

Guía para el manejo de la densidad de plantaciones forestales de *Eucalyptus* en el Municipio Carmen Rivero Torres, Santa Cruz – Bolivia

Enviado el 05/feb/2020 y aceptado el 27/ago/2020

Milton Milan Brosovich Gonzales

Docente Carrera Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia

Correo electrónico: mbrosovich@gmail.com

Resumen

El manejo de plantaciones forestales en el Municipio de Carmen Rivero Torres, Departamento de Santa Cruz se ha enfocado en la última década al establecimiento de plantaciones de rodales de la especie del género *Eucalyptus*, que son especies exóticas de rápido crecimiento y con alto valor económico de su madera. El crecimiento rápido de *Eucalyptus* requiere el manejo adecuado de la densidad de plantación para programar raleos y optimizar el turno técnico. Este parámetro es un indicador confiable del grado de ocupación real del arbolado de un lugar y tiempo específicos, además es una de las pocas variables que representan, de manera sencilla y objetiva la estructura de áreas forestales. En los predios El Recreo, San Crispín y Las Lajitas se elaboró una guía de densidad para plantaciones de *Eucalyptus*, con la finalidad de desarrollar la metodología de Índice de Densidad de Rodales de Reineke. Se analizó información de 8,97 ha

para los tres predios con aproximadamente 1000 individuos establecidos por hectárea considerados como densidad inicial completa. Asimismo, para definir el Factor de Competencia de Copas se midieron 75 árboles individuales aislados. En la construcción de la guía de densidad se determinó la línea de máxima densidad o nivel "A" IDRR de Reineke, con la cual se obtuvo un valor de 956,01 árboles a un diámetro cuadrático de 25 cm, mientras que para los árboles aislados se estableció el FCC o la línea "B" densidad mínima un valor de 318,92 árboles para el mismo diámetro cuadrático. A partir de la guía generada se relacionaron índices cuantitativos que permiten comparar el grado de densidad y algunas variables dasométricas en rodales de *Eucalyptus*. Este análisis permite sugerir su aplicación para realizar raleos y esperar una mejor productividad cuando el rodal haya llegado su turno, independientemente de la edad y la calidad de sitio.

Palabras clave: Guía de densidad, índice de densidad de rodales de Reineke, Factor de competencia de copas, Manejo de plantaciones, *Eucalyptus*

Guide for the management of density of *Eucalyptus* forest plantations in the Carmen Rivero Torres Municipality, Santa Cruz - Bolivia

Submitted 05/feb/2020 and accepted 27/aug/2020

Milton Milán Brosovich Gonzales

Forest Engineering, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia.

Email: mbrosovich@gmail.com

Summary

The last decade the management of forest plantations in the Municipality of Carmen Rivero Torres, Department of Santa Cruz has focused on the establishment of *Eucalyptus* stands, which are fast-growing exotic species with a high economic value. The rapid growth of *Eucalyptus* requires proper density management to plan thinning tasks and optimize technical cycles. This parameter is a reliable indicator of the degree of occurrence of trees in a specific place and time, and is one of the few variables that represents in a simple and objective way the structure of forest areas. In order to develop the Reineke Stand Density Index methodology a density guide for *Eucalyptus* plantations has been developed in the private properties of El Recreo, San Crispín and Las Lajitas. In these sites, data from 8.97 ha was gathered and analyzed with approximately 1000 established trees per hectare considered as complete initial density.

In addition, in order to define the Crown Competition Factor, 75 isolated individual trees were measured. In the construction of the density guide the maximum density line or Reineke's IDRR level "A" was determined. This resulted a value of 956.01 trees at a quadratic diameter of 25 cm, whereas for isolated trees, the FCC or the minimum density "B" line resulted a value of 318.92 trees for the same quadratic diameter. With the generated guide, quantitative indexes were related allowing to compare the degree of density and dasometric variables in *Eucalyptus* stands. This analysis allows us to suggest its application for thinning and to expect better productivity when the stand has reached its rotation, independently of age and site quality.

Keywords: Density guide, Reineke Stand Density Index, Crown Competition Factor, Plantation management, *Eucalyptus*

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los productos forestales maderables dependen en gran manera del manejo adecuado de la densidad del rodal a través del turno, donde el manejo adecuado y oportuno de las nuevas masas es de vital importancia para lograr la productividad deseada. Estas prácticas silviculturales tiene gran importancia en el establecimiento y manejo de plantaciones forestales de carácter comercial. (Rodríguez *et al.*, 2009).

En Bolivia las prácticas silviculturales de establecimiento y manejo de plantaciones forestales están a cargo de los propietarios de terrenos y técnicos especializados que buscan obtener un mejor aprovechamiento. De acuerdo a Aguirre (2000) el CIAT viene monitoreando el crecimiento de plantaciones forestales desde al año 2000 en una superficie alrededor de 1.000 hectáreas de plantaciones distribuidas en 14 municipios del departamento de Santa Cruz. Este autor muestra que los resultados sobre el estado de las plantaciones, así como la tasa de crecimiento, volumen, calidad junto a los a información de sobrevivencia y mortalidad es muy importante en la toma de decisiones a la hora de realizar el manejo de la plantación forestal.

Por otra parte, Álvarez (2008) señala que una de las características de las plantaciones en nuestro departamento es la

baja diversidad de especies empleadas con fines comerciales; en el cual se llegó a determinar 7 especies, siendo estas las más utilizadas: *Schizolobium* sp., *Tectona grandis* L., *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., *Swietenia macrophylla* King., *Melia azederach* var. *gigantea* L. y *Hevea brasiliensis* Willd. ex A.Juss.

Esto demuestra que el manejo de plantaciones forestales para propósitos comerciales data de aproximadamente dos décadas y se emplean pocas especies. Una de las principales causas es el poco conocimiento de herramientas que ayuden a determinar las intensidades de corta adecuadas para aplicar raleos; por lo que cada técnico forestal aplica sus propios criterios que no siempre son los más ajustados. Por esta razón se tiene la necesidad de contar con herramientas que permiten calificar el manejo de la densidad a través del tiempo. La guía de densidad es una herramienta importante para aprovechar plenamente la capacidad productiva del sitio y mejorar la calidad de los productos forestales. Es decir que, en aquellos rodales se apliquen las intensidades de cortas adecuadas, con base en el número de árboles presentes y diámetros existentes en el rodal. Mediante los raleos se reduce la competencia entre los árboles, generando individuos más grandes, produciendo mayores rendimientos volumétricos, estimulando la resistencia al ataque de plagas y enfermedades, teniendo un desarrollo favorable (Oliver 1996). Los objetivos fundamentales de los raleos son: redistribuir el crecimiento

potencial de la masa de un modo que resulte óptimo y utilizar todo el material comercial producido por la masa durante un turno (Hawley 1982).

Esa es la importancia de generar una guía de densidad como una herramienta de apoyo a una política de plantaciones forestales en Bolivia, pero fundamentalmente a los técnicos responsables del establecimiento y manejo de plantaciones, así como a los propietarios de los mismos para determinar los espaciamientos óptimos a los cuales las especies de interés tengan un desarrollo favorable.

En Bolivia no existen estudios para las especies de género *Eucalyptus* como una guía de densidad, a pesar de ser una especie que se tiene mucho conocimiento, es muy importante económicamente y muy utilizada en otros países tropicales. Además, es muy relevante por su gran capacidad de establecimiento en un amplio rango geográfico del país, rápido crecimiento, mercado seguro entre los más importantes, y porque tiene una madera relativamente dura, por lo tanto, muy apreciada en la industria maderera. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es generar una guía para el manejo de la densidad en rodales puros de *Eucalyptus* basada en el Índice de Densidad de Rodales de Reineke (IDRR) y en el Factor de Competencia de Copas (FCC). Esta guía ayudará a realizar intensidades de raleos adecuados, con base en el número de árboles presentes y diámetros existentes en el rodal, es decir, con base en la competencia deseada.

MÉTODOS

Área de estudio

La guía de densidad fue construida para plantaciones de clones del género *Eucalyptus* procedentes de la República de Brasil. Estas plantaciones se encuentran establecidas en los predios privados El Recreo, San Crispín y Las Lajitas en el Municipio Carmen Rivero Torrez, Tercera Sección Municipal de la Provincia Germán Bush del Departamento de Santa Cruz. Se localiza entre las coordenadas 18°40'33" S y 58°53'58" O, con una elevación de 180 m s.n.m. (Figura 1).

De acuerdo a los Planes de Ordenamiento Predial, para los tres predios se realizaron estudios de suelos, estos presentan profundidades mayores a 100 cm con una textura que varía de mediana a pesada. El drenaje es moderadamente drenado, la fertilidad es media con pH de 6,0 a 6,5, la aptitud de uso del suelo es para ganadería, protección y plantación forestal que presenta tres tipos de textura Arenoso Franco (AF), Franco Arenoso (FA) y Franco Arcillo Arenoso (FYA) (Lijerón 2009).

La región presenta una precipitación promedio anual de 1085,4 mm/año, existiendo un período de 6 meses de lluvias (octubre - marzo), período que hace un 80 % de las lluvias con una precipitación promedio anual de 575,9 mm/año. La temperatura media anual es de 26,9°C; teniendo una media mínima de 22,6°C y una media máxima de 30,7°C, la precipi-



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

tación anual encuentra alrededor de los 1100-1200 mm/año. En la época seca, que es aproximadamente de 4 meses, las precipitaciones se consideran como lloviznas aisladas.

Según la clasificación ecológica, las áreas de estudio se encuentran en la categoría de Escudo Brasílico y Llanura Beniana (Holdridge 1967). Asimismo, el mapa de Zona de Vida, muestra que se encuentran en la categoría de Bosque Seco Templado (bs-TE).

El estudio se realizó en tres rodales de plantaciones de *Eucalyptus* en las pro-

piedades privadas El Recreo, San Crispín y Las Lajitas establecidas en los años 2010 al 2012 y que pertenecen a la ex Sociedad Agroforestal hoy denominado empresa BOLIVERDE SRL. Esta empresa tiene un convenio con la Carrera de Ingeniería Forestal, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno para realizar prácticas forestales y estudios relacionados a bosques naturales y principalmente plantaciones forestales de carácter comercial.

Diseño del estudio

La superficie total de estudio comprende 8,97 ha; El Recreo con 4,2 ha, San Crispín 4,2 ha y Las Lajitas con 2,8 ha siendo la más pequeña de las superficies.

Para determinar el IDRR se tiene de cada sitio información de valores observados como el número de árboles (NA), la altura total (A) y el diámetro normal (DN) de todos los árboles vivos dentro de cada parcela para estimar las siguientes variables del rodal: área basal (AB), número de árboles (NA). Se consideró que las plantaciones tengan una densidad completa de acuerdo a su densidad inicial (2,50 m entre hilera y 4 m entre surco con un aproximado de 1000 árboles por ha).

Para la selección de árboles individuales para determinar el FCC fueron seleccionados 75 individuos de *Eucalyptus* que fueron establecidos en forma aislada y dispersa dentro de los predios. En estos se midió la proyección de la copa al suelo en dos direcciones: Norte a Sur y Este a Oeste, de estas mediciones se derivó el diámetro de copa promedio por individuo; también se midió el diámetro normal de cada individuo aislado.

Análisis de datos

La base de datos se elaboró en Microsoft Excel y el análisis se realizó mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), con una base de datos para rodales de densidad completa

(sitios) y otra para árboles aislados; se obtuvieron diagramas de dispersión para detectar datos atípicos y ajustar la información. Para estimar el Dq se utilizó la expresión de Clutter *et al.* (1983).

Una vez determinado el diámetro cuadrático, se eligió el diámetro de referencia (Dqr) en 25 cm, de acuerdo a lo propuesto por Reineke (1933) y Vega (1995), el cual permite hacer comparaciones entre rodales. Para el ajuste del modelo de IDRR se utilizó el diámetro cuadrático de cada sitio y el número de árboles extrapolados a la hectárea, luego se efectuó un ajuste de los datos a una regresión no lineal, a fin de predecir el número de árboles ha⁻¹ por categoría diamétrica; para ello se utilizó la siguiente expresión (Montero *et al.*, 2007):

$$N = b_0 (D_q)^{-b_1}$$

Este modelo general, en forma linealizada, se expresaría así (Clutter *et al.* 1983):

$$\log(N) = \log(b_0) + b_1 \log(D_q)$$

Donde:

N= Número de árboles ha⁻¹

b₀= Coeficiente de regresión (intercepto)

b₁= Coeficiente de regresión (pendiente)

log= Logaritmo base 10.

Con el objeto de definir la curva de referencia se hizo variar el intercepto al origen y se conservó la pendiente para cualquier índice a partir del modelo general (Gingrich 1967, Zepeda 1984, Zepeda y

Villarreal 1997, Aguirre y Jiménez 1992; Aguirre y Jiménez 1994, Alonso 1996) con la siguiente expresión:

$$\log(N) = b_0 + b_1 \log(D_{\bar{q}})$$

Al despejarse se tiene:

$$\log(N) = \left(b_1 \log D_{\bar{q}} \right) + b_0$$

$$\log(N) = k + b_0$$

$$\log(N) - k = b_0$$

Donde:

N= Valor por donde requiere pasar la curva, denominado “índice de densidad”;

K= Constante.

El cálculo del área basal por hectárea se logra utilizando la siguiente ecuación:

$$abh^{-1} = \left(b_0 D_{\bar{q}}^{\text{bl}} \right) \left(\frac{0.7854 D_q^2}{10\,000} \right)$$

Donde:

abh^{-1} = Área basal por hectárea (m^2ha^{-1}).

El FCC es un índice cuantitativo que permite comparar el grado de densidad que pueden alcanzar los árboles de una especie, independientemente de la edad, calidad de sitio, número de árboles y permite una apreciable visión de las razones por las que algunas especies pueden crecer en rodales más densos que otros (Daniels *et al.*, 1982).

El FCC se diseñó para aportar información acerca de la máxima cantidad de espacio disponible que puede utilizar un árbol y acerca del mínimo necesario para

que el árbol pueda sostener su sitio dentro del rodal (Krajicek *et al.*, 1961, citado por Daniels *et al.*, 1982).

Para ajustar el modelo de FCC con el supuesto de que existe una correlación alta entre el diámetro de copa del árbol que creció de forma libre, sin interferencias, y el diámetro normal (Krajicek *et al.*, 1961), con pares de los valores de área de copa (m) y diámetro normal del fuste (cm) medido a 1.3 m de altura de árboles aislados, se generaron los coeficientes de regresión lineal del modelo:

$$dc = b_0 + b_1(d)$$

Donde:

dc= Diámetro de copa (m)

d = Diámetro normal promedio (cm)

b_0 = Coeficiente de regresión (intercepto)

b_1 = Coeficiente de regresión (pendiente)

Luego se determinó el área de copa de árboles individuales (ac) en m^2 , mediante la ecuación:

$$ac = 0.7854(dc)^2$$

Sustituyendo se tiene:

$$ac = 0.7854(b_0 + b_1 d)^2$$

Cuando se redefine ac por área máxima de copa individual ($amci$), se desarrolla el binomio al cuadrado, de acuerdo a Krajicek *et al.* (1961), Clutter *et al.* (1983), Zepeda (1984) y Husch *et al.* (1982).

Para el cálculo de espacios de crecimiento (ec), número de árboles por hectárea (nah⁻¹) y área basal por hectárea (abh) se utilizan las siguientes expresiones:

Espacios de crecimiento

$$ec (\%) = \left(\frac{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2}{10\,000} \right) 100$$

Donde:

ec(%) = Espacio de crecimiento en porcentaje de superficie

El número de árboles por hectárea se estima con la siguiente expresión:

$$nah^{-1} = \frac{10\,000}{\frac{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2}{100}} = \frac{10\,000}{amci}$$

Por último, para calcular el área basal por hectárea se empleó la siguiente expresión:

$$abh^{-1} = 0.7854 \left(\frac{d}{100} \right)^2 \left(\frac{10\,000}{\frac{(0.7854)(b_0 + b_1 d)^2}{100}} \right)$$

Construcción de la guía de densidad:

Estimación de valores en la línea “A” o densidad máxima: Se usaron los valores calculados del *IDRR* en la construcción de la línea, la cual pasa por el máximo número de árboles ha⁻¹ a un diámetro cuadrático de referencia (*Dqr*) base de 25 cm.

Con los valores de número de árboles ha⁻¹ por categoría diamétrica, se estima el área basal ha⁻¹ para construir la guía de densidad. Mediante la unión de los valores que representan el diámetro cuadrático, número de árboles y área basal, se define la posición; el grado de densidad es expresado en porcentaje de la línea “A” tanto en el número de árboles como en área basal ha⁻¹.

Estimación de valores en la línea “B” o densidad mínima:

Para la generación de la línea se emplearon los valores del FCC de la relación del área de copa y el número de árboles. Se obtuvo el número de árboles por categoría diamétrica y los valores del área basal ha⁻¹, de esto resultó la posición de la línea “B” en la guía por la unión de valores.

Estimación de valores en la línea “C” o densidad mínima aceptable:

Con los valores resultantes para número de árboles y área basal total según el índice de densidad de rodales de Reineke, se definió la línea de 100% o línea A. Partiendo de este porcentaje se calcularon los diferentes grados de densidad a intervalos de 10%. De acuerdo a la metodología propuesta por Gingrich (1967), se integraron en la guía los valores de área basal y diámetro cuadrático promedio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Índice de densidad de rodales de Reineke:

Se determinó que los valores de los coeficientes de regresión fueron:

$$b_0 = 87129,39035 \text{ y}$$

$b_1 = -1,40185$ de la ecuación, la cual tuvo un $R^2 = 0.9969$ y un valor de ($Pr \geq 0.0001$), que indican evidencia altamente significativa, de que el número de árboles de *Eucalyptus*, en el área de estudio, es el producto de la predicción del diámetro cuadrático medio de los mismos.

De acuerdo a este parámetro se determinó el IDRR= 956,01 para los rodales de *Eucalyptus* con un diámetro cuadrático de referencia de 25 cm.

$$NAH = 87129.39035 Dc^{-1.40185}$$

$$NAH = 87129.39035 (25)^{-1.40185}$$

$$IDR = 956.01$$

El área basal por hectárea fue calculada en 46.9281 aplicando la ecuación que estima el número de árboles por hectárea multiplicada por el área basal de árboles individuales de un diámetro cuadrático dado.

$$ABH = 87129.39035 (DC)^{-1.40185} * (0.00007854 (DC)^2)$$

$$ABH = 87129.39035 (25)^{-1.40185} * (0.00007854 (25)^2)$$

$$ABH = 956.01 * 0.0490875$$

$$ABH = 46.9281 m^2$$

Con este resultado podemos exponer que

cuando hay una cercanía a la máxima densidad expresado al 100% o línea "A" donde se concentran los diámetros más grandes podemos encontrar menor cantidad de árboles. Comportamiento que corresponde a la Ley de Auto-raleo o curva de Liocourt (Yoda et al. 1963) basada en la competencia entre individuos del rodal. El valor calculado de la pendiente es de $b_1 = -1.40185$, cercano al obtenido por Reineke (1933) en *Pinus hartwegii Lindl.* con 1.56; Torres et al. (2000) en una mezcla de *Pinus-Pseudotsuga-Alnus* y *Quercus*, con -1.45, -1.80 y -1.51.

Las diferencias entre los valores de las pendientes en los estudios mencionados se atribuyen a efectos aleatorios de muestreo, a diferencia entre las especies estudiadas, características propias de las especies, ya que para cada x (Dq) existe una cantidad de valores como es el número de árboles por unidad de superficie bajo una distribución normal. Respecto a la variación de la pendiente de la línea, también se adjudica a las diferentes condiciones de desarrollo de las plantaciones, diferentes especies, su distribución dentro del rodal y la densidad existente.

Factor de Competencia de Copas:

En la construcción del FCC se emplearon los diámetros de los fustes a la altura de 1.3 m y el diámetro promedio de copa de 75 árboles aislados de *Eucalyptus*, se generó la siguiente expresión, cuyo ajuste fue satisfactorio $R^2 = 0.9996$ y $Pr \geq 0.0001$:

$$DC = 0.661708 + 0.226273 * DN$$

Donde:

DC = Diámetro de copa (m).

DN = Diámetro normal (cm).

Para calcular el área máxima de copa individual (AMCI), que expresa en términos de porcentaje de una hectárea, el área máxima de terreno que teóricamente podría ocupar la copa de un árbol de diámetro normal dado, se procedió como sigue:

$$AC = \frac{\pi}{4} * (Dc^2)$$

Donde:

AC = Área de la copa de un árbol individual (m^2).

DC = Diámetro de copa (m).

Redefiniendo ahora AC por AMCI, al sustituir el diámetro de copa de la primera ecuación por el diámetro de copa de árboles creciendo sin competencia de la segunda ecuación se genera la siguiente expresión:

$$AMCI = \frac{\pi}{4} ((R_0 + R_1 DN)^2)$$

$$AMCI = \frac{\pi}{4} (0.661708 + 0.226273 * DN)^2$$

$$AMCI = 0.7854 * (0.437857477 + 0.299453308 * DN + 0.05119947 * DN^2)$$

$$AMCI = 0.343893262 + 0.235190628 DN + 0.040212063 DN^2$$

El área máxima de copas, expresa en términos de porcentaje de una hectárea, el área máxima de terreno que podría ocupar la copa de un árbol determinado.

Una vez determinada la ecuación para el AMCI se estimó el espacio de crecimiento (EC) que teóricamente ocupan los árboles de categorías diamétricas dadas y que crecen libremente, así como el número de árboles (NA) y área basal por hectárea (ABH).

El espacio de crecimiento en porcentaje de superficie (EC%), es la proporción de superficie en una hectárea que ocupa la copa de un árbol creciendo sin competencia, para esto se utilizó la siguiente expresión:

$$EC\% = (AMCI / 10000) * 100$$

Donde:

EC% = Espacio de crecimiento en porcentaje de superficie.

Esta expresión desarrollándose generó la siguiente ecuación:



$$EC\% = (0.343893262 + 0.235190628 DN + 0.040212063 DN^2) / 100$$

Para el cálculo del número de árboles por hectárea se utilizó la siguiente expresión:

$$NAH = \left(\frac{10000}{\frac{\pi}{4} \left(\beta_0 \div \beta_1 DN \right)^2} \right) \frac{100}{100}$$

$$NAH = \frac{10000}{\frac{0.343893262 + 0.235190628 DN + 0.040212063 DN^2}{100}}$$

La función resultante para obtener el área basal por hectárea es:

$$ABH(m^2/ha) = \left(\frac{\pi}{4} \left(\frac{DN}{100} \right)^2 \right) (NAH)$$

$$ABH(m^2/ha) = \left(\frac{\pi}{4} \left(\frac{DN}{100} \right)^2 \right) \left(\frac{10000}{\frac{\pi}{4} \left(\beta_0 \div \beta_1 DN \right)^2} \right) \frac{100}{100}$$

Donde:

NAH = Número de árboles por hectárea.

ABH = Área basal total por hectárea (m^2)

Finalmente se realizó el cálculo del factor de competencia de copas para una hectárea tipo, utilizando la siguiente expresión:

$$FCC = \left(\frac{\sum_{i=1}^n AMCI}{area \circ del \circ rodal} \right)$$

Lo cual es equivalente a (García et al., 1994):

$$FCC = \sum EC (\%)_i$$

Para:

$i = 1, 2, 3, \dots$ hasta el número de árboles en una hectárea tipo.

Donde:

FCC = Factor de competencia de copas.

EC (%) = Espacio de crecimiento relativo.

El FCC es la suma de todas las EC(%) de los árboles que se encuentran sobre la unidad de superficie, por lo que se puede afirmar que los rodales de *Eucalyptus* que crecen sobre el nivel “B” se supone que crecen con el espacio máximo posible requerido para crecer sin competencia y que, en ausencia de intervenciones o disturbios tenderán con el tiempo hacia el nivel “A”. Aquí entonces podemos asu-

mir que entre el área de la línea “A” y la línea “B”, donde se utiliza todo el espacio de crecimiento, los rodales serán de densidad completa o cerrada.

En relación con la parte baja de la línea “B” se tiene un rodal subpoblado, en el cual se espera que en el transcurso de un tiempo alcance la densidad completa mínima o la línea “B”. Para el caso de la línea “C”, por debajo de ella, el rodal presenta una deficiencia de densidad; en consecuencia, se necesitarían tratamientos para aumentar esa densidad.

Construcción de la guía de densidad:

En la Figura 2 se incluyen datos de número de árboles por hectárea, diámetro cuadrático promedio, área basal por hec-

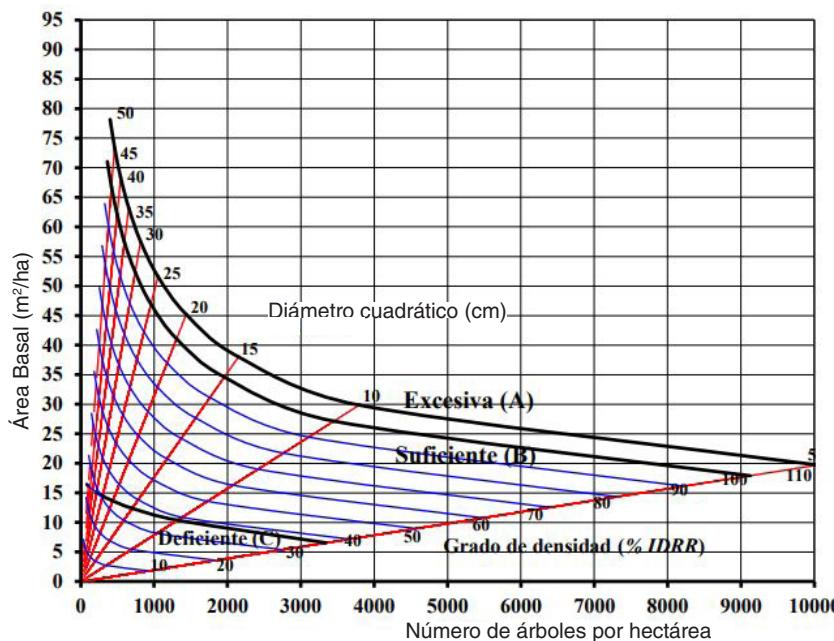


Figura 2. Guía de densidad para rodales de *Eucalyptus* en el Municipio de Carmen Rivero Torres, para diámetros cuadráticos medios de 5 a 50 cm.

tárea, grado de densidad en porcentaje, así como el rango de densidad suficiente para la especie, comprendidos entre las líneas A y B. (Línea A, índice de densidad de rodales de Reineke) y (Línea B, factor de competencia de copas). Se estiman los diversos grados de densidad con base en los resultados consignados para IDRR, de acuerdo a la metodología propuesta por Gingrich (1967).

Para la línea de densidad mínima ("B"), dibujada a un porcentaje del IDRR (31,35%) de la densidad máxima (basado en el diámetro cuadrático de referencia de 25 cm) explica cuándo un rodal tiene una densidad suficiente o deficiente. Estos valores son generados con las ecuaciones derivadas del Factor de Competencia de Copas (FCC) para el número de árboles y área basal. Los resultados para el caso del IDRR y el FCC se muestran en el Cuadro 1.

La línea "C" que representa la densidad mínima aceptable, se obtuvo con base en los incrementos diamétricos promedios por categoría, al dar valores entre 25% respecto a la densidad máxima aceptable, lo cual expresa los valores del área basal, el diámetro cuadrático promedio y el número de árboles por hectárea, así como de densidad, para el óptimo desarrollo del rodal; se creó la guía de densidad propuesta (Figura 2).

Manejo de la guía de densidad:

La Figura 2 indica que arriba de la línea "A" existe una sobre población del arboreto, esto conlleva la necesidad de aplicar un tratamiento silvicultural como un raleo para disminuirla y lograr la apertura de espacios. Entre el área de la línea "A" y la línea "B", en el que se encuentra concentrado todo el espacio de crecimiento, los rodales de *Eucalyptus* tienen una densidad completa o cerrada. Mientras que en la parte baja de la línea "B" se tiene un rodal subpoblado, en el cual se espera que en el transcurso de 5 años alcance la densidad mínima o la línea "B". Para el caso de la línea "C", por debajo de ella, se puede ver la presencia baja de densidad.

CONCLUSIONES

La guía de densidad construida para la plantación de *Eucalyptus* con un diámetro cuadrático de 25 cm, permite al personal técnico de la empresa realizar tratamientos. Esto implica que de ese rodal se puede remover mediante raleos, un área basal de 4,69 m²/ha o dejar 860 árboles por ha-1 del mismo diámetro promedio y todavía mantenerse en el rango de suficiencia en cuanto a la ocupación plena del espacio de crecimiento.

Cuadro 1. Diámetro de copa (dc), área máxima de copa individual (amci), número de árboles por hectárea (nah⁻¹) y área basal por hectárea (abh⁻¹) para *Eucalyptus* estimados a partir del IDRR y FCC en predios El Recreo, San Crispín y Las Lajitas del Municipio de Carmen Rivero Torres del Departamento de Santa Cruz.

IDRR			FCC					
Diámetro Medio	Número de árboles por Hectárea	Área Basal (m ² /ha)	Diámetro Medio (cm)	DC (m)	AMCI (M ²)	EC (%)	NHA	ABH
(cm)								
5	9126.70	179.203	5	17.931	2.525	0.02525	3960.16	77.758
10	3453.94	271.272	10	29.244	6.717	0.06717	1488.76	116.927
15	1956.42	345.728	15	40.558	12.919	0.12919	774.03	136.782
20	1307.12	410.645	20	51.872	21.133	0.21133	473.20	148.662
25	956.01	469.281	25	63.185	31.356	0.31356	318.92	156.548
30	740.39	523.354	30	74.499	43.590	0.43590	229.41	162.159
35	596.50	573.905	35	85.813	57.835	0.57835	172.90	166.354
40	494.67	621.624	40	97.126	74.091	0.74091	134.97	169.608
45	419.38	666.998	45	108.440	92.357	0.92357	108.28	172.205
50	361.80	710.386	50	119.754	112.634	112.634	88.78	174.326

Por otra parte, cuando se tiene un área basal y una densidad inferior a la línea de mínima densidad o nivel “B”, deberá dejarse más tiempo la masa forestal sin intervención silvícola hasta que alcance la densidad deseada y sobreponga este nivel “B”, así como orientar el rodal a ocupar de manera efectiva la superficie en el lugar.

La presente guía de densidad construida bajo esta metodología de IDRR y FCC para los rodales de los predios El Recreo, San Crispín y Las Lajitas sugieren que la intensidad de raleo puede ser muy importante tomando en cuenta los valores de A; B y C en el cual se puede realizar un

raleo del valor de 50% ya que el área “B” permite aproximarse hasta el 40% antes de entrar a la zona “C” o deficiente.

Como se ve en los resultados un aspecto importante a considerar dentro de la densidad del rodal de *Eucalyptus* es que a medida que los incrementos diamétricos sean mayores, los sitios requieren más espacio. Una alternativa para nuestro caso es llegar a un raleo más allá del diámetro cuadrático de referencia por ejemplo DAP promedio 50 cm y NAH 88.78 individuos con la implicancia que se pudiera tener un rodal más productivo si la plantación tiene el objetivo de producir madera aserrada.

La guía de densidad obtenida representa una herramienta para planificar diferentes opciones de manejo de la densidad de rodales puros de *Eucalyptus* tanto para el Municipio de Carmen Rivero Torres del departamento de Santa Cruz y todo el territorio Nacional donde se están estableciendo plantaciones forestales de carácter comercial.

Otro aspecto importante para los silvicultores que puedan implementar esta guía de densidad de rodales comerciales de *Eucalyptus* en la región tienen que conocer el crecimiento y su fisiología de desarrollo en altura, diámetro normal, diámetro de copa, etc. a fin de implementar de manera adecuada los raleos y llegar a una productividad deseada. Por lo tanto, la guía de densidad construida representa un soporte para planificar diferentes opciones de manejar la densidad para *Eucalyptus* en el Municipio de Carmen Rivero Torres.

Estos resultados muestran la importancia de tener esta herramienta para las futuras plantaciones que se realicen en el Municipio porque realizar los raleos adelantados o tardíos pueden presentar bajos incrementos en la masa remanente del rodal y al final del turno se puede presentar con desventajas en la calidad de la madera.

La metodología aplicada es confiable para definir los límites de variación natural de la densidad para *Eucalyptus* en esta región; los modelos utilizados muestran la capacidad tanto explicativa como

predictiva como base para el manejo forestal.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Carrera de Ingeniería Forestal por intermedio del PhD Eduardo Sandoval y a BOLIVERDE S.R.L. por las facilidades prestadas para llevar acabo el presente estudio.

A los revisores del artículo que ayudaron a las mejoras en el contenido y la redacción final del manuscrito PhD. Lincoln Quevedo y PhD Juan Carlos Montero. También se agradece al Ing. Raúl Aguirre y al Ing. Gonzalo Peña, quienes contribuyeron con observaciones importantes que están incluidas en el manuscrito. A los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Forestal que han colaborado en los inventarios de campo y tareas de gabinete. Este trabajo de investigación es financiado por la DICIT de la Universidad Autónoma Gabriel Rene Moreno.

REFERENCIAS

- Aguirre, C. O. y Jiménez J. P. 1992. Índice de densidad del rodal de Reineke para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León. In: II Simposio Regional de Biología. Cd. Victoria, Tamaulipas. México. p. 13.
- Aguirre, C. O. y Jiménez J. P. 1994. Índice de densidad del rodal de Reineke para *Pinus teocote* Sch. et Cham. en Nuevo León. In: II Simposio Re-

- gional de Biología y Ecología, Tam-pico, Tamps. México. 7 p.
- Aguirre, R. 2000. Monitoreo de plan-taciones forestales a escala comer-cial adaptabilidad de 6 especies y sus crecimientos en Santa Cruz. Informe Técnico, CIAT, Santa Cruz, Bolivia.
- Alonso, G. L. 1996. Guía de densidad para *Pinus rufa* Endl. en Arteaga, Coah. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Coah. México. 76 p.
- Álvarez, A. 2008. Diagnóstico de plan-taciones forestales comerciales en Santa Cruz. Tesis de Grado. Uni-versidad Autónoma Gabriel René Moreno. Santa Cruz, Bolivia.
- Cano, C. J. 1988. El sistema de manejo regular de los bosques en Méxi-co. Fundamentos de Silvicultura y su aplicación práctica. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. México. 222 p.
- Clutter, J. L.; Fortson C. J.; Pineaar V. L.; Brister H. G. y Bailey L. R. 1983. Timber management, a quantitati-ve approach. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY. USA. 333 p.
- Daniel, T. W.; Helms A. J. y S. F. Baker. 1982. Principios de Silvicultura. Editorial McGraw-Hill. México, D.F. México. 482 p
- García, R. F.T. y Hernández E. 1994. Ela-boración de dos guías de densidad para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Macultianguis, Oaxaca. Revista Chapingo, Serie:
- Ciencias Forestales. Vol. 1 Num. 1. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México p 83-89.
- Gingrich, S. F. 1967. Growth and yield in uneven aged silviculture and mana-gement in the United States. USDA Forest Service. Washington, DC. USA. pp. 115-124.
- Holdridge, L.S. 1967. Ecología basada en zonas de vida. Editorial IICA. San José, Costa Rica. 206 p.
- Husch, B.; Miller C. y Beers T. 1982. Fo-rest mensuration. John Wiley and Sons, Inc. New York, NY USA. 402 p.
- Krajicek, E. J.; Brinkman A. K. y Gingrich. S. F. 1961. Crown competition, a measure of density. Forest Science. 16 (1):5-42.
- Lijerón, M. F. 2009. Plan de Ordenamien-to Predial Predios El Recreo, San Crispín y Las Lajitas en el Municipio del Carmen Rivero Torres, Santa Cruz – Bolivia.
- Montero, M.; De los Santos-Posadas H. M. y Kanninen M. 2007. *Hyperonima alchorneoides*: ecología y silvicul-tura en Costa Rica. Serie Técnica. Informe Técnico/CATIE No. 354. Tu-rialba. Costa Rica. 50 p.
- Reineke, L. H. 1933. Perfecting a stand density index for even aged forests. J. Agric. Res. 46 (7): 627-638.
- Rodríguez, R.; Razo, R.; Díaz, D. y Meza, J. 2009. Folleto de Guía de Den-sidad para *Pinus montezumae* en su Área de Distribución Natural en el Estado de Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,

- Instituto de Ciencias Agropecuarias, Área Académica de Ciencias Agropecuarias, Área Académica de Ingeniería Forestal. México 33 p.
- Torres R., J. M. y Magaña O. S. 2001. Evaluación de plantaciones forestales. Editorial Limusa. México, D.F. México. 472 p.
- Vega M. G. 1995. Elaboración de una guía de densidad para *Pinus pseudostrobus* Lindl. en el estado de Nuevo León. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, N. L. 45 p.
- Yoda, K.; Kira, T.; Ogawa, H. y Hozumi, K. 1963. Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. Journal of Biology, Osaka City University, 14, 107-129.
- Zepeda, E. M. 1984. Ejemplificación de tres procedimientos para caracterizar rodales por su densidad. Serie de Apoyos Académicos No. 34, Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Bosques. Chapingo, Edo. de Mex. México. 57 p.
- Zepeda, B. M. y Villareal M.E. 1987. Guía de densidad para *Pinus hartwegii* Lindl., Zoquiapan, México. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 52 p.