

TEMA 9: ESTRUCTURA y DENSIDAD  
POR: ENRIQUE WABO

## 1 ESTRUCTURA

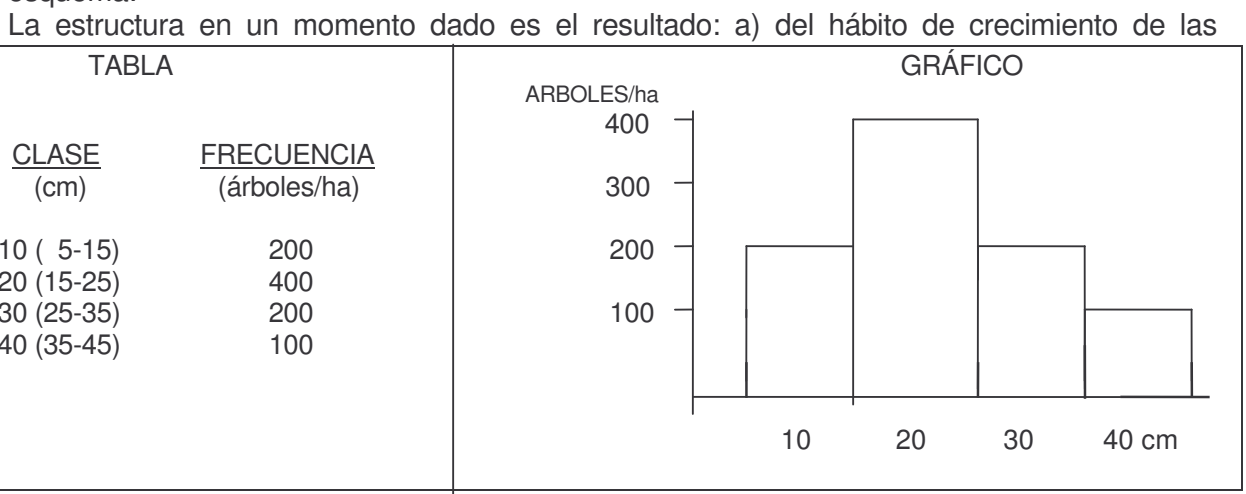
### 1.1 INTRODUCCIÓN

Una de las acepciones de la palabra estructura es "arreglo o disposición de las diversas partes de un todo". Para facilitar este "arreglo" es conveniente definir clases dentro de las cuales ubicamos los elementos de interés. Para definir esas clases debemos recurrir a alguna característica de esos elementos. En consecuencia, la forma en que la estructura se describa dependerá de la característica elegida.

En el caso de los árboles, podemos conformar las clases con diversas magnitudes o valores, como, por ejemplo: clases de diámetro, clases de altura y clases de forma. Sin embargo, y salvo indicación contraria, en el ámbito forestal el término ESTRUCTURA hace referencia a la distribución de los árboles en clases de diámetro (o clases diamétricas). La cantidad de árboles por clase dependerá, en parte, de la extensión que ocupe el área boscosa involucrada. Es así, que para lograr valores comparables y por extensión útiles, se debe eliminar esta fuente de variación. Para ello, la cantidad de individuos por clase se expresa en términos de número medio de individuos por hectárea.

### 1.2 CLASES DE DIÁMETRO

Dijimos que entendemos por ESTRUCTURA DE UNA MASA BOSCOSA, la distribución de sus individuos en Clases de Diámetro o Clases Diamétricas, expresada como el número promedio de árboles por hectárea, por clase. Esto puede hacerse para todas las especies del bosque (forma global) o para cada especie en particular; también puede estar referida a nivel de rodal<sup>1</sup> o de un conjunto de rodales. Las clases y sus frecuencias se pueden indicar en forma tabular o en forma gráfica (barras o histograma), tal como se señala en el siguiente esquema:



<sup>1</sup> Cualquier área de vegetación forestal con condiciones de suelo, historia y composición actual de especies, suficientemente uniformes para administrarse como una unidad.

especies que lo componen, b ) de las condiciones ambientales existentes y c) de las prácticas de manejo, si las hubiese, bajo las cuales la masa se originó y se desarrolló.

### 1.2.1 DEFINICIÓN DE LAS CLASES DE DIÁMETRO

Las clases de diámetro se pueden definir antes o después de recogerse los datos. Aunque no hay reglas fijas, es prudente tener en cuenta los siguientes recaudos:

- a) Se asume como diámetro de cada clase el valor correspondiente al punto medio del intervalo.
- b) Los sucesivos puntos medios deben ser equidistantes, para permitir que las frecuencias por clase sean comparables.
- c) Una vez definidas las clases, debemos tratar a todos los valores de cada clase como si fueran exactamente iguales al valor de su punto medio.
- d) Si definimos puntos medios de las clases bajo las condiciones apuntadas, el rango de cada clase será la diferencia entre dos puntos medios sucesivos y sus límites serán  $\pm$  la mitad de ese intervalo.

Usualmente, los intervalos de las clases son de 5 ó 10 centímetros. Debe tenerse presente, que clases más estrechas se pueden luego reunir para formar clases más amplias, pero no puede hacerse a la inversa.

### 1.2.2 OBTENCIÓN DE DATOS

Existen distintas alternativas para determinar la estructura de un bosque. La siguiente es una manera de ordenar esas alternativas.

- I. Se mide el diámetro de todos los árboles involucrados, y:
  - a) se registra el diámetro de cada árbol; o
  - b) se lo registra como frecuencia en la clase correspondiente.
  
- II. Se mide el diámetro en una fracción de los árboles involucrados para obtener una estimación de la frecuencia por clase, y:
  - a) se cuenta el número total de árboles en la masa; de ambos valores se obtiene una estimación del número total de árboles por clase.
  - b) se estima el total de árboles mediante de parcelas de muestreo; de ambos valores se obtiene una estimación del número total de árboles por clase.

### 1.3 TIPOS DE ESTRUCTURA

Dependiendo de la forma en que los árboles se instalan y mueren a lo largo del tiempo, los rodales muestran dos modelos de estructuras, que son: el tipo de masas COETÁNEAS y el tipo de masas INCOETÁNEAS o DISCETÁNEAS. Puede verse que la estructura está asociada con la edad de los árboles.

### 1.3.1 MASAS COETÁNEAS

Sus árboles se han instalado durante un corto período de tiempo, por lo que sus individuos pertenecen a una misma clase de edad. La amplitud de la clase de edad no es un valor fijo sino que varía con el período de tiempo durante el cual se formó el rodal.

Sus árboles son muy consistentes en altura, con variaciones según la posición relativa de sus copas. Según esta posición relativa se las clasifica en Dominantes, Codominantes, Intermedias y Oprimidas o Suprimidas; nombres que se extienden a los correspondientes árboles y que se definen de la siguiente manera:

**Dominante:** Arbol con la copa extendida por encima del nivel general de la canopia, de mayor tamaño que el promedio y bien desarrollada, la que recibe luz directa en su parte superior y en gran parte de sus costados.

**Codominante:** Arbol cuya copa conforma el nivel general de la canopia, generalmente de tamaño medio o más o menos comprimida lateralmente, la que recibe luz directa en su parte superior y poco en sus costados.

**Intermedio:** Arbol con la copa por debajo del nivel de los codominantes, más bien pequeña y visiblemente comprimida lateralmente aunque aún extendida dentro del nivel general de la canopia, la que recibe poca luz directa en su parte superior y ninguna en sus costados.

**Oprimido:** Arbol con la copa ubicada enteramente por debajo de la canopia, la que no recibe luz directa.

Por su parte, los diámetros muestran una variación amplia aunque con un patrón característico: se concentran alrededor de su promedio, con frecuencias decrecientes hacia ambos extremos. A medida que el rodal envejece ocurren los siguientes cambios:

- a) La distribución de las clases de diámetro se desplaza hacia las clases superiores. De esta forma, clases inferiores que estaban representadas dejan de estarlo y clases superiores que no estaban representadas pasan a estarlo;
- b) el rango de los diámetros aumenta; y
- c) el número total de árboles decrece por la muerte de individuos en su lucha por sobrevivir, los más pequeños y menos vigorosos son los que tienden a desaparecer.

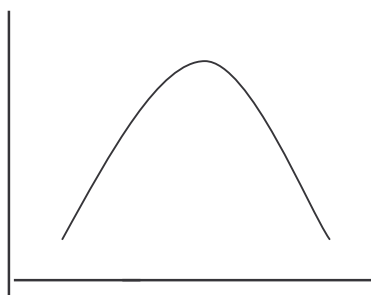
En consecuencia, la distribución diamétrica de una masa coetánea tiende hacia una Curva de Distribución Normal, aunque levemente asimétrica (Fig. 1).

### 1.3.2 MASAS DISCETÁNEAS

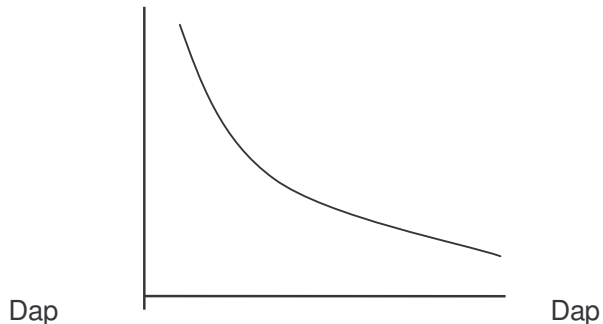
Sus árboles se han instalado durante un largo período de tiempo, por lo que sus individuos pertenecen a distintas clases de edad. Los árboles con distintas edades están entremezclados. La instalación más o menos continuada de árboles es lo que le da permanencia a este tipo de bosque.

Las alturas muestran un perfil muy irregular, ya que posee árboles en todos sus estados de desarrollo. Con relación a los diámetros, la distribución típica es una curva descendente, que parte de un número alto de árboles en las clases diamétricas inferiores, que va descendiendo a medida que nos acercamos a las clases superiores. Se la conoce como "jota invertida" (Fig.2).

Nº árboles/ha



Nº árboles/ha



## 2 DENSIDAD

Cualquier magnitud de un bosque expresada como promedio por hectárea de terreno, o que represente en forma implícita ese promedio, es una medida de la densidad promedio de esa magnitud en ese bosque para todo ese terreno. Las medidas de densidad pretenden dar una idea sobre el grado de ocupación del terreno o de agrupamiento de sus árboles, y tienen aplicaciones diversas; una de las más importantes es en los modelos de crecimiento y de rendimiento. La densidad puede expresarse a través de medidas Absolutas o de medidas Relativas.

### 2.1 MEDIDAS ABSOLUTAS DE DENSIDAD

Dan una medida del grado de agrupamiento de los árboles. Son formas de expresión estáticas aunque útiles como indicadores del volumen de madera, por lo que se las puede utilizar en su estimación. Existen también medidas que representan el espacio medio ocupado por cada árbol o la distancia media que hay entre árboles. A continuación se indican las formas de expresión más utilizadas.

#### 2.1.1 Nº DE ÁRBOLES/HA

Es una medida aplicable a cualquier tipo de bosque, pero es especialmente útil en:

- rodiales discetáneos y homogéneos;

- b) rodales coetáneos sin ralear, para cierta edad y cierta calidad de sitio, y
- c) rodales coetáneos sometidos a raleos si los antecedentes de los raleos son conocidos con todo detalle.

### 2.1.2 AREA BASAL/HA

Representa la suma de las áreas basales que en promedio hay en una hectárea. Es una medida muy utilizada.

### 2.1.3 AREA DE INCIDENCIA (AI)

Indica, en metros cuadrados, el área que en promedio ocupa cada árbol; representa la inversa de la densidad. Sean los siguientes símbolos:

S(ha) = el área boscosa involucrada, expresada en hectáreas.  
N = número total de árboles situados dentro del área S.

Entonces:

$$AI = \frac{S(\text{ha})}{N} \times 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} = \frac{10.000}{\text{densidad}} = \text{m}^2/\text{arbol}$$

Por ejemplo, si S = 18 ha y N = 11.250 árboles, entonces AI =  $18 \times 10.000/11.250 = 16 \text{ m}^2/\text{árbol}$ .

### 2.1.4 SEPARACIÓN MEDIA (SM)

Es una medida de la distancia media entre árboles y se la define como la raíz cuadrada positiva del Area de Incidencia correspondiente.

$$SM = +\sqrt{AI} = +\sqrt{\frac{S(\text{ha}) \times 10.000}{N}} = +\sqrt{\frac{10.000}{\text{densidad}}}$$

Para los mismos datos del ejemplo anterior, tenemos un SM = 4 metros.

### 2.1.5 RELACIÓN DE ESPACIAMIENTO (RE)

Expresa la separación media (SM) en unidades de diámetro promedio (dp). Esta medida toma en cuenta el grosor de los árboles.

$$RE = \frac{SM}{dp} = \frac{+\sqrt{AI}}{dp} = \frac{1}{dp} \sqrt{\frac{S(\text{ha}) \times 10.000}{N}} = \frac{1}{dp} \sqrt{\frac{10.000}{\text{densidad}}}$$

Retomando los valores de los dos ejemplos anteriores y asumiendo un diámetro promedio de 20 cm, la Relación de Espaciamiento resulta ser de  $4/0.20 = 20$ ; esto es, una distancia media entre árboles equivalente a 20 diámetros normales.

## 2.2 MEDIDAS RELATIVAS DE DENSIDAD

Enfocan la densidad desde un aspecto dinámico, como medida de la competencia entre árboles vecinos: a mayor espacio disponible, mayor velocidad de crecimiento de un árbol. Se basan en que el tamaño medio de un conjunto de árboles en un momento dado no es otra cosa que el reflejo del espacio que tuvieron disponible para crecer hasta ese momento. Este espacio se expresa como densidad. Una forma de expresión típica es, por ejemplo, como por ciento de una situación de referencia.

Hay una segunda variante, llamada en inglés FOREST STOCKING<sup>2</sup>, que intenta describir que tan adecuadamente está siendo aprovechado un sitio por los árboles que lo ocupan, para crecer según un objetivo de manejo definido. Así, un rodal con una densidad de área basal de 40 m<sup>2</sup>/ha puede estar sobreocupado, totalmente ocupado o subocupado según la densidad que se considere más deseable. A continuación se indican distintas medidas relativas de expresión de densidad u ocupación.

### 2.2.1 DENSIDAD RELATIVA

Se suelen utilizar los mismos indicadores que en la forma absoluta, pero como proporción de otro rodal que es tomado de referencia. Por ejemplo, expresando el área basal/ha como proporción del mismo valor de un rodal de referencia.

### 2.2.2 INDICE DE DENSIDAD DEL RODAL O INDICE DE REINEKE (IDR)

Expresa la densidad media de un rodal en función del grado de "apiñamiento" que en promedio muestran sus árboles. El IDR se expresa como número de árboles/ha, de individuos con un diámetro medio tomado de referencia.

En un rodal coetáneo la curva de frecuencias relativas de los diámetros puede aproximarse a una Curva Normal. Su forma exacta varía con la especie, pero en algunas especies es esencialmente la misma para un mismo diámetro medio, independientemente de la edad y de la calidad de sitio del rodal. Así, la distribución de frecuencias relativas de los diámetros de dos rodales con igual diámetro medio se pueden representar con una misma Curva Normal, sin importar la edad ni la calidad de sitio. Esto nos permite describir, en forma aproximada, la distribución relativa del diámetro de un rodal coetáneo mediante sólo su diámetro medio.

Por otro lado, es razonable pensar que un área puede contener un número máximo de árboles y que ese máximo dependerá del tamaño de esos árboles: mayor número, si son finos, y menor si son gruesos. En consecuencia, para cualquier diámetro medio debe existir

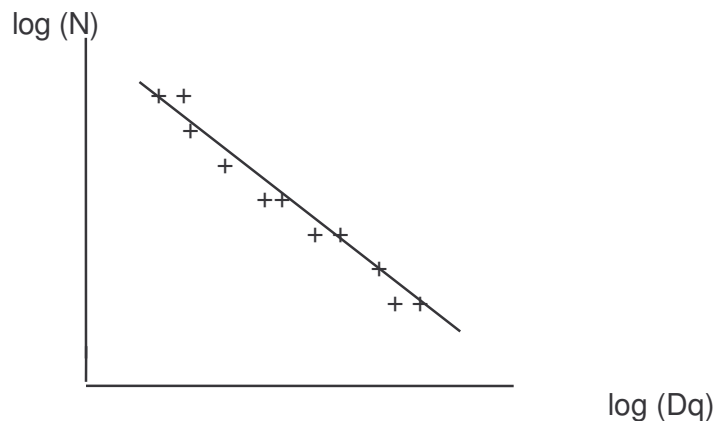
---

<sup>2</sup> Traducido literalmente significa "ocupación forestal"; sin embargo, no existe un término equivalente en castellano.

un límite al número máximo de árboles por hectárea. Del mismo modo, es razonable admitir que los rodales que se ubiquen en ese límite poseen igual grado de cobertura.

Bajo este esquema, los diámetros de dos rodales con igual diámetro medio tendrán la misma curva de distribución de frecuencias relativas (casi Normal), aunque pueden diferir en la frecuencia absoluta (número total de árboles/ha). Obviamente, aquel con el mayor número de árboles por unidad de área será el más denso; y las densidades de otros rodales serán directamente proporcionales a su número de árboles/ha.

En rodales totalmente ocupados, la relación límite entre el número de árboles por hectárea N y el diámetro (cuadrático) medio Dq, a menudo muestran una relación lineal si se expresan en forma logarítmica:



siendo:

N = número de árboles/ha  
 Dq = diámetro cuadrático medio

Reineke observó estas relaciones en rodales coetáneos de algunas especies, tanto de coníferas como de latifoliadas. La relación límite, a que hicimos referencia, puede entonces expresarse como:

$$N = a (Dq)^b \quad (1a)$$

$$y \quad \log N = a' + b \log Dq \quad (1b)$$

Para rodales en situación límite, el grado de cobertura es numéricamente expresado como el número esperado de árboles por hectárea si el diámetro medio del rodal fuese de un determinado valor de referencia (Do)<sup>3</sup>. De esta forma, cuando Dq = Do resulta que N = IDR; así, 1a y 1b se convierten en:

$$IDR = a (Do)^b \quad (2a)$$

$$y \quad \log IDR = a' + b \log Do \quad (2b)$$

Haciendo el cociente entre (2a) y (1a) podemos relacionar N con IDR, dando lugar a la siguiente relación:

$$\frac{IDR}{N} = \left( \frac{Do}{Dq} \right)^b \quad (3)$$

<sup>3</sup> Reineke usó 10 pulgadas como diámetro de referencia.

y de (3) obtenemos:  $\log \text{IDR} - \log N = b (\log D_o - \log D_q)$  (4)

El primer paso consiste en determinar los coeficientes del modelo, para lo cual necesitamos datos de un suficiente número de rodales totalmente ocupados. La recta obtenida representa el número esperado de árboles cuando el rodal se encuentra totalmente ocupado.

Luego, utilizando (4), construimos, para distintos valores N, rectas paralelas a esa recta de referencia. Cada recta se identifica con el número de árboles correspondiente al diámetro de referencia seleccionado. Por ejemplo, si se elige 25 cm como diámetro de referencia y ese valor está asociado con 500 árboles por unidad de área, la recta se identifica con el número 500. El número de árboles por unidad de área asociado al diámetro medio de referencia es conocido como INDICE DE DENSIDAD o INDICE DE REINEKE. Para establecer el IDR de un rodal, ya construidas las rectas, se siguen los siguientes pasos:

- a) se determina el número medio de árboles por hectárea (N) y el diámetro medio correspondiente (Dq);
- b) estos valores se vuelcan en el gráfico de las rectas; y
- c) la recta más cercana a este punto se toma como Índice de Densidad, o se interpola entre las dos rectas que bordean el punto.

Podemos, ahora, definir al IDR como el número de árboles por hectárea de igual diámetro al diámetro de referencia seleccionado.



### 2.2.3 RAZÓN ÁRBOL/ÁREA

El método es independiente de la edad y de la calidad de sitio y válida para rodales coetáneos y discetáneos. Se basa en la suposición de que el área de terreno  $y$  ocupada por un árbol de diámetro  $d^4$ , puede representarse mediante una ecuación de segundo grado:

$$y = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 \quad (5)$$

El área total  $Y$  para  $n$  árboles es la suma de las áreas individuales  $y$ :

$$Y = \sum_{j=1}^n y_j = b_0 n + b_1 \sum_{j=1}^n d_j + b_2 \sum_{j=1}^n d_j^2 \quad (6)$$

que representa el espacio utilizado por los  $n$  árboles para crecer en el área considerada. Si hacemos:

$$n = X_0 \quad \sum d_j = X_1 \quad \sum d_j^2 = X_2$$

(6) se convierte en: 
$$Y = b_0 X_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (7)$$

El primer paso consiste en determinar los valores de los coeficiente  $b_i$  indicados en (7). Para ello seleccionamos  $m$  parcelas de muestreo, determinando para cada una los valores:  $Y$ ,  $X_0$ ,  $X_1$  y  $X_2$  indicados en (7). Para la estimación aplicamos el Método de Cuadrados Mínimos, que consiste en minimizar la suma de cuadrados entre los  $m$  valores  $Y_i$  y el modelo:

$$\sum_{i=1}^m (Y_i - b_0 X_{0i} - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 = \text{mínimo} \quad (8)$$

Si a la densidad presente en el rodal del cual se extrajo esta muestra la tomamos de referencia, nos interesará saber si otro rodal es más, menos o igual de denso que éste. Resulta razonable, entonces, representar sus valores con un 1 (uno), con lo cual (8) pasa a ser:

$$\sum_{i=1}^m (1 - b_0 X_{0i} - b_1 X_{1i} - b_2 X_{2i})^2 = \text{mínimo} \quad (9)$$

sistema que mediante matrices se resuelve de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} \sum X_0 X_0 & \sum X_0 X_1 & \sum X_0 X_2 \\ \sum X_1 X_0 & \sum X_1 X_1 & \sum X_1 X_2 \\ \sum X_2 X_0 & \sum X_2 X_1 & \sum X_2 X_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum X_0 \\ \sum X_1 \\ \sum X_2 \end{bmatrix}$$

Los coeficientes  $b_i$  obtenidos están calculados para predecir el valor 1, que representa una densidad igual a la del rodal del cual se extrajo la muestra. Estos coeficientes son luego aplicados sobre datos provenientes de otros rodales. Si obtenemos un valor mayor (menor) que 1, indica una mayor (menor) densidad que la existente en el rodal de referencia. Si los datos para estimar los coeficientes se obtuvieron deliberadamente de rodales normales, la

<sup>4</sup> Proyección vertical de la copa.

aplicación de la ecuación proveerá un valor que reflejará la proporción de ocupación total mostrado por el rodal bajo análisis. Si los datos provienen de rodales dentro de un rango de densidades, ese valor reflejará la densidad comparada con el promedio de los datos básicos.

#### 2.2.4 FACTOR DE COMPETENCIA DE COPA (FCC)

Válido para rodales coetáneos y discetáneos, sus autores aseguran que es independiente de la edad y de la calidad de sitio.

Cuando crecen en terreno abierto, sin competencia ni perturbaciones, los árboles logran la forma típica de la especie; entre otras cosas, alcanzan un desarrollo completo y simétrico de su copa. Para una especie, estos árboles son los que más cobertura de terreno logran (superficie de la proyección de la copa sobre el nivel del suelo). Los árboles de la misma especie que en cambio han crecido en competencia tendrán, para igual diámetro (dap), copas menos desarrolladas y menos extendidas (menor cobertura). Para que esta competencia tenga lugar, los árboles involucrados debieron crecer sobre un terreno con una mayor densidad de árboles que sus similares sin competencia.

Si sobre un área de 1 ha sumamos las proyecciones de las copas de los árboles que crecieron en competencia, es de esperar que la proporción de la hectárea cubierta por la proyección de sus copas sea mayor que en una hectárea ocupada por árboles que crecieron sin competencia. Este es el principio en que se basa el Factor de Competencia de Copa. El método toma como punto de partida que el diámetro de la copa ( $D_k$ ) de árboles desarrollados en un ambiente sin disturbios y crecidos libres de competencia puede expresarse como una función lineal de su diámetro normal ( $D$ ):

$$D_k = a + b \cdot D \quad (10)$$

Estimados los coeficientes podemos convertir (10) en una ecuación que exprese el área de la copa (AC) en función del diámetro normal:

$$AC = \frac{\pi}{4} D_k^2 = \frac{\pi}{4} (a + b \cdot D)^2 = \frac{\pi}{4} a^2 + \frac{\pi}{4} 2abD + \frac{\pi}{4} b^2 D^2 \quad (11)$$

Si hacemos:

$$b_0 = (\pi/4) a^2 \quad b_1 = (\pi/4) 2ab \quad b_2 = ((\pi/4) b^2)$$

el área de la copa quedará expresada mediante la siguiente expresión:

$$AC = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 \quad (12)$$

que representa el área máxima de terreno que puede ocupar un árbol de diámetro  $D$  que creció libre de competencia, que denominamos Área Máxima de la Copa (AMC). A esta área máxima la expresamos como por ciento de 1 hectárea, indicando la proporción máxima de una hectárea que ese árbol de diámetro  $D$  puede ocupar y que indicamos con AMC%, que surge de:

$$AMC(\%) = \frac{\text{area de la copa (m}^2\text{)} \times 100}{1 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2 / \text{ha}} \quad (13)$$

Sumando los valores AMC(%) de todos los árboles presentes en un área de interés, de tamaño A, obtenemos una expresión de la densidad del rodal, llamado Factor de Competencia de Copa (FCC):

$$FCC(\%) = \frac{1}{A(\text{ha})} \times \frac{\sum (b_0 + b_1 d + b_2 d^2)}{100} \quad (14)$$

Si el número de árboles está expresado por hectárea, el componente A es igual a 1, con lo cual (14) pasa a ser:

$$FCC(\%) = \frac{\sum (b_0 + b_1 d + b_2 d^2)}{100} \quad (15)$$

Aparentemente, un valor de FCC del 100 por ciento estaría representando una canopia cerrada, donde las copas de los árboles apenas se tocan, y están lo suficientemente distorsionadas como para cubrir completamente cada hectárea de terreno. Sin embargo, los autores aclaran: "debe remarcar que el FCC no es una medida de cobertura de copa. En teoría, una cobertura de copa completa puede ocurrir desde un FCC = 100, hasta el máximo de la especie. Más bien, el FCC estima el área disponible para el árbol promedio en el rodal en relación con el área máxima que puede usar si estuviera creciendo en un lugar abierto.

## 22.5 Ocupación forestal (forest stocking)

Una definición de ocupación dice que "es una indicación del número de árboles en un rodal, comparado con el número deseado para el manejo y crecimiento óptimo: totalmente ocupado, subocupado y sobreocupado". Si bien el término admite distintas interpretaciones, la más común es en el sentido de crecimiento óptimo. Los términos sobreocupado y subocupado representan los límites superior e inferior del rango de ocupación del sitio, dentro del cual el crecimiento de la masa será óptima, respectivamente.

Gingrich (1964, 1967) construyó una carta de ocupación, que halló un uso considerable en E.E.U.U. Para su desarrollo utilizó: a) la ecuación de la relación árbol/área a partir de rodales deliberadamente seleccionados como totalmente utilizados; y 2) una ecuación basada en el factor de competencia de copa. Cualquier combinación de área basal/ha y número de árboles/ha que caiga fuera del rango para ocupación total, mostrará un incremento bruto menor que el potencial del sitio por estar sobre o subocupado. La aplicación de la carta para prescribir tratamientos silvícolas es sencilla. Supongamos un rodal con 80 p<sup>2</sup>/acre y 175 árb/acre. Un diámetro promedio de 9,2 pulgadas es indicado en la carta. Si seguimos la línea de 9,2 hacia abajo, hasta la línea de corte B, hallamos que 65 p<sup>2</sup>/acre es el área basal mínima para mantener una total ocupación para ese diámetro medio. Entonces, un tratamiento que remueva 15 p<sup>2</sup>, sin modificar el diámetro promedio, lleva al rodal a que utilice totalmente el sitio y que produzca madera en forma eficiente.

## BIBLIOGRAFIA

Forest mensuration. 1982. B. Husch, C.I. Miller and T.W. Beers. John Wiley & Sons.