

5. Estudio de la forma del fuste

La forma del fuste de los árboles varía ampliamente. La tasa de disminución del diámetro fustal entre la base y el ápice del árbol, conocida como *ahusamiento*, varía dependiendo la especie, edad y tamaño de los árboles y factores asociados al manejo del rodal y a las condiciones del sitio.

El estudio de la forma del fuste está destinado básicamente a aportar información para la estimación del volumen del árbol. Tradicionalmente se reconocen cuatro líneas en el estudio de la forma. Tres de ellas se basan en relaciones simples: a) factores de forma, que se derivan del cociente entre volúmenes; b) cocientes de forma, obtenidos del cociente entre diámetros; y c) puntos de forma, que corresponden al cociente entre alturas; otra línea se basa en funciones más complejas: d) curvas, fórmulas y tablas de ahusamiento.

5.1. Estudio de la forma mediante factores y cocientes.

En esta línea, la forma del fuste se expresa numéricamente mediante un valor único por árbol.

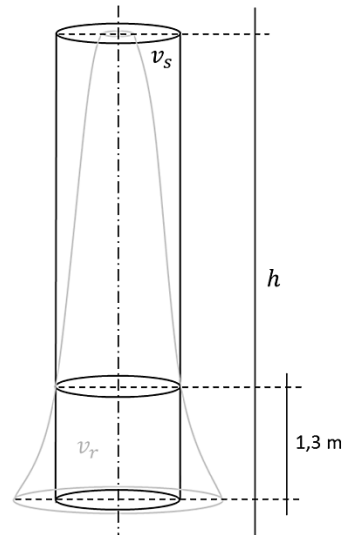
5.1.1. Factores de forma.

El factor de forma se obtiene del cociente entre el volumen real del árbol y el volumen de un cuerpo geométrico de referencia, cuyas dimensiones corresponden a las dimensiones generales del árbol (diámetro, altura). Al volumen del sólido de referencia también se le denomina volumen aparente.

$$f = \frac{v_r}{v_s}$$

Dónde: f = Factor de forma
 v_r = Volumen real del fuste
 v_s = Volumen del sólido de referencia

Dependiendo de la forma asumida para el sólido de referencia se obtienen factores de forma cilíndricos, parabólicos, cónicos, neiloídicos, siendo el factor de forma cilindro el de uso más habitual.



Fundamento de factor de forma

La utilidad del factor de forma es evidente, conocido su valor, es fácil derivar el volumen de un árbol $v_r = f * v_s$, siendo el volumen del sólido de referencia (v_s) obtenido a partir de la altura y el diámetro del árbol.

- a) **Factor de forma artificial.** La utilidad del factor de forma como expresión de la forma del fuste depende de cómo se defina el sólido de referencia. Cuando el sólido de referencia adquiere las dimensiones definidas por la altura total y el diámetro del árbol, el factor de forma es afectado por el tamaño del árbol. Esto porque la medición del diámetro se realiza siempre a una altura constante, independientemente de la altura total del árbol. Así, aunque dos árboles tengan exactamente la misma forma, pero diferente tamaño, el factor de forma adquirirá valores diferentes. También puede ocurrir que dos árboles con igual factor de forma, no posean igual forma.

Este factor de forma recibe el nombre de *factor de forma artificial*, quedando definido de la siguiente manera cuándo el sólido de referencia es un cilindro (nótese que el volumen del cilindro en este caso es: $v_s = g * h$)

$$f_{1,3} = \frac{v_r}{g * h}$$

Dónde: $f_{1,3}$ = Factor de forma artificial
 v_r = Volumen real del fuste
 g = Área de la sección normal del fuste
 h = Altura total del árbol (m)

- b) **Factor de forma natural.** La influencia del tamaño del árbol sobre el factor de forma se elimina midiendo el diámetro para el sólido de referencia a un porcentaje de la altura total del árbol. Así, el diámetro se obtiene a la misma altura relativa en árboles de diferente altura. Este factor de forma recibe el nombre de *factor de forma natural* o de Hohenadl en honor a quien propuso la forma para su obtención.

El factor de forma natural cilíndrico se obtiene de la relación siguiente (note que el volumen del cilindro en este caso es: $v_s = g_{0,1h} * h$)

$$f_{0,1h} = \frac{v_r}{g_{0,1h} * h}$$

Dónde: $f_{0,1h}$ = Factor de forma natural
 v_r = Volumen real del fuste
 g = Área de la sección del fuste a un décimo de la altura total
 h = Altura total del árbol (m)

5.1.2. Cocientes de forma.

El cociente de forma se obtiene a partir del diámetro del fuste medido a una cierta altura superior en el fuste y otro diámetro medido a una altura inferior estándar en el fuste del árbol.

$$Cf = \frac{d_s}{d_i}$$

Dónde: Cf = Cociente de forma
 d_s = Diámetro de fuste superior
 d_i = Diámetro de fuste inferior

En los casos más frecuentes, debido al ahusamiento del fuste, el diámetro superior es menor que el diámetro inferior resultando, por lo tanto, el cociente de forma en valores inferiores a uno. Existen varios cocientes de forma; todos ellos utilizan el DAP del árbol como diámetro de referencia, variando la altura de medición del diámetro de fuste superior.

a) Cociente de forma normal. Es el cociente entre el diámetro superior medido a la mitad de la altura total del árbol y el DAP.

$$Cf_{0,5h} = \frac{d_{0,5h}}{DAP}$$

Dónde: $Cf_{0,5h}$ = Cociente de forma normal
 $d_{0,5h}$ = Diámetro de fuste medido a la mitad de la altura total del árbol
 DAP = Diámetro con corteza medido a 1,3 metros de altura.

A medida que la altura del árbol decrece, la altura de medición del diámetro de fuste superior acerca a la altura de medición del DAP y el cociente de forma normal se aproxima a 1. En árboles pequeños (altura menor a 2,6 m), el cociente adquiere valores mayores a 1. Así el cociente de forma normal no tiene un límite superior máximo.

b) Cociente de forma absoluta. En este, el diámetro superior se mide a la mitad de la altura comprendida entre la altura de medición del DAP (1,3 m) y la altura total del árbol. Con ello se impide que el cociente tome valores mayores que 1.

$$Cf_{0,5(h+1,3)} = \frac{d_{0,5(h+1,3)}}{DAP}$$

Dónde: $Cf_{0,5(h+1,3)}$ = Cociente de forma absoluta
 $d_{0,5(h+1,3)}$ = Diámetro de fuste medido a la mitad de la altura comprendida entre la altura de medición del DAP y la altura total del árbol.
 DAP = Diámetro con corteza medido a 1,3 metros de altura.

La mejor manera de obtener los indicadores de forma es midiendo los diámetros de fuste sin corteza. Ello elimina la variabilidad adicional introducida por la variación del espesor de corteza entre árboles. El problema aquí, sin embargo, es medir el diámetro superior sin corteza con exactitud en árboles en pie.

5.1.3. Punto de forma.

El punto de forma relaciona la altura a la cual se encuentra el centro de gravedad de la copa y la altura total del árbol. El centro de gravedad de la copa es el punto en el cual el árbol es más resistente a la acción del viento. Así, este indicador reconoce la importancia de la copa del árbol como factor determinante de la forma del fuste. La ubicación exacta de este punto es difícil de definir; en la práctica se asume que se ubica en la zona donde se presenta la mayor ramificación de la copa. El punto de forma se expresa en porcentaje.

$$Pf = \frac{h_{cg}}{h} * 100$$

Dónde: Pf = Punto de forma

h_{cg} = Altura del centro de gravedad de la copa

h = Altura total del árbol

5.2. Estudio de la forma mediante funciones de perfil de fuste.

En esta línea se utilizan relaciones matemáticas que representan el perfil del fuste, tomando el fuste como un todo o por secciones.

5.2.1. Sólidos de revolución.

El estudio de la forma del fuste se basa en cuatro sólidos básicos conocidos (cilindro, paraboloides, cono y neiloide). El perfil de estos sólidos puede representarse mediante la siguiente relación básica siguiente, que en torno al eje del sólido produce el sólido respectivo (6.1.).

$$y^2 = p * x^n$$

Dónde: y = Radio del sólido en la posición x

p = Constante que define el aumento del radio del sólido por cada unidad de aumento en la longitud

x = Distancia medida desde el extremo menor del sólido

n = Exponente que define la forma del sólido

(Cilindro $r = 0$; paraboloides $r = 0,5$; cono $r = 1$; neiloide $r = 1,5$).

En cuanto a la representatividad, el perfil de los sólidos puede identificarse en forma aproximada en los fustes de los árboles; el *cilindro* en porciones de poca longitud del fuste de latifoliadas; el *paraboloide* y el *cono* en fustes de coníferas creciendo en rodales densos; el *neiloide* en árboles que crecen aislados y árboles tropicales. Esas formas se identifican más fácilmente en el fuste de árboles individuales tomados por secciones. La integración de la relación que describe el perfil del fuste genera el volumen del sólido.

5.2.2. Funciones de ahusamiento.

El término *ahusamiento*, se usa para describir la disminución en diámetro que experimenta el fuste de un árbol desde la base hasta el ápice. El ahusamiento del fuste varía ampliamente, dependiendo de la especie, la ubicación regional y el sitio, posición relativa del fuste y la copa dentro del dosel, como también de los tratamientos silviculturales aplicados en el rodal (fertilización, poda, raleo, etc.).

Una función de ahusamiento es una expresión matemática que describe el perfil del fuste. Relaciona el diámetro del fuste con la altura a la cual el fuste adquiere ese diámetro y variables de estado del árbol (DAP, altura). A partir de la función se puede estimar el diámetro con o sin corteza en cualquier punto del fuste, el volumen total o comercial para cualquier diámetro límite de utilización y desde cualquier altura de tocón, y altura comercial.

Aunque la función de ahusamiento permite realizar estimaciones de variables sencillas como el diámetro de fuste a cualquier altura del fuste, o la altura en el fuste en la que el diámetro adquiere un determinado diámetro, su mayor utilidad radica en que permite realizar estimaciones de volumen entre dos alturas cualquiera en el fuste del árbol. Así, se transforma en una herramienta esencial en modelos de simulación y optimización del trozado.

5.3. Coeficiente de decrecimiento.

El coeficiente de decrecimiento métrico representa la disminución media del diámetro por metro de altura (conicidad del fuste). Se expresa en cm/m o en %. El más utilizado es el que considera la sección normal y la situada a la mitad de la altura total del árbol.

$$Cd = \frac{(d - d_{0,5h})}{(0,5h - 1,3)} \text{ cm/m}$$

Dónde: Cd = Coeficiente de decrecimiento
 d = Diámetro normal
 $d_{0,5h}$ = Diámetro a la mitad de la altura total del árbol
 h = altura

5.4. Coeficiente de esbeltez.

El coeficiente de esbeltez, llamado en ocasiones factor de estabilidad, es la expresión de una relación particular entre la altura total y el diámetro medio de un árbol.

$$Ce = \frac{h}{d}$$

Dónde: Ce = Coeficiente de esbeltez
 h = Altura total
 d = Diámetro normal

Indica la silvicultura y la posición social del árbol en la masa forestal, así como las posibilidades de prosperar del árbol y la necesidad de realización de claras. Valores superiores a 80 indican riesgo de ruptura del árbol por viento o nieve.

6. Estimación y medición del volumen

El volumen es la medida de la cantidad de madera sólida más ampliamente utilizada. En el árbol individual pueden identificarse diferentes categorías de volumen. El árbol completo, considerando todos los componentes, constituye el *volumen total*; todos aquellos componentes cuyas dimensiones son aceptables para el mercado constituyen el *volumen comercial*; el *volumen de desechos* está conformado por secciones maderables del árbol que presentan defectos y dimensiones menores o no comerciales; también existe la denominación de *volumen bruto*, cuando se estima el volumen total hasta un diámetro comercial (dlu: diámetro límite de utilización) incluyendo defectos; desde este último, descontados los defectos, se obtiene el *volumen neto*. Esos volúmenes pueden expresarse con o sin corteza.

La medición directa de cualquiera de los volúmenes mencionados en el párrafo anterior es difícil de realizar directamente en árboles en pie. Así, la cubicación normalmente se realiza mediante métodos indirectos. Esto consiste en estimar el volumen del árbol a partir de variables de más fácil medición como el DAP, la altura y la forma del fuste utilizando una función de volumen.

Para conocer el volumen de un árbol o de sus partes con bastante exactitud se pueden seguir distintos métodos:

- a) Por desplazamiento de agua (Principio de Arquímedes).
- b) Por peso (Relación entre volumen y peso).
- c) Por cubicación (Medida de dimensiones geométricas).

Los métodos **a** y **b** se usan con muchas limitaciones, aunque son más precisos que el **c**. La cubicación permite obtener el volumen de un árbol a través de la medición de ciertas dimensiones como el DAP y altura para árboles en pie y espesor, ancho y largo para madera aserrada.

6.1. Tipos dendrométricos.

Para el estudio de la cubicación de árboles, partimos de una serie de hipótesis sobre la forma de los troncos, basadas en considerarles sólidos de revolución, al ser sus ejes sensiblemente rectilíneos y sus secciones sensiblemente circulares.

