

## Parametros de Rodal

1

- P. de **situacion** (Ubicación geogr.-administrativa, coordenadas geograficas, regimen legal, etc.)
- P. **ambientales** [Topograficos (Altitud, pendiente, exposicion, posicion topografica), Climáticos (Temperatura, precip ...), Edáficos (Textura, profund., drenaje, Ph,...)]
- P. **silviculturales y de manejo** (Estructura, estado desarrollo, e. sanitario, e. manejo (poda, raleo, ..), rotación, grado de intervención, ...)
- P. **dasometricos** (Densidad (Nha, Gha,...), Altura predominante, estado de copas, biomasa, volúmenes, ...)
- Otros** parámetros (Biodiversidad, capacidad productiva de bienes no maderables, accesibilidad, ...)

## Parametros Dasometricos1

2

- Edad:** Tiempo transcurrido desde la plantación:

$$\text{Edad} = \text{Fecha Medición} - \text{Fecha Plantación}$$

- Numero de Árboles por hectárea**

$$Nha = \frac{M}{A} = \frac{m}{a} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{a_j} = \sum_{j=1}^m F_j$$

- Espaciamento medio**

$$S = \sqrt{\frac{10000}{Nha}} = \sqrt{\frac{10000}{Nha \cdot \sqrt{3}/2}}$$

- Diametro promedio:**

$$Dm = \frac{\sum_{j=1}^M d_j}{M} = \frac{\sum_{j=1}^{Nha} d}{Nha} = \frac{Dha}{Nha} \quad Dc = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M d_j^2}{M}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^L N_k \cdot d_k^2}{\sum_{k=1}^L N_k}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Gha}{p \cdot Nha}} = \sqrt{D_m^2 + S_d^2}$$

- Dw:** Diametro del arbol de Weise: Arbol cuyo diámetro es mayor que el del 60% de los árboles del rodal

- Area basal por hectárea**

$$Gha = \frac{\sum_{j=1}^M S_j}{A} = \frac{p}{4} \cdot \frac{1}{Nha} \sum_{j=1}^M d_j^2 = \frac{p}{4} \cdot \frac{M}{Nha} \cdot \frac{\sum_{j=1}^M d_j^2}{M} = K \cdot Nha \cdot Dc^2$$

## Parametros Dasométricos2

3

### Altura promedio

$$H_m = \frac{\sum_{j=1}^M h_j}{M} = \frac{\sum h}{Nha}$$

$$H_L = \frac{\sum_{k=1}^L h_k Gha_k}{\sum Gha_k}$$

$$H_c = f_h(D_c) \qquad H_w = f_h(D_w)$$

**Hpredom:** Altura de los Nha arboles mas gruesos por hectarea  
**Hdomin:** Altura promedio de los arboles dominantes del rodal  
 (5. Quintil según diámetro)

### •Volumen: Vha

$$\cong \sum_{k=1}^L v_k Nha_k \cong f_v(D_c, H_L) * Nha \cong f_v(D_w, H_w) * Nha$$

•Más sobre Parámetros de Rodal en  
**Prodan et al., 1997**, p. 308-337 ; Van Laar y Akca, 1997,  
 p 123 - 164

## Tabla de Rodal

3

Clase dap (d <sub>k</sub> )	Nha <sub>k</sub>	h <sub>k</sub>	v <sub>k</sub>
15	50	13.4	.081
20	80	16.7	.195
25	190	19.5	.367
30	350	21.8	.599
35	220	23.8	.897
40	60	25.5	1.260
<b>Total</b>	950		

$$h_k = \exp(4.26 - 6.46d^{-0.5})$$

$$v_k = -0.013 + 0.0000312d^2h$$

•Número de árboles por hectárea (Nha)	950
•Diámetro medio aritmético (D <sub>m</sub> )	29.16
•Diámetro medio cuadrático (D <sub>c</sub> )	29.78
•Diámetro de Weise (D <sub>w</sub> )	31.07
•Altura promedio aritmético (H <sub>m</sub> )	21.17
•H <sub>L</sub> , H <sub>100</sub>	22.2, 25.1
•Area basal por ha (Gha)	66.2
•Volumen por ha (Vha)	572
•s <sub>d</sub>	6.06

### Promedio de los N arboles más gruesos por hectareas

$$X_N = \frac{1}{N} \left[ \sum N_i x_i + N_c x_c \right]$$

$X_N$  = Promedio del atributo x de los N árboles más gruesos por hectárea

$N_i$  = N<sub>h</sub> de la clase i, donde i es toda clase tal que  $\sum_{i=1}^i N_{i+1} > N$

$x_i$  = Atributo x del árbol central de la clase i.  $x_i = f(d_i)$

$N_c$  = Número de árboles más gruesos de la clase k, complemento de  $\sum N_i$  respecto a N ( $N_c = N - \sum N_i$ )

$x_c$  = Valor de la variable x al centro de la porción de la clase k que incluye a los  $N_c$  árboles, asumiendo distribución uniforme de los arboles en la clase.  $x_c = f(d_c)$ .

$$d_c = (d_{sup_k} + d_{inf_c})/2$$

$$d_{inf_c} = d_{sup_k} - \text{Int}^*(N_c/N_k)$$

$$d_c = d_{sup_k} - (\text{Int}/2) * (N_c/N_k)$$

### Funciones de Altura

• **Relacion altura/dap** varia según estructura del rodal (densidad, edad, sitio,..)

• **Muestra representativa** de datos (n>60) desde puntos regularmente distribuidos en el rodal

• **Función específica** se elige de un conjunto

• **Conjunto de funciones** para rodales

de p. Insigne:

- $h = b_0 + b_1 * d^{0.3}$

- $h = b_0 + b_1 * \exp(-0.11d)$

- $d/h^{0.5} = b_0 + b_1 * d$

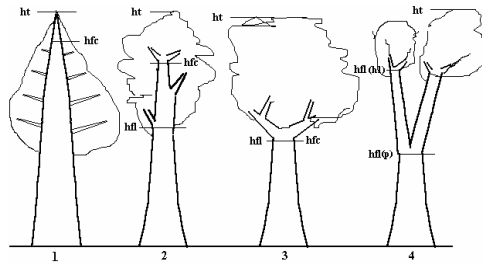
- $\ln(h) = b_0 + b_1 * d^{-0.5}$

- $h = b_0 + b_1 * d + b_2 * d^2$  (hmax debe estar fuera del rango diamétrico)

• Mas sobre funciones de altura en

Prodan et al.(1997), pg 323, Van Laar y Akca,1997, p149

### Parámetros de Rodal-Volumen



#### Expresiones de volumen dependen de:

- Partes del árbol (raíces, fuste, ramas,...)
- Corteza
- Limite de aprovechamiento
- Altura de tocón
- Defectos
- Mercado

### Distribución de Parámetros

TABLA 2  
Tabla de rodal y existencia(\*)  
Tipo denso, todas especies

Clase, dap, cm	Nha	Gha, m <sup>2</sup> /ha	volumen, m <sup>3</sup> /ha	
			Fuste	Copa
10	170	1.75	4.93	-
20	89.44	2.70	11.29	-
30	78.33	5.81	33.04	-
40	56.11	7.15	48.36	14.40
50	28.06	5.41	40.12	12.21
60	20.28	5.91	44.41	14.04
70	15.83	6.00	47.05	15.80
80	11.67	5.97	51.36	18.28
90	14.17	9.13	84.77	31.11
100	12.22	9.34	86.21	32.03
110	6.94	6.73	67.38	25.51
120	2.22	2.53	24.70	9.41
130	2.50	3.38	33.05	12.67
140	1.94	2.89	31.76	12.26
150	0.56	1.03	9.83	3.80
160	0.28	0.59	6.89	2.68
.				
.				
.				
210	0.83	2.89	41.98	16.52
Total	511.38	79.21	667.12	220.47

(\*) Inventario Forestal Predio Neltume

## Distribución de Parámetros

6

TABLA 3

**Tabla de Rodal - Clase de volumen 4**  
**Zona: Ancud, Isla Grande de Chiloé, 1975**

DAP, cm	Número de árboles por hectárea										Total
	Especies										
	Tepa Coigüe	Canelo Canelo	Tepa Tino	Umo Tega	Maño Umo	Maño	Hiara	Tegu	Mirtáceas		
12.5	1.5	14.4	1.0	18.5	2.6	4.6		87.6		130.2	
17.5	1.0	16.4	0.5	22.0	2.6	2.0		76.4		120.9	
22.5	2.6	11.8	1.0	11.8	1.5	4.1		42.1		74.9	
27.5	1.5	9.2	1.5	15.4	2.6	2.0		38.8		51.0	
32.5	2.0	14.4	2.0	14.9	5.6	3.0		15.9		57.8	
37.5	1.5	12.8	-	6.6	1.5	0.5		9.2		32.1	
42.5	6.0	8.7	2.6	6.6	3.0	-		4.6		31.6	
47.5	1.0	7.2	1.5	5.1	1.5	1.0		2.0		19.3	
52.5	1.5	2.6	0.5	3.6	1.0	-		0.5		9.7	
57.5	1.0	1.5	1.5	4.1	1.5	-		2.0		11.6	
62.5	0.5	0.5	1.0	4.1	1.0	-		0.5		7.6	
67.5	2.0	-	-	1.5	1.5	-		-		5.0	
72.5	0.5	1.0	0.5	2.6	2.6	-		0.5		7.7	
77.5	0.5	-	0.5	0.5	0.5	0.5		-		2.5	
82.5	-	-	-	1.5	1.0	-		0.5		3.0	
87.5	-	-	-	2.0	1.5	-		-		3.5	
92.5	0.5	-	-	1.5	-	-		-		2.0	
97.5	0.5	0.5	-	-	-	-		0.5		1.5	
102.5	-	-	-	-	1.0	0.5		-		1.5	
107.5	-	-	-	-	1.5	0.5		0.5		2.5	
117.5	-	-	-	0.5	0.5	-		-		1.0	
127.5	0.5	-	-	-	-	-		-		0.5	
137.5	0.5	-	-	-	-	-		-		0.5	
<b>Total</b>	<b>25.2</b>	<b>101.1</b>	<b>14.1</b>	<b>122.8</b>	<b>34.5</b>	<b>18.7</b>		<b>261.6</b>		<b>577.9</b>	

## Distribución de Parámetros

7

TABLA 4

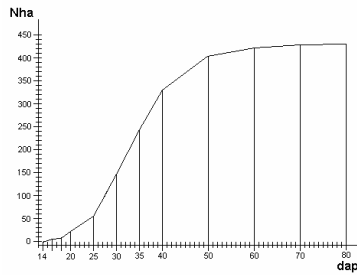
**Tabla de rodal y existencia**  
**para un rodal de pino en la 8ª región**

Clase dap	Nha	Gha	Vha <sub>e</sub>
14-16	7.7	0.13	0.762
16-18	3.4	0.08	0.445
18-20	15.3	1.44	2.479
20-25	36.6	4.96	9.150
25-30	81.7	8.70	35.213
30-35	103.0	9.80	71.585
35-40	90.2	11.80	92.004
40-50	73.2	4.76	121.439
50-60	20.4	2.33	58.099
60-70	6.8	0.42	30.648
70-80	0.9	-	5.779
<b>Total</b>	<b>439.2</b>	<b>44.86</b>	<b>427.603</b>

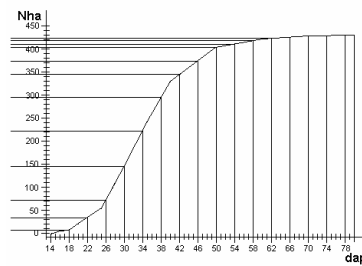
## Transformación de tabla de rodal por método gráfico

8

Tabla de Rodal Acumulativa (Tabla 4)

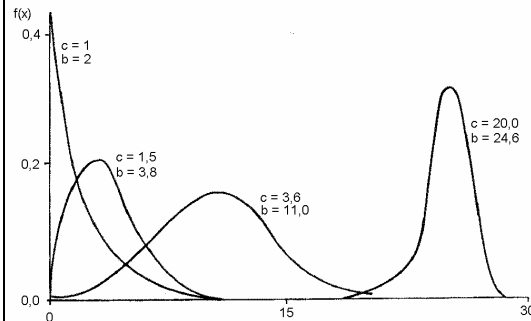


Transformación de Tabla 4 a clases de amplitud constante = 4 cm



## Distribuciones teóricas de frecuencia Distribución de Weibull

9



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

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

**Ajuste mediante regresión lineal simple:**

$$\text{Ln}(-\text{Ln}(1-F(x))) = -c\text{Ln}(b) + c\text{Ln}(x-a)$$

**Distribuciones teóricas de Frecuencia**  
**Ajuste a distribución Weibull**

Clase Dap	Nhak	Nha_ac	F(x)	1 - F(x)	Ln(1 - F(x))	Ln(-Ln(1-F(x)))	x	ln(x-a)
14 - 16	7.7	7.7	0.018	0.982	-0.018	-4.036	16	1.792
16 - 18	3.4	11.1	0.024	0.976	-0.024	-3.685	18	2.079
18 - 20	15.3	26.4	0.060	0.940	-0.060	-2.781	20	2.303
20 - 25	36.6	63	0.143	0.857	-0.159	-1.866	25	2.708
25 - 30	81.7	144.7	0.329	0.671	-0.400	-0.917	30	2.996
30 - 35	103	247.7	0.564	0.436	-0.830	-0.186	35	3.219
35 - 40	90.2	337.9	0.769	0.231	-1.460	0.383	40	3.401
40 - 50	73.2	411.1	0.936	0.064	-2.749	1.011	50	3.689
50 - 60	20.4	431.5	0.982	0.018	-4.044	1.397	60	3.912
60 - 70	6.8	438.3	0.998	0.002	-6.190	1.823	70	4.094
70 - 80	0.3	439.2	1.000	0.000			80	
Total		439.2	b0=8.981					
a=		10	b1=2.882					

Clase Dap	Nhak	Nha_ac	F(x)	x	F(x)_est	Nha_ac	Nha_Weib
14 - 16	7.7	7.7	0.018	16	0.018	6.7	6.7
16 - 18	3.4	11.1	0.024	18	0.033	14.4	7.7
18 - 20	15.3	26.4	0.060	20	0.053	25.8	11.4
20 - 25	36.6	63	0.143	25	0.154	72.2	46.4
25 - 30	81.7	144.7	0.329	30	0.322	141.3	69.2
30 - 35	103	247.7	0.564	35	0.507	222.5	81.2
35 - 40	90.2	337.9	0.769	40	0.669	300.7	77.8
40 - 50	73.2	411.1	0.936	50	0.917	402.8	102.5
50 - 60	20.4	431.5	0.982	60	0.985	434.5	31.6
60 - 70	6.8	438.3	0.998	70	0.993	438.9	4.5
70 - 80	0.3	439.2	1.000	80	1.000	439.2	0.3
Total		439.2	b0=8.981				
a=		10	b1=2.882				

**Distribución Weibull**  
**Ajuste por método de Garcia (1981)**

**La función Weibull:**

$$f(x) = ab(x-c)^{b-1} \exp[-a(x-c)^b]$$

$$F(x) = 1 - \exp[-a(x-c)^b]$$

**Su media y varianza:**

$$m = c + a^{-1/b} \Gamma(1 + 1/b) \quad ; \quad s^2 = a^{-2/b} [\Gamma(1 + 2/b) - \Gamma^2(1 + 1/b)]$$

**Procedimiento aproximado de ajuste:**

$$b: \quad 1/b = z \left[ 1 + (1-z)^2 \sum_{i=0}^n k_i z^i \right] \quad z = s / (m - c)$$

$$k_0 = -0.22004032 \quad k_1 = -0.001433169 \quad k_2 = 0.150611381$$

$$k_3 = -0.078575996 \quad k_4 = -0.004305716 \quad k_5 = 0.008804944$$

$$a: \quad a = [\Gamma(1 + 1/b) / (m - c)]^b \quad \Gamma(1 + x) \cong \sum_{i=0}^n a_i x^i$$

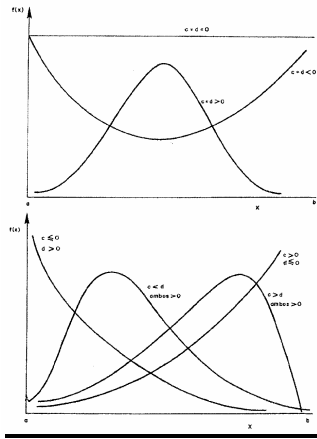
$$a_0 = 1 \quad a_1 = -0.5748646 \quad a_2 = 0.9512363 \quad a_3 = -0.6998588$$

$$a_4 = 0.4245549 \quad a_5 = -0.1010678$$

**Predicción y Recuperación de Parámetros:**  
Ver en Van Laar y Akca, 1997, p 144 - 145

## Distribución Beta

11



$$F(x) = k \int_a^b (x-a)^c \cdot (b-x)^d \cdot dx [0 < x < 1]$$

$$= 0 [x \leq 0]$$

$$= 1 [x \geq 1]$$

$$f(x) = k(x-a)^c(b-x)^d$$

## Distribución Beta

12

K es una constante tal que

$$\int_a^b f(x) dx = 1 \text{ luego } k = \frac{1}{\int_a^b (x-a)^c (b-x)^d dx}$$

### **Para ajustar datos a una distribución Beta:**

• En base a la media y varianza de x:

$$\bar{x}_{rel} = \frac{\bar{x} - a}{b - a} = \frac{a + 1}{a + g + 2} \quad s_{rel}^2 = \frac{s^2}{(b - a)^2}$$

$$g = \frac{z}{\frac{s_{rel}^2(z+1)^2}{(z+1)} - 1} - 1 \quad a = z(g + 1) - 1$$

$$z = \frac{\bar{x}_{rel}}{1 - \bar{x}_{rel}}$$

• Mediante análisis de regresión:

$$Ln f(x) = \ln k + a \ln(x-a) + g \ln(b-x)$$

$$y = b_0 + a x_1 + g x_2$$

$$y = \ln f(x)$$

$$x_1 = \ln(x-a)$$

$$x_2 = \ln(b-x)$$



## Fuentes de Información

- **Mensura de terreno**
- Estadísticas existentes
- Cartografía
- Teledetección
  - Cámaras fotográficas
  - Cámaras de video
  - Instrumentos de escaneo
  - Sistemas de radar
  - Aparatos láser

## Parametros de Rodal

Expresiones estadísticas

• **TOTAL POR ha**  $Xha = \frac{\sum_{j=1}^M x_j}{A} = \frac{X}{A}$

• **TOTAL**  $X = A * Xha$

• **PROMEDIO**  $\bar{X} = \frac{X}{M} = \frac{Xha}{Nha}$

• **RAZON**  $R = \frac{X}{Z} = \frac{\bar{X}}{\bar{Z}}$

• **PROPORCION**  $P_x = \frac{N_x}{N}$

$$s_x^2 = \frac{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{X})^2}{M} \quad S_x^2 = \frac{\sum_{j=1}^M (x_j - \bar{X})^2}{M - 1}$$

$$CV(x) = \frac{s_x}{\bar{X}}; CV(x)\% = 100 \cdot CV(x)$$