

ESTRUCTURA DE RODAL

El árbol, el rodal y el bosque.-

Aún cuando cada disciplina de las ciencias forestales propone una definición de bosque (legal, ecológica, económica, etc.), ninguna de ellas probablemente satisficará completamente al usuario. En general todas las definiciones incluyen dos conceptos básicos: presencia de especies arbóreas y número de individuos por unidad de superficie. Las discrepancias en las distintas definiciones de bosque están determinadas por los objetivos de uso de éste. Así por ejemplo una definición legal de bosque tenderá más bien a limitar cuantitativamente la densidad de ocupación del espacio para poder instrumentalizar su marco regulatorio (Conaf, 2002) y una definición ecológica intentará definirlo en función de las especies que lo componen y sus relaciones dinámicas -que nacen de la dependencia espacial-, y probablemente pondrá el acento en el detalle de su composición (Donoso, C., 1993)

La definición clásica de rodal y que se usará en este texto es: “una porción del bosque definida sobre la base de un conjunto de criterios asociados a uno o más objetivos de manejo”.

Criterios para la formación del rodal.-

Aceptando la diversidad de funciones que en el manejo forestal deben implementarse sobre el bosque para la consecución de sus objetivos, es muy probable que cada una de ellas genere una desagregación espacial del bosque distinto para hacer operativos sus planes generando una cobertura espacial específica. De la intersección de las distintas capas de cobertura nacerá un primer nivel de desagregación del bosque en unidades homogéneas o rodales que permitan hacer operables los múltiples objetivos que sobre el bosque se intenta ejercer. Dependiendo de la magnitud y cantidad de rodales resultantes es probable que los criterios se restrinjan o relajen reiteradamente hasta conseguir un número de ellos que sea satisfactorio para el manejo.

Las posibles clases de rodal.-

Desde un punto de vista clásico, los rodales se pueden distinguir de acuerdo a la composición de especies, edades, calidad de sitio e intervenciones silviculturales. Estas variables en conjunto definen lo que se puede denominar la estructura de un rodal, que intenta describir la ocupación espacial de los individuos tanto en el dosel, el sotobosque y el suelo (Donoso, C., 1993).

Las clasificaciones que se formulan a continuación obedecen a criterios muy generales y compatibles con el nivel con que se ha definido el rodal. Naturalmente las micro variaciones al interior del rodal pueden ocurrir como cambios continuos o discretos en el espacio, y se pueden considerar despreciables dentro del rodal.

De acuerdo a las especies que lo componen se distinguen rodales puros y mixtos, siendo habituales las plantaciones y las especies colonizadoras en el primer caso y los bosques naturales en sitios de buena calidad, en los segundos.

De acuerdo a la edad, los rodales se pueden agrupar en rodales coetáneos y multietáneos. Son rodales coetáneos aquellos que se han establecido en un período de tiempo relativamente breve, lo que permite que durante la rotación -o período en que el rodal alcanza la madurez- los árboles alcancen tamaños relativamente uniformes. Los rodales multietáneos son aquellos en que los individuos se originan en distintos períodos de tiempo, razón por la cual presentan distintos tamaños. Los casos extremos se presentan en las plantaciones uniformes o rodales originados por la corta a tala rasa en el caso de los

rodales coetáneos y, en los bosques mixtos y de especies tolerantes en rodales ubicados en sitios buenos, en el caso de los rodales multietáneos.

En general, el sitio o calidad de crecimiento de un rodal puede ser expresado numéricamente ya sea como índice o clase de sitio. Estos, básicamente dan cuenta de la capacidad productiva del rodal. Se utilizan variables de estado agregadas de rodal para caracterizarlo. Estos criterios son más fácilmente medibles en rodales simples coetáneos que en los rodales multietáneos mixtos. Muchas veces simplemente se utilizan criterios subjetivos tales como sitios malos, medianos o buenos.

De acuerdo a las intervenciones silvícolas a que los rodales han sido sometidos, es posible separar rodales en intervenidos o no intervenidos. El conjunto de intervenciones que se ejerce sobre un rodal se denomina régimen silvícola y describe básicamente la oportunidad, intensidad y periodicidad con que deben ejecutarse cada una de ellas. Los tipos de intervención más comunes son podas, raleos, fertilizaciones y reforestaciones en el caso de rodales coetáneos y cortas de: cosecha, liberación, sanitarias y raleos en el caso de los rodales multietáneos.

¿Cómo se puede representar un rodal?-

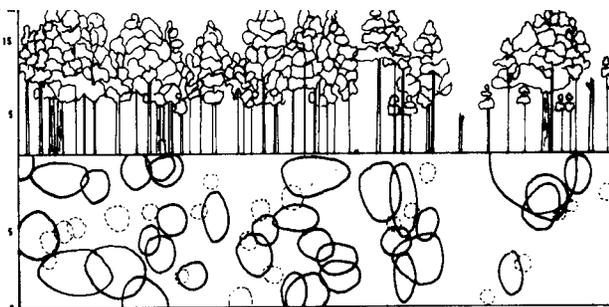
Una vez definidos los rodales sobre la base de los criterios de manejo requeridos, es necesario tratar de capturar la información básica del rodal para evaluar su estado y probable evolución en el tiempo de acuerdo con las decisiones de manejo que se intenta implementar.

Es en este punto donde resulta crucial definir objetivamente la información que se requiere capturar y su forma de aplicación, dado que los procesos de muestreo e inferencia en general son muy onerosos. Naturalmente se debe capturar toda la información simultáneamente, y de ello se encarga el proceso de diseño y procesamiento de los inventarios forestales. (Anuchin, N.P., 1960)

Interesa entonces una representación cuantitativa suficiente y necesaria a mínimo costo sobre las características estructurales del rodal, además de aquellas otras variables asociadas a la de operación propia del manejo forestal.

En general la estructura puede definirse en términos horizontal, vertical y conjunta (Donoso, C., 1993), (Etienne, M. y Prad C.1982).

La estructura horizontal se refiere a la ocupación superficial de los árboles sobre el suelo. Ella puede evaluarse en términos de diámetros, área basal (suma de áreas de fuste nivel del DAP en valores por unidad de superficie) o cobertura del dosel (expresión análoga al área basal pero en cobertura de copas). (Ver sección inferior del gráfico).



Representación gráfica de estructura horizontal y vertical de un rodal (Pesutic, 1978)

La estructura vertical, se refiere a la ocupación espacial de los fustes sobre el suelo en términos de altura. Para ello es común utilizar parámetros tales como la altura dominante o predominante de una proporción de los árboles de mayor tamaño del rodal, en el caso de los rodales coetáneos y posición de doseles por especie en el caso de rodales multietáneos (Ver sección superior del gráfico)

La estructura espacial se refiere al volumen o integración del espacio ocupado por el rodal. En general se utiliza el volumen de algún atributo de éste por unidad de superficie (volumenes comerciales de fuste, por diámetros límites de utilización, con o sin corteza, brutos o netos).

La modelación de la estructura de los rodales se realiza fundamentalmente a través de modelos de distribución de frecuencias de diámetros y/o alturas y/o volúmenes. Estos modelos deben representar al rodal y permitir realizar la mayor cantidad de inferencias de interés, junto a otras variables.

La distribución horizontal.-

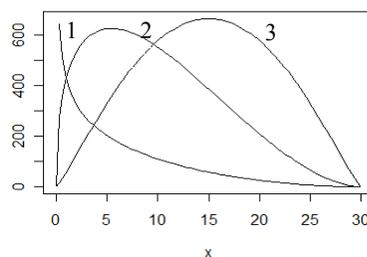
La estructura horizontal de un rodal queda bien representada por alguna distribución de frecuencias de DAP de los individuos que constituyen el rodal. Si bien la estructura horizontal puede ser representada por el área basal o la cobertura, éstas pueden definirse a partir de las distribuciones diamétricas dada la proporcionalidad que existe entre estas variables. Rara vez se mide directamente el área de los individuos así como la cobertura de copa y normalmente se derivan de funciones de DAP.

El modelo debe adecuarse a las características propias de la población que se intenta representar. Los rodales coetáneos en general tienden a ser rodales con una distribución relativamente normal, donde la mayoría de los individuos se centra en torno al valor medio y son pocos los de valor extremo, cuando se trata de árboles coetáneos y de la misma especie. No es raro encontrar problemas de asimetría en rodales manejados o cuando están en edades extremas. La simetría en rodales coetáneos puros cambia con la edad y la densidad haciéndose cada vez más positiva (Madgwick, H.A.I.,1994) hacia el final de la rotación. También existen distintos grados de curtosis y dependerán de lo homogéneo que sean genéticamente los individuos o el sitio donde éstos crezcan. Rodales clonales y/o rodales en sitios muy homogéneos tenderán a ser leptocúrticos. Existen otros casos como distribuciones multimodales, constituidas –a su vez- por dos o más distribuciones normales donde se sobreponen poblaciones de distintas especies, aún cuando se han originado de en un mismo tiempo. (Donoso, C., 1993)

En los rodales multietáneos es característico tener una distribución de frecuencias de DAP que va disminuyendo a medida que los árboles alcanzan mayor tamaño o edad. Siempre existirán en este tipo de bosques muchos individuos que están permanentemente presente en el piso del bosque, esperando encontrar oportunidad para crecer. Por ello siempre las clases de diámetro menores serán más abundantes que las que le siguen en diámetro. Si este proceso sigue algún patrón muy estable, se revela en lo que se ha llamado “bosques balanceados”, en que la proporción entre clases diamétricas sucesivas es constante. La apariencia de la distribución de frecuencias es del tipo llamado “J inversa”.

Los modelos más usados y sus características principales para representar los rodales son:

- La distribución Normal.- Es de muy fácil ajuste, y depende de dos parámetros: la media y la desviación estándar (D’ottone, R. 1971). Rara vez los bosques logran tener una distribución de diámetros simétricos y con curtosis normal, además de ser acotados en la realidad. Puede servir para representar –aproximadamente- los rodales coetáneos puros en estado intermedio de desarrollo y sin intervenciones silviculturales (Corvalán, 1985).
- La distribución Log normal es similar a la normal, reemplazando la desviación típica por el rango diamétrico y utilizando como variable independiente una transformación logarítmica del rango diamétrico como argumento (Hafley, W.L. and Schreuder, H. T. 1977).
- La distribución Beta.- Esta distribución es plástica y acotada. Depende de dos parámetros de forma (α) y (γ), pudiendo representar distribuciones simétricas y asimétricas. Estas últimas pueden ser tanto positivas como negativas o decrecientes. Esta función puede representar bien las distribuciones diamétricas coetáneas y en menor grado las distribuciones multietáneas



La función es:

$$f(x) = c \cdot (x - a)^\alpha (b - x)^\gamma$$

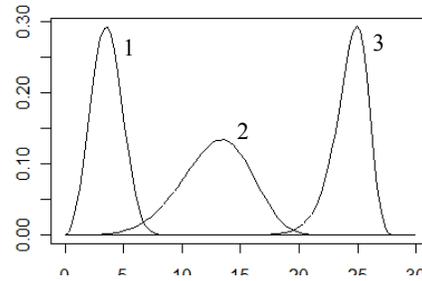
Donde, a y b son los diámetros mínimo máximo; c es un parámetro de escala. (Loetsch F.; Zohrer, R. and Haller, K.E. 1973).-

Distribución Beta. (1): $\alpha=0.3$ y $\gamma=1,8$; (2): $\alpha=0,4$ y $\gamma=1,8$; (3) $\alpha=\gamma=1,2$.

La distribución de Weibull.- Esta distribución es una función de distribución de probabilidad que puede comenzar en un mínimo y es controlada por dos parámetros: uno de forma (c) y otro de escala (b). Su forma funcional es:

$$f(x) = \left(\frac{a}{b}\right) \cdot \left(\frac{x}{b}\right)^{(a-1)} \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right)$$

El parámetro de forma permite ajustar desde funciones decrecientes hasta normales sesgadas (ver figura lateral). En general es la función más utilizada en el ajuste de las distribuciones diamétricas, ya que puede adaptarse muy bien tanto a rodajes multietáneos como coetáneos. (Bailey, R. and Dell, T. 1973)



Distribución de Weibull:

(1): $a=2$ y $b=4$; (2): $a=5$ y $b=14$; (3): $a=20$ y $b=25$.

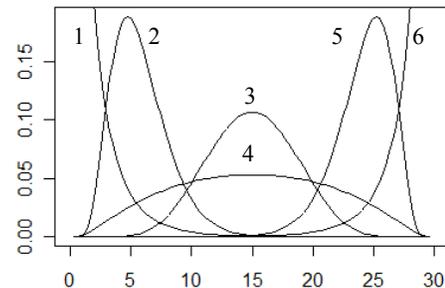
- La distribución Sb Johnson.- Esta función tiene cuatro parámetros, siendo dos de ellos el diámetro mínimo y el rango diamétrico. Esta función es muy plástica y se adapta a todo tipo de distribuciones univariadas. Esta función supone una forma lineal del logaritmo del porcentaje del diámetro sobre su rango, el cual a su vez tiene una distribución normal con media 0 y varianza 1. (Schreuder; H. and Hafley, W. 1977)

La función es:

$$f(x) = \left(\frac{\delta}{\sqrt{2\pi}}\right) \cdot \left(\frac{\lambda}{(x-\varepsilon)(\varepsilon+\lambda-x)}\right) \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\gamma + \delta \cdot \ln\left(\frac{x-\varepsilon}{\varepsilon+\lambda-x}\right)\right)^2\right)$$

En donde debe cumplirse que:

$$\varepsilon < x < \varepsilon + \lambda, -\infty < \gamma < \infty, \lambda > 0, -\infty < \varepsilon < \infty$$



Distribución Sb Jonson:

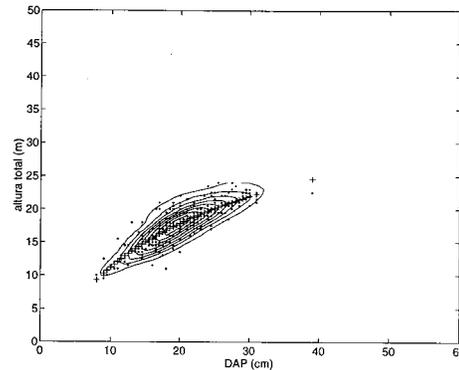
(1): $\delta=1$ y $\gamma=3$; (2): $\delta=2$ y $\gamma=3$; (3): $\delta=2$ y $\gamma=0$; (4): $\delta=1$ y $\gamma=0$; (5): $\delta=2$ y $\gamma=-3$; (6): $\delta=1$ y $\gamma=-3$.

Al comparar la flexibilidad de estos modelos en términos de las posibles relaciones de curtosis y sesgo que pueden cubrir, se ha demostrado que las funciones Beta y Sb son las más flexibles pudiendo alcanzar a cubrir una extensa superficie de combinaciones curtosis-sesgo, como se observa en el gráfico lateral. Las funciones Weibull, y lognormal representan sólo una línea de posibles combinaciones sesgo-curtosis, y la función normal, sólo representa un punto en la relación sesgo-curtosis (Hafley, W.L. and Schreuder, H.T. 1977). Los puntos de la gráfica corresponden a 21 muestras dasométricas, las cuales están más cerca de la distribución de Weibull.

- Las descripciones arriba mencionadas se refieren sólo a distribuciones unimodales. Las distribuciones multimodales deben ser abordadas con un tratamiento especial. No existen en la literatura reportes sobre estas distribuciones en forma habitual. El tratamiento de esa información debe hacerse a través de modelos plásticos no paramétricos del tipo kernel (Corvalán, V. y Gouet, R. 1994). Una de las ventajas de los modelos no paramétricos es no suponer a priori formas sobre las distribuciones de los errores marginales. Es conocido que en distribuciones conjuntas de diámetro y de alturas existen sesgos conocidos y de diferente sentido, teniendo comúnmente sesgos positivos las distribuciones de DAP y negativos los de altura total. Otra posible manera de tratarla es separar las distintas poblaciones que la constituyen o modelarlas en forma independiente como una suma de poblaciones.

$$\hat{f}(x, y) = \frac{1}{n|H|} \sum_{i=1}^n K \left(H^{-1} \begin{pmatrix} X_i - x \\ Y_i - y \end{pmatrix} \right)$$

donde $X_i, Y_i, i = 1, \dots, n$ es la información muestral bivariada; H es una matriz de suavizamiento; $|H|$ su determinante y K un núcleo bivariado que integra a 1.



Función y gráfica de una distribución conjunta altura total vs DAP en un modelo de kernel

La distribución vertical.-

La variable que define la estructura vertical del rodal es la altura de los árboles que lo componen, y tiene el inconveniente de ser costoso de medir. Más aún, es preferible medir una subpoblación de variados diámetros y modelarlos como función de éstos.

La distribución de frecuencias de las alturas es muy poco usada, ya que es muy parecida a la distribución diamétrica, teniendo siempre un sesgo negativo a través de la edad (Madgwick, H.A.I., 1994).

Los modelos altura-diámetro construidos sobre una base muestral intensa, son de uso frecuente y permiten una buena predicción de las alturas no medidas (Madgwick, H.A.I., 1994).

En la literatura existe una gran cantidad de modelos que describen bien la relación entre la altura y el diámetro, siendo en general funciones crecientes asintóticamente con el diámetro con o sin constantes, controlados por un par de parámetros. Un modelo muy usado en rodales coetáneos es una relación lineal entre el logaritmo de la altura y el inverso de la raíz del diámetro. En rodales coetáneos es posible explicar los coeficientes como función de la edad, formándose así una familia de curvas que van modificando su posición a medida que la edad avanza. En rodales multietáneos, esta relación puede considerarse como la superposición de todas las clases de edad que se encuentran en el rodal, de manera que el resultado tiene la misma forma funcional, con coeficientes relativamente estables en el tiempo pero con una mucha mayor dispersión de alturas.

Las distribuciones conjuntas.-

La modelación conjunta altura-diámetro y/o volumen es más realista y provee información más poderosa que el ajuste de las distribuciones independientes. Conocida la distribución conjunta, prácticamente se tiene una muy buena descripción de la estructura del rodal. Estos modelos mantienen la plasticidad de las distribuciones univariadas.

El modelo multivariado más conocido es el Sbb o Sbbb de Johnson dependiendo si el ajuste incluye solo altura-diámetro en el primer caso o también incluye el volumen en el segundo. La distribución bivariada Sbb implica el uso de un modelo que relaciona la altura con el diámetro.

Este modelo es una distribución bivariada para las cuales ambas distribuciones marginales son distribuciones Sb y contiene parámetros que controlan los diámetros y alturas: máximas y mínimas, y el coeficiente de correlación entre transformaciones de las variables altura-diámetro (Schreuder, H. and Hafley; W.1977)

Este modelo ha sido extendido a una distribución conjunta altura-diámetro-volumen, conocida como Sbbb.

Referencias bibliográficas.-

- Anuchin, N.P., 1960.- Forest Mensuration. Second edition. Goslesbumizdat. Moskova-Leningrado.
- Bailey, R. and Dell, T. 1973.- Quantifying Diameter Distributions with the Weibull Function. Forest Science. 19:97-104.-
- Conaf, 2002 Decreto Ley N° 701.-<http://www.conaf.cl/html/legislacion/legislacion.html>.
- Corvalán, P. 1985.- Algunos modelos de distribuciones diamétricas. Apuntes de clases mecanografiados. Departamento de Manejo de Recursos Forestales. Universidad de Chile.
- Corvalán, P. Y Gouet, R. 1994.- Estimación Densidades Diámetro –Altura. Informe de avance N° 5. Fondef FI-11.
- Donoso, C. 1993.- Bosques Templados de Chile y Argentina. Primera Edición. Editorial Universitaria.
- D'ottone, R. 1971.- Estadística elemental.- Cooperativa de cultura y publicaciones, Ltda. Stgo. Chile.
- Etienne, M. y Prado C.1982.- Descripción de la vegetación mediante la cartografía de ocupación fr tierras. Ciencias agrícolas N° 19. Departamento de producción animal. Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales. Universidad de Chile.
- Hafley, W.L. and Schreuder, H.T. 1977.- Statistical distribution for fitting diameter and height data in even-aged stands. Canadian Journal of Forest Research. Vol. 7, Number 3. pages 481-487.
- Loetsch, F.; Zoehrer, F. and Haller, K. 1973.- Forest Inventory. Vol II. BLV-Verlagsges
- Madgwick, H.A.I., 1994. *Pinus radiata*- Biomass, Form and Growth. H.A.I. Madwick, 36. Selwyn Road Rotorua. New Zealand.
- Pesutic, S. 1978.- Análisis de estructura – estado sanitario en un bosque de lenga. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Fac. de Ciencias Forestales. Universidad de Chile
- Schreuder, H. and Hafley; W.1977.- A Useful Bivariate Distribution for Describing Stand Structure of Tree Heights and Diameters. Biometrics 33: 471-478