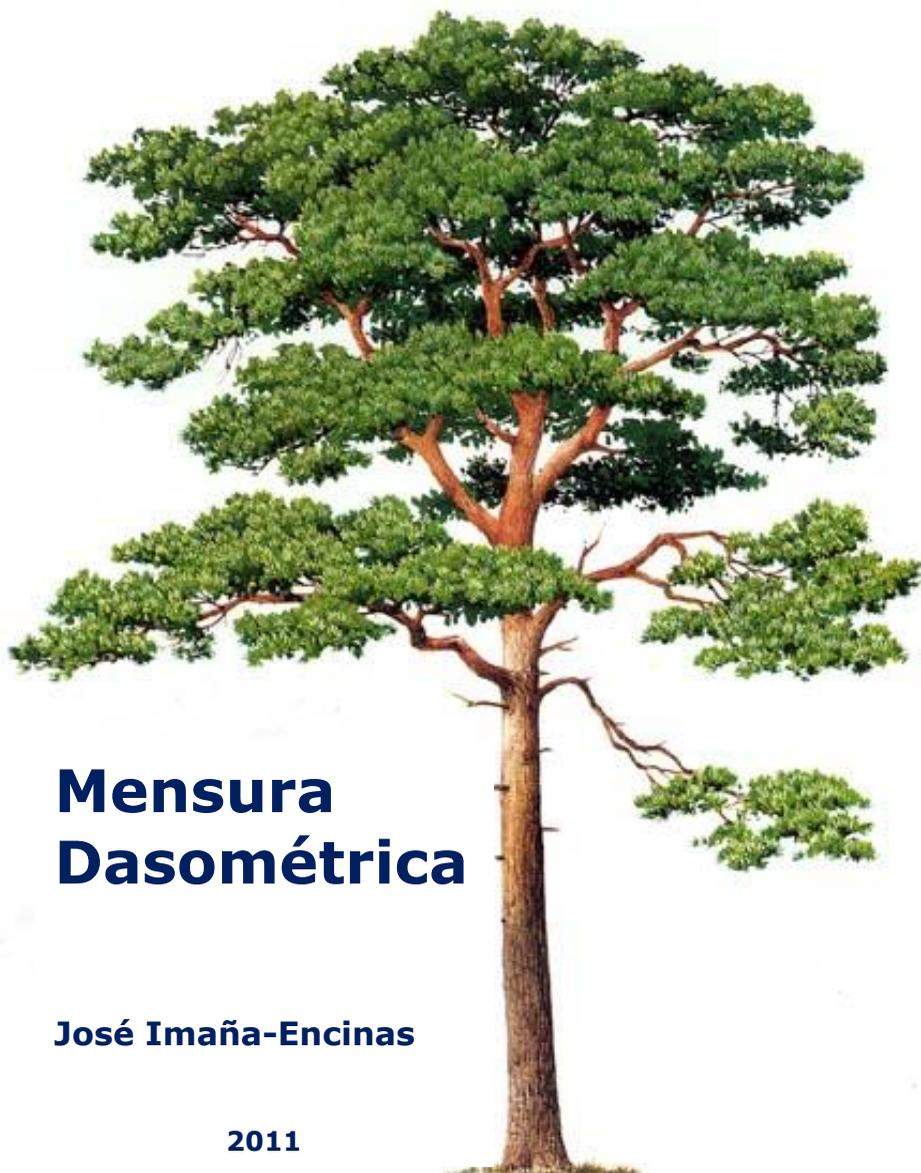


Autorização concedida ao Repositório da Universidade de Brasília (RIUnB) pelo autor, em 21 de maio de 2014, com as seguintes condições: disponível sob Licença Creative Commons 3.0, que permite copiar, distribuir e transmitir o trabalho, desde que seja citado o autor e licenciante. Não permite o uso para fins comerciais nem a adaptação desta.

Authorization granted to the Repository of the University of Brasília (RIUnB) by the author, at May, 21, 2014, with the following conditions: available under Creative Commons License 3.0, that allows you to copy, distribute and transmit the work, provided the author and the licensor is cited. Does not allow the use for commercial purposes nor adaptation.

IMAÑA-ENCINAS, José. **Mensura dasométrica**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2011. 113 p.



# **Mensura Dasométrica**

**José Imaña-Encinas**

**2011**

## **Mensura Dasométrica**

*Especialidad de la Ingeniería Forestal  
que trata de las mediciones cualitativas y  
cuantitativas de las variables de medida  
en el árbol y/o en rodales o bosques.*

Palabras claves: dasometría, dendrometría,  
medición forestal, crecimiento de árboles  
ingeniería forestal



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

# **MENSURA DASOMÉTRICA**

**José Imaña-Encinas**

Brasilia  
**2011**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Copyright © 2002 by José Imaña-Encinas  
Universidade de Brasília – 2002  
1ª edición impresa en portugués: 2002  
2ª edición digital en español: 2011

El total o parte de esta obra podrá ser reproducida  
desde que fuese citada correspondientemente

### *Ficha Catalográfica*

	Imaña-Encinas, José
I31	Mensura dasométrica / José Imaña-Encinas – Brasília : Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2011. 113p. : il. – ISBN 978-85-87599-37-7 1. Dendrometria. 2. Mediciones forestales. 3. Variables dasométricas. 4. Ingeniería forestal. – I. Título.  CDU 634.0.5

Patrocinador



Brasilia, 2011

## PREFÁCIO

Los árboles constituyen recursos naturales renovables fundamentales para el desarrollo de un país. Muchas civilizaciones y culturas fueron medidas en función del conocimiento que poseían sobre las formaciones forestales. En esa filosofía el *Programa Nacional Forestal (PNF - Brasil)* asume entre sus diversas acciones la responsabilidad de nortear directrices básicas para la manutención del equilibrio ecológico del medio ambiente, contribuyendo entre otros, en programas de desarrollo sostenible de los sectores productivos forestales.

La existencia en el Brasil como en varios otros países latinoamericanos de vastos recursos forestales constituye serio desafío en lo que se refiere a su mantenimiento para las próximas generaciones. Los indiscutibles beneficios que acarrearán el correcto conocimiento de los componentes que integran los bosques permitirán el desarrollo coherente de planos de ordenación, administración y manejo forestal atendiendo así a la sostenibilidad del medio ambiente de los ecosistemas forestales. Para que los planos de ordenación puedan adquirir la pertinente importancia ecológica, económica y estratégica se hace necesario del adecuado y detallado conocimiento de sus componentes. Así, para alcanzar el pleno desarrollo del uso de los recursos forestales, la dasometría ocupa lugar de destaque, una vez que el individuo árbol debe ser conocido en toda su magnitud. En ese sentido el *Programa Nacional Forestal* brasileño se hace partícipe en la contribución que la obra *Variáveis Dendrométricas* (1ra. versión) ofrecerá al sector forestal. La cuidadosa recopilación bibliográfica que presenta el tratado ciertamente estará contribuyendo de modo significativo al mejor conocimiento de la mensura forestal y en consecuencia a los planos de ordenación y manejo forestal.

Raimundo Deusdará Filho  
Director del Programa Nacional Forestal  
Ministério del Meio Ambiente - Brasil  
outubre de 2002



## PRESENTACIÓN

Con el intuito de contribuir con el desarrollo del sector forestal latino americano y con la intención de presentar clásicos procedimientos tecnológicos de la mensura forestal es que fue elaborada la presente obra, orientada inicialmente al acompañamiento de la oferta de disciplinas o cátedras relacionadas con la Dasometria Forestal.

Esta obra fue inicialmente concebida y elaborada cuando el autor Prof. Dr. José Imaña-Encinas en 2001 permaneció como Profesor Visitante y becario de la CAPES (Brasil) en el Instituto de Silvicultura Tropical de la Universidad de Göttingen, Alemania. De retorno a la Universidad de Brasilia, juntamente con el apoyo del Profesor Dr. Gilson Fernandes da Silva y del alumno del curso de Ingeniería Forestal Iuri Ticchetti la obra fue concluida y estructurada en el formato de la serie *Comunicações Técnicas Florestais*, publicada en octubre de 2002 con el título de ***Variáveis Dendrométricas***.

En ésta segunda edición la obra llevando el título de ***Mensura Dasométrica*** fue actualizada y colocada a disposición de la sociedad en versión digital. Se pretende que el presente documento sea de consulta para los interesados en asuntos de la mensura forestal. Paralelamente colocando accesible el documento como consulta técnica, se pretende de ésta forma contribuir con la formación técnico académica de los profesionales forestales latino americanos.

José Imaña-Encinas  
junio de 2011

# Tabla de Contenido

		página
	Prefacio	
	Presentación	
1	Definición de la dasometria	1
1.1	Objeto de las mediciones	4
1.2	Unidades de medida	4
1.2.1	Escalas	6
1.3	Variables y errores	9
1.4	Concepto de distancias	13
1.5	Métodos para medir distancias	17
1.5.1	Métodos directos	17
1.5.2	Métodos indirectos	23
1.6	Puntos cardenales	27
1.6.1	Brújula geodésica	27
1.6.2	Brújula Suunto	28
1.7	Distribución espacial	29
2	Árbol dendrométrico	31
2.1	Componentes del árbol	34
3	Diámetros y circunferencias	37
3.1	DAP, CAP	37
3.1.1	Medidores de corteza	41
3.2	Instrumentos para medir diámetros	42
3.2.1	Cinta métrica	42
3.2.2	Cinta diamétrica	43
3.2.3	Forcípula	44
3.2.4	Regla de Biltmore	46
3.2.5	Forcípula de tarifa de Bitterlich	49
3.2.6	Forcípula finlandesa	50
3.2.7	Relascópio de Bitterlich	50
3.2.8	Pentaprisma de Wheeler	52

3.3	Clases diamétricas	53
3.3.1	Trinchete diamétrico	54
3.4	Crecimiento diametral	55
3.4.1	Dial-Dendro	55
3.4.2	Micro dendrómetro	56
3.4.3	Fito tensiómetro	57
3.5	Reglas madereras	57
3.6	Diámetro de la copa	58
3.6.1	Huíncha métrica	59
3.6.2	Círculos de superposición	59
3.6.3	Cuña diamétrica	59
3.6.4	Medidor de diámetro de copa de Bitterlich	61
3.6.5	Prisma medidor de diámetro de la copa	61
4	Área basal	63
4.1	Principio de Bitterlich	64
4.1.1	Barra de Bitterlich	64
4.1.2	Prueba de numeración angular	67
4.2	Parcela de área variable	70
4.2.1	Área basal por clase diamétrica	71
4.3	Instrumentos	73
4.3.1	Relascópio de espejo	73
4.3.2	Tubo basimétrico de Panamá	74
4.2.3	Prisma basimétrico	74
4.4	Otras áreas dasométricas	76
4.4.1	Área de la superficie del tronco	76
4.4.2	Área de cobertura	77
4.4.3	Área de laminado	77
4.4.4	Área foliar	77
4.5	Instrumentos para medir áreas en gráficos	77
5	Altura	79
5.1	Puntos de medición de la altura	79
5.2	Métodos de medición de la altura	80
5.2.1	Métodos fundamentados en principios geométricos	81

5.3	Instrumentos de principios geométricos	83
5.3.1	Hipsómetro de Merrit	84
5.3.2	Hipsómetro de Christen	85
5.4	Instrumentos de principios trigonométricos	86
5.4.1	Hipsómetro Haga	88
5.4.2	Hipsómetro Blume Leiss	89
5.4.3	Hipsómetro de Weise	90
5.4.4	Clinómetro Suunto	90
5.4.5	Relascópio de Bitterlich	93
5.4.6	Clinómetro de Abney	94
5.4.7	Teodolito	95
5.5	Errores de medición	95
5.5.1	Correcciones para la declividad	96
5.6	Estructura vertical del bosque	97
5.6.1	Clases de altura de la regeneración natural	100
5.7	Prueba de numeración angular vertical	100
6.	Relaciones hipsométricas	102
6.1	Factores que afectan la relación hipsométrica	107
7.	Citaciones bibliográficas	109
	Índice	111

## 1. DEFINICIÓN DE LA DASOMETRIA

La palabra dasometria deriva de los vocablos griegos "*daso*" = bosque y "*metrum*" = medida. Consecuentemente la dasometria trata de las mediciones o variables de medida en el bosque. La literatura considera sinónimos de la expresión dasometria los términos dendrometria (*dendro* = árbol), silvimetria (*silva* = bosque) y mensura forestal.

Para la ingeniería forestal el bosque tiene un significado mucho más amplio que el de un conglomerado de individuos arbóreos de una o más especies que viven próximos unos de los otros. Al bosque se lo debe considerar como el resultado de una relación de inúmeras acciones combinadas, recíprocas y evolutivas de características vinculadas entre sí con la influencia de factores y funciones intrínsecas del medio ambiente donde crecen y se desarrollan. El uso de la madera acompaña al hombre en forma íntima y constantemente desde su nacimiento hasta su muerte y es en ese sentido que se establece toda una gama compleja de conocimientos tecnológicos pertinentes que deben ser conocidos por las diversas especialidades de la ingeniería forestal. La propiedad del bosque en su uso se remonta hacia la pre historia de la humanidad y en sus diversos períodos, el bosque como sus productos siempre jugaron un papel preponderante en el desarrollo de las diversas civilizaciones.

Mencionar la importancia de la dasometria en el sector forestal no requiere de mucha explicación, ya que ella debe ser muy bien conocida por todo el personal vinculado a la ciencia forestal. El ingeniero o técnico forestal frecuentemente hará uso de la dasometria como herramienta básica de trabajo, especialmente en lo que se refiere a la captación de datos dentro dasométricos para elaborar y ejecutar los respectivos planes silviculturales, de administración, de manejo y ordenación forestal, de explotación maderera y de la propia política y economía forestal (Imaña-Encinas, 1998). Se debe aún considerar que el árbol y en consecuencia el bosque representa un capital que rinde intereses. Por tanto se hace necesario determinar y calcular ese capital y los intereses correspondientes. En el concepto moderno de la ingeniería forestal el manejo sustentable o sostenido de los recursos forestales se

refiere a mantener “ese capital” (por ejemplo, determinado volumen de madera) y explotar solamente “los intereses” correspondientes (aumento o crecimiento de ese volumen de madera).

La dasometria surgió cuando el hombre sintió la necesidad de estimar o determinar cuantitativamente lo que poseía en términos de recursos forestales, posiblemente en el siglo 13. Registros bibliográficos informan que en 1763 en Wernigerode (Alemania) fue creada la primera escuela técnica de operarios forestales y el inicio formal de la enseñanza forestal a nivel técnico tiene su inicio en 1787, también en Alemania en la Universidad de Freiburg. A partir de esas experiencias es que en 1816 y 1830 fueron creadas en nivel académico universitario en Tharandt y Eberswalde respectivamente las primeras academias forestales alemanas y del mundo. Hoy en día en los países latino americanos la dasometria procura adecuar su importancia contribuyendo fundamentalmente al conocimiento y evaluación de los bosques y sus recursos, en la explotación racional y del propio desarrollo del sector.

Considerando la existencia de:

a) *Bosques de Producción*, que tienen por objetivo suplir a los mercados con materia prima forestal obedeciendo estrictamente el principio de la producción sostenible de los bosques,

b) *Bosques de Protección* que tienen como función proteger a la fauna y flora silvestre, suelo y agua manteniendo el equilibrio ecológico del local; y

c) *Bosques de Recreación* que ofrecen ambientes de laser donde los árboles serán cortadas en forma selectiva;

el técnico forestal debe estar consciente en mantener y administrar estos bosques en el rígido principio de la sostenibilidad además de estar familiarizado con los posibles cambios que podrán ocurrir en esas comunidades boscosas. En ese sentido la práctica de la dasometria se la podrá desarrollar de forma imprescindible en cualquier tipo de esos bosques y para cualquier finalidad.

El concepto de la medición forestal consiste en señalar, marcar y proporcionar dentro del bosque, árbol o parte de él, números a propiedades directamente ponderables como objetos físicos o eventos. Prodan *et al.* (1997) definen a la mensura forestal como la ciencia que se ocupa de la medición de bosques y sus productos con la aplicación de los principios básicos de la

matemática, estadística, geometría y física. Consecuentemente la dasometría también podrá ser definida como la matemática de medición cuantitativa y cualitativa del árbol y sus productos. Ferreira de Souza (1973) describe a la dasometría como la determinación de la masa leñosa y de las leyes de crecimiento en un árbol y en un grupo de árboles o macizos forestales, orientando sus resultados a la producción primaria (básicamente madera), secundaria (productos del árbol o del bosque) y terciaria (agua, polución, etc.).

Para las finalidades didácticas a la mensura forestal se la puede clasificar en tres principales campos de actuación: la dendrometría que considera el árbol como objeto de medición, estimando como resultado final el volumen de madera de un árbol; la dasometría, inventario forestal o estereometría que trata con las existencias de formaciones forestales; y la epidimetría que considera las relaciones de las variables dentro dasométricas con la edad del árbol, básicamente en el estudio de las tasas de crecimiento de los árboles y sus rodales.

La dasometría como doctrina comienza por ocuparse del árbol como individuo y pasa luego a la colectividad o masa (macizo) forestal como objeto mensurable. Mackay (1964) indica que la dasometría enseña los fundamentos y técnicas operativas de las producciones forestales, tratando básicamente de las mediciones de la colectividad forestal (formaciones boscosas o rodales).

Concluyendo, tanto la dendrometría como la dasometría en términos de especialidad de la ciencia de la mensura forestal tratan fundamentalmente con la determinación o estimación de las variables dentro dasométricas (diámetros, alturas, forma del árbol etc.) en árboles en pie o apeados, de sus productos (como tablas, leña etc.), y de la determinación de las pertinentes tasas de crecimiento. Mide consecuentemente al árbol como un todo o a sus partes diferenciables no aspecto tecnológico.

Considerando las peculiaridades expuestas, se define a la **dasometría** como la **rama de la ciencia forestal que trata de la determinación y/o estimación de las dimensiones de los árboles, rodales y bosques, de su crecimiento y sus productos.**

En una comunidad o formación forestal se estará refiriendo a las estimativas hechas a partir de determinaciones o estimaciones

en pequeñas parcelas. La determinación de las variables mensurables se apoya en métodos directos, utilizando el sistema de medidas correspondiente. La estimación se fundamenta en mediciones indirectas o procesos estadísticos.

## **1.1 Objeto de las Mediciones**

La dasometría surge por tanto para atender varias finalidades forestales, desde la inquietud de conocer cómo es que la madera podrá ser medida hasta la necesidad de interpretar con exactitud cuándo y cuánto un bosque estará produciendo un determinado producto. En ese contexto en las mediciones dasométricas existirán objetivos: comerciales, de ordenación y de investigación (Silva y Paula Neto, 1979).

Considerando al árbol y al bosque como un "capital forestal" existirá la urgente necesidad de interpretar los intereses en términos dasométricos. Se hará también necesario medir e interpretar correctamente los productos primarios y secundarios del árbol y del bosque.

Entiéndase por mediciones la determinación de cierta magnitud de una variable física en relación de algún patrón estándar de medida (metros, kilogramos, etc.). Efectuada las medidas de las variables físicas será necesario posteriormente interpretarlas con la finalidad de obtener pertinentes resultados. Como ejemplo, midiendo dos diámetros se podrá obtener el diámetro medio de un grupo de árboles, el correspondiente volumen de madera, su cantidad de biomasa, crecimiento en altura, etc.

## **1.2 Unidades de Medida**

Cuándo se trata de medir un objeto es necesario seleccionar la unidad de medida en función de la cual se podrá expresar su magnitud. En América Latina para medir las variables dasométricas, fue adoptado el sistema métrico decimal (*International Metric Convention*), hoy en día considerado el más frecuente y de más fácil manipulación que el sistema inglés u otro sistema de medida. En el Cuadro 1 se presentan los principales factores de conversión en los sistemas métrico e inglés.

**Cuadro 1. Principales factores de conversión dasométrica**

<b>Equivalencia en longitud:</b>		<b>Equivalencia en volumen:</b>	
1 centímetro	0.3937 pulgadas	1 centímetro cúbico	0.061 pulgada cúbica
1 metro	3.2808 pies	1 metro cúbico	35.3145 pies cúbicos
1 metro	1.0936 yardas	1 metro cúbico	423,7 pies de tabla
1 metro	39.37 pulgadas	1 litro	61.0250 pulgadas cúbicas
1 quilómetro	0.6214 millas	1 litro	0.2642 galón (US)
1 pulgada	2.54 centímetros	1 litro	0.0353 pie cúbico
1 pulgada	0.083 pies	1 litro	1000 cm <sup>3</sup>
1 pie	0.3048 metro	1 pulgada cúbica	16.3871 cm <sup>3</sup>
1 pie	12 pulgadas	1 pulgada cúbica	0.0163 litro
1 yarda	0.9144 metros	1 pie cubico	0.02832 metro cúbico
1 yarda	36 pulgadas	1 galón (US)	3.785 litros
1 yarda	3 pies	1 pie de tabla	0.00566 metro cúbico
1 milla	1.6093 quilómetros	1 cuerda (90 pés <sup>3</sup> )	2.549 metros cúbicos
1 milla	1760 yardas		
1 milla	5280 pies	<b>Equivalencia en masa:</b>	
1 cadena	66 pies	1 quilo	2.2046 libras
1 cadena	792 pulgadas	1 tonelada métrica	1.102 tonelada curta
1 cadena	22 yardas	1 tonelada métrica	0.9842 tonelada larga
1 cadena	20.1168 metros	1 tonelada métrica	1000 quilos
1 tonelada métrica	2204.6 libras		
<b>Equivalencia en área:</b>		1 libra	0.4536 quilo
1 cm <sup>2</sup>	0.155 pulgada <sup>2</sup>	1 tonelada corta	0.9072 tonelada métrica
1 m <sup>2</sup>	10.764 pies <sup>2</sup>	1 tonelada larga	1.016 tonelada métrica
1 km <sup>2</sup>	0.3861 milla <sup>2</sup>	1 tonelada larga	2240 libras
1 km <sup>2</sup>	100 hectáreas		
1 hectárea	0.003861 milla <sup>2</sup>	<b>Otras equivalencias:</b>	
1 hectárea	2.471 acres	1 metro <sup>2</sup> /ha	4.356 pies <sup>2</sup> /acre
1 hectárea	10000 metros <sup>2</sup>	1 metro <sup>3</sup> /ha	14.2913 pies <sup>3</sup> /acre
1 pulgada <sup>2</sup>	6.4516 cm <sup>2</sup>	1 pé <sup>2</sup> /acre	0.2296 metro <sup>2</sup> /hectárea
1 pie <sup>2</sup>	0.0929 metros <sup>2</sup>	1 pie <sup>3</sup> /acre	0.0699 metro <sup>3</sup> /hectárea
1 milla <sup>2</sup>	2.59 quilómetros <sup>2</sup>		
1 milla <sup>2</sup>	259 hectáreas		
1 milla <sup>2</sup>	640 acres		
1 acre	0.4047 hectárea		

El sistema inglés de medidas constituye la base de la mensura forestal en los Estados Unidos, Inglaterra, Canadá, Australia, donde la ciencia forestal está bastante avanzada. La

equivalencia al sistema métrico y vice-versa debe ser conocida para la mejor comprensión de la literatura pertinente.

Además de las unidades inglesas utilizadas en la mensura forestal, existen también las japonesas, las alemanas y las rusas, que muchas veces serán necesarias convertirlas al sistema métrico.

Se puede afirmar con vehemencia que la Dasometria como especialidad de la ciencia forestal tuvo su inicio en Alemania al principio del siglo dieciocho cuándo el bosque era usado como cotos de caza y la madera recogida como leña. Las referencias históricas indican que Doebel y Beckmann en Alemania, en 1759 presentaron estudios y sugerencias para medir la producción maderera del bosque (Prodan, 1965). A partir de entonces varias unidades dasométricas nacieron principalmente en Alemania. En 1906 los ingleses crearon en Dehra-Dun (India) la primera escuela de ingeniería forestal en los trópicos y por la influencia de los trabajos realizados en esa escuela, las medidas inglesas son hoy en día ampliamente utilizadas en los bosques tropicales del Asia.

Además de las unidades mencionadas en el Cuadro 1, la literatura podrá registrar unidades como la legua, cuerdas de 25, 28 y 40 varas, cuerdas, arrobas etc. (Chapman y Meyer, 1949) y diversas combinaciones de equivalencias que el técnico forestal precisará utilizar de acuerdo con sus necesidades.

A título de ejercicio se solicita efectuar los correspondientes cálculos de transformación de las siguientes unidades:

- a) 67426 pulgadas cuadradas en hectárea, pies cuadrados, yardas cuadradas
- b) 67426 pies de tablas en metros cúbicos y pies cúbicos
- c) 67,426 hectáreas en metros cuadrados, acres, yardas cuadradas
- d) 67,426 hectáreas en millas cuadradas y pies cuadrados
- e) 6742,6 cuerdas en metros cúbicos y pies cúbicos
- f). 674,26 acres en  $m^2$ , hectáreas y cadenas cuadradas

### **1.2.1 Escalas**

En la mensura forestal como en cualquier otro campo que considera variables y sus correspondientes magnitudes, además de las unidades de medida con que se trabaja es necesario tener

conocimiento de las escalas, con la finalidad de ordenar coherentemente los valores de las variables medidas. Por tanto cada escala tiene sus reglas inherentes que ayudan a ordenar los datos y la información que de ellas se puedan obtener.

#### a. **Escala Nominal**

Se utiliza básicamente en la enumeración de los objetos. En la mensura forestal se pueden definir los tipos de bosques en un mapa forestal simplemente por números, correspondiendo por ejemplo:

número 1 = bosque de *Pinus*  
número 2 = bosque nativo  
número 3 = bosque secundario, etc.

Otro ejemplo de la escala nominal se tiene cuándo se trabaja con la estructura de las planillas de cálculo donde un número identifica un objeto o característica, como muestra el siguiente ejemplo:

número 1 representa el nombre de la especie X,  
número 2 representa el nombre de la especie Y, etc.

#### b. **Escala Ordinal**

Sirve para designar números en términos de grados. Se fundamenta normalmente en consideraciones subjetivas. Los intervalos no son necesariamente iguales. Por ejemplo, para identificar que una madera para determinada finalidad es excelente, muy buena, buena, regular o pésima, se puede utilizar números de 1 a 5 respectivamente, y clasificar a esos objetos en orden de calidad. Se observa que la clasificación puede ser tendenciosa.

También se puede aplicar este método de ordenación cuándo se está clasificando la madera aserrada, o los troncos destinados a diferentes tipos de uso, o de acuerdo a los defectos que podrían presentar. El estado fitosanitario de una especie o bosque podrá también estar identificado por este tipo de escala.

## Ejemplo de Estructura de Escalas Nominales

Formulario de codificación												
<i>Inventario Forestal Continuo de la Plantaciones</i>												
comandos de codificación												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Distrito Forestal	Proyecto / catastro	Especie	N[úmero de la parcela	Fecha de la medición	Estado del suelo	Estado fitosanitario	Característica ambiental	Número del árbol	Característica del árbol	Diámetro de la base	DAP	Altura total

Comando de codificación	Especificación numérica (relación correspondiente en el manual de campo)
1	Código de 2 casas
2	Código de 6 casas
3	Código de 2 casas
4	.....
5	.....
6	.....
7	.....
8	.....
9	.....
10	.....
11	.....
12	.....
13	.....

### **c. *Escala de Intervalos***

Esta escala se refiere a intervalos uniformes, sin embargo se precisa de un punto de partida, que corresponde al punto de referencia absoluto o al origen verdadero. Es posible escoger o determinar ese punto arbitrariamente, por ejemplo, el tiempo transcurrido, en días, meses, años, etc.

Supóngase la determinación/estimación de la edad de un árbol o grupo de árboles y su respectiva clasificación en intervalos de cinco años.

### **d. *Escala de Relación***

Esta escala, semejante a la anterior, mantiene intervalos uniformes. La diferencia está en la existencia de un cero absoluto. Este tipo de escala se la divide en escala de relación fundamental y en escala de relación derivada.

La escala de relación fundamental se refiere a valores absolutos de una variable como la longitud (largo), peso y tiempo. Así se obtiene por ejemplo: la altura de un árbol, el peso de un tronco o torete de madera, el tiempo transcurrido de una actividad de explotación forestal, etc.

La escala de relación derivada, como la propia palabra indica, se refiere a la combinación de medidas. Como ejemplo, se tiene la velocidad de un tractor, cuyo resultado se lo podrá obtener correspondiente en función de la distancia del recorrido, del tiempo necesitado, del volumen de madera transportada; de la densidad del rodal, etc.

## **1.3 Variables y Errores**

La dasometría se vincula a la estadística por medio de los métodos científicos en la obtención y procesamiento de datos, su organización, recopilación, presentación y análisis de resultados, respectivamente.

Una variable es un símbolo, así X, Y, H pueden tomar cualquier valor en un conjunto determinado de datos, llamado dominio de la variable.

Si la variable asume apenas a un único valor, corresponderá a una constante. La constante más utilizada en la dasometria es  $\pi$  ( $p_i$ ) = 3,1416.

Una variable que teóricamente puede tomar cualquier valor entre dos valores determinados se la llamará de variable continua, y si no fuese así se tendrá una variable discreta.

Ejemplo: en una plantación de *Eucalyptus* el número de árboles ( $N$ ) podrá ser cualquier valor entero, 102, 96, 1847 etc. No podrá ser 102,6 o 96,3. Consecuentemente  $N$  será una *variable discreta*. La altura de un árbol ( $H$ ) podrá tener la siguiente medida: 15m, 15,20m o 15,274m, dependiendo de la exactitud de la medida. La altura  $H$  será en consecuencia una *variable continua*.

Al relacionar dos variables, la variable  $X$  se la podrá denominar de independiente e  $Y$  de variable dependiente.

Se para cada valor de  $X$  le corresponde un solo valor de  $Y$ , se menciona que  $Y$  es función simple de  $X$ . Si le corresponde más de un valor se denominará de función múltiplo de  $X$ .

Ejemplo: el número de árboles de un rodal es función de su densidad

$$[N = f(\text{densidad})]$$

el volumen de madera de un tronco podrá ser función de su diámetro o de su diámetro y altura correspondiente

$$[Vol = f(\text{diámetro})]$$

$$[Vol = f(\text{diámetro}, \text{altura})]$$

Las medidas tienen poco valor si no es conocido su grado de aproximación al valor real o verdadero. A esa aproximación es que se denomina de error. Estos errores podrán ser cometidos por factores humanos, métodos de trabajo, instrumentos utilizados etc. En términos estadísticos se denomina error al desvío padrón de la media, asunto que será mostrado posteriormente.

Así los errores más comunes en la práctica dasométrica son los siguientes:

#### a. **Errores de metodología**

Son los que se cometen por procedimientos que se adoptan al tomar las medidas de campo. Así por ejemplo, en la determinación de la distancia en el campo, será más eficiente el uso de una huincha métrica de 50m, que una simple evaluación efectuada por la longitud y número de pasos del observador.

#### b. **Errores personales**

Son aquellos que se cometen debido a la manipulación deficiente del instrumento que está siendo utilizado, o por la negligencia en las observaciones, lecturas imprecisas, paralaje óptica y por el desconocimiento de la metodología en ejecución, etc.

#### c. **Errores instrumentales**

Son los que se producen por desajuste o defecto de construcción de los instrumentos de medida.

#### d. **Errores debido al medio**

Esos errores son difíciles de controlar porque se deben a factores que escapan de la posibilidad de la manipulación del instrumento por parte del observador. Estos errores se producen por efecto de la humedad del aire, temperatura, vibración, magnetismo, etc.

En términos dasométricos los errores pueden ser clasificados en: a) **errores compensantes o accidentales**, que no dependen del instrumento y/o del operador; b) **errores de estimación**, provenientes del cálculo estadístico de muestreo, y c) **errores sistemáticos**, que ocurren por el defecto en el instrumento, inhabilidad del operador etc. (Silva y Paula Neto, 1979). Los errores compensantes son producidos normalmente al arredondear cifras o al aproximar valores. Errores de estimación se presentan donde existen variaciones del valor de la variable y es la base del cálculo estadístico. Errores sistemáticos se repiten con cierta frecuencia, siempre en el mismo sentido y son acumulativos.

Los errores influyen directamente en la precisión o exactitud de la variable medida. Así la **precisión** se refiere al padrón de estimación, es relativa y depende de lo que se está midiendo. La **exactitud** se refiere a la mayor aproximación de las medidas de la variable al valor verdadero. La precisión por tanto es relativa y depende de lo que se está midiendo. Ejemplo: al pesar cuatro toneladas de madera se comete un error de 40 kilos, que representa 1%. Este error será menor cuándo comparado con el peso de una probeta de madera de 10 gramos, teniendo como error de apenas un gramo de diferencia. Finalmente se puede considerar un valor real ( $Vr$ ) y un valor estimado o medido ( $Vm$ ), en ese sentido matemáticamente será expresado por:

$$[Vr - Vm = \pm Error]$$

La precisión en otro sentido es un concepto que adquiere significado de acuerdo a su unidad de medida. En el caso de medir por ejemplo el diámetro del tronco de un árbol con una cinta graduada en centímetros, se dice que la precisión de la medida será de 1 cm. En caso de que varios diámetros de varios árboles fuesen medidos, estadísticamente se podrá definir el grado de precisión del resultado por el denominado error estándar ( $\delta$ ) de la estimación que matemáticamente será calculado por la fórmula

$$\delta_x^2 = \sigma^2 / n$$

donde:  $\delta$  = desviación o error estándar  
 $n$  = número de observaciones.

En el contexto de los errores también se debe considerar el sesgo que es el valor medio de los errores cometidos en las mediciones de una magnitud. Si varias mediciones efectuadas coinciden con el valor real o verdadero, las medidas serán insesgadas. Una conjunto de mediciones que sean precisas e insesgadas proporcionan un valor exacto y en ese sentido la expresión matemática de una medición exacta es:

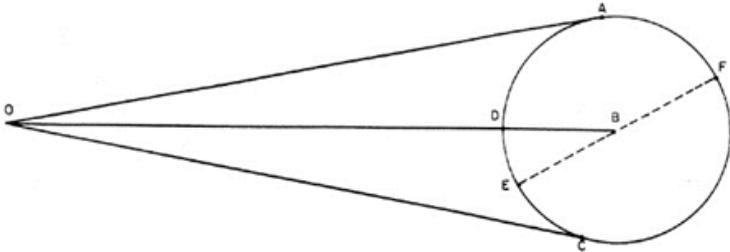
$$exactitud = \sqrt{sesgo^2 + precisión^2}$$

Una medida exacta es aquella en la que los errores sistemáticos y aleatorios son pequeños, mientras que en una medida precisa sólo es pequeño el error aleatorio (Picos y Cogolludo, 2004). Al realizar mediciones dasométricas no tiene sentido hacerlas con una precisión mayor que la demandada para su posterior uso, así como la precisión de las medidas de campo no debe ser menor que la requerida para la interpretación de los resultados pertinentes.

## **1.4 Concepto de Distancias**

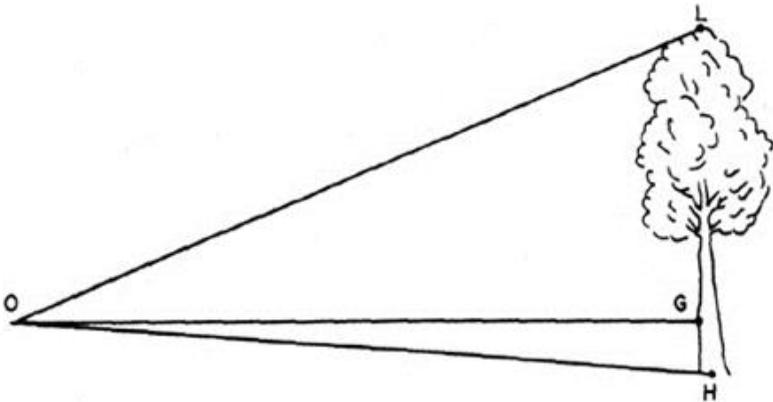
Como magnitudes fundamentales de la dasometría están las longitudes o distancias rectilíneas. Las distancias son medidas lineales necesarias en las prácticas de la mensura forestal que ayudan a determinar variables dasométricas. El término distancia indica el número de unidades lineales que existen entre dos puntos determinados, que por su vez sirve para determinar o proporcionar un valor numérico a las variables dasométricas (diámetros, alturas, áreas, etc.).

Algunas distancias no proporcionan dificultades en su medición y es con la ayuda de un procesamiento muy simple o bien a través de algún instrumento que se define su magnitud. Sin embargo frecuentemente muchas distancias deben ser determinadas con ayuda de fórmulas geométricas o trigonométricas. Las principales distancias con respecto al árbol, en su nivel horizontal y vertical se muestran en las Figuras 1 y 2.



OD distancia del observador al árbol  
 OA y OC distancia del observador al punto de tangencia  
 OB distancia del observador al centro del árbol  
 EF distancia diametral del tronco del árbol

**Figura 1. Distancias auxiliares horizontales.**



OH distancia inclinada del observador a la base del árbol  
 OG distancia horizontal del observador al árbol  
 OL distancia inclinada del observador a la parte superior del árbol  
 HL distancia vertical del árbol

**Figura 2. Distancias auxiliares verticales.**

En la Figura 2, los puntos G y H, de la distancia vertical pueden estar en los puntos de tangencia o en el centro del árbol, en cuyos casos se precisa identificar el punto de medida para su correspondiente medición. A través de la relación de los senos y cosenos de un triángulo rectángulo las distancias OH y OG pueden ser fácilmente determinadas, sobre todo cuándo el terreno es plano.

La distancia OL puede ser determinada con base en la distancia horizontal OG y el ángulo  $\alpha$  (alfa), siendo así:

$$OL = \frac{OG}{\cos \alpha}$$

OL también se puede determinar por la hipotenusa del triángulo OLG:

$$OL = \sqrt{(OG)^2 + (GL)^2}$$

y la distancia GL se puede calcular por medio del ángulo  $\alpha$ :

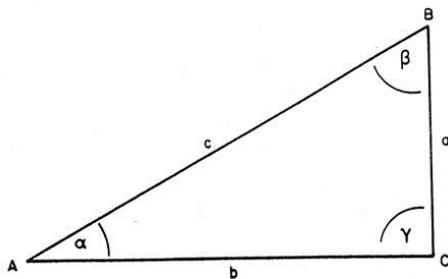
$$GL = (OG) \cdot \operatorname{tag} \alpha$$

o por la fórmula:

$$GH = \sqrt{(OL)^2 - (OG)^2}$$

La definición de las distancias horizontales es relativamente simple. Sin embargo cuándo el terreno es inclinado se debe tomar en cuenta además de la distancia inclinada necesariamente la distancia horizontal, que permitirá establecer ciertas relaciones trigonométricas y geométricas.

En ese sentido en la determinación y medición de algunas variables dasométricas se hará uso de las relaciones geométricas y trigonométricas de triángulos rectos y obtusángulos (Figuras 3 y 4). Así las relaciones de los senos y cosenos proporcionarán conceptos fundamentales en la construcción de instrumentos de medición y en la determinación de las variables dasométricas diámetro y altura.

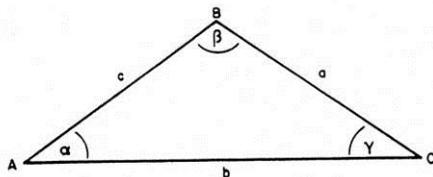


$$a = c \cdot \operatorname{sen} \alpha = b \cdot \operatorname{tag} \alpha = c \cdot \cos \beta = b \cdot \cot \beta$$

$$b = c \cdot \cos \alpha = a \cdot \cot \alpha = c \cdot \operatorname{sen} \beta = a \cdot \operatorname{tag} \beta$$

$$c = \frac{a}{\cos \beta} = \frac{b}{\operatorname{sen} \beta} = \frac{a}{\operatorname{sen} \alpha} = \frac{b}{\cos \alpha}$$

Figura 3. Relaciones trigonométricas en un triángulo rectángulo.



Relação dos Senos:

$$a = \frac{b \operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} \beta} = \frac{c \operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{sen} \gamma}$$

$$b = \frac{a \operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen} \alpha} = \frac{c \operatorname{sen} \beta}{\operatorname{sen} \alpha}$$

$$c = \frac{a \operatorname{sen} (\alpha + \beta)}{\operatorname{sen} \alpha} = \frac{a \operatorname{sen} \gamma}{\operatorname{sen} \alpha}$$

Relação dos Cosenos:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha$$

Figura 4. Relaciones trigonométricas en el triángulo obtusángulo.

## 1.5 Métodos para Medir Distancias

Los métodos para medir distancias pueden ser clasificados en directos e indirectos.

### 1.5.1 Métodos Directos

En la medición directa el proceso consiste en aproximar o determinar la unidad de medida a la magnitud real que se pretende medir. El resultado obtenido permite la comparación de un conjunto de valores de una misma magnitud por intermedio del cálculo de la media aritmética. Medidas directas corresponden a la determinación real de la variable.

#### a. Método de los Pasos

Conociendo la longitud del propio paso se puede medir ciertas distancias con relativo grado de aproximación. Para determinar la longitud media del paso se camina normalmente entre dos puntos, cuya distancia es conocida y de esa forma se define el número de pasos correspondientes a esa distancia. Este número de pasos se divide por la distancia y se obtiene su valor medio. Se aconseja obtener varios valores medios y adoptar una media más precisa.

#### b. Instrumentos

##### **Reglas**

Tanto para las medidas de distancias verticales como horizontales se pueden utilizar reglas de 30 cm a 2 m. Estas reglas están normalmente construidas de madera o de plástico resistente, llevando una graduación de centímetros y milímetros. Para mayores distancias verticales el mercado ofrece las reglas topográficas y reglas de encaje que pueden medir hasta 10 – 12 m de altura.

##### **Cintas métricas**

Existen en el mercado las cintas métricas de 5 hasta 200 metros de longitud (largo) construidas generalmente en fibra de vidrio o material plástico resistente. Para medidas hasta 2 m de longitud pueden ser usadas cintas metálicas. En las prácticas dasométricas las más usuales son de 15 a 50 m. Las cintas métricas (Figura 5) en sus diversos formatos son normalmente utilizadas para

medir o determinar distancias horizontales. Cintas métricas con más de 20 m son también llamadas de huinchas. Cintas métricas metálicas son denominadas de flexómetros.



**Figura 5. Cintas, huinchas y rueda métrica**

### ***Ruedas métricas - odómetros***

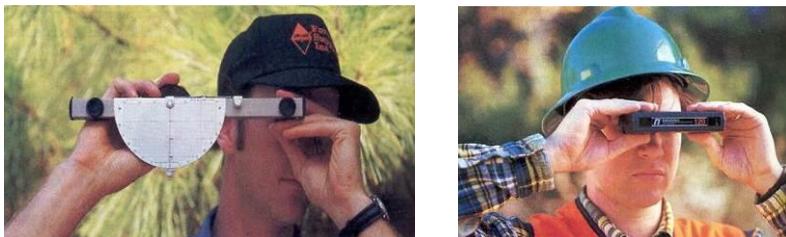
Son instrumentos que miden la distancia transcurrida a través del número de veces que gira la rueda correspondiente. Son bastante útiles cuando es preciso medir distancias superiores a 100 metros (Figura 5). La lectura es directa que aparece en una ventana digital con sistema de acople a la rueda. También son conocidas como ruedas tacométricas.

### ***Decámetros***

Son instrumentos que permiten medir distancias horizontales en unidades equivalentes de diez metros.

### ***Telémetros***

Son instrumentos ópticos que sirven para medir la distancia horizontal entre el observador y un punto normalmente inaccesible. También son conocidos como distanciómetros. La lectura de la distancia es directa, normalmente aparece en una ventana juntamente con la escala del propio instrumento. Los telémetros son normalmente construidos con dos prismas colocados transversalmente al objeto de observación. En muchas máquinas fotográficas estos telémetros funcionan para aclarar la imagen del objeto a ser fotografiado. Los telémetros fueron construidos para medir distancias de 35 a 500 metros (Figura 6). En los telémetros de precisión el error de medición en 50 m corresponde aproximadamente a  $\pm 1$  m, en 150 m se debe aceptar hasta  $\pm 6$  m y en 300 m  $\pm 24$  m.



**Figura 6. Telémetros.**

Para mediciones superiores a los 300 m existen en el mercado telémetros más complejos que además de determinar con precisión la distancia de hasta 500 m, permiten medir diversos ángulos (Figura 7)



**Figura 7. Telémetro WILD modelo TM**

El telémetro Wild modelo TM conocido también como telémetro de coincidencia ofrece medidas de distancia y ángulos con altísima precisión. En una ventana será observada la imagen

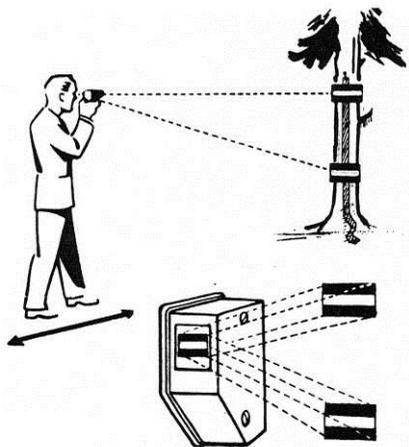
invertida, lo que facilita proceder con la coincidencia de esa imagen a la imagen real. La ventaja de ese procedimiento reside en la posibilidad de observar los objetos del terreno durante el proceso de mensuración, en contraposición de los instrumentos construidos con sistemas de semi-imágenes o imágenes sobrepuestas.

Los telémetros o medidores de distancia pueden ser ópticos que actualmente están ingresando en desuso y los electrónicos llamados de medidores láser de distancias. Hoy en día existen en el mercado los medidores láser que proporcionan una precisión de  $\pm 1$  mm en 200 m, inclusive muchos de ellos vienen con sistemas bluetooth (comunicación electrónica de almacenamiento y transferencia de datos medidos en tiempo real). Algunos modelos ya incluyen correspondientes procesos de cálculo (superficies, volúmenes, Pitágoras, etc.). Los telémetros de última generación pueden ser clasificados en medidores de distancia a rayos láser y medidores por ultrasonido.

### ***Telémetro en los hipsómetros de Haga y Blume Leiss***

Hipsómetros son instrumentos de mano, versátiles y leves que son utilizados para medir ángulos verticales que determinan inclinaciones y alturas de los objetos observados.

Los hipsómetros Haga y Blume Leiss son instrumentos bastante utilizados en la práctica dasométrica, en algunos de ellos están embutidos telémetros para identificar las distancias fijas pre-establecidas de 15, 20, 25 y 30 metros. El telémetro del hipsómetro Haga se ubica en el lado lateral del instrumento. La banda (cinta) propia del instrumento será fijada en el árbol y ofrecerá en su visor del telémetro una figura sobrepuesta (Figura 8), identificando así la distancia procurada que fue previamente definida al fijar las dos placas correspondientes en la cinta. En el telémetro del hipsómetro Blume Leiss se forma una tercera figura de las dos plaquetas fijadas en la cinta correspondiente.



**Figura 8. Telémetro del hipsómetro Haga**

### ***Medidor de Distancia de Ultrasonido***

Es un instrumento de última generación que funciona en base de ondas o frecuencias de sonido, con una capacidad de medir distancias desde 46 cm hasta 22 m. Consta de dos módulos, del propio medidor y de un receptor de señales de ondas (Figura 9)

Trabajando solamente con el medidor se puede obtener mediciones de distancias de hasta 18 m, desde que el área de visión o del transcurso de la onda no encuentre obstáculos de superficies duras, una vez que esas superficies devolverán la onda al medidor. Las lecturas son producidas con absoluta exactitud cuyo valor aparece en la ventana del medidor en forma digital. Utilizando los dos módulos, las ondas ultrapasan los obstáculos que puedan encontrar en su recorrido hasta conseguir llegar al receptor de ondas para que por éste sean devueltos al medidor. Estos instrumentos en Europa y en los Estados Unidos están siendo actualmente utilizados en trabajos de los inventarios forestales permanentes.



**Figura 9. Medidores de distancia de Ultrasonido**

### **1.5.2 Métodos Indirectos**

Medidas indirectas implican en estimaciones de la variable.

#### **a. Relaciones Geométricas**

La base de las relaciones geométricas es el Teorema de Pitágoras que expresa: la hipotenusa es igual a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los catetos.

#### **b. Relaciones Trigonómicas**

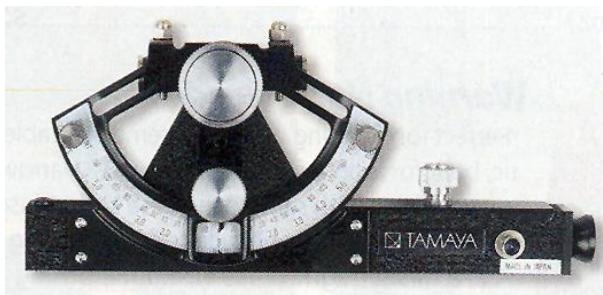
En el uso de las relaciones trigonométricas la ley de los senos y cosenos forma el fundamento de los cálculos correspondientes. Cuando se trata de triángulos rectángulos se precisa conocer un lado y un ángulo del triángulo. En el caso del triángulo obtusángulo la busca de un lado desconocido requiere conocer dos lados y un ángulo, o dos ángulos y un lado. Las fórmulas de las Figuras 3 y 4 servirán para recordar las principales relaciones trigonométricas.

A partir de estos principios se puede utilizar los conocimientos mencionados en la realización de varios trabajos, como servicios de topografía, planificación de la implantación de rodales y plantaciones forestales, construcción de caminos forestales y otros. En ese sentido el técnico forestal deberá poseer habilidad en el uso del clinómetro de Abney y los pentaprismas.

### ***Clinómetro de Abney***

Clinómetros son instrumentos destinados a la medición de ángulos de elevación, pendiente o inclinación. Se los denominan también de inclinómetros o clisímetros.

El clinómetro de Abney es un instrumento que sirve para medir con alta precisión ángulos e inclinaciones en valores de grados y porcentuales. El instrumento es básicamente utilizado en trabajos de topografía, específicamente en la determinación de la pendiente o declividad. Se destina por tanto a medir ángulos verticales de elevaciones o de profundidades. El punto de observación de la medida se la establece por un hilo estadimétrico colocado, internamente en el visor del instrumento, normalmente de color rojo. Los clinómetros de Abney también son llamados de niveles de Abney, se componen de dos semi-círculos graduados: uno en ángulos de 90 grados (rango menos 90 a más 90°) con la vertical y un otro en porcentaje con un rango de -100 a +100%. La lectura en grados se la realiza con nonius en una precisión de 10' y en la escala porcentual la división de la escala es de 5%.

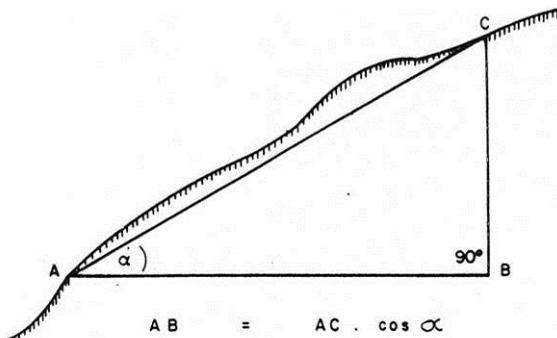


**Figura 10. Clinómetro de Abney**

### **Medición del declive**

El declive es la pendiente o inclinación del terreno, considerado generalmente de su parte superior para abajo. El declive puede ser expresado en grados o en valor porcentual del ángulo recto. La recta del declive (Figura 11, puntos A y C) es la que corta en ángulo recto las curvas de nivel de la superficie. La recta o

línea del máximo declive será aquella que de todas las rectas del plano ejecuta el mayor ángulo  $\alpha$  (alfa) con el plano horizontal.



**Figura 11. Medición del declive.**

En ese principio las siguientes fórmulas podrán ser utilizadas, para medir

a) distancia horizontal ( $DZ$ ):

$DZ = (\text{distancia de la pendiente}) \times (\text{coseno del ángulo de la pendiente})$

$DZ = (\text{distancia vertical}) \times (100) / (\text{porcentaje de la pendiente})$

$DZ = (\text{distancia vertical}) / (\text{tangente del ángulo de la pendiente})$

b) distancia de la pendiente ( $DP$ )

$DP = (\text{distancia vertical}) / (\text{seno del ángulo de la pendiente})$

$DP = (\text{distancia horizontal}) / (\text{coseno del ángulo de la pendiente})$

c) distancia vertical o diferencia en elevación ( $DE$ )

$DE = (\text{distancia de la pendiente}) \times (\text{seno del ángulo de la pendiente})$

$DE = (\text{distancia horizontal}) \times (\text{tangente del ángulo de la pendiente})$

$DE = (\text{porcentaje de la pendiente}) \times (\text{distancia horizontal}) / (100)$

d) porcentaje de la pendiente ( $\%P$ )

$\%P = (\text{diferencia en elevación}) \times (100) / (\text{distancia horizontal})$

$\%P = (100) \times (\text{tangente del ángulo de la pendiente})$

### ***Pentaprisma***

En estos instrumentos el más utilizado en la mensura forestal es el pentaprisma doble, que es un aparato pequeño, práctico y de fácil manipulación. Los pentaprismas o pentaespejos son construidos por prismas de cinco lados que desvían la entrada de la luz por dos de sus lados para salir en  $90^\circ$ . Se recomienda el uso de este instrumento específicamente en los trabajos topográficos ortogonales, alineamiento de los puntos estaqueados y control de ángulos rectos, en el replanteo o posicionamiento de estacas en el campo.

Los elementos constitutivos del pentaprisma doble son dos prismas pentagonales de  $90^\circ$  sobrepuestos (Figura 12) de tal forma que uno de los rayos de puntería quede desviado rectangularmente hacia la izquierda y el otro del mismo modo hacia la derecha. El instrumento permite la observación libre y directa por encima o por debajo del prisma. Para mayor precisión se recomienda que el instrumento esté siendo utilizado con una plumada.



**Figura 12. Pentaprismas dobles.**

## 1.6 Puntos Cardinales

Corresponden a la designación de las direcciones de la rosa de los vientos y en consecuencia a la localización geográfica de un punto específico determinado por sus respectivas coordenadas geográficas correspondientes.

### 1.6.1 Brújula geodésica

Las brújulas geodésicas (Figura 13) están construidas normalmente en formato de reloj hechas de material no magnético, compuesta de un mostrador con la rosa de los vientos (Figura 14). Las unidades de medida pueden estar divididas en 360 grados o en 400 gones. Cuando el cuadrante está dividido en  $90^\circ$  la distribución de los grados será sexagesimal (60 minutos con 60 segundos), caso la graduación del cuadrante fuese de 100 grados se la denomina centesimal donde cada grado está subdividido en 100 minutos. Las unidades de medida aún podrán estar subdivididas en medio grado y medio gon. Una aguja imantada generalmente pintada apunta siempre el norte magnético que es diferente del norte geográfico.

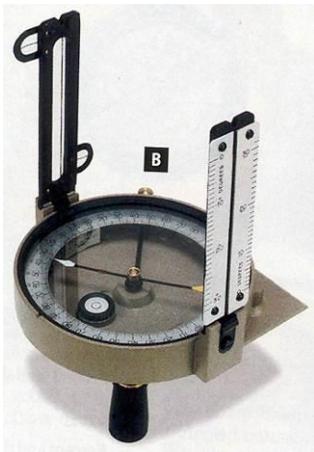


Figura 13. Brújula geodésica

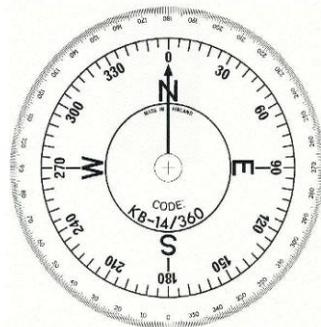


Figura 14. Rosa de los vientos

Las brújulas se las puede clasificar en brújulas de marcha, náuticas, militares, topográficas, cartográficas, geodésicas y forestales. Actualmente el mercado ofrece brújulas digitales.

Las brújulas en la práctica dasométrica normalmente son utilizadas para determinar los azimutes y mantener los rumbos. Azimut es la medida del ángulo de 0 a 360 grados. Los azimutes pueden fácilmente ser convertidos en rumbos. Rumbos del Nordeste corresponden a los azimutes de 0° a 90°, rumbos del Sudeste serán consecuentemente de 91° a 180° y así sucesivamente. En ese sentido la rosa de los vientos o rosa de los rumbos identifica los cuatro cuadrantes: Nordeste, Sudeste, Sudoeste y Noroeste.

### **1.6.2 Brújula Suunto**

La brújula Suunto es un instrumento pequeño, leve, de formato aplanado de fácil manipulación (Figura 15), permitiendo obtener precisión de lectura de hasta 10 minutos de grado (= 1/6 grado). La rosa de los vientos queda prácticamente fluctuante dentro del instrumento, de tal forma que la lectura correspondiente debe ser realizada cuándo el instrumento está en 100% en la posición horizontal. En el visor aparecen, en el denominado horizonte de visión llamado también de línea de mira (hilo colorido), dos escalas entre si correspondientes, en números mayores que indica el azimut y en números menores los grados de la dirección contraria equivalente. La lectura debe ser realizada con los dos ojos abiertos, lo que permite visualizar con claridad el horizonte (línea) de lectura aparentemente como si estuviese fuera del instrumento.

Las dimensiones de la brújula Suunto son de 75 x 52 x 15 mm y pesa apenas 115 gramas. Existen en el mercado brújulas Suunto con graduación de 360 e 100 grados que acompañan la graduación óptica en cuadrantes de 90°, o graduación inversa suplementar marcadas en rojo con posibilidad de poseer iluminación interna de luz beta. Para usos específicos se pueden obtener brújulas Suunto con graduación de 400 gones, bastante utilizados en los países escandinavos, y brújulas con graduación de 6000 o 6400 puntos con intervalos de 10.<sup>v</sup>, destinados para el uso militar.

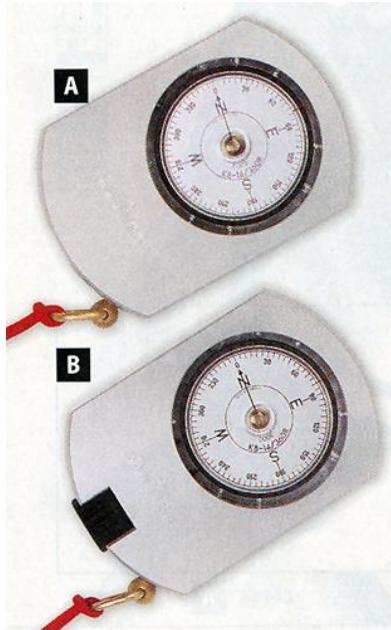


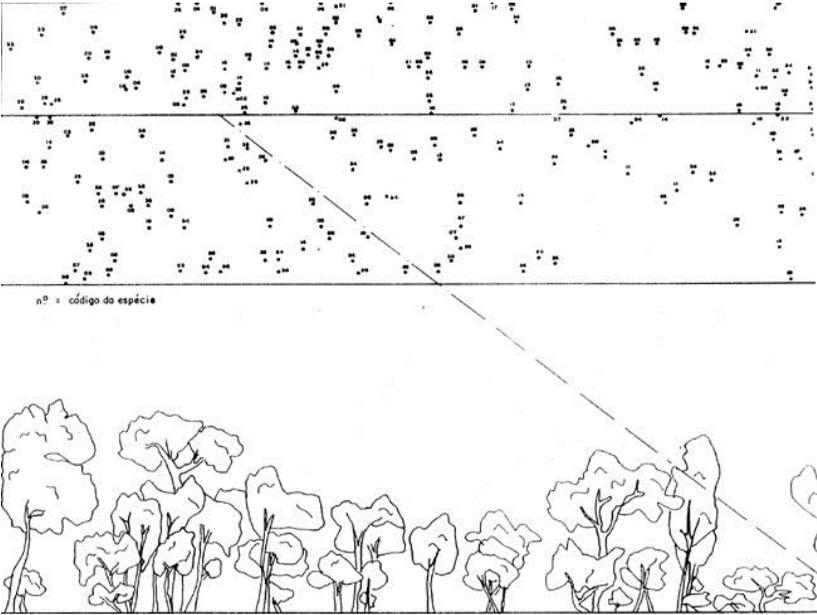
Figura 15. Brújula Suunto con 360°

## 1.7 Distribución Espacial

En diversos trabajos dasométricos será necesario reproducir la estructura vertical y horizontal de la vegetación, que esta última es conocida también como distribución espacial. Para esa finalidad la posición de cada árbol deberá estar identificada a través de un sistema de coordenadas geográficas para posteriormente tener la posibilidad de efectuar cálculos y situaciones de simulación.

Las coordenadas de cada árbol estarán dispuestas en función de una información central fija (puntos de referencias), que podrán ser como en el ejemplo a seguir, un sendero en un determinado azimut. Cada individuo en este caso estará identificado por un número que corresponde a las coordenadas geográficas pertinentes.

Ejemplo de una distribución espacial



## 2. EL ÁRBOL DASOMÉTRICO

Con la finalidad de aplicar los conceptos de las mediciones dasométricas, se entenderá como árbol al individuo vegetal con un diámetro del tronco mayor a 5 cm, de porte elevado, normalmente mayor a 3 metros de altura formando en su parte superior una copa con extensa ramificación.

En términos generales la silvicultura clasifica a los árboles en función de la altura, en tres categorías: árboles de grande porte con alturas superiores a 30 m; árboles de medio porte con alturas entre 15 y 30 m, y árboles de pequeño porte con alturas inferiores a 15 m. Otra clasificación de los árboles está dada en función de la formación de madeira en el tronco principal, que identifica como **brinzal** al individuo que aún no presenta el diámetro mínimo exigido, **latizal** al individuo que pertenece a las primeras clases diamétricas y **fustal** al árbol con tronco comercial.

En el concepto silvicultural los bosques pueden ser clasificados en bosques nativos y plantaciones. Se habla también en formaciones naturales y macizos artificiales. El tratamiento silvicultural, manejo y la ordenación de esas formaciones vegetales es naturalmente diferente y peculiar para cada tipo de bosque, sin embargo la forma de obtener datos dasométricos es igual en cualquier tipo de formación arbórea.

El crecimiento de los árboles y su fisionomía están en función natural de sus exigencias con el medio ambiente, lo que origina cierta plasticidad en la acomodación de la especie. Una misma especie plantada en un mismo local en condiciones totalmente diferentes (a cielo abierto y aislado como a cielo cerrado dentro de un bosque ya formado producirá diversas formas de crecimiento (apariencias)

El árbol presenta normalmente dos tipos de ramificaciones: el *simpodial* cuándo por cualquier motivo deja de existir la predominancia de la gema apical, entrando en actividad las gemas subyacentes, cuándo entonces el tronco pierde su forma peculiar, dando origen a dos, tres o más ramas principales, y el *monopodial* cuándo el eje caulinar se prolonga a través de la actividad continua

de la gema apical, englobando la copa y diferenciándose de las ramas que la rodean..



**Figura 16. Formas forestales y natural del árbol**

En ese sentido, Mackay (1964) define,

a) la **forma natural** o *espontanea del árbol*, cuándo su cuerpo axial así como sus ramificaciones consiguen crecer libres de obstáculos, es el caso del árbol aislado (Figura 16); y

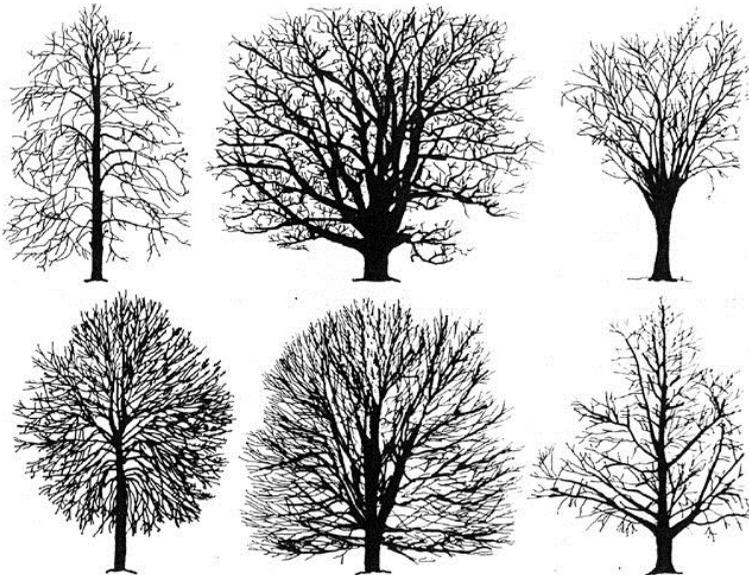
b) la **forma forestal**, resultante del desarrollo del árbol en una plantación o rodal ordenado y manejado. El crecimiento de las ramas es perjudicado por la presencia de un otro individuo que tiene el mismo ímpeto de crecimiento. En esas situaciones Intervenciones silviculturales como la poda, desrama, desbaste etc. permitirán al silvicultor orientar el crecimiento de los árboles haia la forma forestal.

Para las finalidades dasométricas los árboles pueden ser clasificados en especies de coníferas, latifoliadas y palmeras (Figura 17).



**Figura 17. Tipos de árboles**

En el medio latino americano los árboles latifoliados predominan en la estructura de todos los tipos de formaciones vegetales. En ese sentido se dará mayor atención a ese tipo de árboles. Algunas formas naturales de las latifoliadas están diseñadas en la Figura 18.



**Figura 18. Apariencia de algunos árboles latifoliados**

## 2.1 Componentes del árbol

Prodan (1965) de acuerdo con la utilización del árbol como proveedores de materia prima para la industria maderera, divide el árbol en cuatro componentes: (1) tronco principal, (2) ramas primarias, (3) ápice y (4) ramas secundarias (Figura 19). En esta clasificación la cepa o el tocón y las raíces no están incluidas.

Además de los componentes citados por Prodan, Young (1978) considera en su clasificación el tocón, las raíces primarias, secundarias y terciarias (Figura 19) y las clasifica de acuerdo con las siguientes dimensiones: (1) raíz con menos de una pulgada de diámetro; (2). raíz de 1 – 4 pulgadas de diámetro; (3) raíz con más de 4 pulgadas de diámetro; (4) tocón; (5) tronco comercial con más de 4 pulgadas de DAP; (6) ramas con más de 1 pulgada de diámetro; (7) ramas con menos de 1 pulgada de diámetro; (8) ápice. La clasificación de los componentes del árbol es muy importante para los análisis y estudios que consideraran la biomasa.

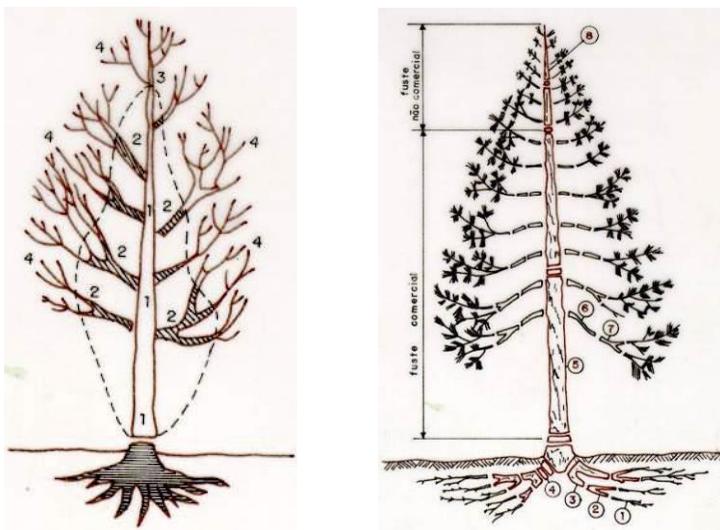


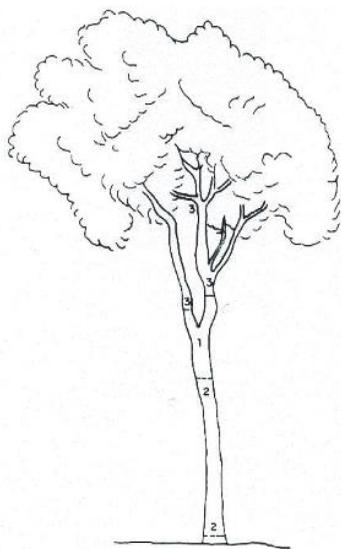
Figura 19. Componentes del árbol de acuerdo con Prodan y Young.

Para los rodales que se encuentran en regímenes de ordenación y manejo, Prodan (1965) estableció en función de la Figura 19 la siguiente relación de utilización integral:

(1) tronco con más de 7 cm de D con/corteza	+	(2) Ramos con más de 7 cm D c/c	=	MADERA (A) GRUESA
+		+		+
(3) Ápice con menos de 7cm de D c/c	+	(4) Ramos con menos de 7 cm de D c/c	=	RAMADO (B)
=		=		=
MADERA DEL (C) TRONCO	+	MADERA DE (D) LAS RAMAS	=	MADERA (E) DEL ÁRBOL
<b>Volumen total = A + B + C + D</b>				

La utilización integral del árbol dependerá *a priori* de la intensidad de la ordenación y del manejo forestal. Para las practicas silviculturales en América Latina se espera que estos conceptos tengan total validez, especialmente en las regiones donde solo son explotadas las especies de mayor valor económico y sobre todo en aquellos troncos con diámetros apropiados para la industria de serraría y laminados, una vez que esos productos son bastante cotizados no mercado internacional y de fácil comercialización.

El concepto de beneficiamiento del árbol en regiones tropicales está relacionado al grado de utilización de la madera, dependiendo naturalmente del nivel de desarrollo de la industria forestal y de la región como un todo. En ese sentido los componentes del árbol en los bosques tropicales están muchas veces restringidos al tronco principal. Por las características de la industrialización maderera en el Perú, por ejemplo, Malleux (1971) propone la siguiente clasificación de uso (Figura 20), en función de la materia prima que es solicitada: (1) madera para serraría, correspondiendo al tronco comercial; (2) madera para la sustentación en minas, localizada normalmente en la parte superior del tronco; (3) madera para producción de pasta de celulosa correspondiendo a las ramas de la copa.



**Figura 20. Clasificación del árbol según Malleux**

### 3. DIÁMETROS y CIRCUNFERENCIAS

Los diámetros y circunferencias son medidas fundamentales en la dasometría. Sirven de base para las mediciones y estimaciones del área basal, volumen, crecimiento, clasificación del sitio, comparación de variables etc. (Bruce y Schumacher, 1950; Gomes, 1957).

El valor de la variable diámetro o circunferencia así como de todas las variables dasométricas podrán ser determinados como: a) *medida directa*, realizada directamente en la variable; b) *medida indirecta* efectuada con ayuda de instrumentos ópticos, c) *medida estimada* fundamentada en métodos estadísticos.

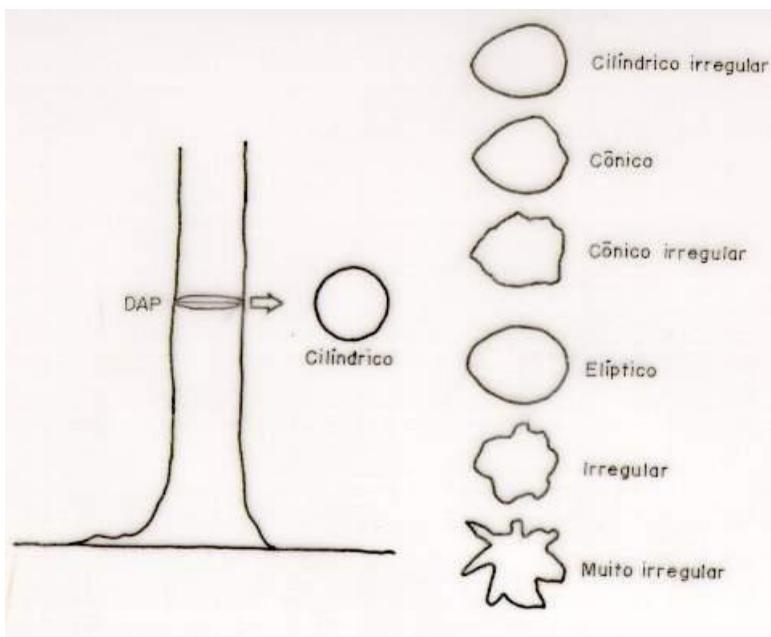
En el árbol varios diámetros podrán estar accesibles para correspondientes medidas directas y otros diámetros solamente podrán ser medidos por medio de instrumentos específicos.

En una visión horizontal observando los diámetros, estos aparentemente podrán representar círculos casi perfectos, sin embargo en la práctica dasométrica es posible encontrar diámetros cilíndricos, cilíndricos irregulares, elípticos, cónicos, cónico irregulares y de formas completamente irregulares, como se puede apreciar en la Figura 21.

#### 3.1 DAP, CAP

La medida más típica del diámetro de un árbol es el diámetro a la altura del pecho, que se lo representa abreviándolo con las letras DAP o dap. El DAP debe ser rigurosamente medido a 1,30 m de altura del suelo, que corresponde al punto de medida que fue internacionalmente establecida. Consecuentemente el DAP por convención internacional proporciona el diámetro del tronco en la altura de 1,30 metros sobre el nivel del suelo. En inglés el DAP corresponde a la abreviación dbh y en la lengua alemana BHD. En las medidas inglesas el dbh corresponde a una altura de medición de 4,5 pies (1,37cm).

Cuándo por conveniencia es medida la circunferencia en la altura del pecho su representación se efectúa por CAP o cap, en inglés por gbh.



**Figura 21. Formas de diámetros**

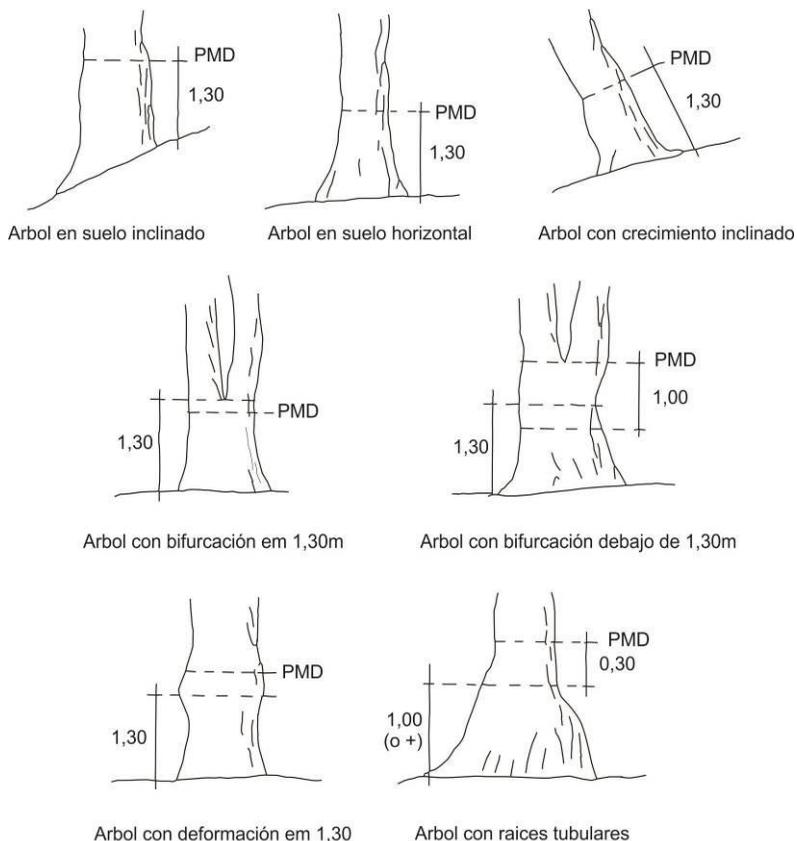
Para efectos prácticos en mediciones que no requieren de extrema precisión se puede considerar el DAP equivalente al CAP. Los valores correspondientes pueden ser transformados por medio de la siguiente fórmula:

$$DAP = CAP/\pi$$

$$CAP = DAP \cdot \pi$$

Cuándo el tronco en la altura del DAP no é circular se realizan normalmente dos medidas perpendiculares del diámetro en la misma altura, considerando la parte más amplia o gruesa y la más estrecha o perpendicular a la primera medición, con la finalidad de obtener una media que estime mejor el valor del DAP. En la práctica dasométrica cuándo es necesario medir muchos DAP's las medidas se las realiza considerando el mismo azimut, lo que vale decir que

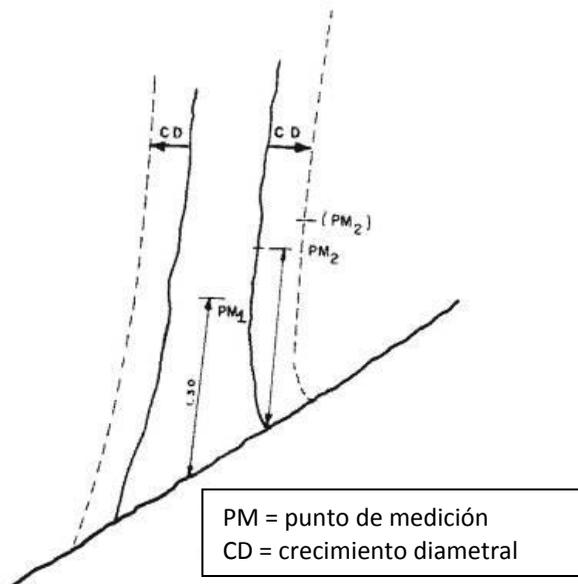
todos los árboles serán medidos siempre en la misma dirección. En casos especiales cuándo el árbol presenta características específicas de crecimiento, como es mostrado en la Figura 22 (Muller, 1972), el punto de medida del DAP debe ser alterado.



PMD = Punto de Medida del Diámetro

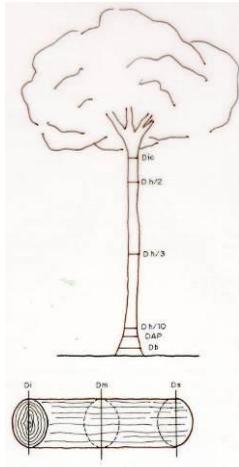
**Figura 22. Alteración del punto de medida del DAP**

En la ejecución de inventarios forestales en áreas montañosas o en locales de declividad acentuada, el DAP siempre deberá ser medido por el lado superior del árbol, como es mostrado en la Figura 21. Quedó demostró (Imaña, 1992) la ocurrencia de errores de medición de hasta 6% del valor del DAP, en árboles que crecen en terrenos inclinados como se puede apreciar en la Figura 23.



**Figura 23. DAP en terrenos inclinados**

Ni siempre apenas el DAP debe ser medido, muchas veces será necesario medir diámetros a diferentes alturas sea en árboles en pie o abatidas (Figura 24).



$D_{ic}$  = Diámetro inicio de la copa  
 $D_{h/2}$  = Diámetro a la altura média  
 $D_{h/3}$  = Diámetro a un tercio de la altura  
 $D_{h/10}$  = Diámetro a un décimo de la altura  
 $DAP$  = Diámetro a la altura del pecho  
 $D_b$  = Diámetro de la base

$D_i$  = Diámetro inicial del tronco o del torete  
 $D_m$  = Diámetro médio del tronco  
 $D_s$  = Diámetro superior del tronco

**Figura 24. Diámetros convencionales**

Los diámetros a la altura media ( $D_{h/2}$ ), a  $1/3$  de altura ( $D_{h/3}$ ) y a  $1/10$  de la altura total ( $D_{h/10}$ ) son respectivamente importantes en las fórmulas de Pressler, Hosfeld y Hohenadl en la determinación del volumen de madera (Prodan, 1965). La literatura también registra con frecuencia medidas de diámetro a alturas fijas, como  $D_{7m}$  y  $D_{9m}$ .

Se puede considerar o eliminar la corteza del valor de la medición del diámetro. En el caso del DAP será indicado por DAPs/c (sin corteza). Existirán ocasiones que será necesario medir el DAP sin corteza, debiendo ser medida la espesura de esta.

$$DAPs/c = DAPc/c - 2 EC$$

donde EC es el grosor (espesura) de la corteza.

### 3.1.1 Medidores de Corteza

Los instrumentos más utilizados para medir el grosor de la corteza son el martillo medidor de corteza (Figura 25, D y E) que precisa adicionalmente de una regla graduada en milímetros y el medidor de corteza (Figura 25, A, B y C) que ya viene incluida en su lengüeta una graduación en milímetros.



**Figura 25. Medidores de corteza**

## **3.2 Instrumentos para medir diámetros**

Existen varios instrumentos para medir directa o indirectamente el diámetro del tronco de los árboles. A seguir se presentan los más conocidos y utilizados en los trabajos dasométricos.

### **3.2.1 Cinta métrica**

Se puede utilizar cualquier cinta o trena graduada. Se recomienda usar unidades métricas (divididas en unidades de centímetros). Es común encontrar cintas con unidades inglesas (pulgadas, pies), que precisarán ser transformadas a las unidades métricas. Existe en el mercado la cinta métrica de costurero, instrumento barato y de fácil manipulación. Estas cintas son normalmente de material plástico y tienen una longitud de 150 cm, consecuentemente el diámetro máximo a ser medido con esas cintas será de 47 cm. Además de esas cintas es posible encontrar cintas o huinchas de 2, 5, 10, 15 hasta 50 metros de longitud.

### 3.2.2 Cinta diamétrica

Es un instrumento propio para medir diámetros de grandes dimensiones, construida de tejido reforzado, graduada en intervalos de  $\pi$  (3,1416), generalmente de longitudes de 5 m o 10 m. La unidad de medida proporciona directamente los valores del diámetro. Para la transformación de la circunferencia en diámetro es utilizada la expresión:

$$\begin{array}{l} \text{diámetro (D) = circunferencia (C) / } \pi \\ C = 2\pi R \quad \text{y} \quad 2R = D \\ \text{así} \quad C = \pi D \quad \text{o} \quad D = C/\pi \end{array}$$

La cinta diamétrica lleva en una de sus caras la escala normal (métrica) que permite la lectura del perímetro y en la otra cara la graduación correspondiente a la lectura directa del diámetro, obedeciendo la formulación indicada. En la extremidad inicial de la cinta existe un mecanismo, tipo gancho (Figura 26), que permite fijar la cinta en el árbol. La medición es realizada colocando la cinta al redor del tronco, perpendicular al eje longitudinal del árbol, en la altura del DAP. La principal ventaja de esas cintas reside en la lectura directa del diámetro además de su fácil transporte y manipulación.



Figura 26. Cinta diamétrica y de costurero

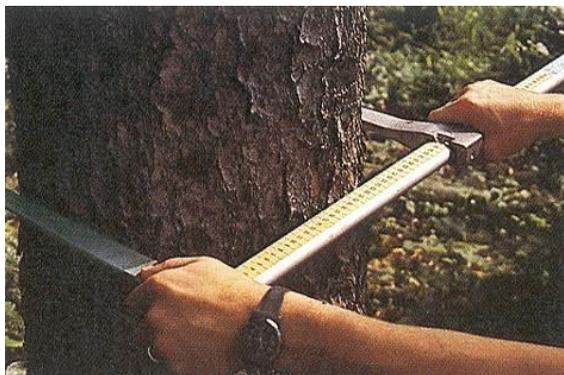
La cinta métrica de costurero (Figura 26) puede ser transformada fácilmente en cinta diamétrica. Esa cinta proporcionará

medidas más exactas del DAP cuándo la forma del tronco tendiese a ser circular. Caso el tronco tuviese una forma elíptica el diámetro medido con la cinta diamétrica será mayor de aquel de forma circular, considerándose la misma área o superficie transversal del tronco en ese punto.

### 3.2.3 Forcípula

La forcípula también es llamada de calibre o compas forestal que es sin duda el instrumento más utilizado en los levantamientos dasométricos. Cotta en 1804 (Prodan, 1965) utilizó la forcípula por primera vez y probablemente fue el propio Cotta que idealizó el instrumento.

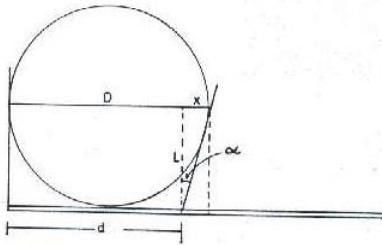
Este instrumento generalmente es construido de un metal leve (ligas de aluminio) o de madeira (bien tratada). Consta de una regla (barra) graduada y de dos brazos paralelos entre si y perpendiculares a la regla graduada (Figura 27). Un brazo es fijo y el otro móvil que se desliza a lo largo de la regla graduada. El tamaño de la regla, para ser de fácil uso y manipuleo debe ser inferior a 120 centímetros. El mayor diámetro posible de medida será el correspondiente a dos veces la longitud del brazo (brazo = igual al valor del radio), desde que las puntas de los brazos consigan alcanzar (abrazar) la tangencia del tronco a ser medido. La forcípula permite efectuar lectura directa del diámetro medido.



**Figura 27. Medición del diámetro con la forcípula**

Cuándo el tronco presenta una forma excéntrica (elíptica) se deben efectuar dos medidas (en posición perpendicular) encontrando así el correspondiente valor medio. Se debe tener cuidado con la posición de los brazos en el momento de realizar la lectura, para evitar errores debido a la no perpendicularidad de uno de los brazos paralelos, a la inclinación del instrumento o irregularidades de crecimiento del tronco.

Entre los errores instrumentales que se producen cuando los brazos no forman el paralelismo entre sí normalmente con forcípulas hechas de madera, uno de ellos se muestra en la Figura 28.



$$\begin{aligned} \operatorname{tag} \alpha &= x \cdot L \\ x &= L \cdot \operatorname{tag} \alpha \\ D &= d + x \\ D &= d + L \cdot \operatorname{tag} \alpha \\ x &= D - d \end{aligned}$$

Cálculo del error en %

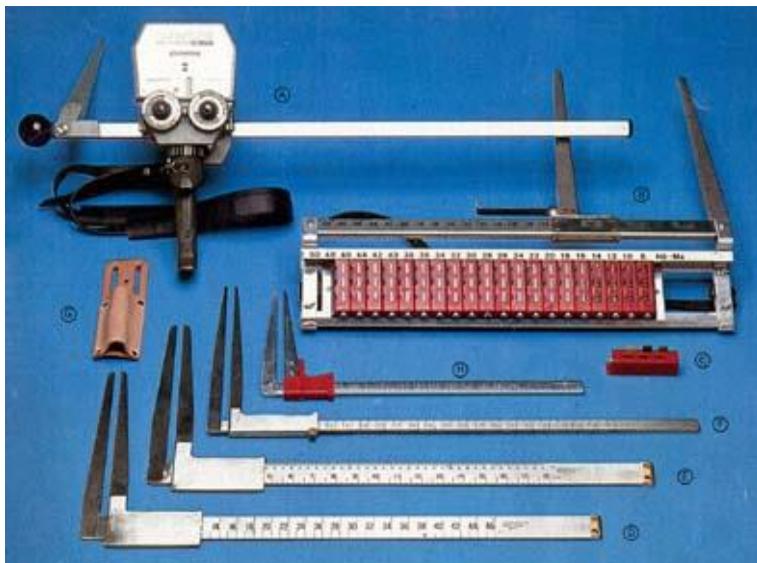
$$p = \frac{D - d}{D} \cdot 100$$

$$p = \frac{L \cdot \operatorname{tag} \alpha}{D} \cdot 100$$

**Figura 28. Error instrumental de la forcípula**

En troncos de forma cilíndrica efectivamente las cintas diamétricas así como as forcípulas ofrecen medidas con alta precisión. Para troncos no cilíndricos y cuánto mayor fuesen los diámetros que serán medidos, la cinta produce medidas más precisas comparadas con las medidas resultantes de la forcípula. El uso da cinta es mucho más aconsejable cuándo se mide el mismo árbol en períodos sucesivos. Sin embargo cuándo se mide algunas centenas de diámetros los valores de la forcípula se aproximan más del diámetro medio real, lo que quiere decir que en trabajos de los inventarios forestales de grandes áreas la forcípula es más precisa que la cinta.

Dependiendo de la precisión deseada se podrá utilizar inclusive forcípulas de precisión (Figura 29). Estos instrumentos son normalmente usados en trabajos de investigación dentro dasométrica. En la práctica cotidiana las forcípulas normales graduadas en intervalos de 1 cm ofrecen una precisión que satisface plenamente.



**Figura 29. Forcípulas de precisión**

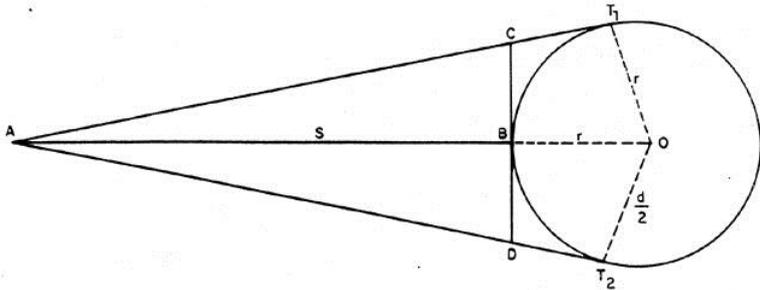
### **3.2.4 Regla de Biltmore**

Es un instrumento construido normalmente de madera o de metal leve, en forma de una regla con una longitud de aproximadamente 70 cm, que permite leer directamente los diámetros del tronco, manteniéndola apoyada en la árbol en una distancia constante pre establecida (brazo extendido). En el mercado norte-americano estas reglas están graduadas para ser usadas a una distancia de 25 pulgadas.

La graduación de la regla (CD = intervalo del cero hasta un cilindro de diámetro padrón) corresponderá a la lectura directa de los diámetros, obtenida por el principio de la semejanza de los

triángulos, en la cual intervienen la distancia constante ( $S$  = longitud del brazo o distancia fija del ojo del observador al árbol) y el diámetro real o padrón de construcción =  $D$ ). El principio de la construcción de la regla se muestra en la Figura 30.

La regla de Biltmore ofrece medidas menos precisas que los otros instrumentos y es normalmente usada para trabajos rápidos que no requieren de mucha precisión.



$$\Delta ABC \cong \Delta AT_1O$$

$$\overline{AT_1} = \sqrt{(S+r)^2 - r^2}$$

$$r = \frac{1}{2} d$$

$$\textcircled{1} \quad \overline{CD} = \frac{2 S r}{\sqrt{S^2 + 2 r S}} = \frac{S d}{\sqrt{S^2 + S d}} = \sqrt{\frac{S d^2}{S + d}}$$

$$\textcircled{2} \quad \overline{CD} = \frac{d}{\sqrt{1 + \frac{d}{S}}}$$

donde  $CD$  = valor del diámetro en la escala (a ser graduada)  
 $d$  = diámetro del árbol (valor relativo en la construcción de la regla)  
 $S$  = distancia del ojo del observador a la regla, (largo del brazo)

**Figura 30. Principio de construcción de la Regla de Biltmore**

Apoyando la regla horizontalmente en el árbol, el cero de la regla debe coincidir con una de las tangencias del tronco. La otra tangencia que ingresará en la graduación de la regla ofrecerá el

valor del diámetro del árbol. Lecturas imprecisas resultan de la no manutención de la distancia fija y la no perpendicularidad de la regla con el eje del tronco.

El Cuadro 2 muestra los valores correspondientes en la construcción de la Regla de Biltmore, como ejemplo con cuatro diferentes longitudes del brazo (longitud del brazo de 75, 66, 63 y 57 cm respectivamente). En la regla deben estar anotados (aparecer) los valores de “d”. Como ejemplo, para un CD = 1,97 cm en la regla, se debe anotar el valor de 2.00 cm, y así sucesivamente.

Cuadro 2. Escalas de la Regla Biltmore para diversas distancias fijas

	S = 75 cm	S = 66 cm	S = 63 cm	S = 57 cm
D (cm)	CD (cm)	CD (cm)	CD (cm)	CD (cm)
2,00	1,97	1,97	1,97	1,96
4,00	3,88	3,88	3,88	3,86
6,00	5,77	5,74	5,73	5,70
8,00	7,60	7,56	7,56	7,49
10,00	9,39	9,32	9,29	9,22
12,00	11,14	11,04	11,00	10,90
14,00	12,85	12,72	12,66	12,54
16,00	14,53	14,35	14,29	14,14
18,00	16,16	15,96	15,87	15,70
20,00	17,77	17,52	17,42	17,20
22,00	19,34	19,05	18,94	18,68
24,00	20,89	20,55	20,42	20,13
26,00	22,40	22,02	21,88	21,54
28,00	23,89	23,46	23,30	22,93
30,00	25,35	24,87	24,69	24,28
32,00	26,79	26,26	26,06	25,61
34,00	28,20	27,62	27,40	26,90
36,00	29,59	28,96	28,72	28,18
38,00	30,96	30,27	30,01	29,43
40,00	32,30	31,56	31,28	30,66
42,00	33,63	32,83	32,53	31,87
44,00	34,93	34,08	33,76	33,05
46,00	36,22	35,31	34,97	34,22
48,00	37,48	36,52	36,16	35,36
50,00	38,73	37,71	37,33	36,49

### 3.2.5 Forcípula de tarifa de Bitterlich

La forcípula de tarifa de diámetro, también conocida como visor de diámetro fue construida por el Prof. Walter Bitterlich (Austria) y corresponde a una sofisticación de la regla de Biltmore. Este instrumento está constituido por un brazo fijo y por un brazo visor que contiene la graduación. Los dos brazos forman un ángulo de  $135^\circ$ . Es en ese ángulo donde se apoya el instrumento junto al tronco del árbol. En un extremo del brazo fijo está introducida una aguja que indica la coincidencia del punto de la lectura directa en la escala de graduación. Esa graduación (lectura directa del valor del diámetro) se encuentra en una curvatura cóncava (Figura 31).

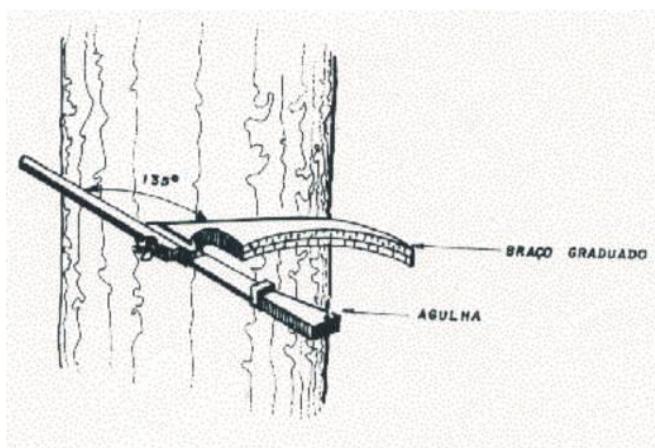


Figura 31. Forcípula de tarifa de Bitterlich

La lectura del diámetro se produce apoyando el brazo fijo y el ángulo de  $135^\circ$  en el árbol, haciendo coincidir el punto cero de la graduación con la tangencia del árbol. La tangencia opuesta con la coincidencia de la aguja producirá en el brazo curvo la lectura directa del diámetro. La graduación de la regla está dividida para lecturas directas del diámetro (escala superior) cubriendo un rango entre 4 y 100cm, y su correspondencia del área transversal (escala inferior) del tronco.

### 3.2.6 Forcípula Finlandesa

Consiste de un brazo fijo y de un brazo o arco parabólico donde se encuentra la correspondiente graduación cuya lectura se dará de acuerdo con la abertura de ocupación del tronco. Esa abertura se la apoya al tronco en el punto donde se pretende medir el diámetro. La lectura es realizada por la visión paralela al brazo fijo o normal, también llamado como brazo blanco normal. En el brazo parabólico están las fajas de graduación de lectura, que corresponden a las tangencias del tronco (Figura 32).

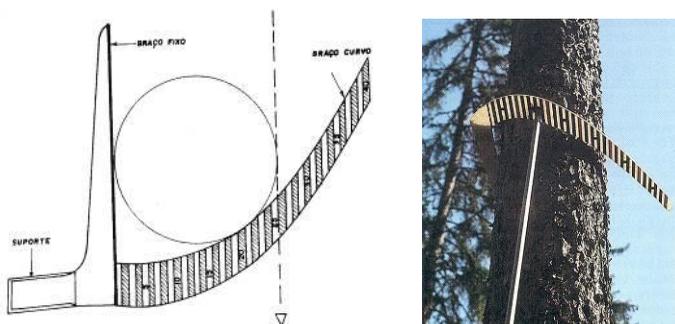


Figura 32. Forcípula Finlandesa

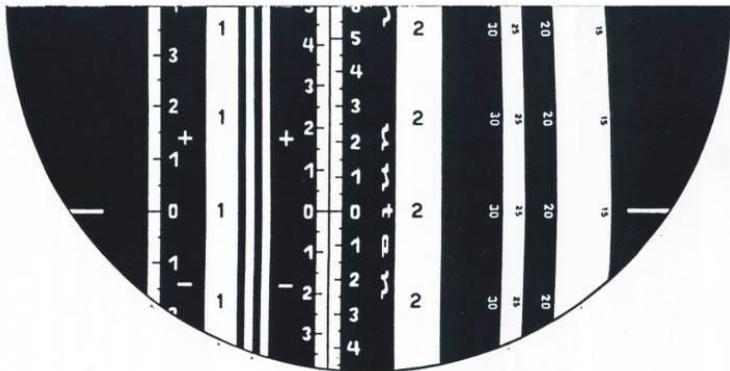
En Finlandia y en Suiza esta forcípula es bastante utilizada para la lectura de diámetros a 7 y/o 9 metros de altura del tronco. Es común el empleo de varas telescópicas de sustentación que están acopladas a la forcípula. Esas varas permiten alcanzar diversas alturas de lectura del diámetro del tronco.

### 3.2.7 Relacópio de Bitterlich

Para un mayor y correcto conocimiento de las diversas posibilidades que el Relacópio de Bitterlich ofrece se debe procurar la literatura específica (Prodan, 1965; Prodan *et al*, 1997; Bitterlich, 1984; Bitterlich, 1994 entre otras). El Relascópio de Bitterlich es un instrumento de alta precisión idealizado en 1948 por el Prof. Walter Bitterlich, en Austria. El instrumento está compuesto por bandas de numeración y escalas de tangentes (Figura 33).

A través de un sistema de prismas es posible observar simultáneamente tanto las bandas de numeración y escalas de tangentes en la parte inferior del visor así como en la parte superior del visor los árboles que serán objeto de medidas. Las lecturas serán obtenidas cuando las bandas de numeración estuviesen quietas, después de la liberación del movimiento de oscilación de esas bandas. La construcción de las bandas hace que no exista necesidad adicional de cálculo de ajuste o de restitución, de tal forma que la lectura ofrecerá el valor definitivo de la variable observada.

Para la medición de los diámetros con el Relacópico de escala normal se debe utilizar la banda 1 más las bandas de los cuatro cuartos. La banda 1 está construida en una proporción entre el diámetro y la distancia del observador al árbol de 1:50. En ese principio, dos bandas cuartas (mitad de la banda 1) estarán manteniendo la proporción de 1:100. Consecuentemente dos bandas cuartas corresponderán al valor de la distancia del observador al árbol en centímetros del diámetro del tronco. Quedando a 20 metros de distancia del árbol, dos bandas cuartas corresponderán consecuentemente a 20 centímetros en la medición del diámetro.



**Figura 33. Bandas y escalas del Relacópico de escala normal**

Observando por la línea de puntería u horizonte de lectura, a través de la banda 1, el diámetro de un árbol a una distancia de 20m tendrá un DAP = 20 cm, cuándo coincidir las tangencias del tronco con dos bandas cuartas, conforme es mostrado en el Cuadro 3. Para un DAP = 15 cm será cuándo coincidir las tangencias del tronco con 1,5 de las bandas cuartas, y para un DAP = 57 cm, cuándo cubrir la visión del tronco la banda 1 más 1,7 de las bandas cuartas.

Cuadro 3. Determinación de diámetros a través del Relascópio

Dist m	diámetro (cm) lo que se sobrepone en las fajas de los cuatro cuartos y la banda 1							
	una faja estrecha	dos fajas estrechas	tres fajas estrechas	Banda 1	Banda 1 + una estrecha	Banda 1 + dos estrechas	Banda 1 + tres estrechas	Banda 1 + cuatro estrechas
15	7,5	15,0	22,5	30,0	37,5	45,0	52,5	60,0
20	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0
25	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
30	15,0	30,0	45,0	60,0	75,0	90,0	105,0	120,0

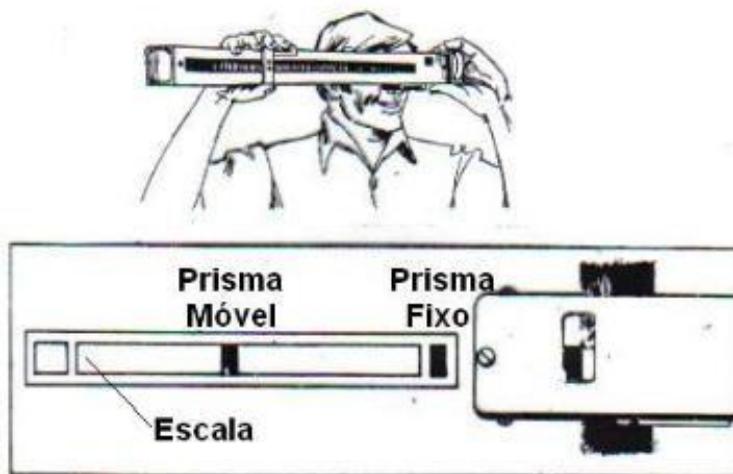
### 3.2.8 Pentaprisma de Wheeler

Es un instrumento óptico que permite medir diámetros del tronco en diversas alturas. En los Estados Unidos su uso es muy común, tanto en el Brasil como en la mayoría de los países latino americanos es muy poco conocido. Su uso es recomendable para determinar principalmente el diámetro mínimo comercial en árboles en pie. La escala graduada permite obtener un intervalo de medición entre 7,6 y 86,4 cm de diámetro.

El instrumento está constituido de un tubo paralelepípedo metálico de 85 cm de longitud, posee internamente dos prismas siendo uno de ellos fijo localizado en un extremo del instrumento coincidiendo con el valor cero de la graduación. El instrumento establece líneas paralelas de visión. Consecuentemente una línea de visión es fija y la otra móvil, permitiendo así a través del segundo prisma efectuar lecturas directas del correspondiente diámetro.

Para el manejo del instrumento, el operador debe observar a través de la línea del ocular el ponto de medida en el tronco. En la parte superior del ocular se observará el lado izquierdo del tronco y

por el efecto del reflejo óptico del prisma fijo se observará, en la parte inferior del ocular el lado derecho del tronco. El prisma se deslizará por la regla graduada hasta que la imagen del tronco este focalizada en forma tangencial opuesta, una tangencia encima de la otra (Figura 34). En ese punto la posición del prisma móvil ofrecerá la lectura directa del diámetro observado.



**Figura 34. Pentaprisma de Wheeler**

### **3.3 Clases diamétricas**

En la práctica dasométrica, en los bosques heterogéneos los DAP's normalmente serán agrupados en clases de diámetro con intervalos de 5 o 10 cm. En bosques plantados los intervalos son muchas veces de 2; 2,5 y 3 cm. La distribución de los diámetros en clases permite inferir diversos resultados del cálculo estadístico. Cualquier distribución diamétrica tanto en las formaciones vegetales naturales heterogéneas como en las plantaciones industriales, los diámetros estarán normalmente distribuidos dentro de las leyes que orientan la curva de la distribución normal, de tal forma que todos los cálculos e interpretaciones de la matemática - estadística son posibles de ser ejecutados.

Una prueba de esa distribución está en el gráfico conocido como Distribución Diamétrica o Polígono de Frecuencias de los Diámetros. Se recomienda construir ese gráfico en función de los datos del Cuadro 4.

Cuadro 4. Distribución de los DAP's en clases diamétricas  
(PMC = punto medio de la clase diamétrica)

Clase Diamétrica	PMC (cm)	Frecuencia		
		Absoluta	Relativa	Acumulativa
20 – 30	25	1106	31,19	31,19
30 – 40	35	851	23,99	55,18
40 – 50	45	591	16,66	71,84
50 – 60	55	364	10,27	82,11
60 – 70	65	267	7,53	89,64
70 – 80	75	156	4,40	94,04
80 – 90	85	97	2,74	96,78
90 – 100	95	52	1,47	98,25
100 – 110	105	31	0,87	99,12
110 – 120	115	15	0,42	99,54
120 – 130	125	6	0,17	99,71
130 – 140	135	1	0,03	99,74
140 – 150	145	3	0,08	99,82
150 – 160	155	2	0,06	99,82
160 – 170	165	1	0,03	99,91
170 – 180	175	1	0,03	99,95
180 – 190	185	1	0,03	99,97
190 – 200	195	1	0,03	100,00
Totales		3546	100,00	

### 3.3.1 Trinchete diamétrico

El trinchete diamétrico es un instrumento que permite identificar la clase diamétrica a la que pertenece el diámetro medido. Este instrumento es muy útil cuando los árboles presentan diámetros relativamente pequeños, hasta 20 o 25 cm. La lectura de la clase es directa, identificando apenas la clase diamétrica, en la cual el tronco ingresa dentro del trinchete. Para a su construcción se debe considerar que la longitud lateral del trinchete debe ser igual o superior al radio del mayor valor de la clase diamétrica respectiva, Figura 35.



**Figura 35. Forcípula y trinchete diamétrico**

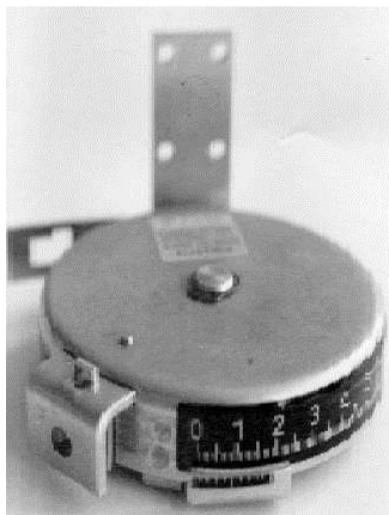
A través del trinchete diamétrico se puede contar el número de individuos que pertenecen a las clases diamétricas correspondientes, en ese sentido solo interesa si un tronco pertenece a clase de 5 a 10 cm, 10 a 15 cm y así sucesivamente. El resultado de cálculo de los valores medios ponderados para las finalidades de la ordenación forestal representan los mismos de aquellos calculados por el valor medio aritmético.

### **3.4 Crecimiento diametral**

#### **3.4.1 Dial-Dendro**

Es un instrumento que fue construido para realizar mediciones periódicas del crecimiento diametral en intervalos de tiempo definidos por el investigador. El instrumento se compone básicamente de una escala de nonios (Figura 36) y un resorte metálico localizado lateralmente en el interior de la caja de soporte. Dependiendo de la dimensión de la circunferencia del tronco a ser medido se podrá utilizar varias bandas metálicas de 300 hasta 900 mm de longitud en un sistema de encaje, que acompañan al instrumento. El principio de medición está fundamentado en la expansión del resorte a cada aumento del crecimiento diametral del

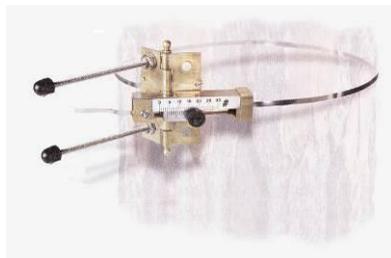
tronco. La escala de medición ofrece condiciones de registrar modificaciones de la circunferencia del tronco a partir de 80 mm. Consecuentemente entre una medición y otra se puede medir el crecimiento diametral correspondiente de una forma muy precisa (Imaña-Encinas, 1994). A través de unas bandas o cintas llamadas de cintas pimeter es posible abrazar el tronco de un árbol y por medio de la lectura de nonius se obtiene una precisión de 0,1mm del crecimiento diametral.



**Figura 36. Dial-Dendro**

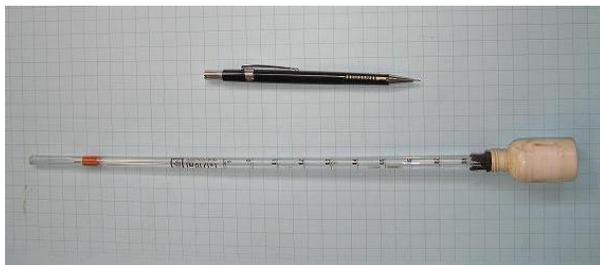
### **3.4.2 Micro dendrómetro**

Al igual que el anterior, es un instrumento diseñado para medir las variaciones del diámetro en períodos relativamente cortos (horas, días o semanas). Una modificación de este instrumento es el micro dendrógrafo que registra gráficamente el crecimiento diametral.



### 3.4.3 Fito tensiómetro

El fito tensiómetro tiene la misma finalidad que el micro dendrómetro. Este instrumento es más utilizado en trabajos de eco fisiología. Consiste de una pipeta graduada que está asegurada en un recipiente de plástico conteniendo un líquido colorido. Asegurado el recipiente plástico alrededor del tronco, se efectuarán las medidas (posición del líquido colorido) a través de las unidades de la pipeta.



### 3.5 Reglas Madereras

Para los árboles en pie la producción de madeira será cuantificada normalmente en metros cúbicos. Para los troncos que ingresan en el proceso de comercialización, especialmente en los mercados internacionales la unidad de medida utilizada es el pie de tabla o pie maderero. Esta unidad representa un cuerpo sólido en forma de paralelepípedo de madera con las dimensiones de 1 pie x 1 pie x 1 pulgada. Las unidades en millones de pies de tabla deben ser medidas en el extremo menor del tronco. Un metro cúbico de madera equivale a 423,7 pies de tabla. En algunos países como en

Chile es utilizada la pulgada maderera que corresponde a 10 pies de tablas.

Las reglas madereras están construidas en preceptos matemáticos (regla Internacional y regla de Doyle) o en diagramas (regla Scribner), que estiman el volumen de corte en las serrarías descontando el volumen de los “lombos” que son considerados como desperdicio. El principio se fundamenta en la forma de inserir un cuadrado circunscrito en el círculo de la extremidad inferior del tronco cortado con la finalidad de obtener el volumen de la pieza de madera, denominado en la práctica como “timber”. Las reglas madereras normalmente están elaboradas para trabajar con tablas serradas de 16 pies de largo (longitud), espesores de  $\frac{1}{4}$  o  $\frac{1}{8}$  de pulgada y una pulgada de espesor de la tabla. La dificultad de mantener constantemente esas dimensiones debido a espesor de la sierra y posicionamiento del equipo de corte, hace que el volumen obtenido sea diferente del estimado. En ese sentido, el operador de la regla debe poseer bastante experiencia, a fin de disminuir ese error.

El principio de la construcción de las reglas está fundamentado en el teorema de Pitágoras:

$$\begin{aligned}D^2 &= a^2 + b^2 && (a \text{ y } b = \text{lado del cuadrado}) \\D^2 &= a^2 + a^2 \\D^2 &= 2a^2 \\a^2 &= D^2 / 2\end{aligned}$$

donde  $a$  = lado del cuadrado (“timber”) en pulgadas,  
 $a^2$  = área del “timber” en pulgadas cuadradas,  
 $D$  = diámetro menor en pulgadas (diagonal del cuadrado)

**Regla Internacional para 16 pies**

$$V = 0,796 D^2 - 1,374 D - 1,23$$

**Regla Scribner**

$$V = 0,79 D^2 - 2D - 4$$

### 3.6 Diámetro de la copa

Para diversos estudios es necesario medir el diámetro de las copas de los árboles. Para eso normalmente se mide el diámetro de la proyección de la copa sobre el suelo. Pocas veces esa proyección es circular lo que significa medir el diámetro por lo menos en dos direcciones perpendiculares.

La estructura y crecimiento de la copa están en función del espacio físico que ella podrá disponer. Por esa razón no existe una correlación estrecha del diámetro de la copa entre los árboles en un rodal o bosque. Por la posición silvicultural del árbol existen individuos que ocupan el estrato de los árboles dominantes, otros árboles se localizan en el llamado estrato de los co-dominantes, intermediarios y dominados. Dependiendo del crecimiento y posición silvicultural del árbol las estructuras y consecuentemente los diámetros de las copas podrán ser conforme es mostrado en la Figura 37.

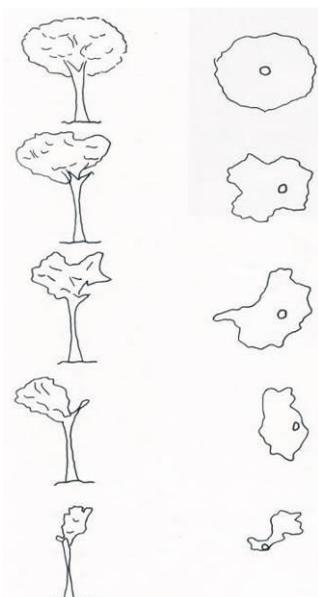


Figura 37. Formas de las copas

### 3.6.1 Hincha Métrica

Utilizando la cinta o huincha métrica se puede medir linealmente el diámetro de la proyección de la copa sobre el suelo.

### 3.6.2 Círculos de Superposición

Los círculos de superposición son utilizados para medir los diámetros de las copas sobre las imágenes de satélite o de fotografías aéreas verticales sin la ayuda de la visión estereoscópica. Se trata de una serie de círculos distribuidos sobre hojas de material plástico transparente. Cada círculo difiere de su vecino en una unidad constante. El diámetro de la copa en las imágenes de satélite o fotografías aéreas es medido haciendo coincidir con el círculo que mayor coincidencia pueda presentar en la superposición de los círculos.

La escala de los círculos debe tener la misma escala de la imagen o fotografía aérea. En el caso de que éstas tengan escala diferente el diámetro de la copa deberá ser calculado por la fórmula:

$$D = \frac{E \cdot d}{E \cdot L}$$

donde: D = diámetro de la copa  
d = diámetro del círculo  
E = escala de la imagen o fotografía  
L = escala del círculo.

### 3.6.3 Cuña diamétrica

Este instrumento como el anterior es utilizado frecuentemente en trabajos de fotointerpretación de imágenes de satélite o fotografías aéreas. En el mercado norte-americano es posible encontrar cuñas diamétricas de acrílico para diversas escalas aéreo-fotográficas. En un papel plástico transparente (semejante al usado en transparencias para retroproyector) se puede diseñar en la base o línea horizontal las unidades de graduación que indican la distancia de separación del punto opuesto de la otra línea (inclinada). Para medir el diámetro de las copas se

debe hacer coincidir la copa del árbol con las dos líneas en forma tangencial, de tal forma que la lectura del diámetro será leída en la base horizontal.

### 3.6.4. Medidor de diámetro de la copa de Bitterlich

La medida del diámetro de la copa considera una problemática específica, una vez que en el campo solo se podrá medir a través de su proyección sobre el suelo. Prof. Bitterlich en la década de los años 40 idealizó el instrumento y la metodología que permitiese observar fácilmente la tangencia de las copas a través de un juego de prismas. Marcando en el suelo los puntos de coincidencia con el borde de la copa es posible medir el diámetro correspondiente de la copa.

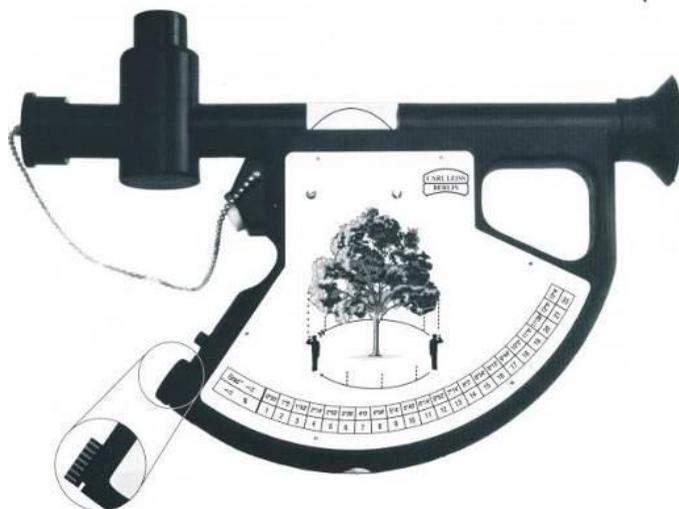
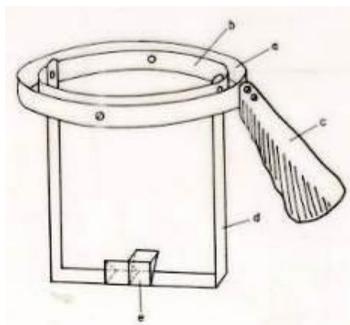


Figura 38. Medidor de la copa de Bitterlich

### 3.6.5 Prisma medidor de diámetro de la copa

Es un instrumento que corresponde a un tipo de periscopio manual, consistente de dos anillos metálicos suspensos, sujetos en un soporte en forma de U. En la base del instrumento se

encuentran dos prismas rectángulos, uno de ellos invertido (Figura 39). A través de uno de los prismas es posible observar el borde de la copa y simultáneamente fijar ese punto de observación en el suelo. Se recomienda efectuar ese procedimiento en cuatro puntos cardinales, para posteriormente realizar las correspondientes medidas de distancia en el suelo.



**Figura 39. Prisma medidor de la copa**

## 4. ÁREA BASAL

Se entiende por área transversal la superficie de cualquier corte horizontal hipotético realizado en el tronco del árbol. Si todos los árboles de un rodal fuesen cortados en una misma altura se podrá obtener hipotéticamente el área transversal de ese rodal o bosque.

Si el área transversal fuese hipotéticamente cortada y calculada en función del DAP, se denomina de área basal, siendo de un otro diámetro llámase de área transversal o seccional a la altura del referido diámetro. Por ejemplo: área transversal a la altura del diámetro de la base, área transversal a 7 metros de altura, etc. El área basal de un árbol está representada por la letra “g” y el área basal de un rodal por “G”.

Supóngase que “g” se aproxima al área del círculo, así su determinación de cálculo será en función del DAP o CAP, de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$g = \text{DAP}^2 \cdot \pi/4$$

$$g = \text{DAP}^2 \cdot 0,7854$$

$$g = \text{CAP}^2 / 4\pi$$

$$g = \text{CAP}^2 \cdot 0,0796$$

La unidad de medida de g será en centímetros o metros cuadrados, y la de G obligatoriamente en metros cuadrados. G consecuentemente será la suma de todos los “g’s”.

Una vez que la hectárea es la unidad de referencia clásica en la dasometría, G estará representada por metros cuadrados por hectárea. ( $\text{m}^2/\text{ha}$ ). El área basal por hectárea es consecuentemente una medida de la densidad de un rodal o bosque. El área basal media se calcula sumando las áreas transversales de los árboles que están dentro de la hectárea y se divide esa suma por el número de árboles medidos. La medida del área basal y otras áreas transversales tiene su importancia en la dasometría y silvicultura, principalmente por permitir calcular el volumen de madera de los troncos y en consecuencia del árbol. En la silvicultura ingresa en la definición del grado de desbaste, además de ser un parámetro comparativo entre rodales/bosques de la misma especie, edad, y en

formaciones boscosas completamente heterogéneas en especies y en estructuras dasométricas.

Cuándo el área basal de un árbol se aproxima al de una superficie elíptica se hace necesario medir el DAP en dos medidas transversales, de tal forma que el cálculo será:

$$g = \frac{\pi}{4} \cdot \left( \frac{D+d}{2} \right)^2$$

Considerando el área de la elipse como

$$g = \left( \frac{\pi}{4} \cdot (D \cdot d) \right)$$

el error será determinado por la diferencia de ambas áreas:

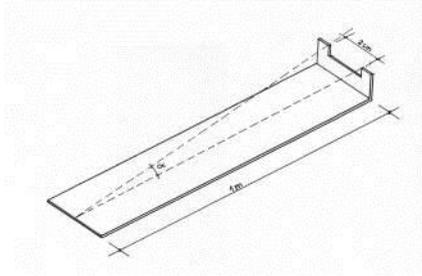
$$E(\%) = \frac{(D-d)^2}{4Dd} \cdot 100.$$

## **4.1 Principio de Bitterlich**

El principio de Bitterlich define básicamente la densidad de un rodal determinando el área basal por hectárea a través de la lectura directa en las Parcelas de Área Variable. Este principio también es conocido de Prueba de Numeración Angular, creado por el Prof. Walter Bitterlich, en Austria en 1948. El primer instrumento utilizado para esa finalidad fue la barra de Bitterlich.

### **4.1.1 Barra de Bitterlich**

La barra de Bitterlich consiste de una vara de madera o metal leve de longitud de 1 metro, manteniendo en una de sus extremidades una placa en la forma de U (herradura) con una abertura correspondiente de 2 centímetros (Figura 40). La barra de Bitterlich permite obtener el área basal en un rodal sin medir las áreas transversales, o sea, sin tomar las correspondientes medidas de diámetro de los árboles individuales.



**Figura 40. Barra de Bitterlich.**

El operador manteniendo la barra horizontalmente a la altura del ojo efectúa alrededor de sí un giro completo de  $360^\circ$  observando a través de la placa (formando así un ángulo constante de visión) todos los árboles a la altura de 1,30m. Ese ángulo constante en la abertura de 2 cm identifica la distancia “d” de la Figura 41. Deberán ser contados todos los árboles cuyo DAP sea mayor o igual a la abertura de la placa (d).

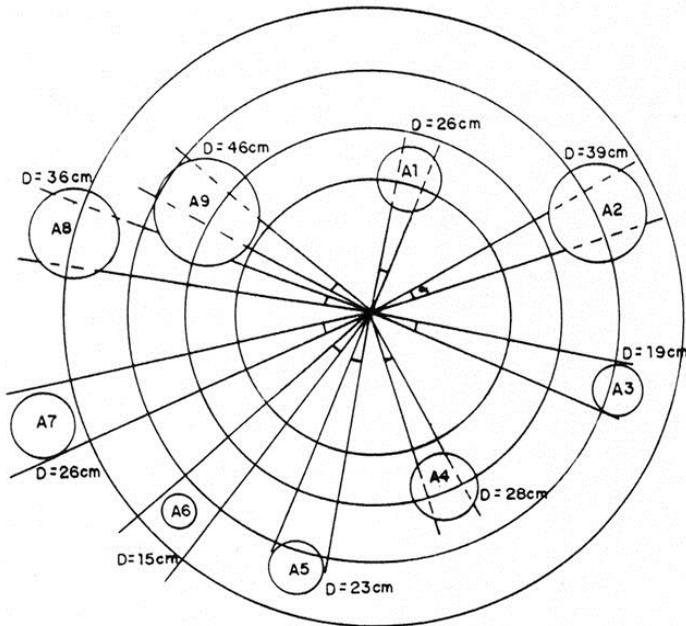
Analizando este procedimiento existen apenas tres posibles situaciones:

- a) el ángulo producido será menor que el ancho del árbol observado, consecuentemente el DAP será mayor que el ángulo  $\alpha$ . El árbol en este caso será contado;
- b) el ángulo producido será igual a ancho del árbol observado, consecuentemente el DAP es igual al ángulo  $\alpha$ . El árbol en esta situación cuenta como una mitad;
- c) el ángulo producido será mayor que el ancho del árbol observado, consecuentemente el DAP será menor que el ángulo  $\alpha$ . El árbol en este caso no ingresa en el conteo correspondiente.

El principio de Bitterlich indica que el número de árboles (N) con DAP igual o superior al ángulo constante ( $\alpha$ ), vistos desde un punto fijo del rodal, es proporcional a su área basal (AB) por hectárea. En otras palabras, el número de árboles con DAP igual o

mayor al ángulo de visión ofrecerá directamente el área basal en  $m^2/ha$ .

La parcela circular para o conteo o numeración angular corresponde a las Parcelas de Áreas Variables. Cada árbol estará produciendo teóricamente su propia parcela y en ese sentido cada parcela tendrá diferente tamaño, una vez que cada árbol está en posición diferente en relación a la distancia del centro de la parcela. En la Figura 41, de acuerdo con el postulado, los árboles observados a partir de un punto "c" (punto central de la parcela) es igual a  $6 m^2/ha$ . Los árboles  $A_1, A_2, A_4, A_8$  y  $A_9$ , tienen áreas transversales superiores al ángulo  $\alpha$ , y consecuentemente su suma es igual a  $N = 5$ . Los árboles  $A_3$  y  $A_5$  ingresan en el conteo como  $\frac{1}{2}$  unidades (sumando ellos,  $N = 1$ ) y los árboles  $A_5$  y  $A_7$  no son consideradas. Consecuentemente el resultado de ese conteo será  $N = 6$ .



**Figura 41. Parcela de Área Variable**

Multiplicando N por la constante instrumental (K), en este caso correspondiendo igual a 1, se tiene:

$$AB = N \cdot K$$

$$AB = 6 \cdot 1$$

$$AB = 6 \text{ m}^2/\text{ha.}$$

#### 4.1.2 Prueba de Numeración Angular

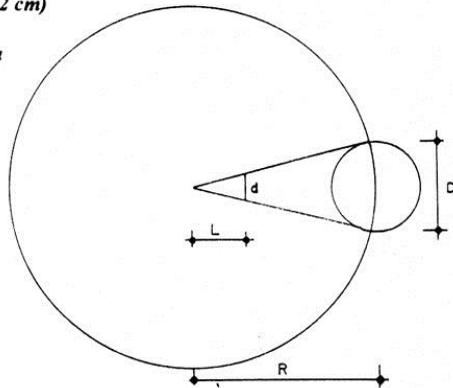
Considerando que la barra de Bitterlich ofrece apenas una lectura, supóngase que existe en la parcela un árbol con diámetro D (Figura 42).

*L = largo de la barra de Bitterlich (100 cm)*

*d = abertura angular (2 cm)*

*D = DAP*

*R = radio de la parcela*



**Figura 42. Prueba de numeración angular**

En la Figura 42, L representa la longitud de la barra de Bitterlich (100 cm), d la abertura de la mira (2 cm), R el radio de la parcela, D el diámetro del árbol de área seccional  $A_s$ .

El área de la parcela ( $A_p$ ) es calculada por  $\pi \cdot R^2$ .

Considerando la relación  $d/L = D/R$

el área basal proporcional (AB) es representada por la relación entre el área seccional (As) del único árbol y el área de la parcela (A),

$$AB = \frac{A_s}{A}$$

$$AB = \frac{\pi/4 \cdot D^2}{\pi \cdot R^2}$$

$$AB = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^2$$

Por la relación anterior, substituyendo D/R, se tiene:

$$AB = \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^2$$

que es la expresión que significa la proporcionalidad existente entre las dos áreas.

Multiplicando por  $10^4$  para estimar el área basal por ha, la fórmula se transforma en

$$AB = 10^4 \cdot \frac{1}{4} \left(\frac{d}{L}\right)^2$$

que corresponde al postulado de Bitterlich

$$AB = N \cdot K$$

Demonstración: existiendo apenas un árbol ( $N = 1$ ) en la prueba de numeración angular

$$AB = 1 \cdot K$$

$$K = \frac{10^4 \cdot \frac{1}{4} \left(\frac{d}{L}\right)^2}{1}$$

$$K = 10^4 \cdot \frac{1}{4} \left( \frac{d}{L} \right)^2$$

expresión que representa la constante instrumental.

Substituyendo en esta fórmula los valores dimensionales de la barra, se tiene

$$K = 10^4 \cdot \frac{1}{4} \left( \frac{2}{100} \right)^2$$

$$K = 10^4 \cdot 10^{-4}$$

$$K = 1$$

Consecuentemente el área basal por hectárea será

$$AB = N \cdot K$$

$$AB = 1 \cdot 1$$

$$AB = 1 \text{ m}^2/\text{ha}$$

lo que comprueba el enunciado de Bitterlich, de que el número de árboles observados (enumerados) en la parcela de área variable representa el área basal por hectárea ( $N = \text{m}^2/\text{ha}$ )

Analizando la Figura 41, se obtiene que  $N = 4$ , considerando apenas a los árboles  $A_1, A_2, A_4, A_8$  y  $A_9$

$$AB = \frac{4 \cdot A_s}{A}$$

$$AB = \frac{4 \cdot \left( \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right)}{\pi \cdot R^2}$$

$$AB = \frac{\pi \cdot D^2}{\pi \cdot R^2} \therefore \frac{D^2}{R^2} = \left( \frac{d}{L} \right)^2$$

Multiplicando por  $10^4$  para ter el área basal/ha

$$AB = 10^4 \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^2$$

y como  $N = 4$

$$AB = 4 \cdot K$$

$$K = \frac{10^4 \cdot \left(\frac{d}{L}\right)^2}{4}$$

$$K = 10^4 \cdot \frac{1}{4} \left(\frac{d}{L}\right)^2$$

$$K = 1$$

que es, como ya fue indicado, la constante instrumental.

Substituyendo los valores correspondientes, se comprueba nuevamente la veracidad del principio de Bitterlich, de

$$AB = N \cdot K$$

$$AB = 4 \cdot 1$$

$$AB = 4 \text{ m}^2/\text{ha}$$

siendo que  $K = 1$ , para un árbol o cualquier número de árboles con diámetros con valor igual o superiores al ángulo de visión de la barra de Bitterlich.

## 4.2 Parcela de Área Variable

Las parcelas de área variable son conocidas también como unidades amostrales relascópicas o parcela de Bitterlich correspondiendo a un tipo de parcelas de muestreo probabilístico donde la probabilidad de seleccionar un árbol es proporcional a su área basal.

En el proceso de muestreo el operador escoge aleatoriamente un punto en el rodal o bosque que representará el centro de la parcela de área variable. A partir de ese punto

procederá a la observación de los árboles conforme metodología descrita en el uso de la barra de Bitterlich. En ese principio cada árbol del rodal o bosque pasa a ser considerado dentro de las normas clásicas y principios de la probabilidad estadística.

Considerando que cada árbol está demarcado por la circunferencia de un radio producido por la propia posición del árbol, es que se produce un área de referencia de su propia relación. Así cada árbol tendrá una parcela propia dentro del conjunto de la Parcela de Numeración Angular.

#### 4.2.1 Área basal por clase diamétrica

Supóngase un árbol con DAP = 20 cm. Retornando a la Figura 42, fue indicada la relación

$$D/L = D/R$$

$$R = (D \cdot L) / d$$

Substituyendo los valores conocidos, se tiene

$$R = (20 \cdot 1) / 2$$

$$R = 10 \text{ m}$$

A ese radio es que se conoce como distancia crítica, que significa que el centro del árbol de 20 cm de DAP estará exactamente a 10 metros de distancia del punto central de la parcela.

Considerando que el área de la parcela es igual a:

$$A = \pi \cdot R^2$$

$$A = 3,1416 \cdot 10^2$$

$$A = 314,16 \text{ m}^2$$

y el área basal del árbol será:

$$AB = \pi/4 \cdot \text{DAP}^2$$

$$AB = 0,7854 \cdot 20^2$$

$$AB = 314,16 \text{ cm}^2 = 0,031416 \text{ m}^2$$

Por el cálculo de una simple regla de tres, se tiene:

$$\frac{314,16 \text{ m}^2}{10.000 \text{ m}^2} = \frac{0,031416 \text{ m}^2}{x}$$

Consecuentemente en una hectárea existirá apenas un (1) árbol, correspondiendo a 1 m<sup>2</sup>/ha.

Para estimar el número de árboles por hectárea, considerando el ejemplo anterior, se tendrá por el postulado de Bitterlich

$$n = \frac{10.000}{\frac{\text{área\_da\_parcela\_variável}}{\text{de\_R} = \grave{a}\_distância\_crítica}}$$

$$n = \frac{10.000}{314,16} = 31,82$$

Una vez que existe en la parcela de área variable apenas un árbol con DAP = 20 cm, en una hectárea deberán existir 32 árboles con ese diámetro.

Si en la parcela de área variable fuesen contados 2 árboles con DAP = 20 cm cada uno, el cálculo de determinación del N° de árboles/ha sería

$$31,82 \times 2 = 61,68 = 63 \text{ árboles/ha.}$$

Estimando el área basal/ha, se podrá medir fácilmente y con alto grado de precisión los DAP's de todos los árboles que están en la parcela de área variable, anotando sus lecturas de medida separadamente por clase diamétrica. La sumatoria de las lecturas por clase de diámetro será multiplicado por el factor K, obteniéndose así el área basal por clase diamétrica.

Considerando cualquier factor de numeración, cada árbol contado equivale al número de árboles igual al valor de ese factor multiplicado por 1. La correspondiente fórmula de cálculo será:

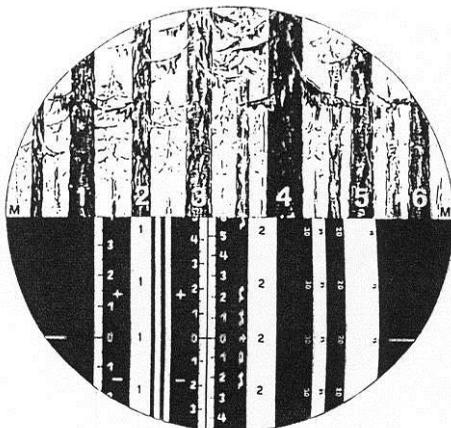
$$n_{\text{clasediamétrica/ha}} = \frac{K}{\frac{\text{área\_secional}}{\text{clase\_DAP}}}$$

## 4.3 Instrumentos

### 4.3.1 Relascópio de Espelho

Para medir la densidad de un bosque o rodal a través del Relascópio de Espejo se debe trabajar con las bandas 1, 2 y de los cuatro cuartos. Esas bandas son también conocidas como escalas o fajas de numeración. En un giro de  $360^\circ$  grados el número de árboles contados será multiplicado por el factor basimétrico indicado en la propia banda. La determinación del área basal sigue el principio de la barra de Bitterlich.

El grosor de las bandas o fajas de numeración está relacionada con el factor de numeración  $K$ . Así para  $K = 1$ , corresponde la faja indicada con el número 1. Para  $K = 2$ , se debe utilizar la faja 2, y para  $K = 4$  será utilizada el grosor 1 sumada de las cuatro fajas estrechas localizadas a su derecha (fajas negra, blanca, negra, blanca) conforme se muestra en la Figura 43.



**Figura 43. Bandas de numeración en el Relascópio**

Una de las grandes ventajas del relascópio es que las bandas se corrigen automáticamente con el correspondiente declive, transformándolo así el instrumento más preciso y de fácil manipulación.

### 4.3.2 Tubo basimétrico de Panamá

Para medir el área basal con este instrumento se debe observar el árbol como se muestra en la Figura 44. En el mismo principio de la parcela de numeración angular los árboles serán contados. El factor de área basal del instrumento clásico corresponde a un BAF = 10, que en las unidades americanas representa el número de árboles contados = pies cuadrados por acre.

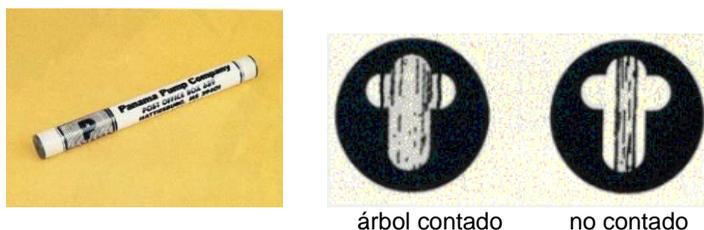


Figura 44. Tubo basimétrico de Panamá

### 4.3.3. Prisma basimétrico

El prisma basimétrico es un instrumento leve y de bajo costo, creado en los EE.UU. luego después del surgimiento de la teoría de Bitterlich. La diferencia con el relascópio de espejo consiste en que el prisma no hace corrección de la declividad.

La graduación de los prismas está dada en dioptrías que corresponden al factor de numeración K, que en este instrumento es denominado de factor de área basal (BAF), que está grabado en el extremo inferior del prisma (Figura 45).

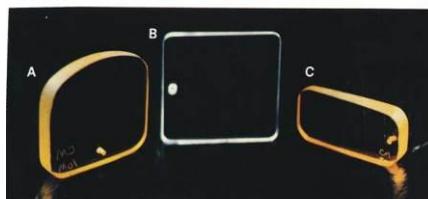


Figura 45. Prismas basimétricos

La graduación de las dioptrías corresponde al desplazamiento de una unidad en 100 unidades de distancia. Dos dioptrías representan consecuentemente al factor  $K = 1$ , de la barra de Bitterlich siendo que

$$\text{dioptria} = 2\sqrt{k}$$

$$K = (d_i / 2)^2$$

que es la relación que expresa la proporcionalidad entre las dioptrías de un prisma y el factor  $K$ .

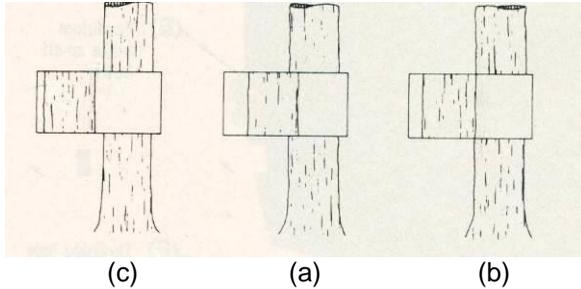
En la práctica dasométrica son los siguientes BAF's más utilizados:

- en el sistema inglés: 2,5 – 5 – 10 – 15 – 20 – 25 – 30 – 35 – 40 – 50 – 60 – 70 – 80 – 90 y 100;
- en el sistema métrico: 1 – 2 – 2,5 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 16 y 17.

El uso del prisma obedece a los mismos principios de las parcelas de áreas variables. Durante las lecturas el prisma debe ocupar el punto central de la parcela y no el ojo del observador, mismo que la distancia entre el ojo del operador y el prisma no influya significativamente en los resultados de las lecturas.

Al observar el tronco del árbol a través del prisma, tres diferentes imágenes podrán ser anotadas (Figura 46):

- a) cuándo la tangencia del tronco del árbol aún está en la proyección del tronco. En ese caso el árbol ingresa en el conteo o numeración de la parcela;
- b) cuándo la tangencia derecha del tronco del árbol coincide con la tangencia izquierda de la proyección del tronco. En ese caso el árbol ingresa en el conteo con valor medio;
- c) cuándo la tangencia del tronco del árbol está totalmente fuera de la proyección del tronco, y en ese caso el árbol no ingresa en el conteo correspondiente.



**Figura 46. Observación del tronco a través del prisma.**

## **4.4 Otras áreas dasométricas**

### **4.4.1 Área de la superficie del tronco**

La determinación del área de la superficie del tronco es utilizada para identificar el volumen superficial de madeira del tronco. Para tanto se debe medir los diámetros correspondientes en el tronco del árbol en pie.

Para calcular el área de la superficie del tronco se puede escoger uno de los siguientes métodos:

- a través del diseño, en un sistema de coordenadas los puntos de intersección de alturas y diámetros o circunferencias. Se unen los puntos medidos a través de un polígono con la finalidad de obtener la superficie correspondiente;
- aplicando la fórmula de la superficie lateral de un cono truncado. Será en ese caso necesario medir los radios ( $r_1$  y  $r_2$ ) de los extremos del sólido geométrico y la altura inclinada correspondiente, a través de la siguiente expresión:

$$S = (\pi \cdot r_1 + \pi \cdot r_2) h$$

#### 4.4.2 Área de cobertura

El área de la cobertura es aquella cubierta por las copas de los árboles. En el suelo se podrá medir por la proyección de las copas. Esta área identifica la densidad de un bosque. Este parámetro en imágenes de satélite o fotografías aéreas no presenta dificultad en ser medido a través de las cuñas diamétricas o malla de puntos.

#### 4.4.3 Área de laminado

Para calcular los metros cuadrados de laminado que ofrecerá un tronco se debe utilizar la fórmula siguiente

$$A = L \cdot b$$

$$L = \frac{\pi}{4a} \cdot (D - d)^2$$

donde A = área total  
L = longitud del laminado  
b = ancho del laminado  
a = grosor del laminado  
D = diámetro mayor del tronco  
d = diámetro menor del tronco.

#### 4.4.4 Área foliar

El área foliar es un importante parámetro en los estudios eco fisiológicos de las plantas, permitiendo identificar entre otros los índices de transpiración de las plantas. Resulta muy difícil medir el área foliar total de un árbol. Su cálculo solo podrá ser posible a través de procedimientos matemáticos de correlación.

### 4.5 Instrumentos para medir áreas en gráficos y mapas

#### Planímetro

Instrumento que sirve para medir cualquier área o superficie en un mapa, siguiendo con su aguja indicadora los límites o bordes correspondientes del rodal o formación boscosa. En el mercado existen diversos modelos de planímetros siendo los más conocidos los planímetros polares. Estos instrumentos ofrecen directamente el

valor del área considerado. Para su correcto uso el instrumento debe estar calibrado con la misma escala del mapa o figura.

### **Cuadrículas de puntos**

También conocidas como malla de puntos. En un material transparente, placa de acrílico u hoja de plástico duro es diseñada una malla de puntos. Cada punto corresponderá a determinada área o superficie siendo que la distancia entre puntos quedará definida por la escala que se pretende utilizar. El número de puntos corresponderá al área observada o metros cuadrados ocupados.

### **Balanza de precisión**

Utilizando balanzas de precisión es posible identificar diversas superficies irregulares. Para ese hecho se debe recortar la superficie que se pretende medir y luego después pesar ese recorte en una balanza de precisión. Será necesario identificar previamente el peso que representará un centímetro cuadrado. Por un simple cálculo de relación se obtendrá la superficie procurada.

## 5. ALTURA

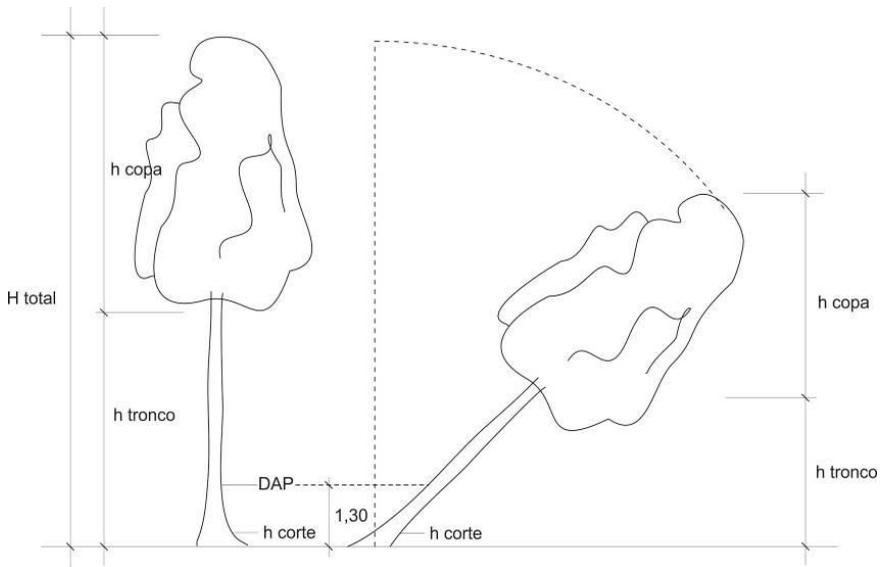
La altura del árbol es una importante variable dendrométrica, necesaria para estimar junto con el diámetro, fundamentalmente el volumen de madera del árbol y sus componentes. También es imprescindible para la interpretación del proceso de crecimiento e incremento volumétrico ofreciendo importante subsidio a la clasificación de sitios. Por la variable altura se podrá indicar la calidad del local de crecimiento cuándo fuese analizada en conjunto con la edad de los árboles (Campos, 1983),

Dos árboles, provenientes de una misma zafrá de semillas, recibiendo similar tratamiento silvicultural podrán presentar un mismo valor en DAP, sin embargo pueden diferir significativamente en altura, produciendo consecuentemente volúmenes de madera diferentes.

### 5.1 Puntos de medición de la altura

De acuerdo con la parte del árbol que se desea medir, se distinguen (Figura 47):

- a. altura total ( $H$ ) del árbol: distancia vertical considerada desde el suelo hasta el ápice de la copa;
- b. altura del tronco ( $h_f$ ): distancia vertical que corresponde desde el suelo hasta la base de la copa;
- c. altura comercial ( $h_c$ ): parte del tronco económicamente aprovechable que corresponde a la distancia desde la altura del corte hasta la altura del diámetro mínimo comercial;
- d. altura del tocón ( $h_{0,3}$ ): parte que queda en el terreno después del corte aprovechable del árbol, que corresponde normalmente a la distancia desde el suelo hasta una altura de aproximadamente 30 cm;
- e. altura de la copa ( $h_{cop}$ ) =  $H - h_f$ .



**Figura 47. Puntos de medida de la altura**

## 5.2 Métodos de medición de la altura

Existe la posibilidad de poder obtener estimativas de la altura del árbol a ojo, que solo podrá estar fundamentado por una enorme experiencia del observador.

Las medidas de altura se clasifican en:

### a. Métodos directos o expeditos

Cuándo las medidas son tomadas directamente en el árbol.

Para árboles en pie son utilizadas varas graduadas, miras topográficas y reglas de encaje, dependiendo de la longitud máxima que esos instrumentos puedan alcanzar. Un proceso casi que impracticable es el uso de escaleras o subiendo al árbol con la finalidad de determinar su altura a través de una huincha o cinta métrica.

En árboles apeados la medida de altura (longitud del árbol) se procederá usando una regla graduada o huincha/cinta.

#### b. Métodos indirectos o de estimación

Son aquellos que precisan de instrumentos (hipsómetros) en la determinación de la altura correspondiente. Dependiendo de la altura a ser medida y condiciones de trabajo son producidos errores de estimativa de hasta  $\pm 5\%$  del valor real.

Estos instrumentos se fundamentan en principios geométricos (que procuran la semejanza de los lados de triángulos semejantes) o principios trigonométricos (que requieren conocer un lado y un ángulo de triángulos rectángulos).

La medición de la altura de los árboles en imágenes de satélite o fotografías aéreas se relaciona con el principio del desplazamiento de la sombra o en la visión estereoscópica.

La literatura describe una grande cantidad de instrumentos y métodos para medir y determinar la variable altura (Bruce y Schumacher, 1950; Chapman y Meyer, 1949; Prodan et al, 1997), sin embargo son pocos los difundidos y aceptos en la práctica cotidiana de la mensuración forestal, sea en razón de la precisión proporcionada por eles, sea en virtud de las características de construcción y uso, y finalmente por el precio y dificultad de adquisición en los mercados locales.

A seguir, serán descritos solamente aquellos que son los más usados en los trabajos de la mensura dasométrica considerando las características silviculturais de los bosques latino americanos.

### **5.2.1 Métodos fundamentados en principios geométricos**

#### **Método de las sombras**

Se debe colocar en el suelo cerca del árbol de interés, una vara de altura conocida, de tal forma que las sombras del árbol y de la vara queden proyectadas en el suelo por acción del sol. Se mide así la longitud de las sombras (Silva y Paula Neto, 1979) y por simple relación será posible calcular la altura del árbol por la expresión a seguir.

$$\text{altura del árbol} / \text{longitud de su sombra} = \text{altura de la vara} / \text{longitud de su sombra}$$

$$H / h = S / s$$

$$H = \frac{S \cdot h}{s}$$

Una de las fuentes de error en este procedimiento está en la posición no siempre vertical del árbol y el horario del zenit.

### Método de la superposición de ángulos

Se apoya en el árbol una vara o baliza de altura conocida. Manteniendo con el brazo extendido un lápiz, el operador se debe alejar del árbol hasta hacer coincidir exactamente los extremos del lápiz con los de la vara/baliza. Sobre poniendo posteriormente la base del lápiz con el extremo superior de la vara se identifica el punto de coincidencia del extremo superior del lápiz en la árbol (Figura 48), y en ese sentido se repite esa operación hasta el ápice del árbol (Silva e Paula Neto, 1979). La altura del árbol será la suma de los ángulos sobre puestos. Se recomienda no usar varas superiores a 2 metros.

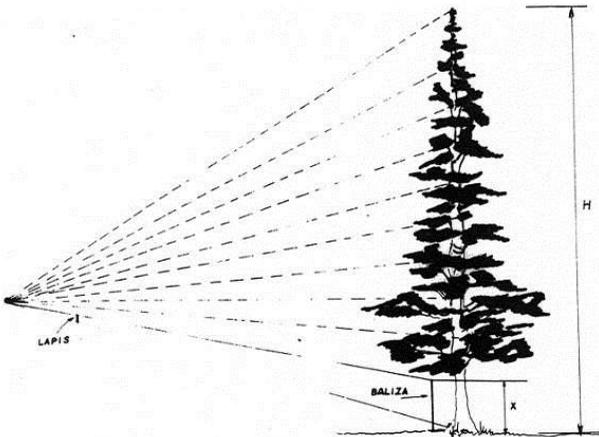
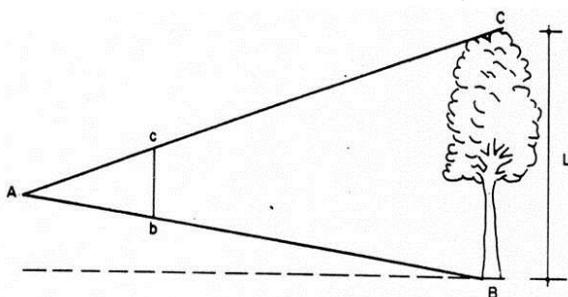


Figura 48. Método de la superposición de ángulos

### Método de la vara

Con una vara de longitud superior al largo del brazo del operador, posicionarla horizontalmente (A – b) de tal forma que coincida con la longitud del brazo extendido del operador. Colocando posteriormente la vara en posición vertical (b – c, formando correspondiente ángulo de 90°) el operador se debe alejar del árbol hasta hacer coincidir la altura deseada (B – C) con la longitud de la vara. En ese punto midiendo la distancia horizontal del observador (A – B) al árbol se tendrá, por semejanza de triángulos la altura del árbol (B – C).



$$A b = bc$$

$$A B = BC$$

$$A B = L$$

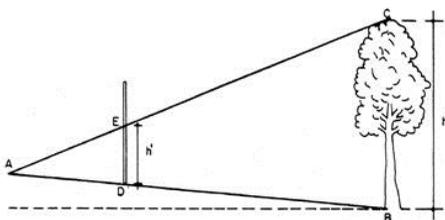
Figura 49. Método de la vara

### 5.3 Instrumentos de principios geométricos

Los instrumentos fundamentados en principios geométricos son fáciles de construirlos, su manipulación es simple, son más baratos y requieren apenas una lectura para medir la altura del árbol. Estos instrumentos sin embargo son menos precisos que los construidos en principios trigonométricos.

### 5.3.1 Hipsómetro de Merrit

Consta de una regla graduada en función de la longitud del brazo del operador y de la distancia fija del observador al árbol. Con la mano extendida se asegura el instrumento (regla) en la posición vertical. La lectura directa de la altura se obtiene de la regla graduada. Con este instrumento es posible obtener con rapidez lecturas de la altura de árboles que crecen en rodales no muy densos. También es posible graduar la regla en alturas de toretes comerciales, cuando la lectura expresará el número de toretes comerciales de igual longitud, por árbol. En el mercado norte americano es posible encontrar hipsómetros de Merrit y reglas de Biltmore construidos en un solo instrumento, de tal forma que un lado del instrumento ofrecerá lecturas de altura y la otra lecturas de diámetro.



$$\frac{CB}{AB} = \frac{ED}{AD} \qquad AB = 30 \text{ m}$$

$$AD = 60 \text{ cm}$$

$$ED = \frac{CB \cdot AD}{AB}$$

$$ED = \frac{CB \cdot 60}{30} = CB \cdot 2 \quad \therefore h' = h \cdot 2$$

h (m)	h' (cm)	h (m)	h' (cm)
1	2	10	20
2	4	15	30
3	6	20	40
4	8	25	50
5	10	30	60
6	12	35	70
7	14	40	80
8	16	45	90
9	18	50	100

Figura 50. Construcción del hipsómetro de Merrit

En la fórmula que es utilizada para graduar la regla, corresponde AD = longitud del brazo del operador; CB = altura del árbol; AB = distancia al árbol (se recomienda sea un múltiplo de 10m). Para árboles con alturas estimadas entre 15 a 30 m de altura se usa normalmente 20 m de distancia. ED = altura encontrada en la regla (graduación).

### 5.3.2 Hipsómetro de Christen

Este instrumento es en la realidad una regla, normalmente de 30 cm de largo, se la puede doblar y es de fácil transporte. Para el uso de la regla se requiere de una vara adicional de longitud conocida que se la apoya junto al árbol que será medido. La graduación (a) del hipsómetro está en función de la longitud de la vara (A) utilizada (Figura 51). La escala (a) es graduada en la regla (H) de arriba para abajo en intervalos de 1m.

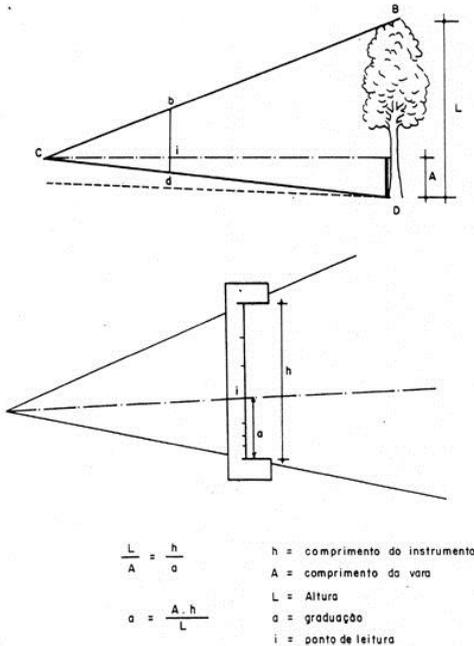


Figura 51. Construcción del hipsómetro de Christen.

Cuánto mayor fuese la vara mayor será la precisión de la lectura. Se recomienda usar varas mayores a 2 metros. En un sistema de encaje se pueden usar varas hasta de 7 metros. Varas muy largas son difíciles de manipulación dentro de los rodales, especialmente en bosques densos. Cuando el árbol tiene alturas relativamente grandes el resultado será menos preciso en razón de existir un adensamiento de las unidades en la escala (parte inferior), lo que dificulta la lectura correcta.

La lectura puede ser realizada a cualquier distancia desde que el árbol quede completamente encuadrada entre el marco de la regla, de forma que el punto “b” de la regla coincida con el punto “B” del árbol (o parte superior del tronco que se desea medir), y el punto “d” con el punto “D”. Conseguida esta situación se debe alejarse para el frente o para atrás, o estirando o contrayendo el brazo que segura el hipsómetro en posición vertical (en péndulo). Posteriormente observando el extremo superior de la vara apoyada en el árbol, indicará en la escala (punto “i”) la correspondiente altura del árbol.

## 5.4 Instrumentos de principios trigonométricos

Cuándo es utilizado instrumento construido en principios trigonométricos se requiere efectuar dos lecturas, una orientando a la base del árbol y la otra hacia el ápice de la copa, a partir de una distancia horizontal fija.

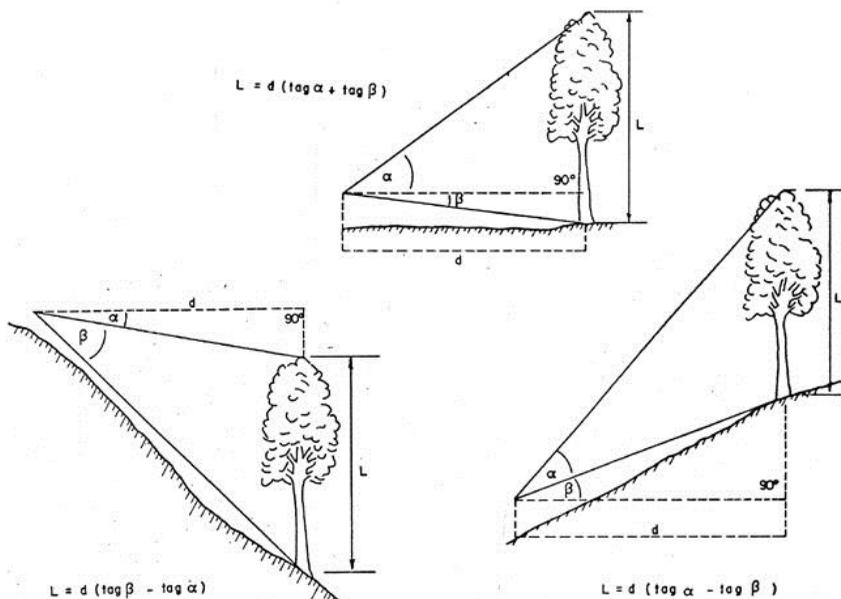
Considerando un triángulo rectángulo el principio trigonométrico se fundamenta en el cálculo de la tangente del ángulo  $\alpha$ . Si AB es la distancia del observador al árbol y BC es la altura del árbol, se tiene:

$$\text{tag } \alpha = \frac{BC}{AB}$$

$$\text{altura del árbol} = \text{distancia horizontal} \cdot \text{tag } \alpha.$$

De acuerdo al terreno y a la posición del observador, la Figura 52 muestra los tres casos posibles que se presentan en la medición de alturas, utilizando instrumentos trigonométricos:

- Cuándo el observador está en terreno plano,
- el observador está en un punto superior de la altura del árbol,
- el observador está en un punto inferior de la base del árbol.



**Figura 52. Lectura de la altura del árbol**

Dependiendo de la posición del ángulo vertical se obtendrán lecturas positivas y negativas:

Lectura inferior	Lectura superior	altura
-	+	$L = d (\tan \alpha + \tan \beta)$
-	-	$L = d (\tan \beta - \tan \alpha)$
+	+	$L = d (\tan \alpha - \tan \beta)$

Cuándo las lecturas son del mismo símbolo matemático, se subtrae la lectura menor de la mayor, y cuando las lecturas son de símbolo contrario, se suman las dos lecturas correspondientes.

Algunos instrumentos construidos en los principios trigonométricos traen escalas graduadas en la base de  $d \cdot \tan \alpha$ , con los cuales se efectúan las lecturas a distancias conocidas, de acuerdo a las reglas anteriores.

#### 5.4.1 Hipsómetro Haga

Conocido también como altímetro Haga, es un instrumento que utiliza un péndulo que se estabiliza por la gravedad. Posee una ventana donde se muestra la escala de lectura (Figura 53). Las escalas están graduadas para distancias de 15, 20, 25 y 30 metros, construidas en la base de:  $H_1 = d \cdot \tan \alpha$  y  $H_2 = d \cdot \tan \beta$  designando por  $H_1$  la lectura superior y  $H_2$  la lectura inferior. La suma de las lecturas ofrecerá la medida de la altura del árbol ( $H = H_1 + H_2$ ).

Además de las escalas de distancias presentan aún una escala de porcentaje para las medidas de declividad. De acuerdo a la distancia desde la cual se efectúa la medición se debe utilizar la escala propia para esa distancia. Las escalas aparecen en la ventana por un simple giro del mecanismo situado al frente del instrumento. En algunos hipsómetros Haga es posible encontrar un aditamento óptico (telémetro) que es utilizado para medir las distancias constantes en las escalas.



Figura 53. Hipsómetro Haga

Para efectuar las medidas de altura se debe liberar primeramente el péndulo. Apuntando para la base del árbol y cuándo el péndulo deje de oscilar el mismo será trabado en ese punto, produciendo así la primera lectura. De forma similar, apuntando al topo (ápice) del árbol o punto de medida de altura, se procederá con su segunda lectura.

### 5.4.2 Hipsómetro Blume Leiss

La construcción y manipulación de este hipsómetro sigue los mismos principios del hipsómetro Haga. La diferencia está en la presentación de las escalas. En el Blume Leiss ellas están visibles en una misma ventana, una debajo de la otra (Figura 54). Las escalas de 15, 20, 25 y 30 metros como la escala de porcentaje están identificadas en un círculo. La liberación del péndulo se efectúa por un botón localizado en la parte frontal del instrumento . La lectura correspondiente se la realiza conforme descripción hecha anteriormente para el hipsómetro Haga. Para mayor precisión la distancia más indicada no debe quedar muy diferente de la altura a ser medida. En el instrumento viene acoplado un telémetro (letra s en la Figura 54) para medir las distancias de uso del instrumento.

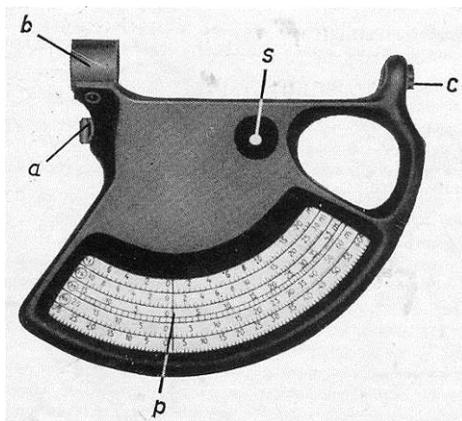


Figura 54. Hipsómetro de Blume Leiss

### 5.4.3 Hipsómetro de Weise

Este hipsómetro fue creado en Alemania (Couto y Ferrari, 1979) hace más de 120 años atrás. El instrumento consta de un tubo metálico donde está asegurada lateralmente una escala graduada para la lectura de la altura del árbol (Figura 55). Perpendicularmente a esta escala se tiene una escala de distancias. En el extremo superior de esa escala está instalado el péndulo que será utilizado en los mismos principios de los hipsómetros Haga y Blume Leiss. La enorme ventaja de este hipsómetro consiste en poder realizar lecturas a partir de cualquier distancia horizontal, una vez que la escala de distancias presenta una graduación pertinente.

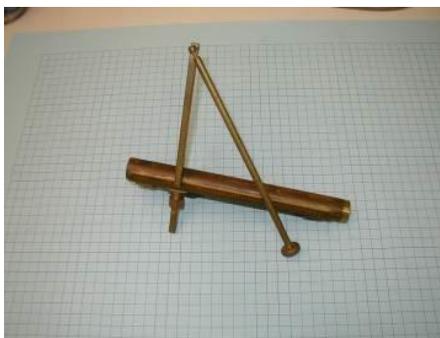


Figura 55. Hipsómetro de Weise

### 5.4.4 Clinómetro Suunto

Actualmente existe una gama de variaciones en la construcción de los clinómetros Suunto, presentando escalas con división de 400 gons y 360 grados y con escalas de valores porcentuales. En el modelo clásico las escalas ópticas están graduadas en cuadrantes de 0 a +90 y de 0 a -90 grados, de 0 a +150% y de 0 a -150%. El instrumento es en sí una caja metálica de aproximadamente 120 gr, de manipulación muy simple y presenta alta precisión en sus lecturas. Una tabla de cosenos para efectos de corrección de la declividad está grabada en la parte posterior del instrumento.

Se recomienda efectuar las lecturas con el ojo derecho. Es importante que los dos ojos queden abiertos durante el proceso de la medición. El operador debe asegurar el instrumento apoyándolo en el ojo derecho lo que permitirá efectuar las lecturas a través de un lente del clinómetro (ventana circular). Apuntando el punto de medición de la altura con el instrumento y por el efecto de la ilusión óptica, el filamento transversal rojo que queda en las escalas, dará la impresión que ella sobresale del instrumento. Haciendo coincidir el punto de lectura con el valor de la escala a ser utilizada se obtendrá la lectura correspondiente dentro del mismo principio de los hipsómetros Haga y Blume Leiss.

Debido a la grande aceptación del instrumento en diversas actividades de la mensuración forestal es que existen hoy en día en el mercado diversas variantes del instrumento, inclusive es posible encontrar instrumentos Suunto combinados, clinómetros y brújulas, conocidos como instrumentos gemelos Suunto.



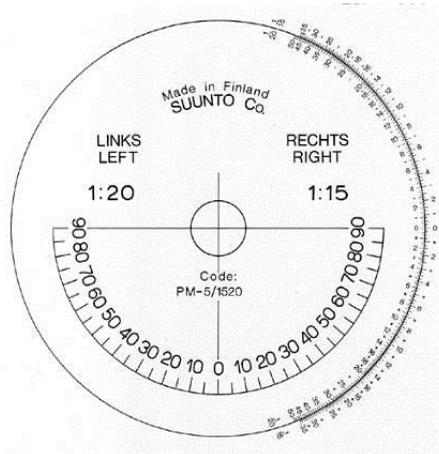
**Figura 56. Instrumentos gemelos Suunto**

Supóngase la medición de la altura total de un árbol localizado a 25 metros del instrumento en un terreno plano. Haciendo coincidir el filamento transversal rojo con el extremo superior (ápice) del árbol se procederá a su lectura correspondiente. El valor de la escala está apuntando, por ejemplo, en 48% (o 25,5°). Como la distancia del observador al árbol es de 25m la altura del árbol será:

$$48/100 \times 25\text{m} = 12\text{m}$$

Aumentando a ese resultado la altura del ojo del observador (por ejemplo, 1,6m), se deberá sumar más ese valor y así se obtendrá la altura total de ese árbol (12 + 1,6 = 13,6 m). Para mediciones más precisas y en terrenos inclinados se deben tomar dos mediciones, una en la base del árbol y la otra en el punto de la altura correspondiente.

Los clinómetros Suunto de última generación están contruidos en función de la experiencia dasométrica practicada en las últimas décadas en los bosques de Europa Central. En esos clinómetros existen dos escalas de tangencia que pueden ser utilizarlas a 15 y 20 metros de distancia.



**Figura 57. Clinómetro Suunto para distancias fijas**

En los instrumentos que poseen escalas con valores porcentuales todas las lecturas están fundamentadas en la distancia horizontal. En ese sentido, si es medida la distancia sobre un plano inclinado se introduce un error que debe ser corregido. El error en si es insignificante en la mayoría de las veces cuándo la declividad del terreno es inferior a  $10^\circ$ . la corrección trigonométrica se la efectúa con la expresión

$$H = h \cdot \cos \alpha$$

donde: H = altura real corregida

h = altura medida

$\alpha$  = pendiente del terreno.

### 5.4.5 Relascópio de Bitterlich

La primera banda localizada a la izquierda del relascópio corresponde a la escala de tangentes o de distancia de 20 metros, y las escalas de tangentes de 25 y 30 metros están situadas entre las bandas de numeración "1" y "2" (Figura 58). Para efectuar lecturas a partir de una distancia de 15m, éstas deberán ser realizadas en la escala de 30m, dividiendo el resultado por 2. La escala a ser utilizada sigue los mismos principios de los hipsómetros Haga y Blume Leiss.

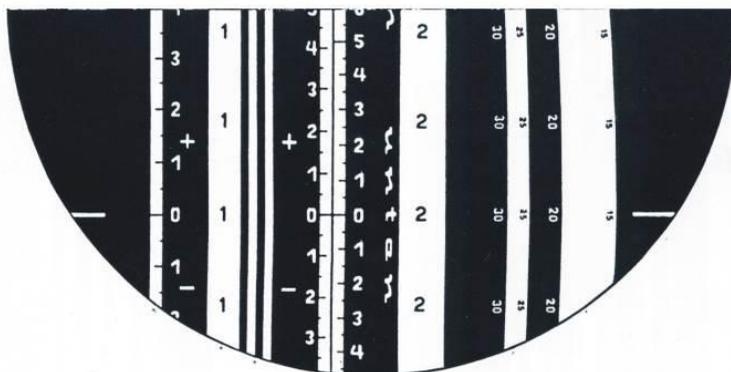


Figura 58. Escalas del Relascópio

Para la determinación de la altura se deben realizar necesariamente dos lecturas, una relativa al ápice del árbol y la otra a la base del árbol. Si las lecturas se sitúan en diferentes lados de la escala considerada (valores positivos o negativos), sus valores se suman. Si se sitúan en un mismo lado sus valores se substraen, a fin de encontrar la altura procurada. La lectura solo será válida cuándo se la realiza en la línea de visión u horizonte de visión después de la correspondiente liberación de la oscilación de las escalas.

#### 5.4.6 Clinómetro de Abney

Es un instrumento utilizado en trabajos de topografía, destinado a medir los ángulos verticales. El instrumento también es conocido como Nivel de Abney. Trae dos semi círculos graduados: uno en ángulos y un otro en valores porcentuales.

Puede ser usado para medir la altura de árboles, una vez que permite medir ángulos verticales a través de la tag  $\alpha$  de los ángulos de visión visualizando el ápice y la base del árbol. Conociendo la distancia reducida es posible calcular la altura del árbol, por la expresión:

$$\begin{aligned} H &= L_1 \pm L_2 \\ L_1 &= L \cdot \text{tag } \alpha \\ L_2 &= L \cdot \text{tag } \beta \end{aligned}$$

donde: H = altura y L = distancia reducida.

Caso la lectura sea realizada en la escala de %, la fórmula será:

$$H = \frac{L}{100} (L_1 \pm L_2)$$

donde: H = altura del árbol  
L = distancia entre el observador y el árbol  
L<sub>1</sub> = lectura al ápice del árbol  
L<sub>2</sub> = lectura a la base del árbol.

### **5.4.7 Teodolito**

Es un instrumento que ofrece altísima precisión de lectura, es usado normalmente en trabajos de topografía. Con el teodolito es posible obtener ángulos horizontales y verticales así como medidas de distancia. Los teodolitos de última generación (Figura 59) vienen equipados con procedimientos de lectura a base de rayos laser, transformándolos aún más precisos además de estar acoplados a diversos programas computacionales. Para determinar la altura de árboles es posible utilizar el teodolito en el mismo principio de los clinómetros.



**Figura 59. Teodolito de última generación**

### **5.5 Errores de medición**

Cuándo se mide la variable altura generalmente la precisión no es absoluta. De acuerdo el punto de medida y el instrumento que es utilizado los valores medidos varían normalmente entre 1 metro e 10 centímetros de aproximación. Para alcanzar mayor precisión se requiere considerar el factor tiempo y experiencia del operador y del instrumento específico.

Al medir un árbol en pie se presupone que éste queda en posición perpendicular al suelo. Más eso ni siempre acontece y dependiendo del ángulo de visión la altura podrá estar sub o sobre

estimada de su valor real. Otra fuente de error es la falta de visibilidad del ápice del árbol, especialmente en árboles de copas densas y en rodales de estructuras heterogéneas. El error en las mediciones directas se sitúa en media alrededor del 10% del valor real.

Otros errores provienen de la manipulación de los propios instrumentos, de la distancia del observador al árbol, del balanceo de las copas y de la inclinación o posicionamiento del propio árbol. Estos errores pueden ser clasificados de forma semejante a los errores indicados para la variable diámetro.

### 5.5.1 Corrección de la declividad

Conforme fue demostrado se necesita conocer la distancia horizontal y no la distancia inclinada para que la altura sea determinada correctamente. Considerando el caso de terrenos en declive la distancia del observador al árbol será la distancia inclinada y no la reducida lo que ocasionará error en el cálculo de la altura. Para solucionar esa situación el operador dispone de la posibilidad de determinar la distancia inclinada que corresponda a la distancia reducida para la cual se desea hacer la medición de altura. Por ejemplo, supóngase que el operador desee medir la altura del árbol en la escala de 20 metros del instrumento. Por tanto el debería estar a una distancia reducida de 20 metros del árbol. Midiendo la declividad del terreno y determinando el ángulo de inclinación se puede determinar la distancia inclinada correspondiente a la distancia reducida de 20m. Para eso se debe utilizar la siguiente relación trigonométrica:

$$\cos(\alpha) = DR/DI \quad \Rightarrow \quad DI = DR/\cos(\alpha)$$

donde  $\alpha$  = ángulo corresponde a la declividad del terreno;  
DI = distancia inclinada;  
DR = distancia reducida.

Suponiendo una distancia reducida de 20m y un ángulo  $\alpha = 15^\circ$ , se tendrá:

$$DI = 20/\cos(15) \quad \Rightarrow \quad DI = 20,71 \text{ m}$$

o sea, para que la lectura sea efectuada correctamente el operador debe situarse a una distancia inclinada (DI) igual a 20,71 metros del árbol.

Otra forma de corregir el efecto de la declividad, conforme citado por Campos (1983), es a través de la siguiente relación:

$$H_c = H_l - (H_l \times \text{factor})$$

donde  $H_c$  = altura corregida;  
 $H_l$  = altura obtenida por el hipsómetro;  
factor =  $\text{sen}^2$  del ángulo de inclinación del terreno.

## 5.6 Estructura vertical del bosque

Entre las razones por las cuales se obtiene alturas medias para el rodal, las siguientes pueden ser citadas:

- a) clasificación del sitio del rodal;
- b) cálculo del volumen;
- c) determinación de la producción;
- d) investigación dendro y dasométrica.

Efectuando trabajos dasométricos en procedimientos silviculturales y de ordenación/manejo forestal en bosques ordenados, se debe determinar con exclusividad la altura comercial del tronco y en ese sentido se hace necesario identificar las clases de calidad de la variable altura comercial.

En términos generales los troncos son clasificados en cuatro clases de calidad de la altura comercial, como se muestra en la Figura 60. Se observa que existe un elevado porcentual considerado como desperdicio aparente cuándo se efectúa el proceso de corte y explotación comercial. Para las finalidades de la ordenación forestal las alturas deben ser interpretadas en su valor central, y en ese sentido la literatura registra las siguientes alturas medias.

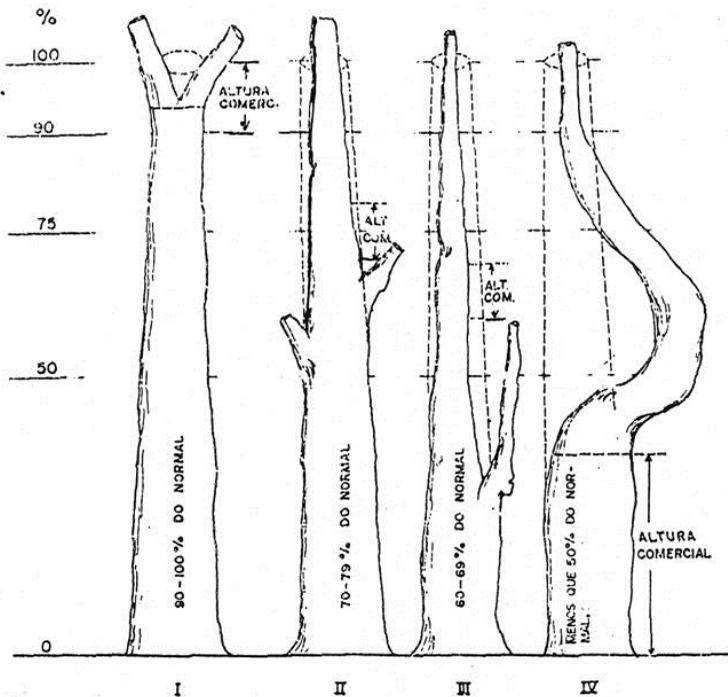


Figura 60. Clases de calidad de la altura comercial

### **Altura Media Aritmética ( $\bar{h}$ )**

Es la altura media aritmética de todos los árboles del rodal

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} \Rightarrow \bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

De las alturas medias en la práctica dasométrica, aquella que presente el menor valor de una serie de parcelas observadas será normalmente utilizada para el cálculo del volumen del rodal. También es usada para finalidades de la estadística biológica, y en rodales jóvenes.

### **Altura media de Lorey ( $h_L$ )**

Creada en 1878, es calculada a través de la fórmula:

$$h_L = \frac{(g_1 h_1) + (g_2 h_2) + \dots + (g_n h_n)}{g_1 + g_2 + \dots + g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

donde :  $h_i$  = altura del árbol  $i$ ;  
 $g_i$  = área basal del árbol  $i$ .

Para datos agrupados en clases de altura o de diámetro, se tiene:

$$h_L = \frac{(f_1 g_1 h_1) + (f_2 g_2 h_2) + \dots + (f_n g_n h_n)}{f_1 g_1 + f_2 g_2 + \dots + f_n g_n} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i g_i h_i}{\sum_{i=1}^n f_i g_i}$$

donde:  $f_i$  = número de árboles por clase de diámetro;  
 $g_i$  = área basal del centro de la clase;  
 $h_i$  = altura media de la clase;  
 $i$  = número de clases.

La altura de Lorey es la altura media ponderada con las áreas basales de las clases correspondientes.

### **Altura Dominante**

Corresponde a la altura media de los árboles más altos del rodal.

Sus características son:

- independiente de la densidad;
- fácilmente identificada en el rodal;
- presenta fuerte significado biológico,
- representa el rodal en toda su vida;
- no es representativa para rodales multiáneos (debido a la edad).

### ***Altura Dominante de Assmann ( $h_{100}$ )***

Corresponde a la altura media aritmética de los 100 árboles de mayor diámetro por hectárea. Es utilizada para determinar la capacidad del sitio. Se puede utilizar la relación hipsométrica para obtener la altura dominante.

### ***Altura Dominante de Weise ( $h_0$ )***

Es definida como la altura de área basal media correspondiente al 20% de los árboles de mayor diámetro del rodal. Puede también ser determinada en una lista ordenada de DAP's como la altura media de los árboles correspondientes al 8% del número total de árboles a partir del árbol más grueso (mayor DAP).

## **5.6.1 Clases de altura de la regeneración natural**

Los individuos jóvenes de un rodal forman la estructura de la regeneración o sucesión natural en un proceso biológico de equilibrio natural. Normalmente la regeneración natural está compuesta por algunas centenas hasta millares de individuos distribuidos en áreas relativamente pequeñas.

Esos individuos, para fines de la mensuración forestal, son clasificados en clases de altura, normalmente en intervalos de 50 centímetros, así se tendrá la clase A de 0 – 0,50 cm de altura, clase B de 50 cm a 1 m de altura y así sucesivamente hasta la clase con altura superior a 2 m incluyendo un DAP inferior a 5 cm.

En los trabajos dasométricos los individuos de esos intervalos serán medidos por reglas cuya escala estará identificada en clases de altura cuyos intervalos normalmente estarán pintados por colores fuertes para mejor visualizar la clase correspondiente.

## **5.7 Prueba de numeración angular vertical**

El investigador japonés Dr. Hirata presentó en 1955 el procedimiento de selección de árboles por su altura. A partir de un punto fijo en el rodal siguiendo la descripción metodológica de la parcela de área variable o parcela de Bitterlich (Prodan *et al* 1997).

Ese procedimiento es conocido en la literatura como “altura de Hirata”. El autor utiliza un ángulo fijo en posición vertical y en ese sentido son seleccionados los árboles que ingresan en la parcela.

Esta metodología fue alterada por Strand en 1957 aplicando el ángulo vertical desde una línea de muestreo. La literatura registra trabajos desarrollados en estas metodologías apenas en nivel de investigación, no existiendo aún experiencias de uso en grandes áreas.

## 6. RELACIONES HIPSOMÉTRICAS

Los árboles presentan características intrínsecas de crecimiento y de relación dasométrica entre las diversas variables dentro dasométricas. La variable altura reacciona sensiblemente a la luz y en consecuencia a los métodos silviculturales y de ordenación forestal. La relación matemática entre las variables dasométricas altura y diámetro de un árbol se la denominada de relación hipsométrica. La determinación de la altura de un árbol en función de su DAP, en varias circunstancias será la única posibilidad de poder definir la correspondiente estructura vertical del rodal.

A partir de una muestra de datos combinados de diámetro y altura es posible establecer una relación matemática que permita estimar las alturas restantes de la muestra y en consecuencia de la población, proporcionando una grande ganancia práctica en la realización de inventarios y levantamientos forestales. En poblaciones con árboles de grande tamaño la variable altura es difícil de ser mensurada, elevando en demasía el tiempo y el costo de la colecta de los datos del inventario pudiendo también aumentar el margen del error en la colecta de esa información.

La determinación de las alturas de los árboles por medio de instrumentos puede ser una operación onerosa y sujeta a cometer diversos errores. De ese modo es común en levantamientos dasométricos medir la altura de apenas algunos árboles localizados en parcelas de muestreo y con ellos usar una relación hipsométrica, estimando la altura de los demás árboles.

En consecuencia, con las alturas estimadas de algunos árboles juntamente con sus respectivos diámetros es posible utilizar ecuaciones de volumen y de ese modo estimar el volumen de cada árbol y consecuentemente el volumen total maderable de la parcela y del rodal. La literatura registra una serie bastante compleja de modelos matemáticos para interpretar la relación hipsométrica. Dependiendo de la especie y del sitio será escogida la ecuación matemática más apropiada. Entre los modelos más utilizados están los siguientes:

$H = b_0 + b_1 / D^2 + \varepsilon$	Assman, 1952
$H = b_0 + b_1 \cdot \log D + \varepsilon$	Herincksen, 1950
$\log H = b_0 + b_1 \cdot \log D + \varepsilon$	Stofells, 1953
$\log H = b_0 + b_1 / D + \varepsilon$	Curtis, 1967
$\ln H = b_0 + b_1 / D^2 + \varepsilon$	
$H = b_0 + b_1 / D + \varepsilon$	
$H = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + \varepsilon$	

Para ilustrar la aplicación de relaciones hipsométricas, se muestra el siguiente ejemplo: en un rodal de *Eucalyptus grandis* fue realizado un inventario donde fueron medidas ocho parcelas de muestreo. En cada una de las parcelas, fueron medidas las alturas de los diez primeros árboles y sus respectivos diámetros a la altura del pecho (DAP). Los respectivos datos de campo están presentados en el Cuadro 5. Para los demás árboles existentes en la parcela fueron medidos apenas el correspondiente DAP. En ese sentido fue necesario determinar la relación hipsométrica para estimar las alturas de los árboles que no tuvieron sus alturas medidas.

Es importante resaltar que el uso de la relación hipsométrica coloca el inventario forestal más operacional y con menor costo. El número de árboles de muestreo para definir la relación hipsométrica depende de una serie de factores, como el total de parcelas de muestreo, la homogeneidad del rodal, la edad, el sitio, etc. Estos factores podrán afectar diferentemente la relación hipsométrica pudiendo exigir más o menos árboles de muestra. En términos medios no se debe efectuar relaciones hipsométricas con menos de 60 árboles medidos y la literatura registra que en muchos trabajos la seguridad estadística de esas relaciones hipsométricas está con la medida en aproximadamente 100 árboles.

**Cuadro 5. Datos de DAP y altura de 80 árboles para la obtención de la relación hipsométrica**

Diámetro (cm)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Altura (m)	Diámetro (cm)	Altura (m)
6.68	9.00	13.37	14.00	10.82	14.00
8.28	10.00	10.50	11.00	17.19	17.00
13.37	13.00	6.68	8.00	15.28	18.00
8.91	10.00	8.28	11.00	9.55	15.00
9.23	12.00	11.46	14.00	11.14	14.00
9.55	12.00	11.14	13.00	10.50	17.00
5.73	8.00	12.41	14.00	13.69	16.00
9.23	10.00	10.50	14.00	6.05	11.00
5.09	8.00	13.05	15.00	8.59	13.00
10.82	11.00	9.87	12.00	17.19	17.00
6.37	7.00	6.68	9.00	11.78	15.50
6.05	8.00	12.73	15.00	10.82	14.00
12.41	12.00	15.60	16.00	11.14	15.00
8.28	10.00	11.46	14.00	14.01	16.50
12.41	14.00	7.32	11.00	13.37	14.50
8.59	13.00	9.55	13.00	11.14	13.50
8.59	14.00	17.19	18.00	7.64	10.50
7.00	10.00	5.09	8.00	15.28	17.00
12.10	15.00	5.09	9.00	13.05	15.00
7.00	13.00	22.60	18.00	14.32	16.00
7.00	11.00	10.19	12.00	6.05	9.00
10.82	13.00	5.41	7.00	8.28	12.00
10.50	13.00	14.64	17.00	17.51	21.50
11.14	14.00	11.46	14.00	14.32	21.50
9.23	11.00	11.14	13.00	14.96	17.00
9.87	12.00	14.64	16.00	20.69	20.00
10.50	13.00	7.00	9.00		

Para la solución del problema propuesto en el ejemplo, se tomó los pares de datos de diámetro y altura presentados en el cuadro 5, y se ajustó a la siguiente ecuación de regresión:

$$\hat{h} = 1,102202 + 1,442235^{**} DAP - 0,027303^{**} DAP^2$$

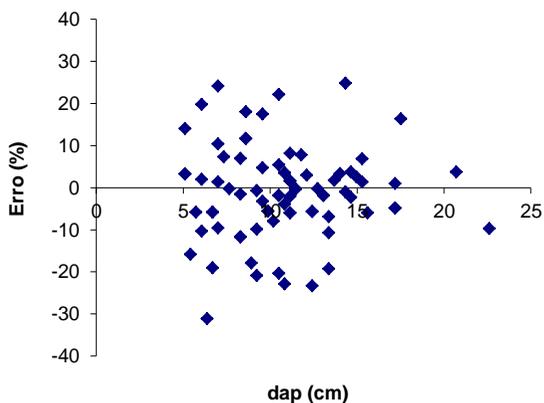
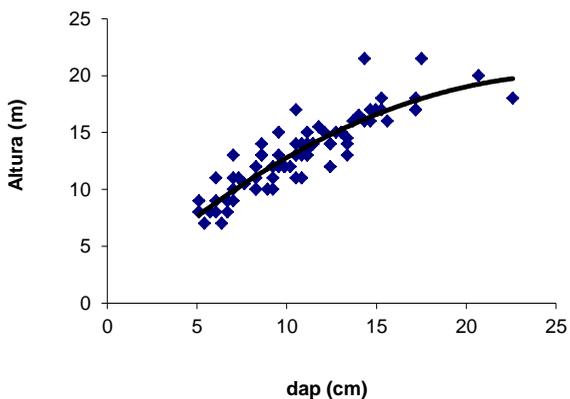
$$R^2 = 79,85; \quad s_{y.x} = \pm 1,55 \text{ m} \quad \text{e} \quad CV = \pm 11,00 \%$$

\*\* significativo a nivel de 5 % de la probabilidad por el teste t,

donde:  $\hat{h}$  = altura estimada, en metros;  
 $DAP$  = diámetro a altura del pecho, en cm;  
 $R^2$  = coeficiente de determinación;  
 $S_{y,x}$  = error padrón residual;  
 $CV$  = coeficiente de variación.

La ecuación ajustada describe consecuentemente las variaciones de la altura en función del diámetro. De acuerdo con los valores de  $s_{y,x}$  y  $CV$ , se puede observar que las estimativas de altura obtenidas por la ecuación propuesta erran del valor real verdadero, en media,  $\pm 1,55$  m o  $\pm 14,55$  %, respectivamente, y que aproximadamente 79 % de las variaciones ocurridas en la variable altura son explicadas por la variable diámetro. La Figura 61 muestra la curva estimada de la altura de los árboles y los puntos observados, revelando la tendencia de la variación de la altura en función del diámetro. También muestra la distribución de los errores en relación al DAP pudiendo observarse la ausencia de tendencias en la obtención de estimativas de altura, lo que es deseable.

El análisis de la precisión de las estimativas obtenidas por la relación hipsométrica es muy importante para la realización de inventarios forestales. El modelo utilizado en el ejemplo presentó una buena precisión para las relaciones hipsométricas del rodal de *Eucalyptus* estudiado. Evidente que podrán existir otros modelos que deben ser testados procurando estimativas más precisas.



**Figura 61- Curva ajustada de los datos de DAP y altura, y la correspondiente distribución de los residuos en porcentaje para la relación hipsométrica representada por la ecuación.**

Por la ecuación ajustada, ésta podrá ser utilizada para estimar las alturas de los demás árboles de la parcela que no tuvieron sus alturas medidas.

## **6.1 - Factores que afectan la relación hipsométrica**

Existen varios factores que afectan directamente la relación hipsométrica. Estos factores fueron estudiados por mucho tiempo y fueron tratados en diversas literaturas, entre las cuales se pueden citar Loetsch *et al.* (1973), Prodan (1965). A seguir se presentan los principales factores y la manera como ellos afectan la relación hipsométrica.

### **Edad**

En edades más jóvenes el crecimiento en altura de los árboles es más acentuado, lo que no ocurre cuando los árboles están en la fase adulta. En ese contexto no es difícil percibir la influencia de la edad en las relaciones hipsométricas, o sea, en árboles más jóvenes se espera curvas más acentuadas ocurriendo lo contrario para relaciones hipsométricas en árboles adultas. La influencia de la edad no debe ser despreciada al utilizar relaciones hipsométricas. En bosques de rápido crecimiento, para los inventarios sucesivos, no se debe utilizar la misma relación, más si rehacerla a partir de nuevos datos. A medida que la edad aumenta y los árboles llegan a la fase adulta las diferencias entre las curvas tienden a disminuir gradualmente. Una vez que el árbol alcanza su clímax tanto el crecimiento en diámetro cuanto en altura serán reducidos haciendo con que los cambios en la relación hipsométrica sean pequeñas.

### **Sitio**

Así como la edad el sitio también influencia las relaciones de crecimiento, o sea, en locales más productivos la inclinación de la curva  $h/d$  es más acentuada de que en locales menos productivos. Los rodales jóvenes en sitios buenos muestran una curva de altura muy acentuada, en cuánto que en situación contraria las curvas son más achatadas.

### **Posición Sociológica**

También la posición sociológica es un factor que determina diversos y diferentes ritmos de crecimiento en altura. Esa diferenciación en bosques equianeos comienza cuando el rodal

alcanza el punto de entrelazamiento de copas y aumenta con el desarrollo de los árboles (aumento de la competición). De este modo cuando el bosque tiene sus estratos sociológicos bien definidos los árboles pertenecientes al estrato dominante tienden a presentar un menor ritmo de crecimiento en relación a los demás árboles (Finger, 1992). En razón de eso, para árboles dominantes se espera una relación  $h/d$  menor que para árboles dominados. Es importante recordar que la altura es poco afectada por el espaciamiento para árboles dominantes, lo que no ocurre con los árboles dominados, ya que para estos árboles la influencia del espaciamiento en el desarrollo de la altura es bastante acentuada. Por otro lado la variable diámetro, independientemente del estrato es bastante afectada por el espaciamiento. Así para una condición de mayor competición la razón  $h/d$  tiende a ser mayor que cuando la concurrencia es más baja.

## 7. CITACIONES BIBLIOGRÁFICAS

- BITTERLICH, W. The realascope idea, relative measurements in forestry. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1984. 242p.
- BITTERLICH, W. Relascopio de espejo. Trad. José Imaña Encinas. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1994. 21p. (Colección Textos Universitários)
- BRUCE, D.; SCHUMACHER, F.X. Forest mensuration. 3ed. New York: McGraw-Hill, 1950. 483p.
- CAMPOS, J.C.Ch. Dendrometria, I parte. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Escola Superior de Bosques, 1983. 43p.
- CHAPMAN, H.H.; MEYER, W.H. Forest mensuration. New York: McGraw-Hill, 1949. 522p.
- COUTO, H.T.Z. do; FERRARI, M.P. O hipsômetro do IPEF/CEF-ESALQ. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestales, São Paulo, 1979. 5p. (Circular Técnica, 53)
- FERREIRA de SOUZA, P. Terminologia florestal, glossário de termos e expressões florestales. Guanabara: 1973. 304p.
- FINGER, C.A.G. Fundamentos de biometria florestal. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Pesquisas Florestales, 1992. 269p.
- GOMES, A.M.de A. Medición dos arvoredos. Lisboa: Sá da Costa, 1957. 413p.
- IMAÑA-ENCINAS, J. Medición del DAP en terrenos inclinados. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.27, n.8, p.1113-1116. 1992
- IMAÑA-ENCINAS, J. Dasometria práctica. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1998. 117p (colección Textos Universitários)
- IMAÑA-ENCINAS, J. Mediciones de crescimento com o Dial-Dendro. Silvicultura, v.15, n.55, p.22-23. 1994

- LOETSCH, F.; HALLER, K.E. Forest inventory. v.1. statistics of forest inventory and information from aerial photographs. München (Alemania): BLV, 1973. 436p.
- MACKAY, E. Dasometria, teoria y técnicas de las mediciones forestales. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, 1964. 759p.
- MALLEUX, J. Estratificación forestal com uso de fotografías aéreas. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Departamento de Manejo Forestal, 1971. 82p.
- MULLER, A.C. Dendrometria prática. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Curso de Engenharia Florestal, 1972. 25p.
- PRODAN, M. Holzmesslehre. Frankfurt a.M. (Alemania): Sauerlaender's Verlag, 1965. 644p.
- PRODAN, M.; PETERS, R.; COX, F.; REAL, P. Mensura forestal. San José (Costa Rica): IICA/GTZ, 1997. 586p.
- SILVA, J.A.A.da; PAULA NETO, F. de. Princípios de dendrometria. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Curso de Engenharia Florestal, 1979. 185p.
- VEIGA, A.de A. Curso de atualização florestal. 3ed. Son Paulo, Instituto Florestal, 1976. 341p. (Publicación I.F., 8)
- YOUNG, H.E.; TRYON, Th.C. A national forest biomass inventory. Burarest (Rumania): IUFRO Proceedings, 1978

# Índice

	Página
Altura	79
Altura dominante	99
Altura media aritmética	98
Altura media de Lorey	99
Apariencia de árboles	33
Área basal	63
Área de laminado	77
Árbol dendrométrico	31
Barra de Bitterlich	64
Brinjal	31
Brújula geodésica	27
Brújula Suunto	28
CAP	37
Cinta diamétrica	43
Cinta métrica	17,42
Círculos de superposición	60
Clases diamétricas	53
Clinómetro Abney	24,94
Clinómetro Suunto	90
Componentes del árbol	34
DAP	37
DAP en terrenos inclinados	40
Dasometría	01,02
Decámetros	19
Declividad	25,96
Dendrometría	01,03
Dial-Dendro	55
Diámetro de la copa	58
Diámetros convencionales	41
Distancias	13
Distribución espacial	29
Errores de medición	11,95
Escala de relación	09
Escala de intervalos	09
Escala nominal	07
Escala ordinal	07
Exactitud	12
Factores de conversión	05
Fito tensiómetro	57
Forcípula	44

Forcípula de tarifa de Bitterlich	49
Forcípula finlandesa	50
Forma de diámetro	38
Formas del árbol	32
Fustal	31
Gon	27
Hipsómetro Blume Leiss	89
Hipsómetro de Christen	85
Hipsómetro de Merrit	84
Hipsómetro de Weise	90
Hipsómetro Haga	88
Latizal	31
Martillo medidor de corteza	41
Medidor del diámetro de la copa	61,62
Medidor de distancia ultra-sonido	22
Medidores de corteza	41
Método de la vara	83
Método de los pasos	17
Método de las sombras	81
Método de superposición de ángulos	82
Método de los pasos	17
Micro dendrómetro	56
Odómetro	19
Parcela de área variable	66,70
Pentaprisma	26
Pentaprisma de Wheeler	52
Planímetro	77
Precisión	12
Principio de Bitterlich	64
Prisma basimétrico	74
Punto de medida del DAP	39
Puntos cardinales	27
Puntos de medición de altura	80
Regla Biltmore	46
Reglas madereras	57
Relaciones geométricas	23
Relaciones hipsométricas	102
Relaciones trigonométricas	16,23,86
Relascópio de Bitterlich	50,73,93
Rosa de los vientos	27
Rueda métrica	19
Silvimetria	01
Sistema de medidas	03

Telémetros	19
Telémetro Blume Leiss	21
Telémetro Haga	21
Telémetro Wild	20
Teodolito	95
Trinchete diamétrico	54
Tuvo basimétrico de Panamá	74
Utilización del árbol	35
Unidades de medida	04