

## Guía de Crecimiento

El *crecimiento* (o incremento)<sup>1</sup> de un individuo o conjunto de individuos (rodal) se define como el aumento de tamaño en un período de tiempo determinado. Este crecimiento consiste en la división, alargamiento y engrosamiento celular que provoca que los árboles cambien de peso, volumen y de forma. El crecimiento lineal (por ejemplo crecimiento en altura) de todas las partes del árbol resulta de la actividad del meristema primario, mientras que el crecimiento en diámetro del meristema secundario o cambium.

El crecimiento de un árbol, y por ende de un rodal, depende de que los árboles obtengan recursos (luz, agua y nutrientes) del ambiente y usen estos recursos para fijar CO<sub>2</sub> atmosférico y convertirlo en biomasa a través del proceso de fotosíntesis. En la mayoría de las especies forestales las hojas son la única fuente importante para la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico, por lo tanto, el crecimiento de los componentes del árbol (fuste, ramas, raíces, hojas y frutos) depende de la capacidad de las hojas de interceptar la radiación solar y fijar el CO<sub>2</sub> atmosférico, y de la asignación del carbono fijado entre dichos componentes. Por otro lado, el mantenimiento de las células existentes y el crecimiento de nuevas células requieren de energía, y una gran cantidad de la energía fijada en la fotosíntesis se pierde debido a la respiración de mantenimiento y crecimiento. Solo una pequeña porción de la energía incidente en las hojas es convertida a azúcares y luego a biomasa. Por lo tanto, la producción de biomasa o crecimiento resulta del balance entre fotosíntesis y respiración.

El crecimiento de los árboles individuales está influido por sus características genéticas, edad y su interrelación con el medio ambiente, factores climáticos y de suelo y características topográficas, cuya suma representa el concepto de calidad de sitio. Además de estos factores, la competencia (influencia de otros árboles y plantas) es un factor muy importante y el más controlable a través del manejo silvicultural, ya que depende de la estructura. Estos factores, como ya hemos visto, se pueden englobar bajo el término *factores de la producción*, y es mediante la manipulación de alguno de estos factores que se pueden modificar las tasas de crecimiento, la partición de la biomasa, etc. De acuerdo a Clutter et al. (1983) el crecimiento es determinado por cuatro factores: la edad o la distribución de edad del rodal, la capacidad de producción del sitio, la densidad del rodal o grado de ocupación del sitio y los tratamientos silviculturales.

En la terminología forestal existen básicamente tres formas de expresar el crecimiento de un árbol o de un rodal. Cada una de ellas se diferencia en el período de tiempo al que hace referencia. Así, el *incremento corriente anual (ica)* es la diferencia entre las dimensiones medidas al inicio y al final del período de crecimiento de un año. Representa el crecimiento ocurrido durante ese año. El *incremento periódico anual (ipa)* es el crecimiento promedio por año dentro de un período de varios años. Por último, el *incremento medio anual (ima)* es el crecimiento promedio anual hasta cualquier edad desde la instalación del árbol o plantación. Se obtiene dividiendo el crecimiento acumulado hasta un determinado momento en el tiempo, por la edad del árbol o de la plantación correspondiente (Prodan et al. 1997, Husch et al. 2003). En la Tabla 1 se muestra un ejemplo de cálculo de cada expresión del crecimiento. Así, por ejemplo,

---

<sup>1</sup> En los textos de ecología es común el uso del término productividad para referirse al crecimiento.

hablamos de crecimiento en diámetro (cm/año), altura (m/año), área basal ( $\text{m}^2/\text{ha.año}$ ), volumen ( $\text{m}^3/\text{ha.año}$ ), biomasa ( $\text{Mg}/\text{ha.año}$ ).

Por otro lado, el *crecimiento acumulado* (o rendimiento) hasta una edad determinada representa la dimensión total de una variable a esa edad. Es decir, el valor que tiene la variable a cierta edad, por ejemplo el crecimiento acumulado en volumen a los 16 años de edad en un rodal de *Populus deltoides* con 340 plantas/hectárea es  $297 \text{ m}^3/\text{ha}$ . Se debe tener en claro la diferencia entre crecimiento y crecimiento acumulado, mientras el primero hace referencia al cambio producido en un tiempo determinado, el segundo hace referencia al tamaño final alcanzado para determinada edad.

Tabla 1. Incremento corriente anual (*ica*), incremento periódico anual (*ipa*), incremento medio anual (*ima*) y crecimiento acumulado en diámetro y área basal de un rodal de *Populus deltoides* de 333 árboles/hectárea en el Delta del Paraná.

Edad	Dap (cm)	$ica_{Dap}^1$ (cm/año)	$ima_{Dap}^1$ (cm/año)	$ipa_{Dap}^*$ (cm/año)	AB ( $\text{m}^2/\text{ha}$ )	$ica_{AB}$ ( $\text{m}^2/\text{ha.año}$ )	$ipa_{AB}^*$ ( $\text{m}^2/\text{ha.año}$ )	$ima_{AB}$ ( $\text{m}^2/\text{ha.año}$ )
4	19.8	---	4.9	---	10.3	---	---	2.6
5	25.3	5.5	5.1	---	16.8	6.5	---	3.4
6	28.5	3.2	4.7	4.4	21.3	4.5	5.5	3.6
7	30.7	2.2	4.4	---	24.8	3.5	---	3.5
8	32.9	2.2	4.1	2.2	28.4	3.6	3.6	3.6
9	34.2	1.4	3.8	---	30.8	2.4	---	3.4

\*Para la estimación del ipa se tomó un período de dos años.

Cuando se grafica la evolución en el tiempo del *crecimiento acumulado* de cualquier variable (diámetro, altura, área basal, volumen, biomasa, etc.) de un árbol o rodal se obtiene una curva de forma *sigmoide* (Figura 1a). Dicha curva característica muestran el *crecimiento acumulado* a cualquier edad y la forma de la misma es estable, independientemente de la especie o de los cambios o fluctuaciones del entorno en que se desarrolle. La curva *sigmoide* presenta dos características fundamentales: tiene un punto de inflexión y una asíntota horizontal. Cómo se verá más adelante, esta curva básica a derivado en un gran número de modelos que se utilizan para describir la evolución en el tiempo del crecimiento de los rodales.

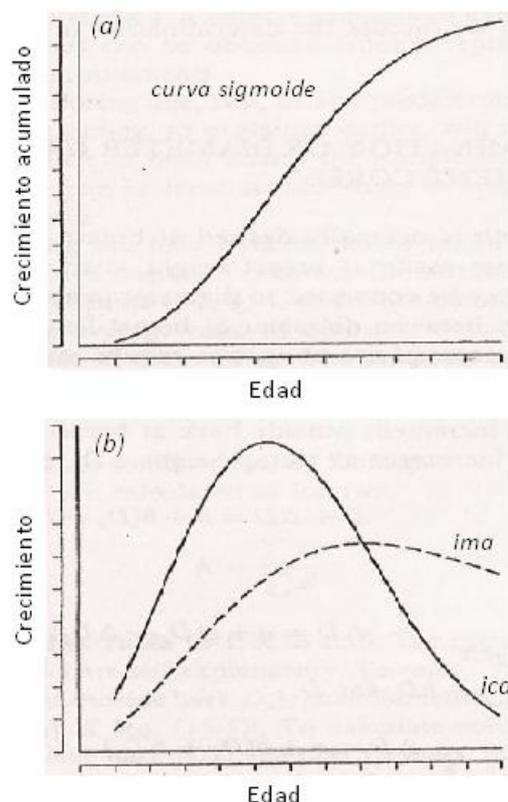


Figura 1. Curva de crecimiento acumulado (a), curva de incremento corriente anual (*ica*) y curva de incremento medio anual (*ima*). Las curvas de *ica* e *ima* son derivadas de la curva de crecimiento acumulado.

Entre la curva de crecimiento acumulado (o rendimiento) y la curva de crecimiento (*incremento corriente anual*) existe una relación sencilla. La dimensión final alcanzada por una variable en un momento del tiempo determinado es igual a la sumatoria de todos los crecimientos anuales. Por lo tanto, la curva de crecimiento acumulado es la curva acumulada de la curva de *incremento corriente anual*. En términos matemáticos, y considerando intervalos de tiempo infinitesimales, la curva de crecimiento acumulado es la integral de la curva de *incremento corriente anual*, y por el contrario, la curva de *incremento corriente anual* es la primera derivada de la curva de crecimiento acumulado. El punto de inflexión de la curva de crecimiento acumulado se corresponde con el valor máximo de la curva de *incremento corriente anual* (Figura 1b). Por otro lado, la curva de *incremento medio anual* también muestra un desarrollo típico. La culminación del *incremento medio anual* es posterior que la culminación del *incremento corriente anual*. La curva de *incremento medio anual* alcanza su valor máximo en la intersección con la curva de *incremento corriente anual*. Desde este punto la curva de *incremento corriente anual* decae en forma más suave que la curva de *incremento corriente anual* (Figura 1b).

Cómo se observa en la Figura 1b, el crecimiento de los bosques coetáneos cambia con la edad y desarrollo de los mismos: el *crecimiento corriente anual* al principio aumenta con la edad en forma relativamente rápida, alcanza un máximo (punto de culminación) a relativamente a corta edad en la vida del rodal seguido de una declinación considerable. Esta tendencia básica típica puede verse enmascarada, por ejemplo, por fluctuaciones estacionales. En rodales jóvenes el crecimiento se incrementa a medida que se

desarrolla el área foliar, alcanza un máximo que generalmente coincide con la máxima área y/o biomasa foliar, y luego declina. El pico del crecimiento se produce en las primeras etapas del desarrollo del rodal y se asocia con el cierre de copas y elevada área foliar. La literatura muestra que la declinación en el crecimiento casi siempre ocurre, pero la magnitud y momento en que sucede varían (Ryan et al. 1997).

Cuando nos referimos al crecimiento del rodal se debe considerar que la estructura del mismo -la distribución de los árboles por especies y clases de tamaño- cambia con la edad debido a la regeneración, el crecimiento, la mortalidad y las cortas de los árboles individuales que forman el rodal. Estos cambios en la estructura ocasionan que el crecimiento y crecimiento acumulado del rodal pueda estar referido un número distinto de árboles en diferentes momentos de desarrollo del rodal. Por lo tanto, al considerar el crecimiento del rodal se deben tener en cuenta los cambios en la estructura del mismo. Por ejemplo, si se determina el área basal del rodal al inicio y al final del período de crecimiento, entonces también debe considerarse los cambios en el número de árboles (Figura 2). Teniendo en cuenta los cambios en la estructura del rodal se definen los siguientes términos de crecimiento del rodal (Beers 1962):

Crecimiento bruto del volumen inicial:  $G_g = V_2 + M + C - I - V_1$

Crecimiento bruto incluyendo incorporaciones:  $G_{g+i} = V_2 + M + C - V_1$

Crecimiento neto de volumen inicial:  $G_n = V_2 + C - I - V_1$

Crecimiento neto incluyendo incorporaciones:  $G_{n+i} = V_2 + C - V_1$

Incremento neto:  $G_d = V_2 - V_1$

donde:  $V_1$  es el volumen del rodal al inicio de período de crecimiento,  $V_2$  es el volumen del rodal al final de período de crecimiento,  $M$  es el volumen muerto,  $C$  es el volumen cortado e  $I$  es el volumen de las incorporaciones. Se entiende por *incorporación* el número o volumen de árboles que alcanzan el tamaño mínimo para ser medidos. La *mortalidad* es el número o volumen de árboles que mueren por causas naturales tales como: edad, competencia, insectos, enfermedades, viento, etc. El volumen *cortado* es el número o volumen de árboles que son cortados (sean aprovechados o no) por ejemplo durante las operación de raleo. Si bien se utiliza el volumen como ejemplo, las definiciones son validas para cualquier otra variable, biomasa o área basal. El volumen muerto ( $M$ ) y el volumen cortado ( $C$ ) se pueden definir de dos formas: 1. representa el volumen inicial de los árboles muertos o cortados durante el período entre dos inventarios o, 2. representa el volumen de los árboles al momento de la muerte o la corta.

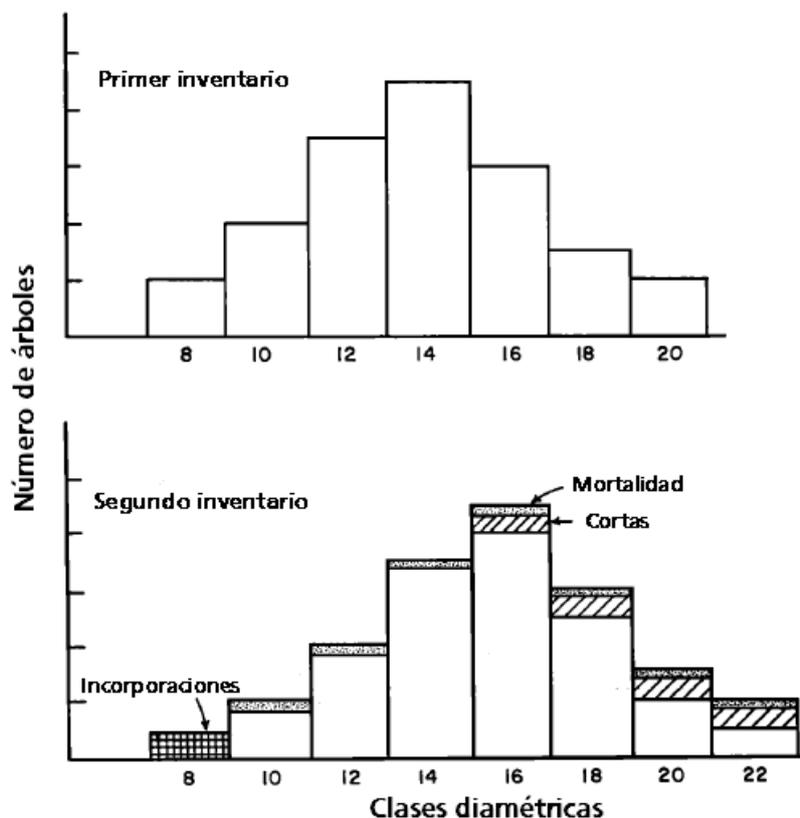


Figura 2. Representación esquemática de los cambios en la estructura del rodal en un rodal coetáneo (Modificado de Beers, 1962).

Otra forma de expresar el crecimiento, tanto de árboles individuales como de rodales, es a través del *crecimiento relativo* (o crecimiento en porcentaje en muchos textos forestales). El crecimiento relativo es una forma de expresar el crecimiento de una variable del árbol o del rodal en relación a la magnitud de la variable (crecimiento acumulado) a inicio del período de crecimiento. Es decir es una relación entre crecimiento y tamaño inicial. El crecimiento relativo disminuye a medida que el árbol o rodal aumenta de tamaño aun manteniendo el crecimiento absoluto constante o con un pequeño aumento.

El crecimiento relativo puede verse como una eficiencia de la producción por unidad de tamaño de la planta. El crecimiento relativo es usado debido a que el crecimiento absoluto no siempre es un buen indicador de la *performance* o vigor debido a que el crecimiento varía según el tamaño, la edad y la competencia a la que se encuentran sometidos los individuos.

### Resumen de conceptos fundamentales

Concepto de crecimiento o incremento.

Formas de expresión de crecimiento o incremento.

Concepto de crecimiento acumulado o rendimiento.

Diferencia entre crecimiento y crecimiento acumulado.

Crecimiento del rodal y cambios en la estructura.

**Bibliografía**

- Beers, T. W. 1962. Components of forest growth. *Journal of Forestry* **60**:245-248.
- Clutter, J. L., Forston, J. C., Pienaar, L. V., Brister, G. H., & Bailey, R. L. 1983. *Timber management: a quantitative approach*. John Wiley & Sons, New York, 333 p.
- Husch, B., T. W. Beers, y J. A. Kershaw. 2003. *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons, New York.
- Prodan, M., R. Peters, F. Cox, y P. Real. 1997. *Mensura forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)/Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, San José, Costa Rica, 561 p.
- Ryan, M. G., D. Binkley, y J. H. Fownes. 1997. Age-related decline in forest productivity: pattern and process. *Advances in Ecological Research* **27**:213-262.