

Validación del Índice de Densidad del Rodal para el manejo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* en el trópico.

Dagoberto Arias A, darias@itcr.ac.cr, Pablo Camacho M,
Instituto Tecnológico de Costa Rica,
Centro de Investigación en Integración Bosque Industria (CIIBI).

Introducción

El manejo de la densidad de un rodal es una de las actividades silviculturales que planifica el silvicultor para ejercer control sobre la estructura de la plantación, la productividad, el tamaño de los árboles y el tiempo transcurrido hasta la cosecha final. Obviamente este control de la densidad está en función de la especie, los objetivos de producción y la calidad del sitio. En el campo de la ecología, la densidad ha sido comúnmente definida como el número de individuos por unidad de área; sin embargo, en el campo forestal esta definición no es de mucha utilidad, ya que en una plantación los árboles cambian en dimensiones y en la habilidad para utilizar los recursos disponibles (luz, agua, nutrientes) en función de los árboles adyacentes (competencia). Han surgido varios métodos para evaluar la densidad del rodal, entre los más conocidos se pueden mencionar: el área basal, el índice de espaciamiento relativo, el índice de densidad del rodal y el factor de competición de copas. En la práctica forestal de nuestro país ya se han realizado algunos trabajos que evalúan estas metodologías. Particularmente, la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR ha promovido desde 1986 el uso del Índice de Densidad del Rodal (IDR), que ha sido considerado como una de las herramientas más útiles para traducir objetivos de manejo dentro de un programa de aclareos.

El IDR expresa en forma matemática la relación entre el tamaño de los árboles y la densidad del rodal, a través de la siguiente ecuación (McCarter y Long, 1986):

$$(1) \text{IDR} = N \cdot (d/25)^{-b}$$

donde N es el número de árboles por hectárea, d es el diámetro promedio de la plantación y “b” es una constante definida con un valor de -1,605 por Reineke (1933) y utilizada extensivamente en muchos trabajos sobre densidad del rodal. Hay evidencia que el valor de la pendiente de la curva puede variar entre especies (Zeide 1987, Williams 1996); por lo tanto, los trabajos basados en este índice deben analizar estadísticamente si el valor de la pendiente encontrado para una especie en particular difiere significativamente del valor teórico dado por Reineke. Conociendo el valor de “b” y utilizando la información proveniente de rodales bajo condiciones extremas de competencia, se llega a establecer el IDR máximo para la especie. Este límite establece el punto en el cual la única manera que los árboles incrementen sus dimensiones es a través de la reducción natural del número de individuos (mortalidad o autoraleo). Determinando el IDR máximo para la especie es posible definir diferentes bandas para el manejo de la densidad del rodal (aclareos) que se ajustan a los objetivos de producción (producción de biomasa para pulpa, postes, madera para aserrío).

En el ámbito internacional, el manejo de la densidad basado en el IDR ha sido ampliamente utilizado para especies forestales en Japón, Norteamérica y Europa. Especialmente escasos son los estudios en latifoliadas tropicales. En Costa Rica, el Índice de Densidad del Rodal ha sido desarrollado para las especies más utilizadas en los programas de reforestación: destacan aquí los trabajos en *Pinus caribaea* (Vargas 1986 y Ortiz 1989), *Gmelina arborea* (Arias y Campos 1987), *Alnus acuminata* (Méndez 1990), *Bombacopsis quinatum* y *Tectona grandis* (Pineda 1990).

Particularmente para la especie *Tectona grandis*, en Costa Rica no había sido posible definir el IDR máximo, debido a la escasa información sobre rodales en condiciones de autoraleo. Sin embargo, existe un trabajo publicado con una base de datos suficientemente amplia que incluyó 193 parcelas en India con edades entre 5 y 83 años (Kumar *et al.* 1995). Este trabajo definió el IDR máximo para teca y proporciona las recomendaciones para el manejo de la densidad. Sin embargo, se asumió el valor teórico de “b” sugerido por Reineke y no consideró la posibilidad de ajustar este valor.

La presente contribución busca validar los resultados sobre la utilización del IDR para Teca en función de nuevos datos recolectados en diferentes plantaciones en Costa Rica. Se discute la posibilidad de emplear el IDR para el manejo de la densidad en plantaciones con aplicabilidad para Centroamérica.

Metodología

Se recopiló información dasométrica básica en 586 parcelas temporales distribuidas en diferentes regiones de Costa Rica. En todos los casos se delimitaron parcelas de área conocida y se evaluaron al menos 25 árboles para obtener el diámetro promedio y el número de árboles por hectárea. Para efectos del presente estudio se utilizaron únicamente las variables número de árboles por hectárea y diámetro promedio de la plantación. Adicionalmente se adjuntó la base de datos sobre 193 parcelas del estudio realizado por Kumar *et al.* (1995) en India.

La información fue procesada y se construyó un diagrama que muestra la relación existente entre el número de árboles por hectárea y el diámetro promedio. Para definir la línea de autoraleo (IDR máximo) se consideraron las parcelas ubicadas sobre este límite. A través de la ecuación:

$$(2) \log_{10}N = a - b \cdot \log_{10}(d)$$

se logró obtener el valor de la pendiente. Con ayuda del módulo SAS/INSIGHT (v8.02) se efectuó una prueba estadística (intervalo de confianza para parámetros) para probar la hipótesis nula que el valor de “b” es igual al valor teórico sugerido por Reineke.

Con el valor de la pendiente se calcularon los valores de IDR para las parcelas seleccionadas y mediante el promedio se definió el IDR máximo para la especie. La definición de las diferentes zonas de densidad se efectuó siguiendo los lineamientos sugeridos por Langsaeter (1941) y Long (1985).

Resultados y discusión

La información proporcionada por las parcelas en Costa Rica muestra condiciones de crecimiento relativamente jóvenes en comparación con las parcelas en India con una amplitud diamétrica que incluye parcelas con más de 50 cm. En ambos casos el grupo de parcelas que representan las condiciones de autoraleo muestran una línea muy bien definida (Figura 1).

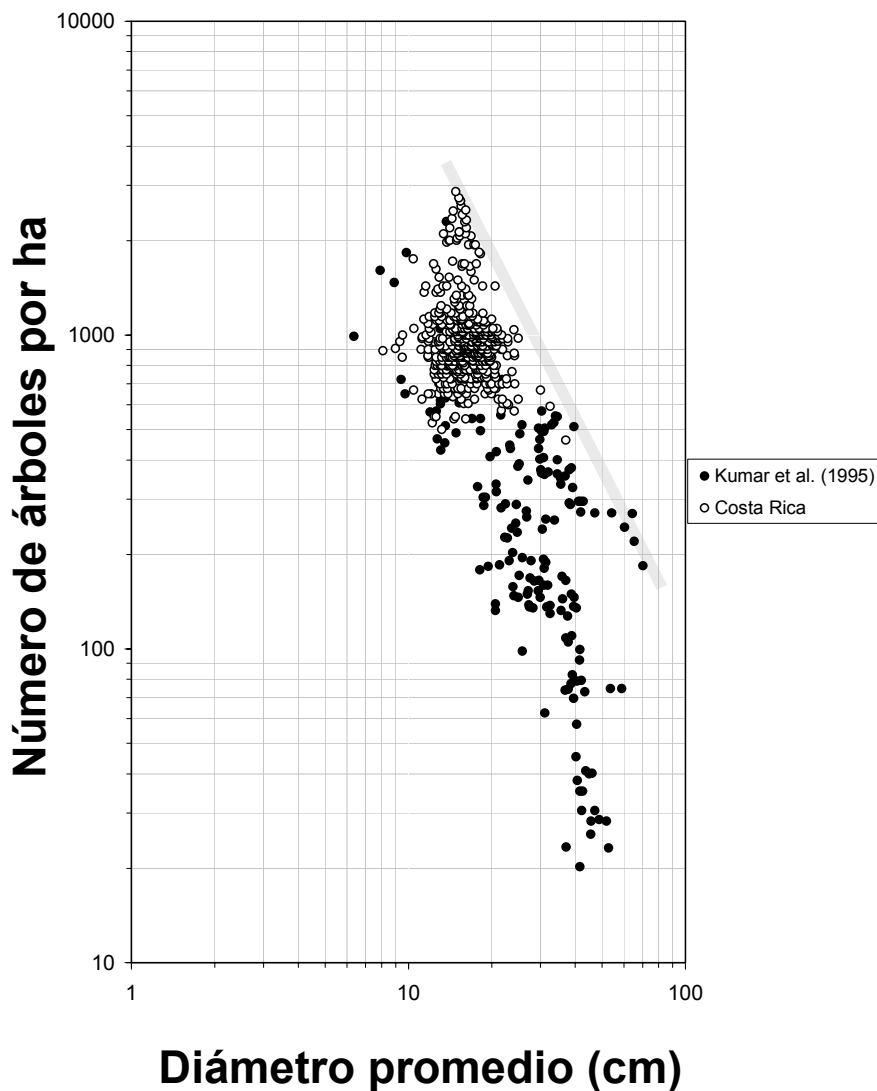


Figura 1. Representación de la línea de máxima densidad para plantaciones de *Tectona grandis*.

Un total de 26 rodales representan la línea máxima de densidad para la especie. Aplicando la ecuación (2) a este grupo de parcelas se obtuvieron los siguientes estimadores $\log_{10}N = 5,4166 - 1,7126 \cdot \log_{10}(d)$ ($r^2 = 0,9892$; $n = 26$). La pendiente de la recta ($b = -1,7126$) difiere estadísticamente del valor sugerido por Reineke (1933) quien había reportado que el valor (-1,605) se mantenía consistente para un determinado número de especies. Sin embargo, de las 14 especies que Reineke estudió, también encontró inconformidad para dos especies. Contrario a lo inicialmente señalado por Reineke, investigaciones con otras especies han revelado variaciones en el valor del parámetro “b” (Zeide 1987). La evaluación estadística en el presente estudio indica que para Teca el valor de “b” difiere significativamente del valor sugerido por Reineke y que también fue utilizado en el estudio de Kumar *et al* (1995), este último no consideró una comprobación estadística.

El intervalo de confianza del 95% para el parámetro “b” en el presente estudio tiene como límites inferior y superior $-1,7880$ y $-1,6372$ respectivamente, el cual no incluye el valor reportado por Reineke ($-1,605$). El presente estudio sugiere para futuros trabajos con especies

tropicales prestar especial atención a la validación estadística del valor teórico dado por Reineke.

Para cada uno de los 26 rodales se calculó mediante la ecuación (1) el valor de IDR. El promedio de los valores de IDR para estos rodales permitió definir el IDR máximo para *Tectona grandis*, cuya estimación es igual a 1053. Un procedimiento alternativo se puede lograr de igual manera aplicando a partir de la ecuación (2) la siguiente fórmula: $IDR_{m\acute{a}x}: 10^a * 25^b$. La estimación del IDR máximo obtenida por Kumar *et al* (1995) y que representa un valor de 1200 se considera sobreestimada según el presente estudio.

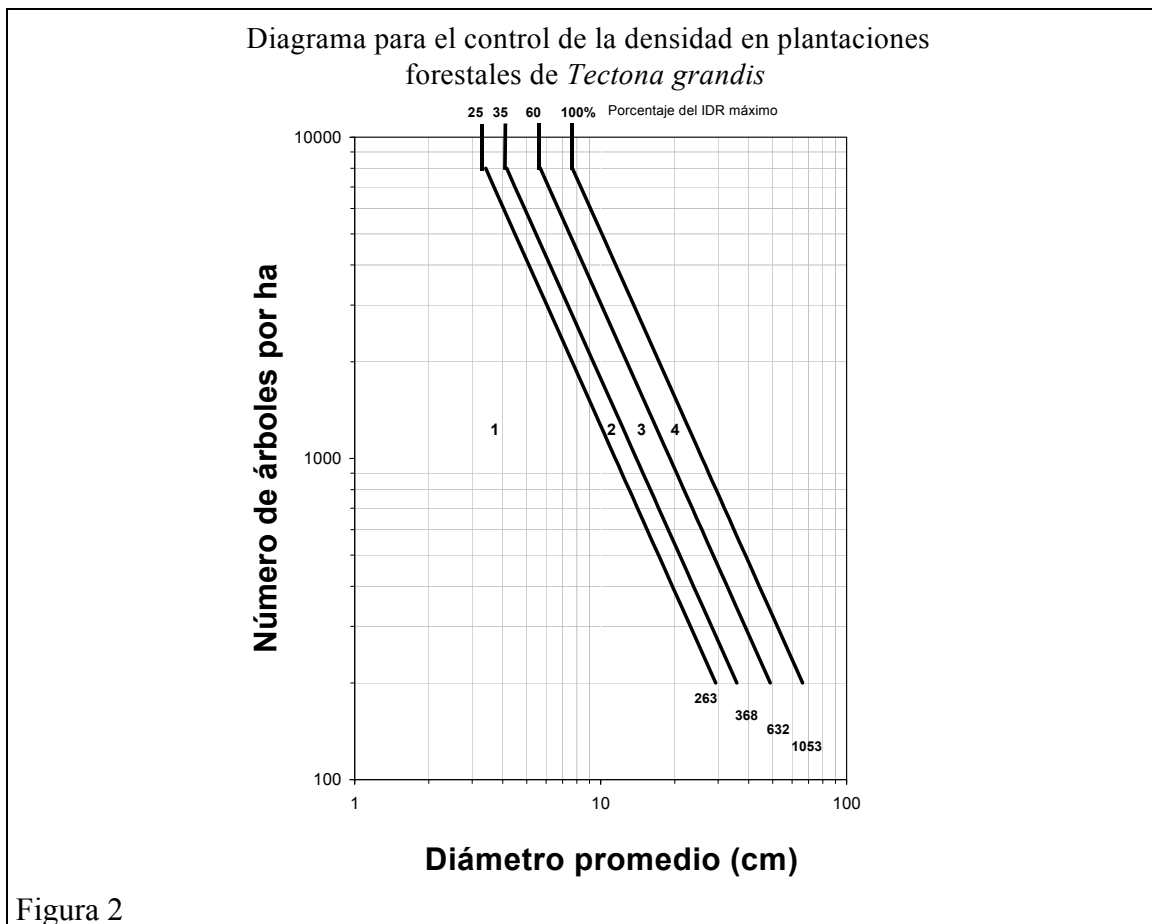
Para interpretar los valores de IDR en prescripciones para el manejo de la densidad en plantaciones de Teca, fueron consideradas las relaciones hipotéticas de crecimiento/densidad propuestas por Langsaeter (1941) y Long (1985). Estas relaciones permiten definir las zonas en las cuales una plantación forestal debería mantenerse para maximizar el crecimiento individual o para maximizar la producción de biomasa total. Ortiz (1986) describe las cuatro zonas que pueden identificarse en el diagrama para el manejo de la densidad del rodal:

- Zona 1 (Zona de sub-utilización del sitio): La densidad del rodal dentro de esta zona es baja y los árboles crecen en forma aislada. El crecimiento por árbol es máximo y el crecimiento por hectárea se incrementa conforme se aumenta el número de árboles por hectárea. El límite superior de esta zona debería coincidir con el momento del cierre de copas.
- Zona 2 (Zona de transición): aquí el crecimiento del árbol empieza a disminuir a medida que se incrementa la densidad. El crecimiento por hectárea sigue aumentando al incrementar la densidad. El manejo de rodales dentro de esta zona permite concentrar en los fustes la producción de madera.
- Zona 3 (Zona de máximo crecimiento por hectárea): El crecimiento por árbol continúa disminuyendo conforme aumenta la densidad, mientras que el crecimiento por hectárea alcanza su máximo. El manejo de rodales dentro de esta zona permite maximizar la producción de madera para pulpa y biomasa.
- Zona 4 (Zona de autoraleo): El crecimiento por árbol y por hectárea disminuye a medida que se incrementa la competencia. Rodales dentro de esta zona están sometidos a una competencia intensa y hacia el límite superior de esta zona ($IDR_{m\acute{a}x}$) se espera la mortalidad de árboles por efecto de la competencia.

En la figura 2 se presenta el diagrama para el control de la densidad en plantaciones forestales de teca. A partir de la ecuación para estimar el IDR, se pueden despejar otras ecuaciones que resultan muy útiles para la planificación de aclareos:

$$(3) N = IDR * (25/d)^{1,7126}$$

$$(4) d = 25 * (IDR/N)^{0,5839}$$



El diagrama anterior permite ejercer control de la densidad del rodal. Conociendo el diámetro promedio de la plantación y el número de árboles por hectárea, se puede utilizar la ecuación (1) para determinar el IDR actual. Conociendo los límites de cada zona de densidad se obtiene el primer diagnóstico y dependiendo de los objetivos de la plantación se establece la necesidad o no de un aclareo. Plantaciones forestales con el objetivo de producir madera para aserrío deberían mantenerse siempre cerca el límite inferior de la Zona 3. Cuando una plantación se ubica dentro de la Zona de densidad 4 deberá planificarse y ejecutarse un aclareo para disminuir la densidad del rodal y mantenerla dentro de la zona óptima de densidad. El método también permite definir la intensidad del aclareo, estimar el diámetro promedio de la plantación e incluso planificar el programa de aclareos para la plantación. Mayores detalles sobre estas aplicaciones pueden ser consultados en Arias y Campos (1987).

Conclusiones y recomendaciones

El método diseñado en el presente estudio ofrece una alternativa que puede ser de mucha utilidad en el control de la densidad en plantaciones de *Tectona grandis* en Costa Rica. A pesar de que en la literatura ya había sido reportado el diagrama de densidad para especie en la India, dicho estudio se basó en un número limitado de parcelas en condición de autoraleo y no se verificó si el valor del estimador “b” difiere estadísticamente del valor teórico sugerido por Reineke.

La validación del IDR según el presente estudio sugiere utilizar el valor de $(b = -1,7126)$ y un diagrama de densidad basado en un IDR máximo de 1053. Sobre la aplicación del método, los valores obtenidos representan a la especie en una gran variedad de ambientes, por lo cual podría ser utilizado también en el ámbito centroamericano.

Los límites de las zonas de densidad obedecen a criterios que deben ser afinados con los estudios sobre el efecto de los aclareos. Interesa aquí definir dentro del diagrama el punto que corresponde al inicio del cierre de copas. Esta información constituye un elemento clave para la toma de decisiones sobre nutrición forestal.

Conforme se generen más estudios sobre crecimiento, índice de sitio y desarrollo del Índice de Área Foliar para Teca, se recomienda incorporar esta información en el diagrama para el manejo de la densidad.

Bibliografía

Arias, D; Campos, N. 1987. Evaluación de tres métodos para prescribir aclareos en plantaciones forestales de *Pinus caribaea* y *Gmelina arborea* en Pueblo Nuevo, Sarapiquí. Práctica de especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 95 p.

Kumar, M; Long, J; Kumar, P. 1995. A density management diagram for teak plantations of Kerala in Peninsular India. *Forest Ecology and Management* 74: 125-131.

Langsaeter, A. 1941. Om tynning i enaldret gran-og furuskog. *Medel. f. d. Norske Skogforsoksvesen* 8: 131-216.

Long, J. N. 1985. A practical approach to density management. *For. Chron.* 61: 23-27.

McCarter, J; Long, J. 1986. A Lodgepole Pine Density Management Diagram. *West. J. App. For.* 1:6-11.

Méndez, A. J. 1990. Determinación del Índice de Densidad del Rodal (IDR) para prescribir raleos en plantaciones de *Alnus acuminata* en las Nubes de Coronado. Práctica de especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 102 p.

Ortiz, E. 1989. Planificación y ejecución de raleos en plantaciones forestales. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. (Serie de apoyo académico N° 10).

Ortiz, E. 1986. Utilización del IDR en el manejo de la densidad de plantaciones forestales. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 10 p.

Pineda, N. M. 1990. Métodos de raleo cuantitativo para determinar la intensidad de raleo en plantaciones de *Bombacopsis quinatum* (Jacq) Dugan y *Tectona grandis* Linn. Práctica de especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 56 p.

Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forest. *Journal Agric. Res.* 46: 627-638.

Vargas, G. 1986. Análisis de cuatro métodos para determinar la intensidad de aclareo. Práctica de especialidad. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 128 p.

Williams, J. L. 1996. Stand Density Index for Loblolly Pine Plantations in North Louisiana. *South. J. Appl. For.* 18: 40-45.

Zeide, B. 1987. Analysis of the 3/2 power law of self-thinning. *For. Sci.* 33: 517-537.