28/12/2010