

CURSO DE GRADO DE DASOMETRIA - GUÍA DE CLASES

TEMA 13: CRECIMIENTO (II)

POR: ENRIQUE WABO.
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES - U.N.L.P.

1 GENERALIDADES

El estudio y la determinación del crecimiento de los bosques es un tema amplio, ya que admite diferentes enfoques. Ello da lugar a la aparición de distintas escuelas, con conceptos y métodos distintos. Esto deriva en gran medida de la historia que el tema ha tomado en los distintos países. A los fines del análisis del tema, nos guiaremos por el libro "Forest Mensuration" de Husch et al.

1.1 COMPONENTES

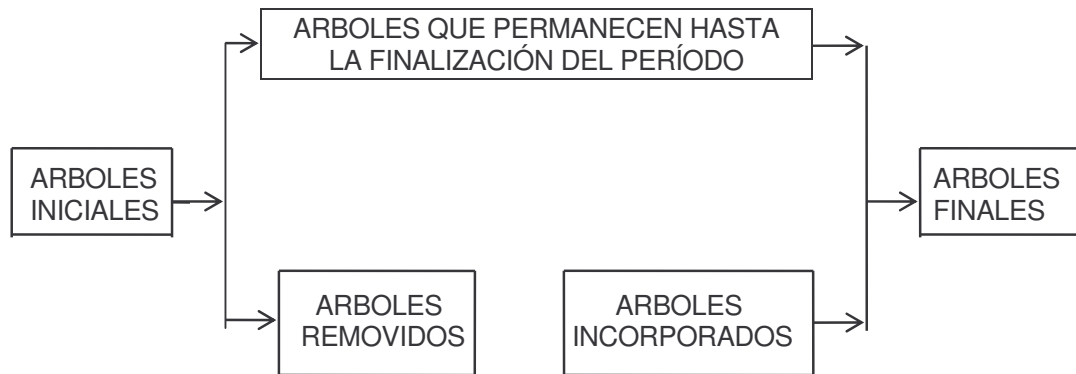
Estamos acostumbrados (mal acostumbrados) a hablar en términos de "crecimiento del bosque", "crecimiento de la masa" o "crecimiento del rodal", expresiones que tienen, en realidad, poco significado, ya que no estamos indicando al crecimiento de qué componente nos estamos refiriendo. De allí la necesidad de ser más precisos en el uso de los términos.

Cuando hablamos de crecimiento, nos estamos refiriendo al cambio de una magnitud a lo largo de un período de tiempo. En otras palabras, queremos saber en cuánto se modificó el valor inicial de una magnitud al cabo de cierto tiempo. Por ejemplo, si hablamos del crecimiento en volumen de madera, estamos hablando de cuánto creció el volumen inicial de madera. Del mismo modo, hablaremos del crecimiento del número inicial de árboles, o del crecimiento del área basal inicial. A primera vista, un crecimiento es, simplemente, la diferencia ocurrida, en una magnitud, entre un momento final T_2 y un momento inicial T_1 .

Si los árboles presentes en el momento T_1 y T_2 fuesen exactamente los mismos, el crecimiento de cualquier magnitud asociada a esos árboles sería igual la diferencia entre T_1 y T_2 ; en otras palabras, no habría dificultades de cálculo. Sin embargo, no ocurre necesariamente así, debido a que:

- | |
|--|
| <p>a) un árbol presente en el momento T_1 puede quedarse hasta el momento T_2 o puede desaparecer en algún momento del período, y</p> <p>b) un árbol presente en el momento T_2 puede ser uno de los árboles ya presentes en el momento T_1 o ser un árbol incorporado a los registros en algún momento del período.</p> |
|--|

Estos destinos y orígenes se pueden combinar, tal como se muestra en el siguiente esquema:



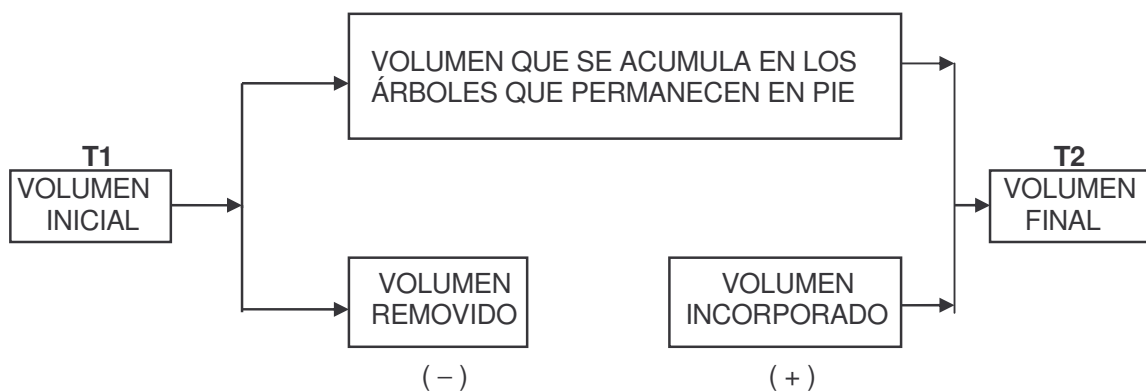
ESQUEMA 1

Surgen así, términos como mortalidad, cortas e incorporaciones, que vamos a definir a continuación.

NOMBRE	NÚMERO DE ÁRBOLES O EL VOLUMEN DE LOS ÁRBOLES QUE DURANTE EL PERÍODO:
MORTALIDAD	mueren por causas naturales y que no han sido ni serán aprovechados
CORTAS	son cortados o son muertos recuperados, sean o no removidos del bosque; no están en pie pero fueron o serán aprovechados.
INCORPORACIONES	crecen hasta un tamaño mensurable

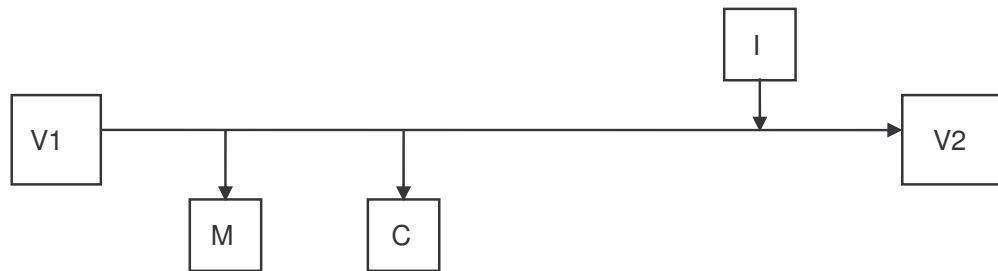
1.2 TIPOS DE CRECIMIENTO

Se pueden definir distintos crecimientos del valor inicial de la magnitud de interés, en función de los elementos que se tomen en cuenta. A los fines de las explicaciones trataremos con el crecimiento en volumen (V). En el siguiente esquema se muestra las relaciones entre los distintos volúmenes involucrados.



ESQUEMA 2

Según los símbolos a usarse, la Figura 2 puede representarse como en el esquema 3.



V1 = volumen al comienzo del período.

V2 = volumen al final del período.

M = mortalidad.

C = cortas.

I = incorporaciones.

A continuación veremos distintos tipos de crecimientos e incrementos.

INCREMENTO NETO (In). Es la diferencia entre el volumen final V_2 y el volumen inicial V_1 . Representa el cambio del volumen en los árboles en pie, independientemente del origen de esos árboles.

$$In = V_2 - V_1$$

No representa el crecimiento del volumen inicial, más bien representa el cambio del volumen en pie a nivel de superficie de terreno.

CRECIMIENTO BRUTO (Cb). El volumen presente en los árboles muertos y cortados es parte del volumen producido y acumulado por el rodal. Si al volumen final V_2 le sumamos M y C obtenemos el volumen final acumulado por los árboles inicialmente presentes, más el volumen acumulado por los árboles incorporados. Si a este valor le restamos I, obtenemos el volumen acumulado sólo por los árboles que se hallaban inicialmente en el rodal; a este incremento lo denominamos **CRECIMIENTO BRUTO DEL VOLUMEN INICIAL**. En símbolos:

$$\begin{aligned} C_b &= (V_2 - V_1) + M + C - I \\ &= In + M + C - I \end{aligned}$$

Si, en cambio, no descontamos las incorporaciones I, obtenemos el crecimiento bruto incluyendo las incorporaciones; esto es, el volumen acumulado por los árboles originales más el acumulado por las incorporaciones. En símbolos:

$$\begin{aligned} C_{b+i} &= (V_2 - V_1) + M + C \\ &= In + M + C \end{aligned}$$

Crecimiento neto (Cn). El crecimiento bruto considera al volumen muerto como parte del crecimiento, aunque no resulte volumen comercialmente útil. Si pretendemos considerar sólo

el crecimiento del volumen comercialmente útil, es razonable no considerar M. Surge así, el CRECIMIENTO NETO DEL VOLUMEN INICIAL. En símbolos:

$$C_n = (V_2 - V_1) + C - I \\ = I_n + C - I$$

En cambio, si no descontamos I, obtenemos el crecimiento neto incluyendo las incorporaciones; esto es, el volumen acumulado por los árboles originales, sin contar los muertos, más el acumulado por las incorporaciones.

$$C_{n+i} = (V_2 - V_1) + C \\ = I_n + C$$

El Cuadro 1 muestra datos de crecimiento de una parcela permanente para un período de 10 años; en este cuadro se puede distinguir el sentido de cada tipo de crecimiento y de las fórmulas indicadas.

CUADRO 1. Datos de crecimiento de una parcela permanente de 10 árboles, para un período de 10 años; volumen en dm^3 .

No	INVENT 1	INVENT. 2	CRECIMI. SOBREVI.	M	C	I	Cn
1	621	-	-	621	-	-	-621
2	813	-	-	-	813	-	-
3	668	-	-	-	668	-	-
4	424	623	199	-	-	-	199
5	633	1.225	592	-	-	-	92
6	1.060	1.638	578	-	-	-	578
7	-	346	-	-	-	346	346
8	933	-	-	-	933	-	-
9	820	1.198	378	-	-	-	378
10	1.472	2.463	991	-	-	-	991
	7.444	7.493	2.738	621	2.414	346	2.463
	V1	V2	Cb	M	C	I	Cn+i

$$I_n = V_2 - V_1 = 7.493 - 7.444 = 49$$

$$C_b = V_2 + M + C - I - V_1 = 7.493 + 621 + 2.414 - 346 - 7.444 = 2.738$$

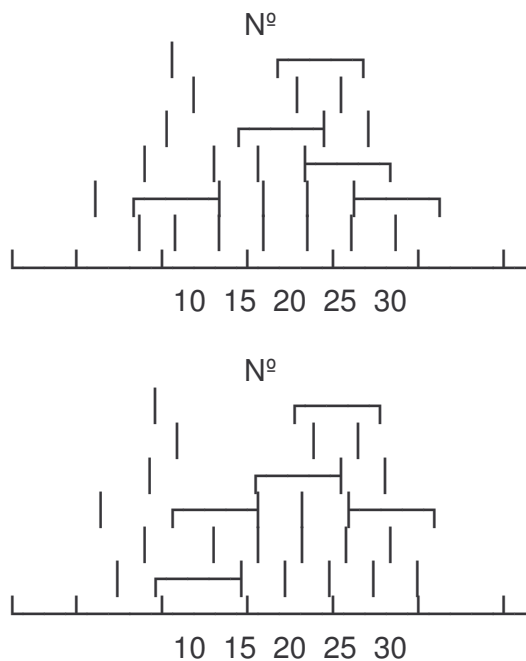
$$C_{b+i} = V_2 + M + C - V_1 = 7.493 + 621 + 2.414 - 7.444 = 3.084$$

$$C_n = V_2 + C - I - V_1 = 7.493 + 2.414 - 346 - 7.444 = 2.1173$$

$$C_{n+i} = V_2 + C - V_1 = 7.493 + 2.414 - 7.444 = 2.463$$

13 El crecimiento como cambio de estructura

Teniendo en cuenta que un rodal es una población dinámica de árboles, muchos problemas de su crecimiento se comprenden mejor si el estudio se enfoca a través de los cambios que, a lo largo del tiempo, ocurren en su estructura. Por ejemplo, consideremos un rodal coetáneo en el cual se hicieron dos inventarios sucesivos al 100 por ciento. Si el crecimiento periódico del diámetro para todos los árboles fue de 5 cm, el crecimiento periódico del rodal quedará caracterizado por un desplazamiento de la distribución diamétrica 5 cm a la derecha:



2 CRECIMIENTO PASADO A PARTIR DE MEDICIONES REPETIDAS

21 Introducción

Observaciones repetidas sobre parcelas permanentes de muestreo dispersas en un rodal, es un método lógico para determinar el crecimiento pasado de ese rodal. Los datos obtenidos a partir de una serie de mediciones periódicas brindan un registro histórico completo del crecimiento del rodal. Estos datos pueden ser usados para predicciones de crecimiento futuro o para el estudio de los efectos de prácticas culturales, ataques de insectos, clima y otros factores sobre el crecimiento. El éxito de las mediciones repetidas requiere de un bien diseñado esquema para la toma de datos y para la ejecución de los cálculos.

Estos esquemas se ubican generalmente dentro de dos grandes sistemas: 1) el Método de Control, de origen europeo, y 2) el Inventario Forestal Continuo (IFC), de origen americano;

este último, más sofisticado y más complejo. Ambos sistemas fueron diseñados para medir los árboles en pie, en cualquier momento, y para brindar estimaciones detalladas del crecimiento. El IFC recurre al registro y descripción de parcelas y árboles individuales, con mediciones detalladas y precisas en conformidad con un plan detallado de análisis por computadora. El Método de Control agrupa a los árboles observados en clases de diámetro y especie. Opera los datos en forma sencilla, no siendo necesario el uso de computadoras. Al ser agrupados en clases, los árboles individuales pierden su identidad. Es aplicable en rodales donde se puede hacer un inventario al 100% o en grandes rodales con parcelas permanentes. Nos ocuparemos particularmente del Método de Control.

22 Método de control

Sus principales aplicaciones son para:

- a) determinar el incremento del diámetro por clases de diámetro¹,
- b) determinar el incremento del volumen del rodal, y
- c) determinar el incremento de volumen del rodal por clases de diámetro.

Los principales elementos intervinientes son:

- a) un bien definido procedimiento de medición y remediación de los diámetros en árboles en pie;
- b) la medición y determinación del volumen de árboles caídos y árboles muertos, de igual manera que para árboles en pie;
- c) algún método simple para determinar incorporaciones; y
- d) el uso de tablas de volumen locales permanentes.

Incremento del diámetro por clases diamétricas

Como forma operativa general, tanto para la determinación de incrementos de diámetro como de volumen por clases de diámetro, el Método de Control recurre al movimiento de árboles entre las clases diamétricas. Como la situación más compleja es para la determinación de incrementos de diámetro por clase diamétrica veremos este aspecto con un poco más de detalle. Las otras dos alternativas surgen de los cuadros correspondientes. El método utiliza una serie de términos, que conviene definir previamente.

Incorporaciones: es el número de árboles que se incorporan a una clase. Lo indicamos con N_i y es igual a:

$$N_i = N_2 - N_1 + N_s$$

N_i = número de árboles que se incorporan a la clase.

N_s = número de árboles que salen de la clase.

N_2 = número de árboles en el inventario 2.

N_1 = número de árboles en el inventario 1.

¹ Considerando o no la presencia de mortalidad y de cortas.

Doble Movimiento (double rising = DR): es la suma de los árboles que han ingresado y salido de una clase.

Doble Efectivo (double effective = DE): es la suma de los árboles presentes en el primero y segundo inventario luego de las correcciones por árboles removidos.

El incremento periódico del diámetro (IP) es igual a: $IP = (DR/DE) \times A$; donde A es la amplitud de la clase. A continuación se muestra una tabla con los cálculos correspondientes. Las letras minúsculas representan a las columnas, en tanto que k representa el número de fila.

Método de Control: incremento de diámetros.

Clase Diam.	Arboles INV1			Arb. INV2	Movim árb.	DR	DE	DR/DE	IP	
	Inic.	Remov.	Final							
k	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
1					0					
2	45	0	0	0	1	1	1	3/3	5,0	
3					1					
4	40	2	0	2	4	4	6	4/6	3,3	
5					3					
6	35	3	0	3	0	3	3	3/3	5,0	
7					0					
8	30	3	2	1	9	8	10	8/10	4,0	
9					8					
10	25	10	1	9	7	14	16	14/16	4,4	
11					6					
12	20	10	4	6	20	26	27	26/27	4,8	
13					20					
Total			21	41						

$$d = b - c$$

$$f_{13} = \text{Total } e - \text{Total } d = \text{incorporaciones}$$

$$f_k = d_{(k+1)} - e_{(k+1)} + f_{(k+2)}$$

$$g_k = f_{(k-1)} + f_{(k+1)}$$

$$h = d + e$$

$$j = i \times 5$$

3 MÉTODOS DE PREDICCIÓN DEL CRECIMIENTO

Los métodos para predecir o proyectar un crecimiento se pueden ubicar dentro de cuatro sistemas: Proyección por Tabla de Rodal, Proyección Total del Rodal, Tablas de Rendimiento y Funciones Derivadas de Crecimiento y Rendimiento.

31 Proyección por Tabla de Rodal

Requerimientos:

- a) información del crecimiento del diámetro
- b) una tabla con la situación actual del rodal
- c) una tabla de volumen local
- d) información para calcular incorporaciones
- e) estimaciones de mortalidad

El mecanismo admite tres alternativas para encarar el crecimiento de los árboles dentro de cada clase de diámetro. En la primera, la más simple, se asume que todos los árboles dentro una clase de diámetro están localizados en el punto medio de la clase y que todos crecen a la tasa promedio de la clase. En la segunda, se asume que los árboles están uniformemente distribuidos dentro de una clase y que cada árbol crecerá a la tasa promedio de la clase. En la tercera, se reconoce la verdadera posición de cada árbol dentro de cada clase y se aplica el incremento del diámetro para árboles individuales dentro de cada clase. A continuación, veremos cómo se opera con las dos primeras alternativas.

Primera alternativa

Cálculo del crecimiento en volumen/ha predicho para 10 años. Valores por hectárea, diámetros en cm y volumen en dm³.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Clase diam.	Increment. 10 años	Dap fut.	Vol/árb futuro	Estruct. actual	Vol/árb actual	Vol. fut.	Vol. actual	Produc en vol
5	2,0	7,0	-	42	-	-	-	-
10	1,9	11,9	-	29	-	-	-	-
15	1,7	16,7	170	22	125	3.740	2.750	990
20	1,6	21,6	242	17	184	4.114	3.128	986
25	1,4	26,4	319	13	256	4.147	3.328	819
						12.001	9.206	2.795

Columna 1: número de árboles por clase de diámetro; el número en la columna representa el punto medio de la clase.

Columna 2: incremento medio del diámetro en 10 años para cada clase.

Columna 3: Col 1 + Col 2.

Columna 4: volumen futuro según tabla de volumen local.

Columna 5: estructura actual del rodal mediante datos provistos por un inventario forestal.

Columna 6: volumen por tabla de volumen local para los diámetros de la Columna 1.

Columna 7: Col 4 × Col 5

Columna 8: Col 6 × Col 5

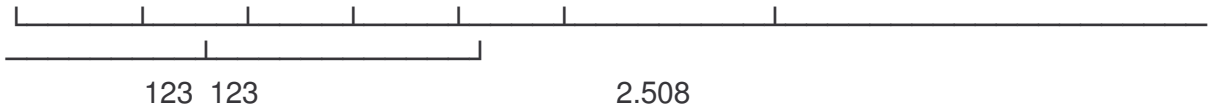
Columna 9: Col 7 - Col 8; crecimiento bruto del volumen inicial.

No se consideran modificaciones en la cantidad de árboles, que se asume no varía en el período; no hay árboles muertos, ni cortados, ni incorporados.

Segunda alternativa

Si indicamos con M la tasa de movimiento de árboles para cada clase de diámetro, su valor queda determinado por el cociente I/A , donde I es el incremento periódico del diámetro y A el intervalo de la clase de diámetro (amplitud) en iguales unidades que I. Los dos dígitos situados a la derecha del punto decimal indican la proporción de árboles de la clase que se moverán una clase más a la indicada por el número presente en la parte entera, el resto se moverá una clase menos. Así, un $M = 0,80$ indica que el 80% de los árboles de la clase se moverá 1 clase y que el 20% restante permanecerá en ella. Un valor $M = 1,01$ indica que el 1% de los árboles se moverá dos clases y el 99% restante se moverá una clase. A continuación se presenta un cuadro con datos operados bajo este sistema.

clase diam.	Inc.		Estruct.		Movimien		por árbol	futuro total	actual total	Crecimiento Periódico
	per.	M	act.	fut.	0	1				
5	2,0	0,40	42	25	25	17	-	-	-	-
10	1,9	0,38	29	35	18	11	-	-	-	-
15	1,7	0,34	22	26	15	7	125	3.250	2.750	500
20	1,6	0,32	17	19	12	5	184	3.496	3.128	368
25	1,4	0,28	13	14	9	4	256	3.584	3.328	256
30	-	-	0	4	0	-	346	1.384	0	346



32 PROYECCION TOTAL DEL RODAL (METODO DE LAS DOS VIAS)

Se basa en el supuesto que:

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{B_f \times H_f \times F_f}{B_i \times H_i \times F_i}$$

V = volumen promedio/ha; f = futuro
 B = área basal promedio/ha; i = inicial
 H = altura promedio del rodal.
 F = factor de forma promedio del rodal

Asumiendo que el factor de forma se mantendrá esencialmente sin cambios durante el período de predicción (usualmente de 10 años), se puede asumir que $F_f = F_i$ y eliminarlos de la anterior relación, con lo cual quedaría:

$$\frac{V_f}{V_i} = \frac{B_f \times H_f}{B_i \times H_i}$$

Por lo tanto:

$$V_f = V_i \times \frac{B_f \times H_f}{B_i \times H_i}$$

y el incremento en volumen/ha (I_v), será igual a:

$$I_v = V_f - V_i = V_i \left(\frac{B_f \times H_f}{B_i \times H_i} - 1 \right)$$

El volumen inicial o actual puede determinarse mediante cualquier procedimiento de inventario. El área basal inicial o actual se puede determinar por medición de diámetros en una muestra de árboles o mediante el método de Bitterlich. La altura inicial o actual se puede determinar por medición de alturas en una muestra de árboles, pero es más eficiente una combinación de muestreo vertical y parcelas de tamaño fijo, o la altura de Lorey mediante muestreo horizontal por puntos. La exactitud del método dependerá de la exactitud en la predicción del área basal y altura media futuras. Es mejor estimar cada una por separado, por lo cual también se lo llama Método de las Dos Vías. El área basal futura se puede determinar adicionando el incremento en área basal al área basal actual.

Con relación a la predicción en la altura tenemos: a) en rodales coetáneos se puede obtener a partir de curvas de Índice de Sitio, y b) en masas discetáneas mediante mediciones de crecimiento en parcelas permanentes. En rodales coetáneos y normales (fully stocked) que

ya han superado la etapa del crecimiento juvenil, el área basal/ha tenderá a permanecer constante. El crecimiento dependerá entonces del crecimiento en altura. La fórmula original del I_v se puede simplificar. En rodales discetáneos donde los árboles más grandes son periódicamente cortados, es la altura media la que tenderá a ser bastante constante; el crecimiento dependerá entonces del crecimiento del área basal. La fórmula original del I_v se puede simplificar.

33 Tablas de Rendimiento

Una Tabla de Rendimiento es una presentación tabular del vol/ha esperado en una masa coetánea, en función de ciertas características de esa masa. Las características usadas más comúnmente, son: a) edad, b) calidad de sitio, c) densidad y d) especie. Se construyen a partir de estudios de rendimiento, mediante la relación de una variable de interés (área basal, volumen, número de árboles) y una serie de variables independientes que describen la condición del rodal. Las T. de Rendimiento permiten regular cortas, determinar períodos de rotación y evaluar y predecir crecimientos.

Según sean las variables independientes que se utilicen se generan distintos tipos de Tablas de Rendimiento. Las usuales han sido: T. de Rendimiento Normales, T. de Rendimiento Empíricas y T. de Rendimiento de Densidad Variable.

Tablas de Rendimiento Normales

Toman como variables de predicción a la edad y a la calidad de sitio del rodal. Son las más antiguas. Se originaron en una época en que no existían métodos prácticos que permitieran operar con más de 2 variables independientes a la vez; se las manipulaba en forma gráfica. De allí la condición de rodal Normal que requieren estas tablas. La información de base se obtiene de parcelas de muestreo de densidad Normal. El valor futuro de la variable dependiente, para un nuevo rodal, se calcula a partir del valor actual indicado por la tabla y del que realmente existe. Esta relación se extrapola a la situación teórica futura. Por ejemplo, supongamos que queremos predecir el crecimiento para los próximos 10 años, de una plantación de 10 años de edad, con Índice de Sitio 17. La Tabla de Rendimiento Normal indica, para ese Índice de Sitio:

200 m³/ha, para un rodal de 10 años de edad
500 m³/ha, para un rodal de 20 años de edad

lo que representa un incremento de 300 m³/ha para ese período. El volumen actual (10 años) es de 150 m³/ha. Luego: $p = 150/200 = 0,75$ es la proporción de lo que hay respecto de lo que indica la tabla. Es de esperar que esta proporción se mantenga en el futuro, por lo que el crecimiento futuro será $300 \times 0,75 = 225$ m³/ha.

Tablas de Rendimiento Empíricas

Son similares a las anteriores, pero se basan en parcelas de muestreo de densidad promedio, con lo cual se elimina la condición de normalidad.

Tablas de Rendimiento de Densidad Variable

La densidad del rodal participa como una de las variables independientes. Se pueden muestrear parcelas de cualquier densidad.

34 FUNCIONES DE CRECIMIENTO Y DE RENDIMIENTO

Los avances en la estadística y en la computación han permitido operar con más de dos variables independientes en forma simultánea. Esto ha dado lugar a la aparición de modelos matemáticos para expresar funciones de crecimiento y de rendimiento. Tanto las funciones de crecimiento como las de rendimiento permiten predecir un volumen esperado al término de un período de años. Sin embargo, su forma de funcionamiento es distinta. Las funciones de rendimiento predicen el volumen final, al cabo del período. Las funciones de crecimiento calculan el incremento año por año; el volumen final se obtiene por acumulación de los valores parciales por año. En rodales coetáneos, el crecimiento o rendimiento se suele estimar a partir de la densidad, edad y calidad de sitio del rodal de interés según sea la situación final. En rodales discetáneos la edad no se puede utilizar. Los datos se pueden obtener de parcelas temporales, de parcelas permanentes o, lo más adecuado, de registros cronológicos completos de todos los rodales, desde su establecimiento hasta su cosecha. A partir de los datos obtenidos se ensayan modelos matemáticos mediante técnicas de regresión, para seleccionar uno o más que permitan una buena predicción. En todos los casos es necesario el seguimiento del rodal y de los valores predichos por el modelo.

BIBLIOGRAFIA

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

Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. 1980. Vol 2: Predicción del rendimiento. Alder D. Manual FAO 22/1.

30								125
35								184
40								256
45								346
50								471

Vol. Total Futuro =

Vol. Total Actual = IP del Volumen=

Se puede obtener el IP del volumen por clase diamétrica? Explique.

La predicción realizada del volumen merece algún reparo?