

Slides de Acompañamiento de la Cátedra Dendrometría

José Imaña Encinas

2011



José Imaña Encinas, PhD.

Profesor Titular - Universidad de Brasilia
área Mensuración Forestal



FICHA CATALOGRÁFICA

Imaña Encinas, José

I31 Slides de acompañamiento de la cátedra dendrometria / José Imaña Encinas. – Brasilia : Universidade de Brasilia, Departamento de Engenharia Florestal, 2011.

472 slides. : il.

ISBN 978-85-87599-35-3

1. Ciencias forestales. 2. Variables dasométricas. 3. Mensura forestal. 4. Silvimetria. I. Título.

CDU – 634.0.5



Copyright © 2011 by José Imaña Encinas
Universidade de Brasília – 2011
1ª edición: 2011

Parte de esta obra podrá ser reproducida desde que
fuese citada correspondientemente



Prólogo

p.1

La literatura informa que en 1763 fue creada en Wernigerode – Ilseburg im Harz (Alemania) la primera escuela técnica de operarios forestales. Sin embargo el comienzo formal de la enseñanza forestal se establece en 1787, cuando en la Universidad de Freiburg (Alemania) se organiza un curso para la formación forestal para tratar secuencialmente por la primera vez asuntos estrictamente vinculados a los bosques. Mas es en 1816 en la ciudad de Tharandt (próxima a la ciudad de Dresden) y en 1830 en Eberswalde (ciudad próxima a Berlín) ambas en Alemania que son creadas las primeras “academias forestales” a nivel universitario.

Esas academias quedaron con la responsabilidad de formar administradores forestales para que administren los bosques localizados en Prusia, en el norte y en el sur da Alemania. No existen registros bibliográficos que antes de esas academias hubiesen sido creados cursos e instituciones parecidas en un otro país. Consecuentemente el comienzo formal y organizado de la enseñanza forestal se remonta a los locales y fechas indicadas.

Las mayores preocupaciones de entonces consistían en la administración de áreas con bosques principalmente para mantener refugios de caza para la nobleza de la época y determinar cuantitativamente el número de animales salvajes, los productos como leña y frutos silvestres que la sociedad extraía de ellos. Prioritariamente se pretendía establecer la cantidad de animales que podrían ser abatidos anualmente. Una otra preocupación era la recaudación de tributos e impuestos por los productos forestales extraídos del bosque. En ese sentido la Ciencia de la Ingeniería Forestal nasce junto con la Mensura Forestal. Se puede afirmar categóricamente que la filosofía de la mensura forestal se remonta a los primordios de la civilización y es tan antigua cuanto la filosofía y la propia medicina.



Se pasa un período bastante extenso hasta que los países en desarrollo visualicen la necesidad de crear y mantener instituciones de enseñanza forestal profesional. Específicamente en el Brasil la enseñanza regular de la silvicultura tuvo inicio en 1942 cuando se reglamenta la especialidad de Agrónomo - Silvicultor. Sin embargo la actual enseñanza ortodoxa de la Ingeniería Forestal conmemoró en 2010 el jubileo de sus 50 años. No en tanto antes de 1960 no significa que se haya tenido descuidado sus asuntos estrictamente forestales. Así como en el Brasil siempre existieron en toda América Latina profesionales destacados y dedicados a los asuntos forestales que permitieron la estructuración de la profesión independiente y la creación formal de cursos de Ingeniería Forestal. América Latina cuenta hoy en día con más de 160 instituciones de enseñanza forestal universitaria.

Con la creación de los cursos de graduación en ingeniería forestal y posteriormente con los programas de post-grado en Ciencias Forestales la mensura forestal continua a mantenerse como firme fundamento para el desarrollo del sector. Hoy y en el futuro no es y no será posible efectuar cualquier decisión que fuese en el área de la ordenación y administración forestal, tanto en bosques nativos como en plantaciones y en todos los procesos de la industrialización forestal que no consideren los conceptos y principios de la mensura forestal.

En un otro sentido, actualmente en América Latina viven más de 577 millones de habitantes enfrentando un desleal desafío de sobrevivencia completamente incierta. Para las próximas décadas el continente contará con más de 620 millones de personas de los cuales entre 270 y 280 millones en edades entre 20 y 40 años serán activos y exigentes consumidores de productos y sub productos primarios y secundarios de origen forestal. Situación que inevitablemente determinará la readecuación de los recursos naturales renovables, entre ellos los bosques nativos y plantaciones industriales. Frente a esas realidades es preciso que la academia tome conciencia, entienda y comprenda la naturaleza de esas transformaciones y tengan condiciones de captar ahora posibles resultados que no podrán llegar por si solos.



Prólogo

p.3

Como profesionales actuantes en el sector forestal no debemos quedar como meros espectadores ajenos a los constantes procesos de transformaciones sociales, políticas, económicas, etc., y de aquellos inherentes de los propios recursos forestales. Precisamos participar activamente de esas bruscas modificaciones que ya llegaron y aún otras vendrán, no solo por nuestro propio crecimiento profesional como también por el papel de ciudadanos y de nuestra propia sobrevivencia.

En esos conceptos la ordenación y manejo adecuado y sostenido de los recursos forestales deberá ser cada vez más cobrado por las sociedades civiles. La mensura forestal que considera entre otros aspectos la determinación volumétrica de la madera continuará siendo importante elemento de decisión influenciando directamente en el manejo y administración de los recursos forestales. Se torna así imprescindible que la enseñanza de la mensura forestal, específicamente la Dendrometria considere también las premisas de un correcto, coherente, equilibrado y sostenible manejo de nuestros recursos forestales, tanto primarios como secundarios.

La dendrometria deriva de los vocablos griegos “dendro” significando árbol y “metria” medición. En ese sentido la especialidad tiene como objetivo conocer variables dendrométricas que permitan fundamentalmente la determinación de los volúmenes de madera en un árbol y en natural secuencia de los bosques. Dentro de este contexto se presentan en esta obra una colección de slides con correspondientes conceptos técnicos para que todo Ingeniero Forestal o cualquier otro profesional interesado en la mensura forestal, particularmente en la especialidad de la Dendrometria tenga en manos fundamentos que le permitan aplicar a sus intereses y así colaborar directamente con el desarrollo del sector forestal como un todo.

José Imaña Encinas

(mayo de 2011)



Especial Agradecimiento

A mi esposa

Hilda Orellana de Imaña

(in memoriam Q.E.P.D.)

**por su constante demostración de amor y cariño
y sobre todo por su paciencia y comprensión
cuando dedique horas de trabajo
en la elaboración de este documento
en detrimento al tiempo
que podría haber quedado a su lado**

José Imaña Encinas



Índice de Slides

A

Altura	250, 253
Altura media	293
Anillos de crecimiento	306, 316
Anova de la regresión	429
Área basal	232
Área basal media	234
Área transversal	230
Apariencia de árboles	29, 30
Árbol central	213
Árbol conífera	29
Árbol definición	25
Árbol dendrométrico	25, 36
Árbol latifoliado	30

B

Barra de Bitterlich	238
Barreno de Pressler	313
Bibliografía básica	19
Biomasa leñosa	437
Biomasa del tronco	440
Biomasa de las ramas	441
Bosque de bambús	51

Bosque de coníferas	40
Bosque de latifoliadas	44
Bosque de palmeras	49, 50
Bosque de plantaciones	46, 47
Bosque definición	27
Brinzal	63
Brújula geodésica	152, 155
Brújula Suunto	154

C

Cálculo de regresión	427
Cálculo del volumen	384, 386
Cálculo de los cuadrados mínimos	427
CAP	179
Cilindro de relación	159, 344
Cinta métrica	185
Cinta diamétrica	183
Cintas marcadoras	166
Circunferencia	171, 179
Clases diamétricas	216
Clases de edad	307
Clasificación de bosques	75



	slide		slide
Clasificación silvicultural	76		
Clasificación tablas de volumen	421	DAP	179
Clasificación vegetación arbórea	74	DAP medio	213
Clinómetro de Abney	141	Datos dendrométricos	92
Clinómetro Suunto	142	Definición de dendrometria	56, 64
Coefficiente de correlación	431	Definición de dasometria	66
Coefficiente de forma	363	Definición de bosque	27
Coefficiente de forma normal	365	Determinación de la edad	304
Coefficiente de forma de Girard	364	Densidad del bosque	242
Coefficiente de regresión	428	Desvío padrón	115
Coefficiente mórfico	360	Dial Dendro	218, 321
Componentes del árbol	88	Diámetro de la copa	225
Concepto de distancia	126	Diámetros convencionales	176
Conceptos estadísticos	106	Diámetros no accesibles	178
Cono	353	Diámetros medios dasométricos	214
Conicidad del tronco	343	Diámetro mínimo	180
Coníferas	29	Dinámica estructural dendrométrica	67
Contenido de la disciplina	16	Distancias auxiliares horizontales	127
Conteo de verticilos	304	Distancias auxiliares verticales	128
Correlación con otras disciplinas	68	Distanciómetro	137
Corteza	219	Distribución diamétrica	207, 208
Crecimiento del árbol	303, 322	Distribución normal	115
Crecimiento diametral	217		
Crecimiento en volumen	324		



	slide		slide
Ε		Ϝ	
Ecuación de la parábola	379	Factor de forma	345
Edad del árbol	302	Factor de forma artificial	346
Edad del bosque	307	Factor de forma de Hohenadl	346
Escala de intervalos	101	Factor diamétrico de forma	363
Escala de relación	102	Factor volumétrico de forma	360
Escala nominal	94	Factores de conversión	80
Escala ordinal	98	Fitotensiómetro	321
Epidometría	67	Forcípula	186
Equivalencia en área	81	Forcípula finlandesa	192
Equivalencia en lo largo	80	Forma forestal del árbol	34
Equivalencia en masa	83	Forma natural del árbol	31, 37
Equivalencia en volumen	82	Forma del tronco	295
Error de medición en altura	290	Formas de diámetros	174
Error padrón de la estimativa	432	Formas geométricas	351
Errores	118	Fórmula de la FAO	392
Estadística descriptiva	105	Fórmula de Hohenadl	390
Estereometría	67	Fórmula de Huber	386
Estimación	65	Fórmula de Newton	386
Estructura vertical	294, 297	Fórmula de Smalian	386
Evaluación de la disciplina	20	Fórmula de volumen de Hossfeld	393
Exactitud	119	Fórmula de volumen de Pressler	393
		Fórmulas de volumen	386
		Fórmulas determinación de la edad	316



	slide		slide
G		Instrumentos principio trigonométrico	270, 276
Garfo marcador de árboles	164	Instrumentos para medir circunferencia	182
Gons	156	Instrumentos para medir ángulos	140
GPS	151	Instrumentos para medir corteza	221
		Instrumentos para medir diámetros	186
		Instrumentos para medir distancias	131
H			
Hipsómetro Blume-Leiss	282	J	
Hipsómetro de Christen	272	J-invertido	207
Hipsómetro de Merrit	271		
Hipsómetro de relación	274	L	
Hipsómetro de Weise	283	Lamina marcadora de árboles	164
Hipsómetro Haga	281	Latizal	77
Hipsómetro Suunto	284	Latifoliadas	44
Hipsómetro Vertex	470	Ley de los senos y cosenos	124
J		m	
Incremento anual	329	Madera apilada	406
Incremento corriente anual	329	Marcado de árboles	162
Incremento medio anual	329	Medición de altura	250
Incremento periódico anual	329	Medición de la declividad	149
Incremento volumétrico anual	329	Medición del diámetro por el Relascópio	206
Indicadores históricos	70	Medición directa	121, 177
Instrumentos de última generación	468	Medición en árboles apeados	59
Instrumentos principio geométrico	264	Medición en árboles en pie	58



	slide
Medición en productos del árbol	61
Medición indirecta	121
Mediciones clásicas del Relascópio	445
Medidas auxiliares verticales	263
Método de análisis del tronco	318
Medidas de tendencia central	113
Medidas directas de la variable altura	260
Medidas en grados	288
Medidas en porcentaje	289
Medidas estimadas	177
Medidor alemán de área basal	246
Medidor de distancia ultra-son	139
Medidores de corteza	221
Método de dos varas	267
Método de la sobre posición de ángulos	266
Método de la vara	269
Método de las sombras	265
Métodos determinación de distancias	129
Metros esteréos	406
Micro dendrómetro	321
	
Neiloide	354
Niveles	144

	slide
	
Objetivo de la dendrometria	91
	
Palmeras	14, 36
Paraboloide	355
Parámetro altura	297
Parcela de área variable	239
Parcela de numeración angular	239
Pentaprisma	145
Pentaprisma de Wheeler	200
Perfil estructural	161, 294
Períodos de crecimiento	323
Planificación de la disciplina	17
Planímetro polar	96
Posición del diámetro medio	356
Precisión	119
Predicción del crecimiento	332
Principio de Arquimedes	377
Principio de Bitterlich	205, 236
Principio geométrico	147
Principio trigonométrico	148
Prisma basimétrico	243
Punto de medida del DAP	181
Puntos cardinales	150



R

Ramificación monopodial	303
Ramificación simpodial	303
Raspador de corteza	165
Regla de Biltmore	198
Reglas	131, 261
Relación con la geografía	150
Relaciones hipsométricas	298
Relaciones triángulo rectángulo	124
Relascopia	445
Relascópio de Bitterlich	202, 444
Rosa de los vientos 360°	153
Rosa de los vientos 400 gons	156

S

Seccionamiento del tronco	385, 387
Serie estadística	107
Sinónimos de dendrometria	55
Sistema internacional de medidas	79
Sólido geométrico de relación	171, 231
Sólidos geométricos del tronco	358
Spray marcador de árboles	165

slide

T

Tabla de volumen local	421, 433
Tabla de volumen regional	421, 434
Tablas de volumen	418
Taper	343
Telémetro Haga	135
Telémetro en el Relascópio	136
Telémetro Wild	133
Telerelascópio	467
Teodolito	143
Tipos de altura	253, 257
Tipos de árboles	28
Tipos de erros	117
Transformaciones históricas	71
Triángulo de Leduc	268
Triángulo rectángulo	124
Triángulo obtusángulo	125
Trinchete diamétrico	211
Tubo Panamá de medición angular	245

slide



	slide
U	
Unidades de referencia padrón	84
Unidades de medida	78
Uso de la geometría	124, 275
V	
Variable cualitativa	111
Variable cuantitativa	112
Verticilos	304
Visor diamétrico de Bitterlich	195
Volumen comercial	398, 402
Volumen del árbol	416
Volumen de la corteza	416
Volumen de la madera laminada	414
Volumen del tronco	404
Volumen en pie	393
Volumen apilado	406
X	
Xilómetro	378
Z	
Zonas de crecimiento	309



Dendrometria

(dendro = árbol, metria = medida)

Código da disciplina: 165204

Créditos: 02-02-02

Contenido de la disciplina: Introducción. Unidades de medida. Mediciones: diámetros, alturas, área seccional, factores de forma, cubado riguroso, métodos de estimación de volúmenes. Estimativas: área basal y número de árboles por hectárea. Edad de los árboles y de las plantaciones, métodos de análisis del tronco. Medidas y relaciones entre los elementos dendrométricos. Construcción de tablas de volumen.



Planificación de la disciplina

- Unidad 1:** Definiciones, conceptos y objetivos. Literatura básica. Historia de la dendrometria. Correlaciones con otras disciplinas. Distancias. Unidades de medida. Factores de conversión.
- Unidad 2:** Componentes da árbol. Objetivo de las mediciones. Variables. Funciones. Errores.
- Unidad 3:** DAP y otros diámetros. CAP y otras circunferencias. Estimación y medidas del diámetro y circunferencias. Instrumentos. Errores de medición y cálculos de medias. Distribución diamétrica.
- Unidad 4:** Área basal y otras áreas. Determinación de la densidad. Instrumentos. Principio de Bitterlich.
- Unidad 5:** Alturas, métodos de medición e instrumentos. Correlación hipsométrica. Errores y cálculos de medias.
- Unidad 6:** Edad. Crecimiento e incremento. Instrumentos. Predicción del crecimiento. Análisis del tronco.



Unidad 7: Forma. Factor de forma. Coeficiente de forma. Proceso de cálculo.

Unidad 8: Volumen del árbol, del tronco, de la corteza. Volumen apilado. Instrumentos. Biomasa leñosa. Estimación y medición del volumen. Cubado riguroso. Cubado en pie. Tablas de volumen. Tablas de rendimiento. Correlación de variables dendrométricas. Curvas de tendencia. Ecuaciones de regresión. Cálculo de parámetros dasométricos. Estimación de la biomasa.

Unidad 9: Relascopia. Relascópio de Bitterlich. Telerelascópio.

Unidad 10: Instrumentos de última generación. Investigación dendrométrica.



Bibliografía básica de la disciplina

- João Carlos Chagas Campos. **Dendrometria, parte 1**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Escola Superior de Florestas, 1977. 64p.
- José Antônio Aleixo da Silva; Francisco de Paula Neto. **Princípios básicos de dendrometria**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, Curso de Engenharia Florestal, 1979. 185p.
- César Augusto Guimarães Finger. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Centro Pesq. Florestais, 1992. 269p.
- Michael Prodan; Roland Peters; Fernando Cox; Pedro Real. **Mensura forestal**. San José (Costa Rica): GTZ / IICA, 1997. 586p.
- José Roberto Scolforo. **Biometria florestal: modelagem do crescimento e da produção de florestas plantadas e nativas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 441p.
- José Imaña-Encinas; Gilson Fernandes da Silva; Iuri Tichetti Kishi. **Variáveis dendrométricas**. Brasília: UnB, 2002. 100p.
- José Imaña-Encinas; Gilson Fernandes da Silva; José Roberto Rodrigues Pinto. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: UnB, 2005. 40p.
- Sebastião do Amaral Machado, Afonso Figueiredo Filho. **Dendrometria**. Curitiba: Afonso Figueiredo Filho, 2006. 316p.
- João Carlos Chagas Campos; Hélio Garcia Leite. **Mensuração florestal**. Viçosa: UFV. 2006. 470p.
- Carlos P. Boechat Soares; Francisco de Paula Neto; Agostino Lopes de Souza. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: UFV, 2006. 272p.
- José Imaña-Encinas; Alba Valeria Rezende; Christian Rainier Imaña; Otacílio Antunes Santana. **Contribuição dendrométrica nos levantamentos fitossociológicos**. Brasília: UnB, 2009. 49p.



Evaluación de la disciplina

El estudiante al final de la disciplina deberá estar en condiciones de coleccionar, analizar e interpretar diversas variables y parámetros dendrométricos, comprender la investigación dendrométrica y tener condiciones de efectuar correspondiente transferencia tecnológica de la especialidad de la dendrometría.



Si el alumno después de cursar esta cátedra está en condiciones de **determinar** el volumen de madera de troncos y de árboles en pie así como de troncos y árboles apeados, de pillas de madera y de productos de la madera para el correspondiente procesamiento industrial, la disciplina cumplió con su objetivo



Unidad 1:

Definiciones

Conceptos y objetivos

Historia de la dendrometria

Correlaciones con otras disciplinas

Distancias

Unidades de medida

Factores de conversión



Cual es la definición

de ÁRBOL ?

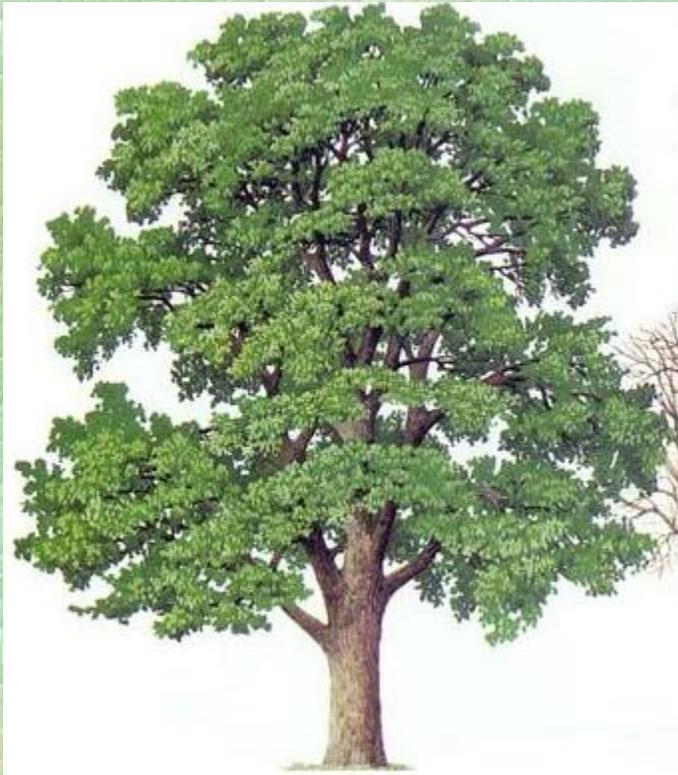
y

de BOSQUE ?

**Cual podrá ser la finalidad
de la Dendrometria?**



Describe lo que es un Árbol





ÁRBOL

En el sentido biológico:

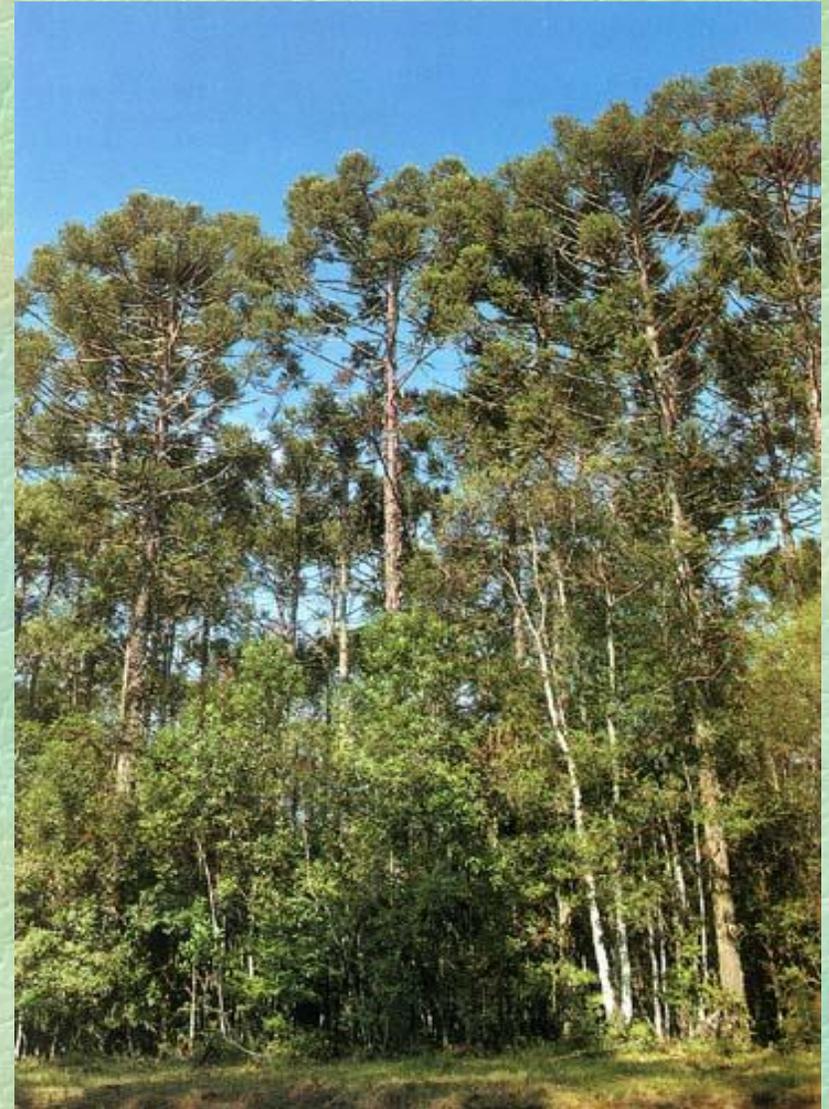
individuo vegetal que posee raíz, tronco y copa

En el sentido dendrométrico:

individuo en el cual es posible medir variables numéricas, denominadas de variables dendrométricas consideradas de interés para la Ingeniería Forestal



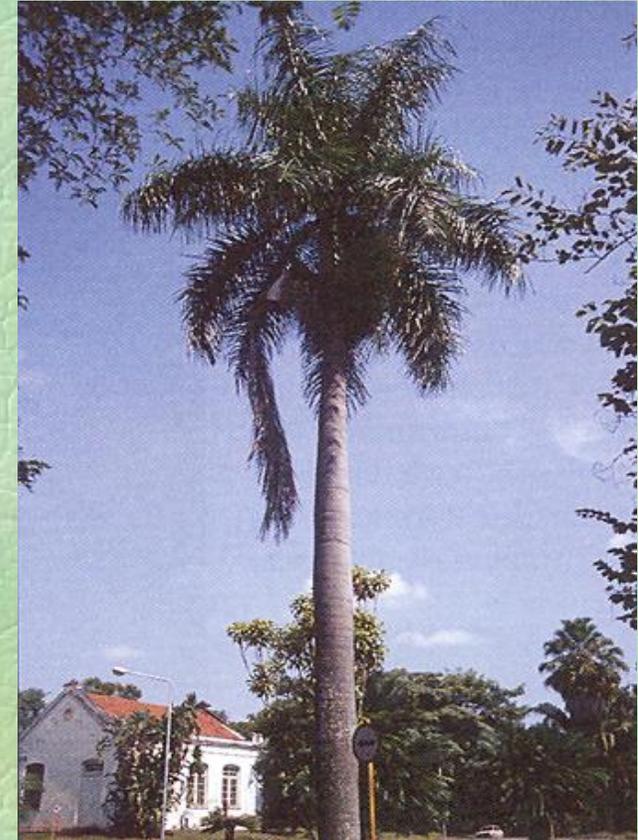
Describe lo que es un Bosque





Definición de Bosque:

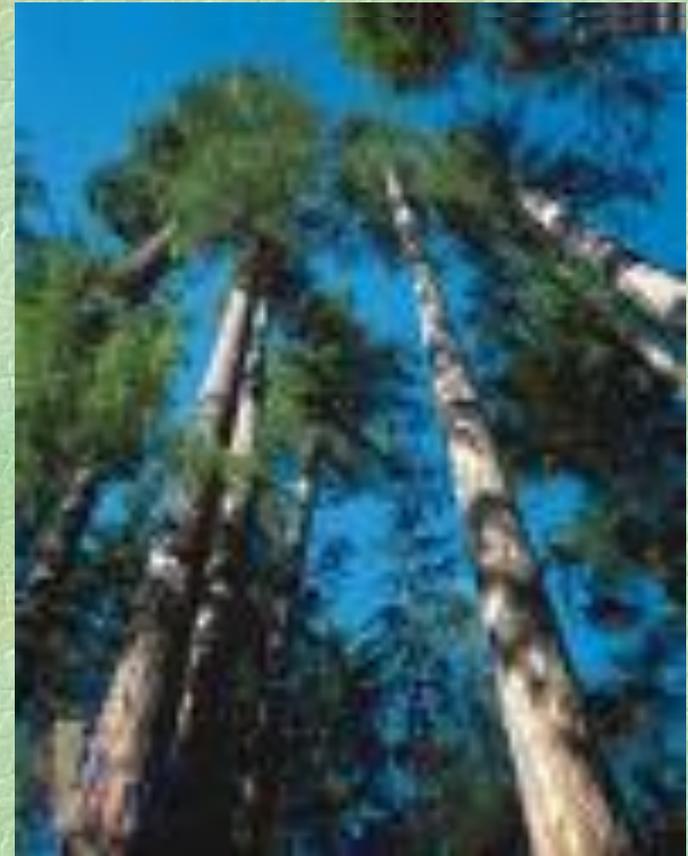
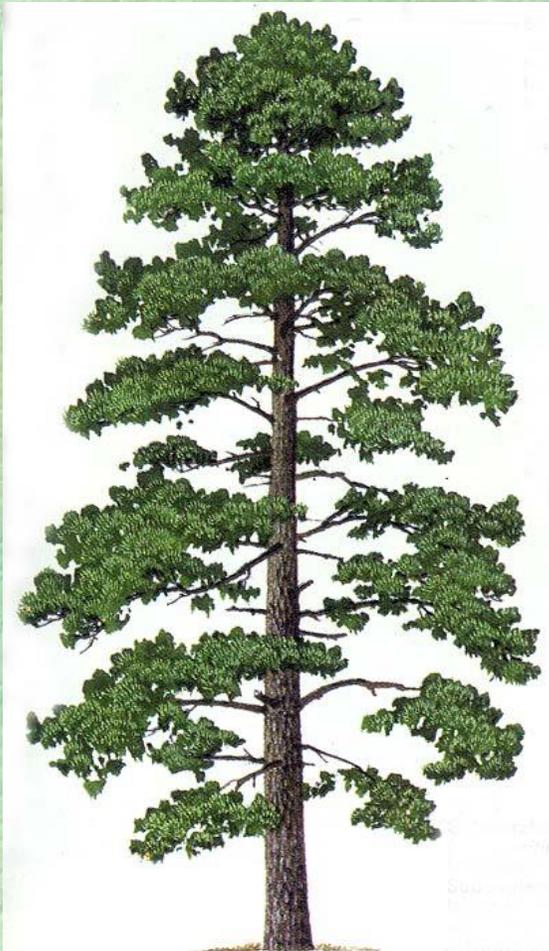
- área de tierra mas o menos extensa, cubierta de vegetación leñosa (conjunto de individuos arbóreos) viviendo en completa sociedad
- asociación arbórea sujeta a normas de administración forestal (planos de manejo sostenido en los principios silviculturales, económicos y sociales)



**Tipos de árboles dendrométricos:
especies: coníferas, latifoliadas, palmeras**

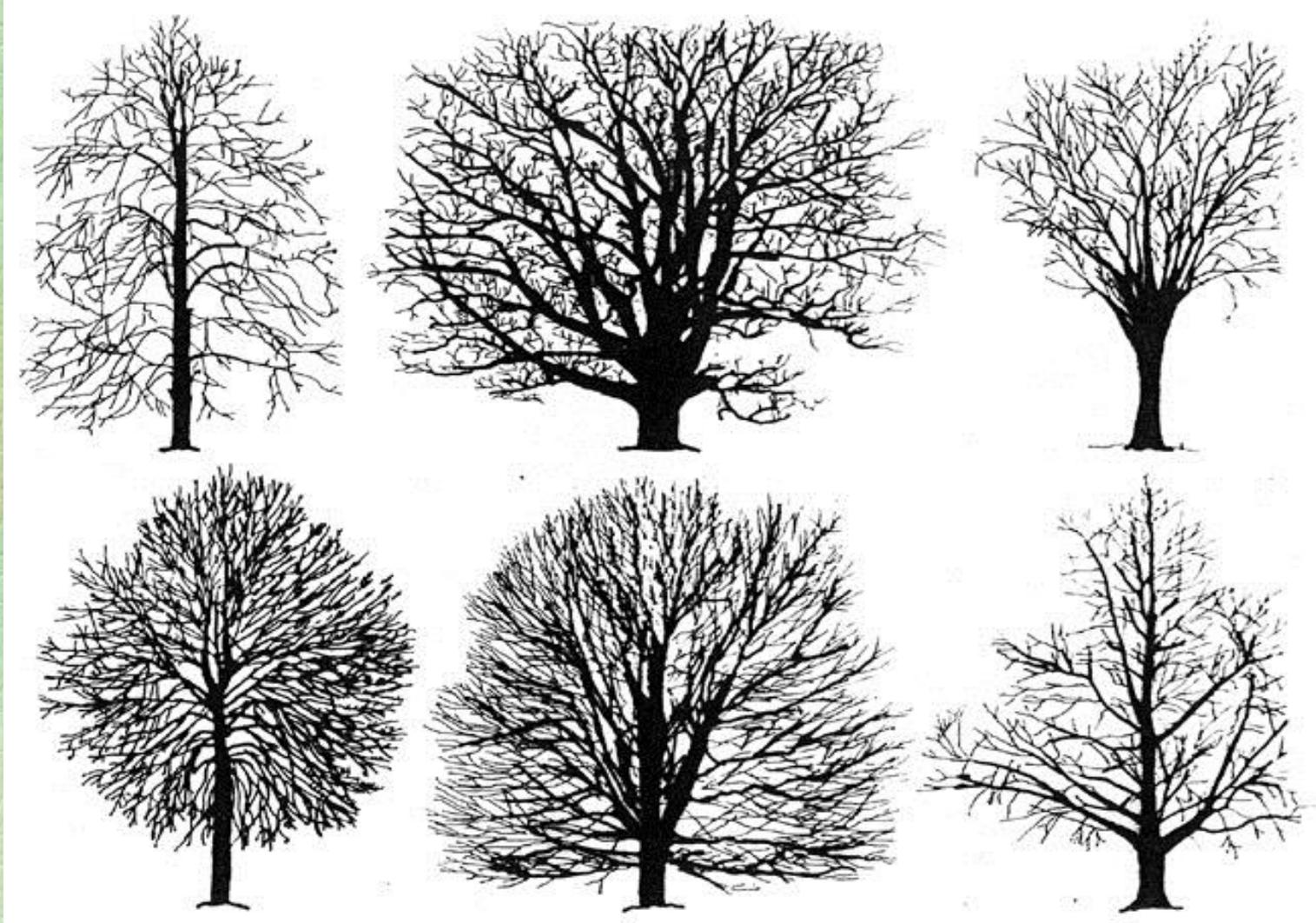


Apariencia de árboles de coníferas



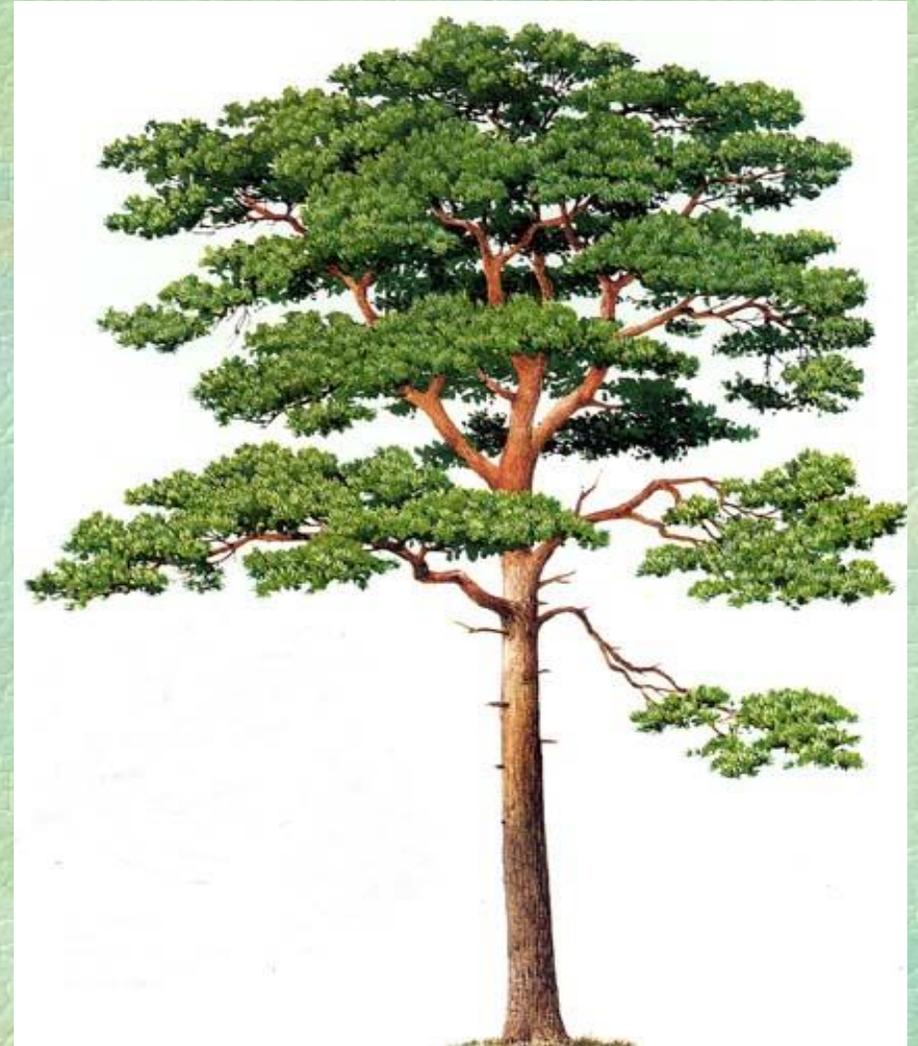


Apariencia de árboles latifoliados





Forma natural espontánea de árboles





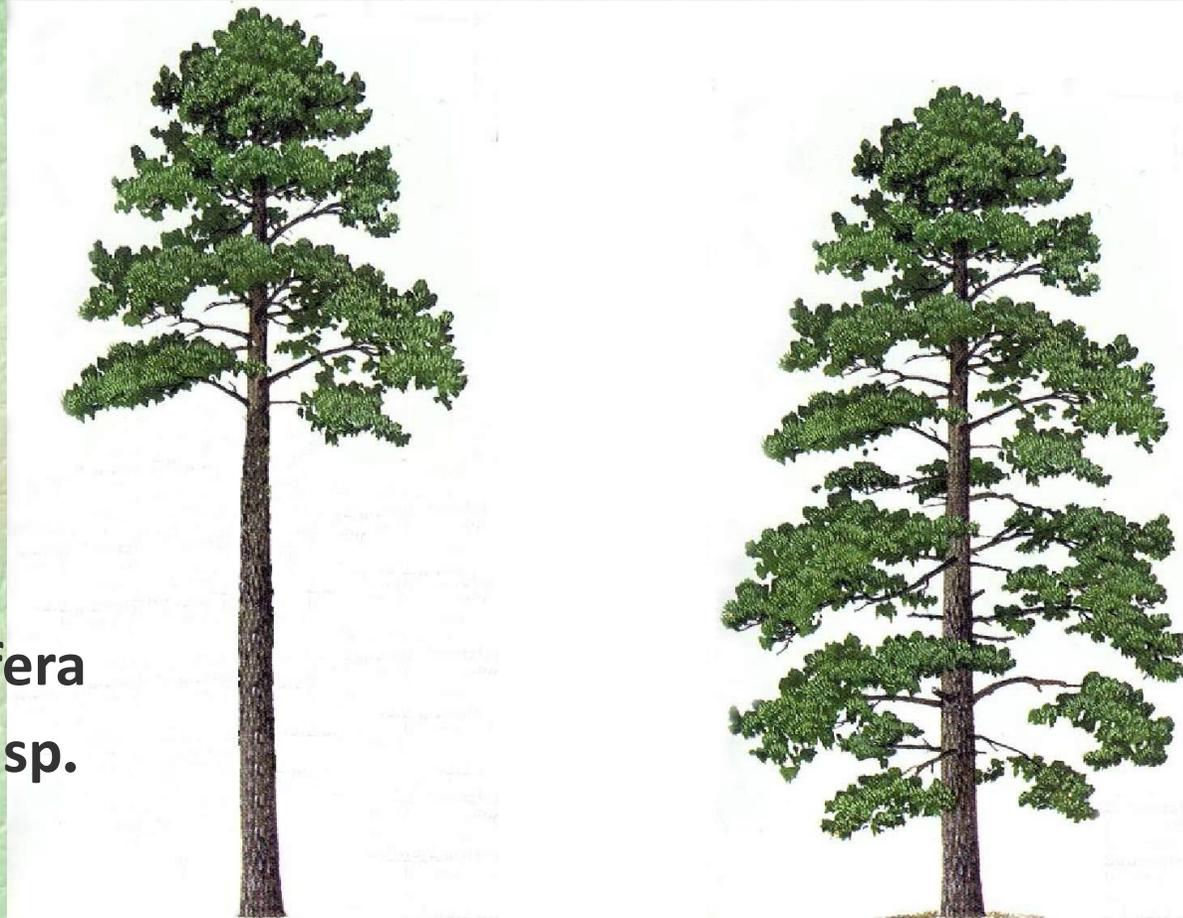
Forma natural de crecimiento de árboles







Forma forestal y natural del árbol



conífera
Pinus sp.



Forma forestal y natural del árbol



latifoliada



Definiciones

Árbol dendrométrico: individuo vegetal que posee diámetro mínimo establecido y tiene una altura mayor a 3 metros

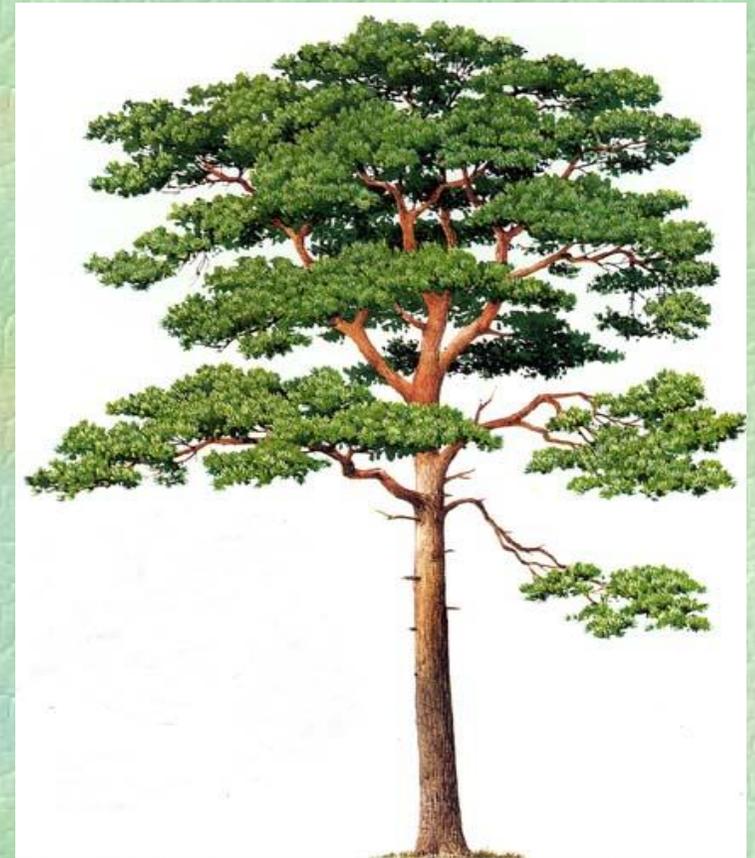
⇒ bosques nativos x plantaciones

⇒ forma forestal del árbol resultante de su desarrollo en función de intervenciones silviculturales



Árbol aislado

ramificación simpodial

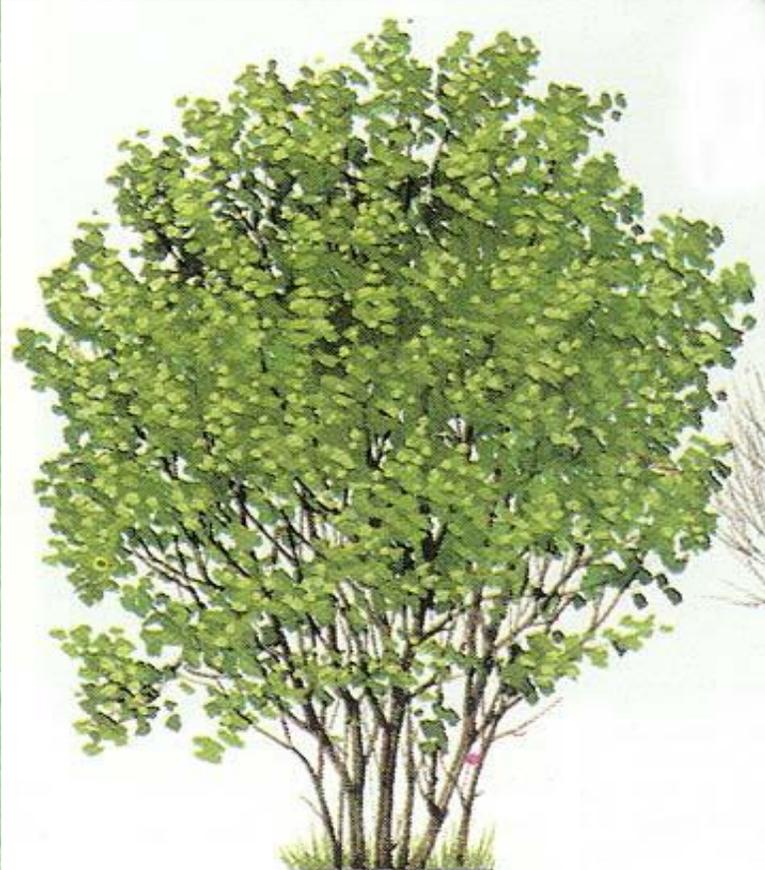


Árbol de forma forestal

ramificación monopodial



Formas forestales **no** deseables





Forma forestal del árbol





Bosque de coníferas

José Imaña Encinas



Bosque de coníferas
José Imaña Encinas





Bosque de Pinus





Bosque de especies latifoliadas



Bosque de latifoliadas
José Imaña Encinas

46



Bosque de latifoliadas - trópico húmedo

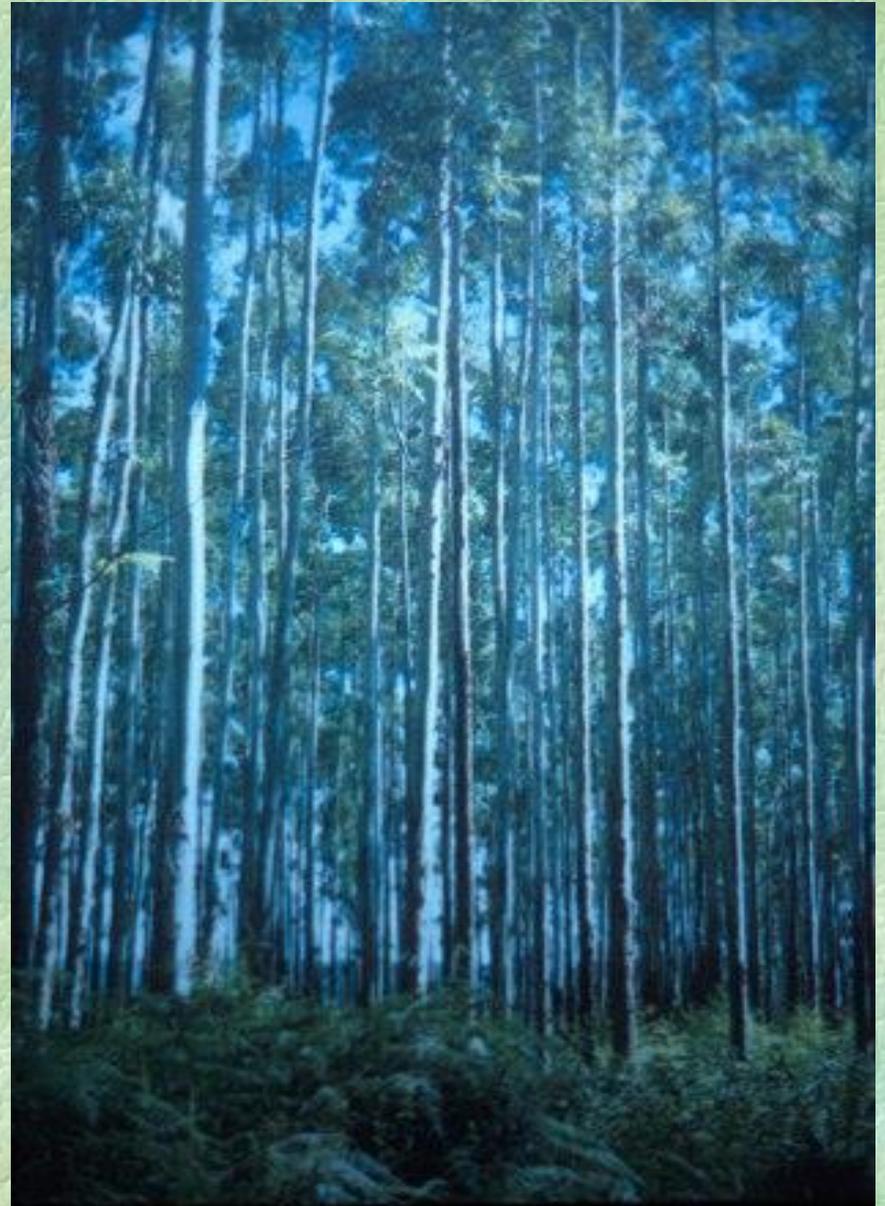




Plantación de Eucalyptus
José Imaña Encinas



Bosque de latifoliadas plantación de Eucalipto





Reforestamientos de *Eucalyptus* sp.





Bosque de palmeras (coqueros)





Monocultura natural de *Copernicia alba*





Bosque de Bambús

José Imaña Encinas





Forest Resources

	forest area 1.000 ha	% land	% total	other areas 1.000 ha
Africa	707.974	25	19,8	1.335.138
North/Central America	563.063	26	15,8	338.036
South America	871.757	50	24,4	253.065
Asia	458.772	18	12,8	623.291
Europa	136.652	28	3,8	41.701
Oceania	91.292	10	2,5	66.720
USSR	739.900	33	20,7	189.700
World	3.603.731	27	100	1.696.432



Clasificación de latifoliadas a nivel mundial

Producción maderera de latifoliadas		
USA	32.500.000	13,4 %
Malásia	31.469.000	12,9
Indonésia	26.900.000	11,1
Unión Soviética	21.700.000	8,9
Brasil	13.349.000	5,5
China	12.553.000	5,2
Francia	8.200.000	3,4



Dendrometria

(dendro = árbol, metria = medida)

Silvimetria

Mensura Forestal

Dasometria

Inventario Forestal

Biometria Forestal

Epidometria



Dendrometria

mediciones en el árbol
variables dendrométricas
cuantificación de esas variables
calidad de esas variables

***mediciones de variables dendrométricas
en el árbol y sus productos***

***medición o estimación de atributos
de los árboles y de los bosques***



Individuo de mensuración

Variables dendrométricas

Parámetros dendrométricos

Unidades de medida

Instrumentos de medición

Métodos de medición

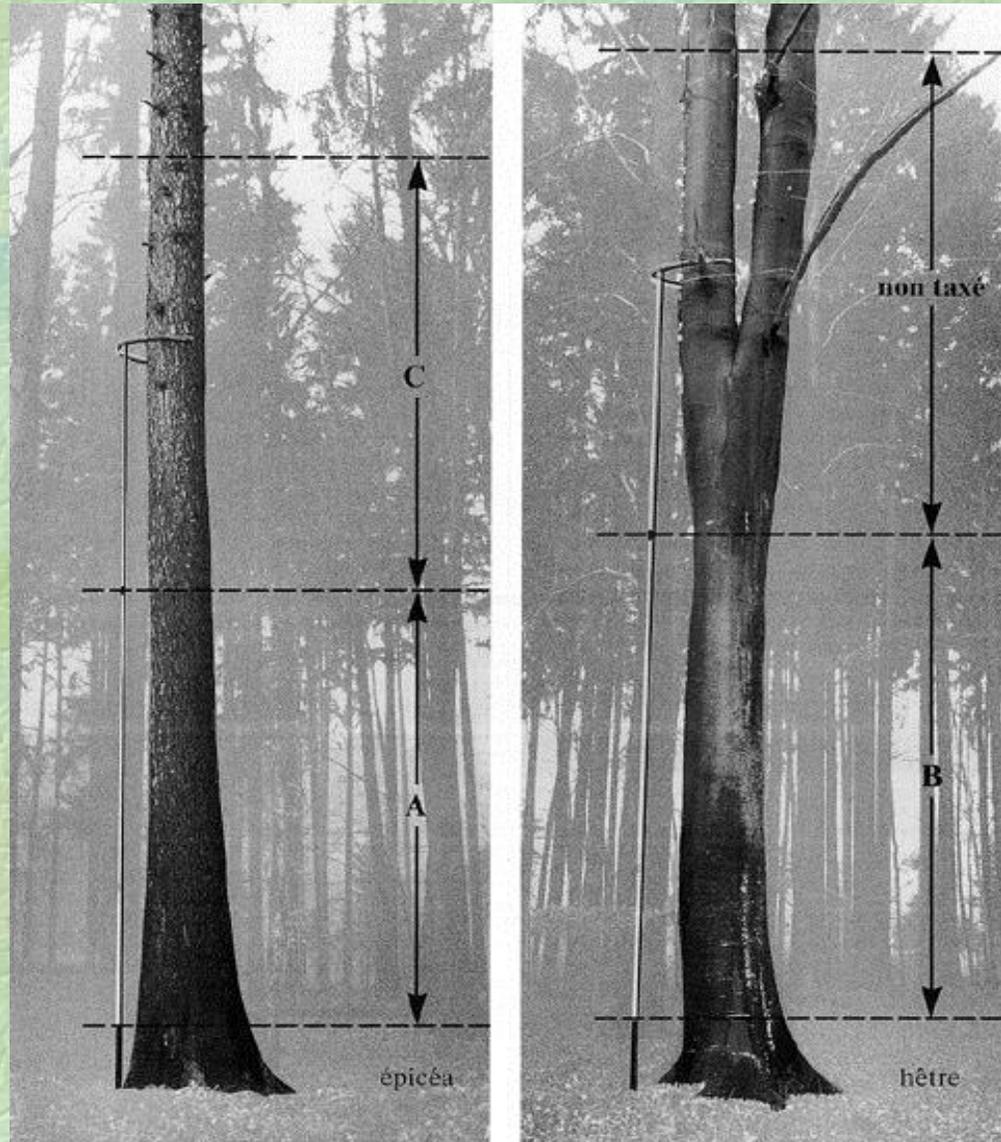
Manipulación de datos dendrométricos

Interpretación de resultados

Transferencia del conocimiento



Mediciones dendrométricas en árboles en pie





Mediciones en árboles abatidos







Mediciones de madera seccionada en sortimentos





Mediciones en productos del árbol





Mediciones en madera procesada





Definición de Dendrometria

- *señalar dentro del bosque, árbol o parte de el, números a propiedades ponderables como objetos físicos o eventos*
- *Prodan: ciencia que se ocupa de la medición de bosques y sus productos con la aplicación de los principios de la matemática, estadística, geometría y física*
- *matemática de medición cuantitativa y cualitativa del árbol y sus productos*
- *Imaña: especialidad de la mensura forestal que considera al árbol como ente numérico de medición*



Dendrometria

como parte de la mensura forestal

- ▶ trata con la **determinación o estimación** de las variables dendrométricas en árboles en pie o abatidos, de sus productos y de la determinación de las tasas de crecimiento
- ▶ la **determinación** de variables utiliza métodos directos de medición
- ▶ la **estimación** se fundamenta en mediciones indirectas o procesos estadísticos



Definiciones clásicas de la Dasometria

- *Graves (1900): la dasometria trata de la determinación del volumen de los troncos abatidos, árboles en pie y macizos forestales, y del estudio de su crecimiento y producción*
- *Huffel (1919): la dasometria enseña a determinar el volumen de los productos del bosque*
- *Prodan (1951): la dasometria mide y cuantifica las magnitudes que definen el contenido, la forma y el crecimiento de los árboles y de los macizos forestales*
- *Meyer (1957): la dasometria define la medida de los productos del bosque, la determinación del volumen de madera y del crecimiento del bosque*



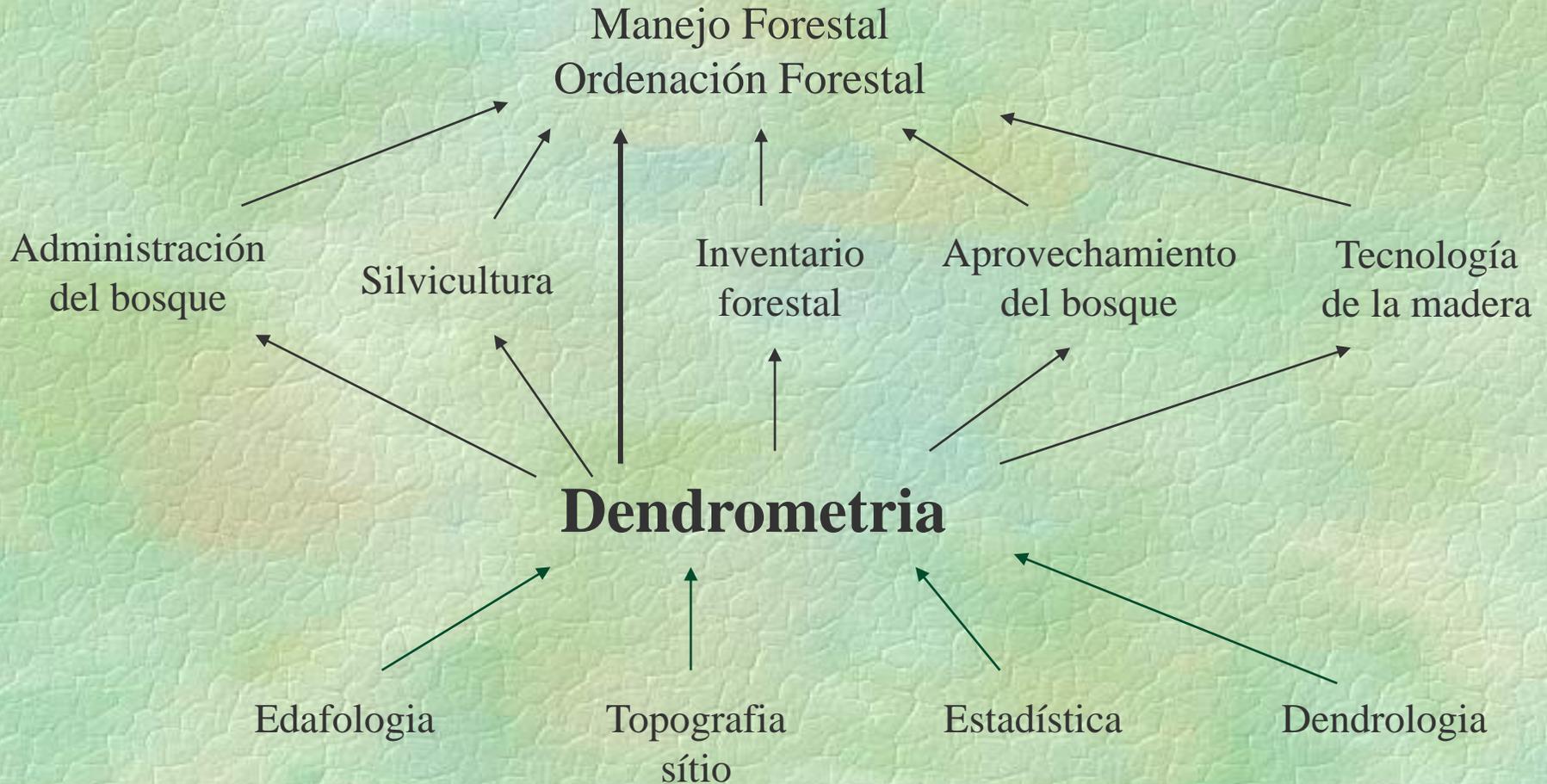
Conceptos Dendrométricos

- **Dendrometria** estudia la medición del árbol del punto de vista estático (variables dendrométricas aisladas)
- **Estereometria** estudia la medición del árbol del punto de vista estático (volumetría de la madera)
- **Epidometria** estudia la medición del árbol del punto de vista estático (crecimiento)
- **Dinámica estructural dasométrica** estudia la medición de los árboles (bosque) del punto de vista estático (crecimiento y composición forestal)



Correlación con otras disciplinas y áreas de actuación de la Ingeniería Forestal

- *Ordenación forestal -*
- *Industria forestal -*
- *Política forestal -*
- *Investigación forestal -*
- *Ecología y medio ambiente -*
- *Desarrollo sostenible y exigencias de la sociedad -*





Indicadores históricos

finis del siglo XVII: grandes propietarios de tierras enfrentaron la necesidad de estimar y cuantificar los productos extraídos del bosque

comienzo del siglo XVIII: se establecen normas para el manejo de la fauna silvestre a fin de facilitar la actividad de la caza

reinado de Carlos I (Inglaterra): recompensas para transformar bosques en áreas agrícolas (cereales)

en Escocia: proceso análogo objetivando incrementar la producción de ovejas

en Alemania: durante el apogeo marítimo de Holanda, necesidad de estimar con precisión la extracción de troncos en el valle del río Reno



Transformaciones históricas

1920: publicación de las tablas estadísticas de Fisher
⇒ introducción de la estadística en la Ciencia Forestal

1944/45: fabricación del Relascópio

1950: análisis computacional
⇒ uso del micro computador

1980/85: introducción de sensores remotos en investigaciones forestales



Curiosidades históricas dendrométricas

- 1759:** Doebel y Beckmann presentan estudios y sugerencias para determinar la masa forestal
- 1765:** Oettel utiliza por la primera vez correlaciones matemáticas con variables dendrométricas, consideró el tronco como figura geométrica
- 1787:** Oettel publica las primeras tablas de cubicaje
- 1804:** Cotta fabrica la forcípula para medir diámetros
- 1837:** Smalian describe fórmulas para cubicar la madera
- 1840:** Hennert demuestra la aplicabilidad de la medición xilométrica
- 1948:** Bitterlich presenta el método de medición angular con la parcela de área variable



Comienzo del uso de instrumentos dendrométricos

1823: Forcípula de brazo móvil

1860: Barreno de Pressler

1891: Regla de Christen

1946: Relascópio de Bitterlich

1951: Forcípula finlandesa

1960: Hipsómetro Blume-Leiss

1965: Hipsómetro Suunto

1971: Pentaprisma de Wheeler

1972: Telerelascópio de Bitterlich

1994: Dendrómetro Criterion

1996: Hipsómetro Vertex



Clasificación de la vegetación arbórea

- ⇒ Theophrastus (370-285 a.C.) discípulo de Aristóteles distingue características anatómicas en árboles, arbustos, sub arbustos y hiervas
- ⇒ Linneu (1707-1778) establece la nomenclatura binaria
- ⇒ Lamarck (1744-1829) introduce la llave dicotómica y la clasificación natural
- ⇒ Eichler (1839-1887) desarrolla el método filogenético en base a los principios de Darwin
- ⇒ Engler (1844-1930) introduce la nomenclatura actual



Classificación de los bosques

bosques de producción

abastecer mercado con materia prima forestal

bosques de protección

función de proteger la fauna, flora, suelo y agua

bosques de recreación

ofrecer ambientes de laser

***principio del manejo sostenible
y del equilibrio ecológico***



Clasificación silvicultural de los árboles de acuerdo a la altura total

árboles mayores: alturas superiores a 30 m

árboles medios: alturas entre 15 e 30 m

árboles pequeños: alturas inferiores a 15 m

Otras clasificaciones según aspectos: biológicos, comerciales, de explotación y aprovechamiento forestal, de ordenación, de interese científico etc.



Clasificación silvicultural de los árboles de acuerdo con la dimensión del diámetro del tronco

brinzal: el individuo que aún no presenta el diámetro mínimo exigido

latizal: individuo que ingresa en las primeras clases diamétricas

árbol: individuo que puede ser cortado para atender fines comerciales y de explotación



Unidades de medida utilizadas en la dendrometria

sistema métrico (SI)

sistema inglés

unidades de medidas alemanas

unidades de medidas rusas

unidades de medidas japonesas

otras unidades de medida



Sistema Internacional de Unidades

- En 1960 se establece el Sistema Métrico Decimal como Sistema Internacional de Unidades (SI) adoptado por la mayoría de los países latino americanos desde 1962.
- O "metro archivo" una barra compuesta de 90% de platina y 10% de iridio, de sección rectangular (25,3 mm de espesura, 1 cm de ancho y 1 m de largo) representa la unidad padrón del SI.
- Esa barra está guardada en el Museo Internacional de Pesos y Medidas en la ciudad de Paris. En el Brasil existe una copia de ese metro padrón en el Museo Nacional en la ciudad de Rio de Janeiro.



Factores de conversión - equivalencia en lo largo

1 centímetro	0,3937	pulgada		
1 metro	3,2808	pies	39,37	pulgadas
1 metro	1,0936	yardas		
1 quilómetro	0,6214	milla		
1 pulgada	2,54	centímetros	0,083	pie
1 pie	0,3048	metro	12	pulgadas
1 yarda	0,9144	metro		
1 yarda	3	pies	36	pulgadas
1 milla	1,6093	quilómetros	5280	pies
1 milla	1760	yardas		
1 cadena	66	pies	792	pulgadas
1 cadena	20,1168	metros		
1 cadena	22	yardas		



Factores de conversión - equivalencia en área

1 tonelada curta	0,9072	tonelada métrica
1 centímetro cuadrado	0,155	polegada ²
1 metro cuadrado	10,764	pies ²
1 quilómetro cuadrado	0,3861	milla ²
1 quilómetro cuadrado	100	hectáreas
1 hectárea	0,003861	milla ²
1 hectárea	2,471	acres
1 hectárea	10000	metros ²
1 pulgada cuadrada	6,4516	centímetros ²
1 pie cuadrado	0,0929	metro ²
1 milla cuadrada	2,59	quilómetros ²
1 milla cuadrada	259	hectáreas
1 milla cuadrada	640	acres
1 acre	0,4047	hectárea



Factores de conversión - equivalencia en volumen

1 centímetro cúbico	0,061	pulgada cúbica
1 metro cúbico	35,3145	pies cúbicos
1 litro	61,0250	pulgadas cúbicas
1 litro	0,2642	galón (US)
1 litro	0,0353	pie cúbico
1 litro	1000	centímetros cúbicos
1 pulgada cúbica	16,3871	centímetros cúbicos
1 pulgada cúbica	0,0163	litro
1 pie cubico	0,02832	metro cúbico
1 galón (US)	3,785	litros
1 pie tablar	0,00566	metro cúbico
1 cuerda (90 pés ³)	2,549	metros cúbicos



Factores de conversión - equivalencia en masa

1 quilo	2.2046	libras
1 tonelada métrica	1.102	tonelada corta
1 tonelada métrica	0.9842	tonelada larga
1 tonelada métrica	1000	quilos
1 tonelada métrica	2204.6	libras
1 libra	0.4536	quilo
1 tonelada corta	0.9072	tonelada métrica
1 tonelada larga	1.016	toneladas métricas
1 tonelada larga	2240	libras



Factores de conversión - otras equivalencias

1 metro ² /ha	4,356	pies ² /acre
1 metro ³ /ha	14,2913	pies ³ /acre
1 pie ² /acre	0,2296	metro ² /hectárea
1 pie ³ /acre	0,0699	metro ³ /hectárea



Unidad 2:

Componentes del árbol

Objetivo de las mediciones

Variables

Funciones

Errores



Recapitulando

Individuo de mensura forestal ✓

Variables dendrométricas

Parámetros dendrométricos

Unidades de medida ✓

Factores de conversión ✓

Instrumentos de medición

Métodos de medición

Manipulación de datos dendrométricos

Interpretación de resultados

Transferencia del conocimiento



Proceso de la mensura del árbol:

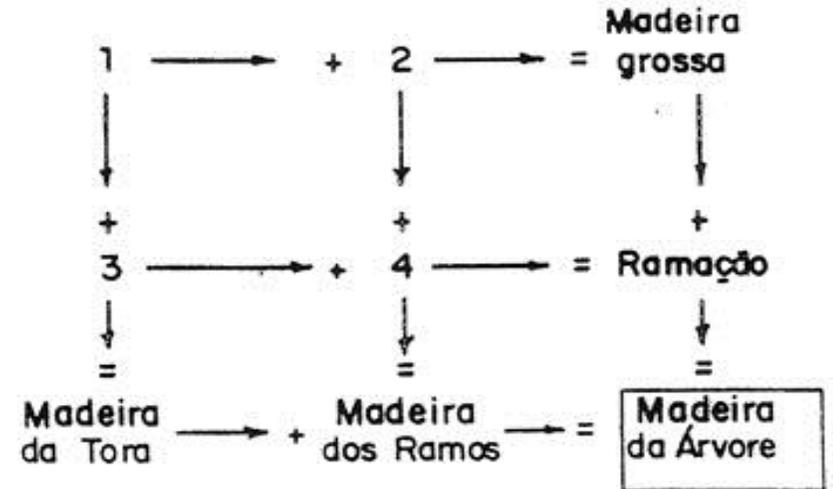
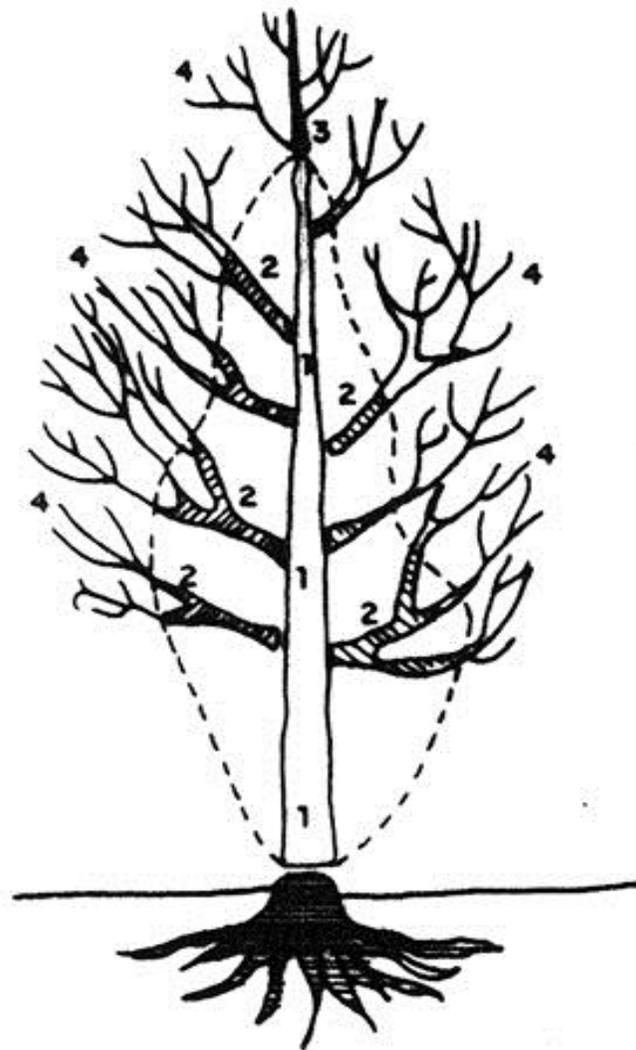
en el árbol en pie

en el árbol apeado

en el individuo como un todo
o en partes de ese individuo



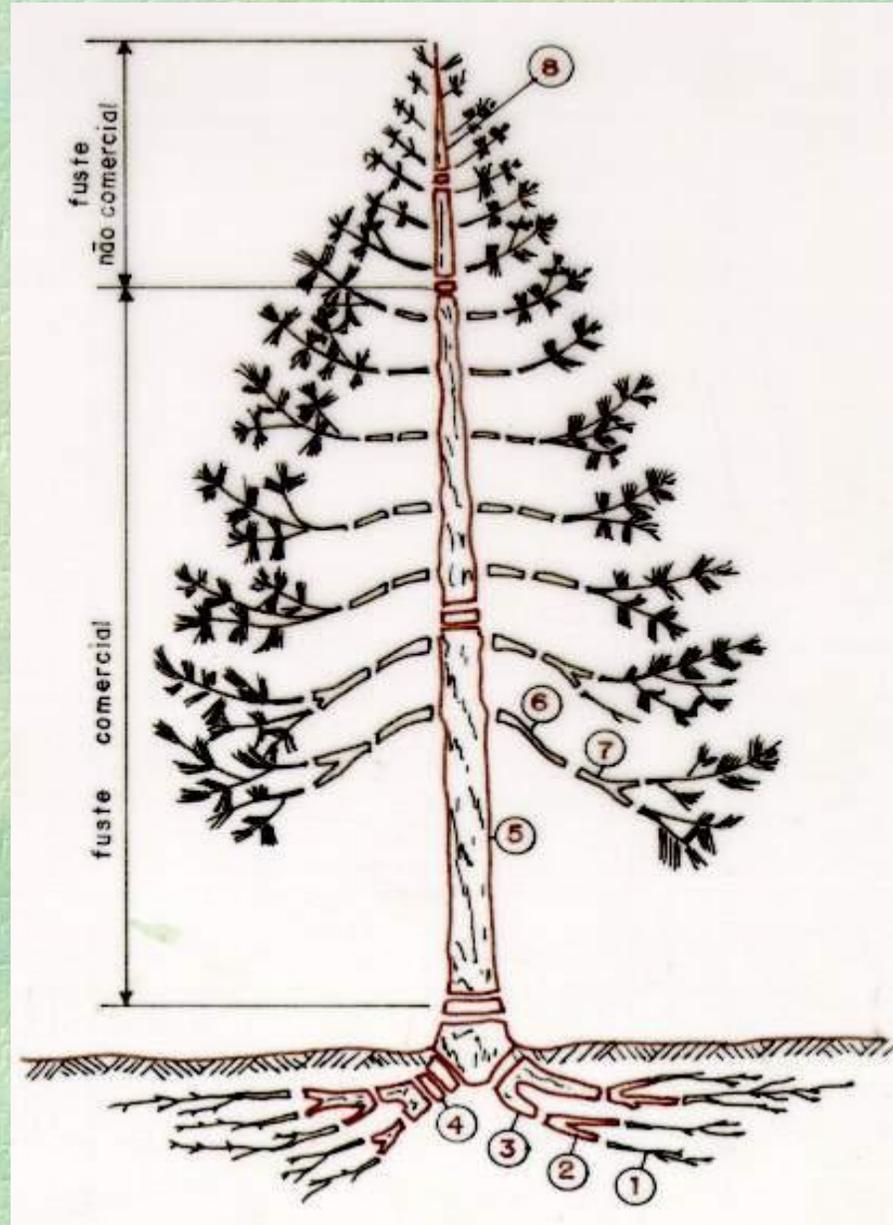
Clasificación del árbol de acuerdo con Prodan



- 1 Fuste principal
- 2 Ramos primários
- 3 Ápice
- 4 Ramos secundários

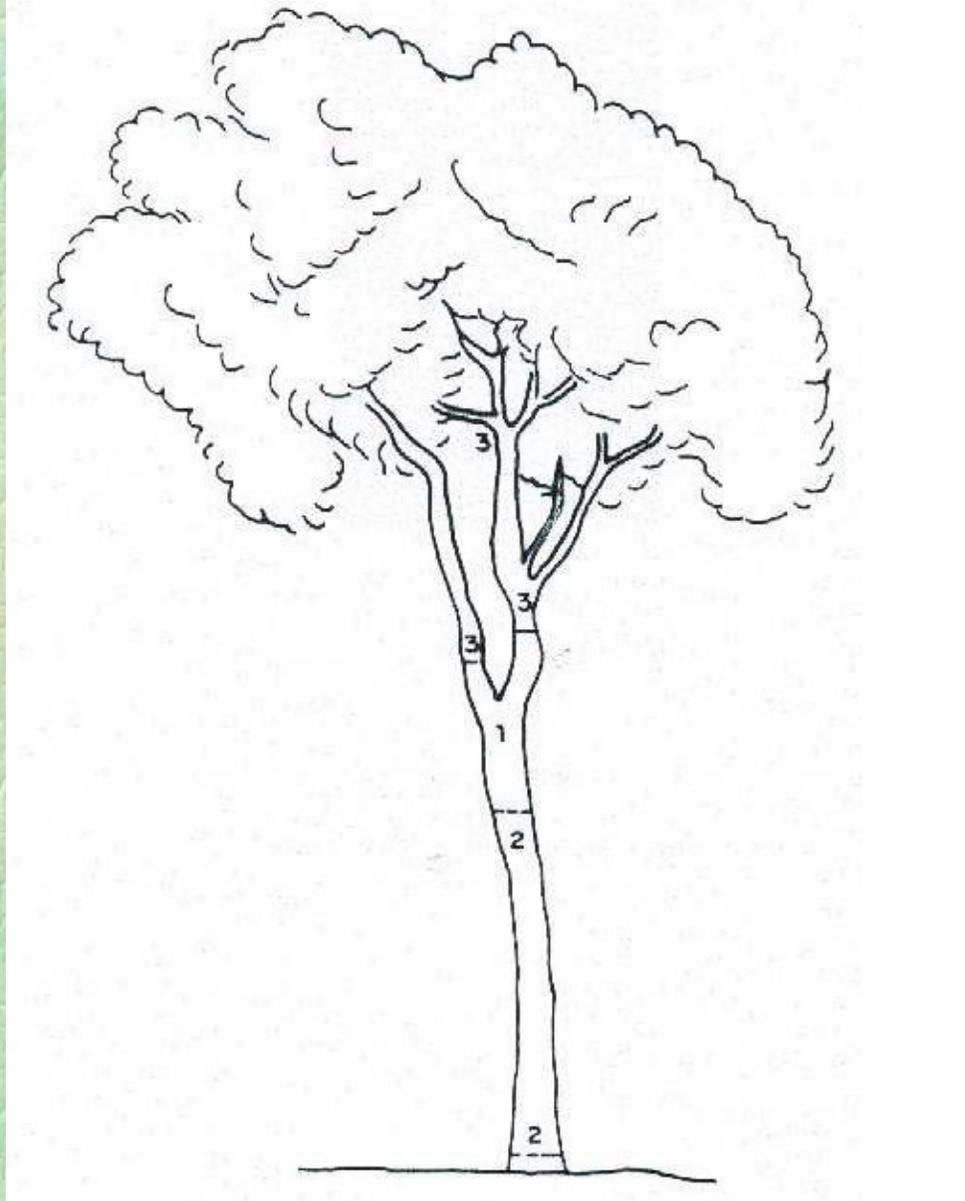


Clasificación del árbol según Young





Clasificación del árbol según Malleux





Cual es el objetivo de la Dendrometria?

Necesidad de atender tres finalidades:

1. comerciales
2. de manejo, ordenación forestal
3. de investigación



Datos dendrométricos

valores numéricos, medidos o estimados, de variables o parámetros dendrométricos

Variable: un símbolo que toma cualquier valor en un conjunto determinado de datos, llamado de dominio de la variable

Constante: se tuviese un solo valor, (π)

Variable discreta: (árboles por hectárea)

Variable continua: asume cualquier valor entre dos valores determinados (altura del árbol)



Escalas

a través de reglas inherentes es posible ordenar los datos y la información que se pueda obtener

- **Escala nominal**
- **Escala ordinal**
- **Escala de intervalos**
- **Escala de relación**



Escala nominal

Emplea la numeración de objetos

ejemplo: en la definición de tipos de bosques en un mapa:

número 1 = bosque de *Pinus* sp.

número 2 = bosque nativo

número 3 = bosque secundario



Escala nominal

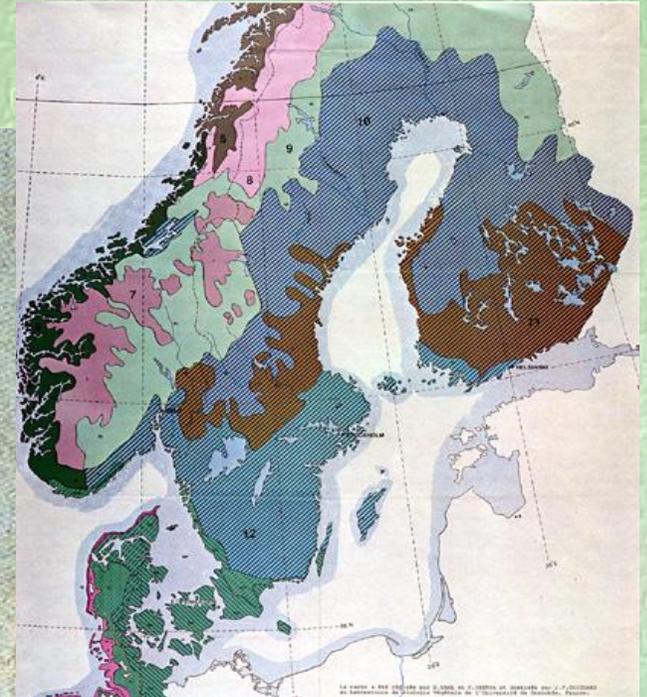
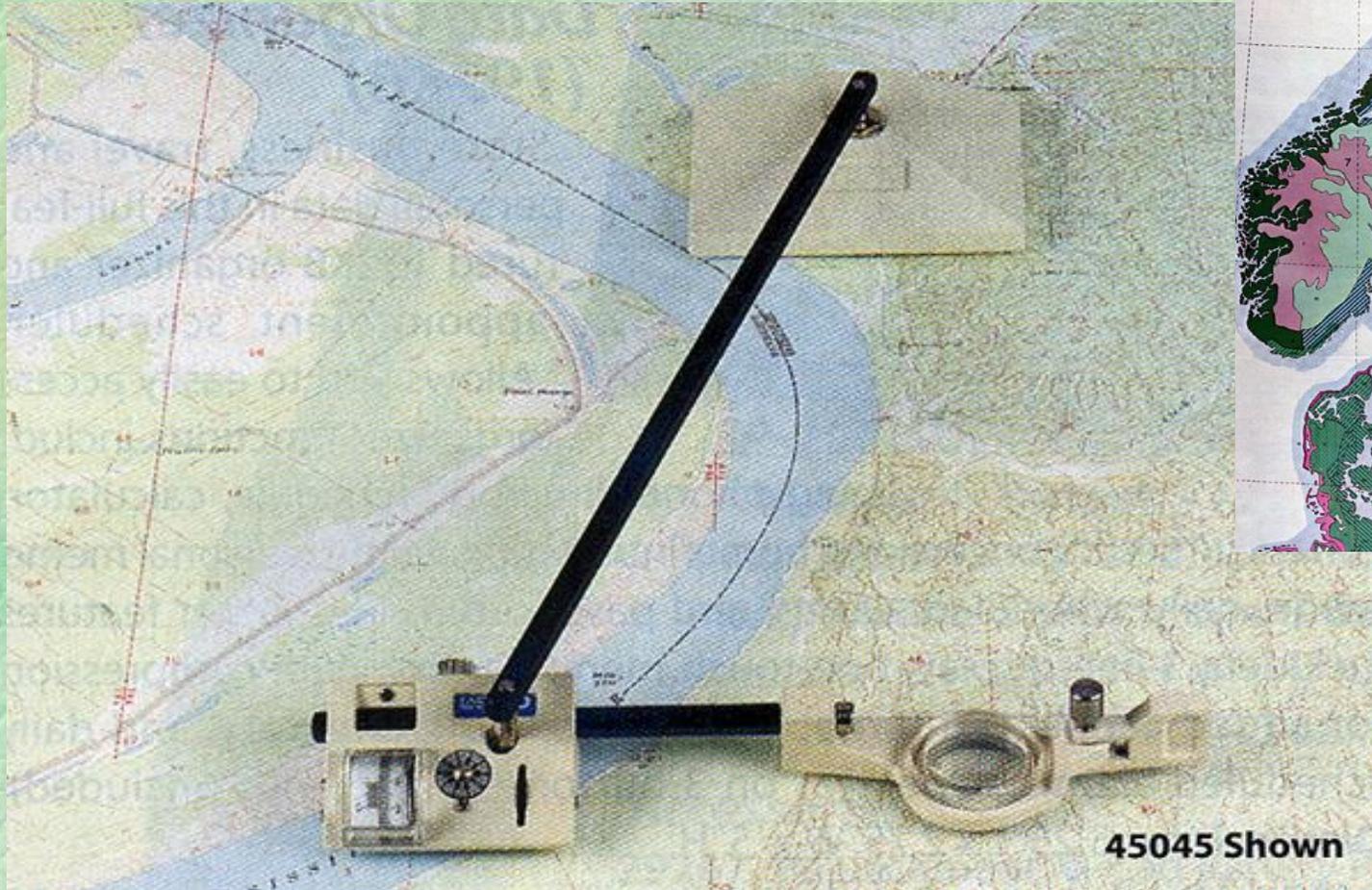
Tipos de bosques

Ejemplo de una región de los países escandinavos

Los tipos de bosques están identificados por colores o numeración pertinente, que deberá estar descrita en la legenda correspondiente



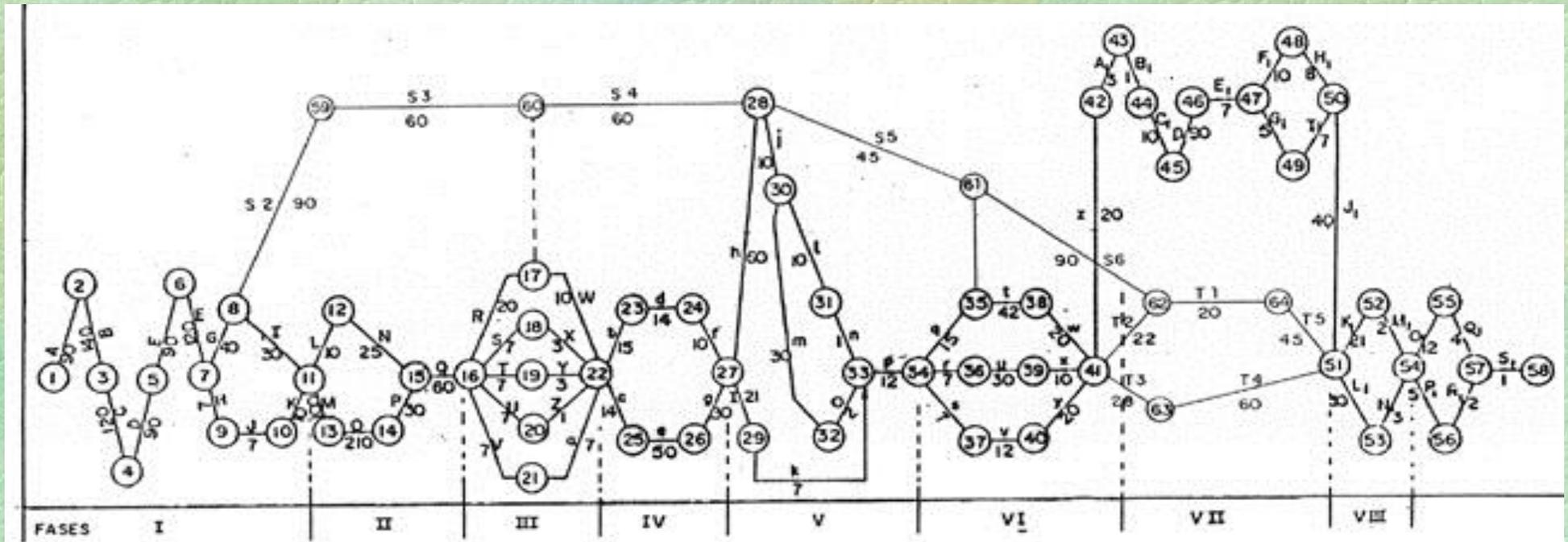
Determinación de superficies



Planímetro polar



PERT/CPM - Planificación de actividades



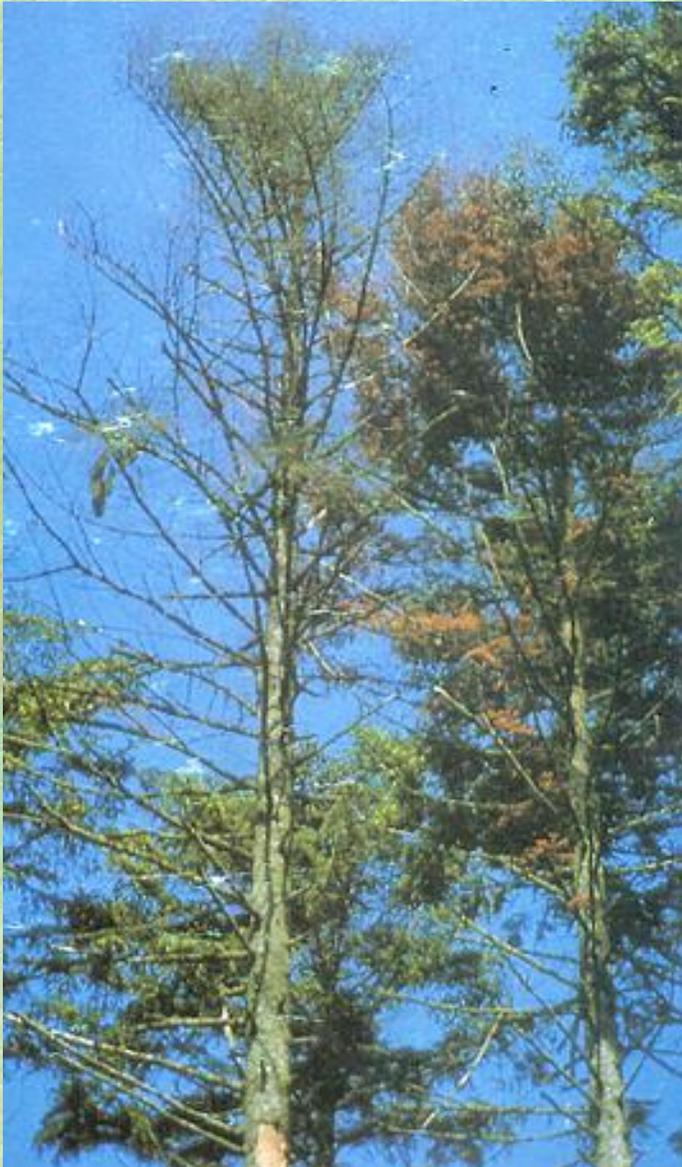


Escala ordinal

Para designar números en términos de grados. Los intervalos no son necesariamente iguales.

ejemplo: identificar la calidad de la madera de exportación:

- 1 = excelente calidad
- 2 = calidad regular
- 3 = baja calidad



Escala ordinal

ejemplo: estado
fitosanitario del árbol

- 1 = árbol sano
- 2 = árbol enfermo
- 3 = árbol muerto



Escala ordinal

otros ejemplos:

calidad de la madeira

heterogeneidad del bosque

tipos de cobertura vegetal arbórea

poder germinativo de la semilla



Escala de intervalos

se refiere a intervalos uniformes,
precisando de un punto de partida

ejemplos: edad del árbol
 tiempo productivo del bosque
 períodos fenológicos



Escala de relación

mantiene intervalos uniformes sin embargo se fundamenta en el cero absoluto

escala de relación fundamental: peso de un tronco de madera

escala de relación derivada: combinación de medidas (velocidad del transporte de madera)



Escala de relación derivada

flujo del transporte de troncos

calculado (determinado) en función del tamaño y peso de las piezas, capacidad del vehículo, velocidad de transporte, distancia a ser recorrida, etc.

1 = eficiente, 2 = óptimo, 3 = económico, etc.



Datos estadísticos

colecta

procesamiento de cálculo

interpretación

transferencia tecnológica



Estadística descriptiva: datos de un grupo pequeño de individuos que caracterizan variables y parámetros de la población que representan

Población estadística = conjunto de individuos que poseen alguna característica en común

Población **finita** (primero y último individuo pueden ser determinados), población **infinita** (el último individuo no puede ser determinado)



Conceptos estadísticos

Variables dependientes (x)

Variables independientes (y)

al relacionar dos variables se tiene una función simple o múltiple (positiva / negativa)

$n = f$ (densidad), $vol = f$ (dap, altura)

población de la variable = individuos que evidentemente presenten la variable y que fueron medidos

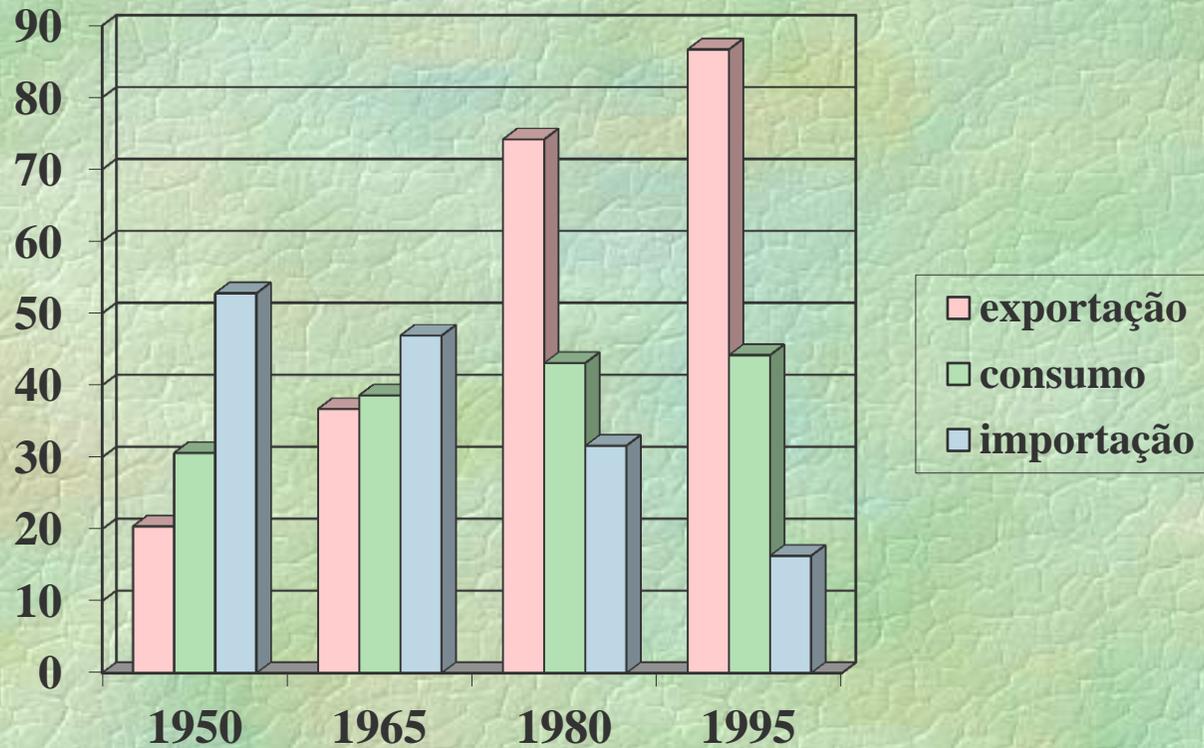
universo = todos os individuos detentores de la variable correspondiente



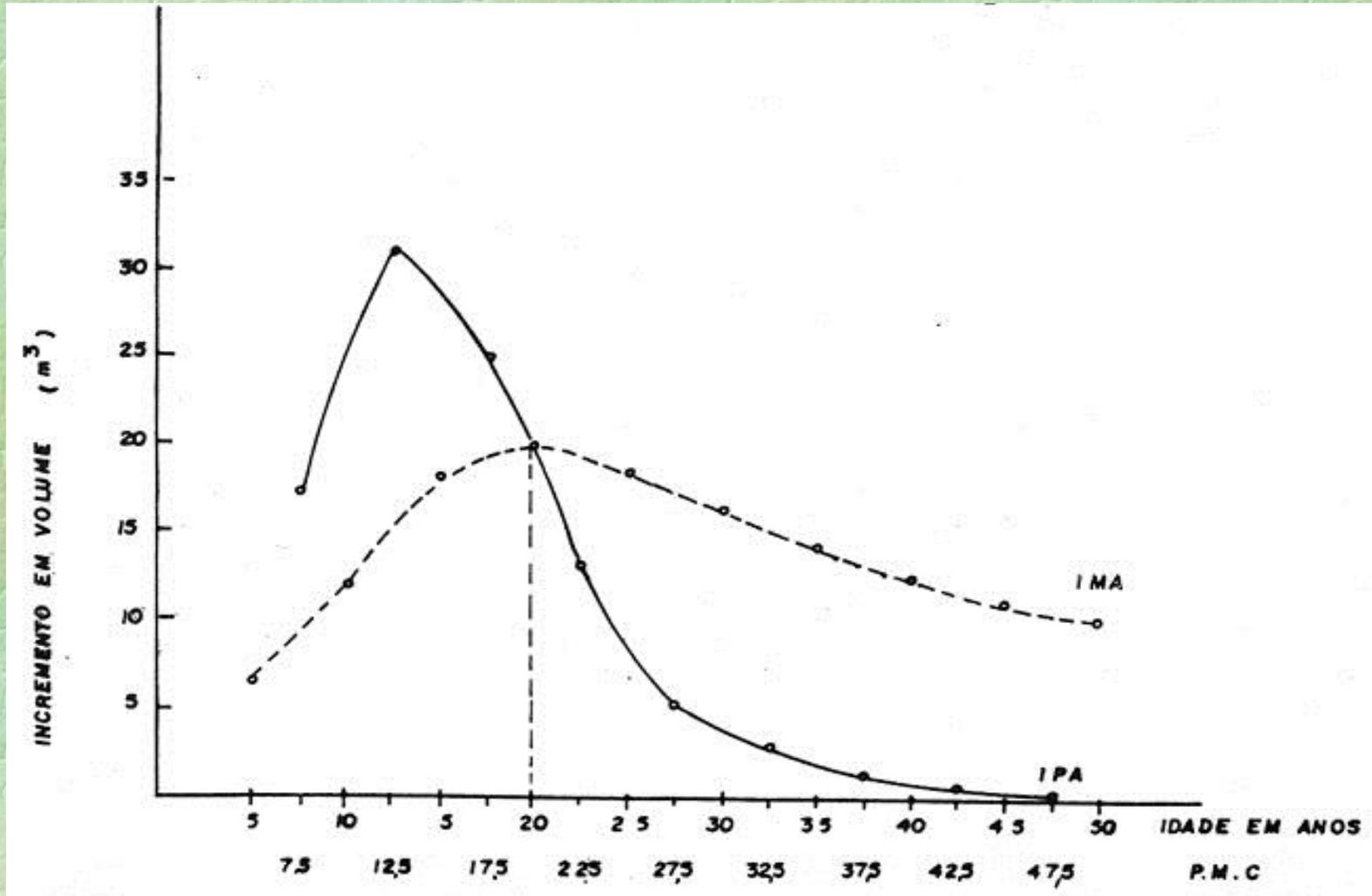
Colecta de datos estadísticos: variables dendrométricas deben estar organizadas en **series** y estos presentados en forma de tablas y gráficos

Serie estadística = conjunto de datos numéricos asociados a un fenómeno y organizados según criterio de clasificación adoptada

Series simples - series compostas



Diagramas de frecuencia, gráficos de barras
% del consumo de maderas



Curvas de frecuencia, polígonos de frecuencia



Datos estadísticos no organizados =
datos brutos

Datos organizados identifican
principalmente una frecuencia y la
amplitud de la variación del valor de la
variable y de las clases a la que
pertenece = **distribución de la
variable**



Variables cualitativas: no son susceptibles de mensuración numérica

p.ej. forma de la semilla, color de la madera etc.

se les atribuye magnitudes mensurables y es posible ordenarlas en clases de frecuencia o escalas numéricas

p.ej. 1 = color claro, 2 = color oscuro, 3 = color rojizo, 4 = color verdeado, etc.



Variables cuantitativas mensurables:

p.ej. número de árboles por hectárea, diámetro medio comercial, altura media dominante

Variables continuas: considera los valores de las intensidades extremas denominadas máxima y mínima; todos los valores de la población fluctúan entre esos extremos. Se recomienda distribuir los valores en clases.

Variables discontinuas o discretas: considera la serie de números enteros de tal forma que no existe posibilidad de asumir valores intermedarios entre los números enteros.
Por ejemplo: número de árboles por parcela



Medidas de tendencia o posición central

- ➔ media aritmética
- ➔ moda = el valor más frecuente
- ➔ mediana = en datos ordenados en orden de grandeza, será la media aritmética de los dos valores centrales de la serie
- ➔ media geométrica = raíz de orden n del producto de esos números
- ➔ media harmónica = es la recíproca de la media aritmética
- ➔ media cuadrática = raíz cuadrada de la media aritmética de los cuadrados de los valores de la variable
- ➔ cuartil, decil, percentil



Ejemplo numérico de 18 datos:

14, 12, 17, 15, 14, 11, 15, 11, 16, 14, 13, 18,
14, 16, 12, 15, 14, 11

calcular la media aritmética =

moda =

mediana =

media geométrica =

media harmónica =

media cuadrática =



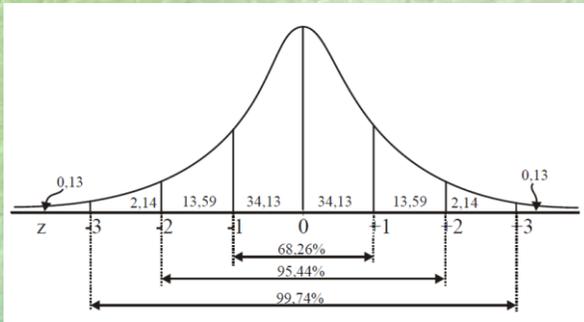
Distribución normal: grande serie de acontecimientos que obedecen en su conjunto a leyes descritas por Gauss y Leplace

- ⇒ dos distribuciones de frecuencia inclusive con la misma media, pueden tener fluctuaciones diversas en torno de la medida de dispersión
- ⇒ esa dispersión es posible determinarla a través de la variación de los valores de la variable, identificada como la distribución de los datos
- ⇒ medida de variabilidad asume la amplitud entre los dos valores extremos
- ⇒ **desvio padrón** = alejamiento típico que es el cuadrado medio de las medidas que revela la dispersión del conjunto de datos = es la media cuadrática entre los alejamientos contados en relación a la media aritmética



$$s = \sqrt{\frac{SQD}{n}}$$

SQD = suma de los cuadrados de los desvíos
n = número de observaciones



68,27% están incluidos entre $x \pm s$
95,45% están incluidos entre $x \pm 2s$
99,73% están incluidos entre $x \pm 3s$

$$CV = \frac{s}{x} \cdot 100$$

CV = alejamiento padrón en % de la media aritmética



Aceptación de errores

Las medidas tienen poco valor si no es conocido su grado de aproximación al valor real o verdadero

Errores metodológicos

Errores personales

Errores instrumentales

Errores debido al medio ambiente



En términos dendrométricos los errores pueden ser:

Errores compensadores - independen del instrumento y del operador

Errores de estimación - provenientes del cálculo de muestreo

Errores sistemáticos - ocurren por defecto del instrumento y del proceso metodológico

Consecuentemente los errores influyen directamente en la ***precisión*** o ***exactitud*** de la estimativa de la variable



precisión - es el desvío padrón de estimación. Es un valor relativo de lo que se está midiendo.

exactitud - es la mayor o menor aproximación de la variable al valor verdadero

⇒ **Valor real - Valor estimado = \pm error**



Arredondamiento de valores medidos:

para algunas variables dendrométricas como *DAP* y *altura del árbol* será necesario considerar una casa decimal y para otros parámetros dendrométricos como *área basal* y *volumen de madera* es preciso considerar lo mínimo cuatro casas decimales



Considerando los conceptos de los errores en los cálculos dendrométricos las mediciones serán:

directas - determinación de la variable con contacto directo del instrumento

indirectas - permite realizar la estimación o determinación de la variable a través de instrumentos específicos



VARIABLES DENDROMÉTRICAS

uso de la:
geometría
geografía
estadística
matemática
biología

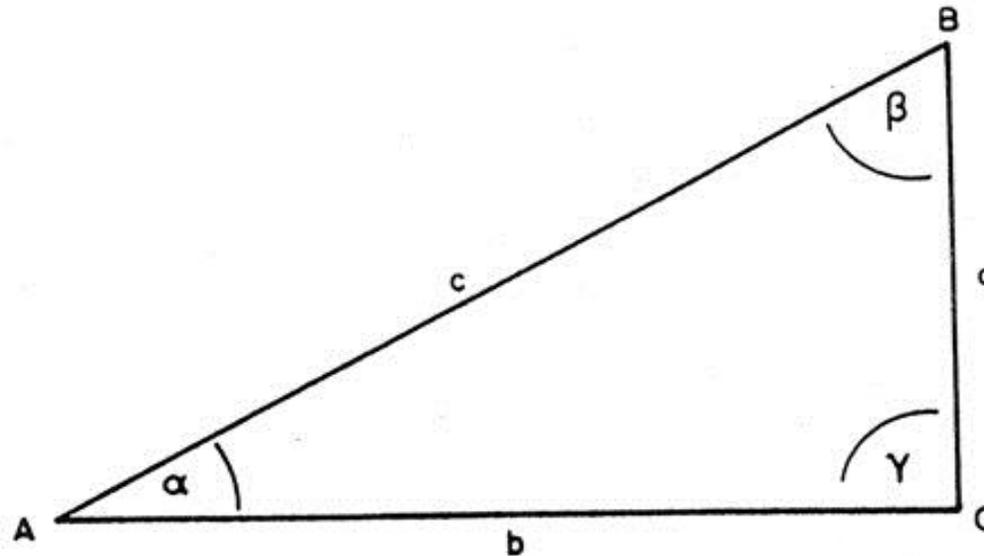


Conceptos de la geometría

triángulos rectángulos
triángulos obtusángulos
teorema de Pitágoras
ley de los senos y cosenos



Uso de la geometría para medir distancias



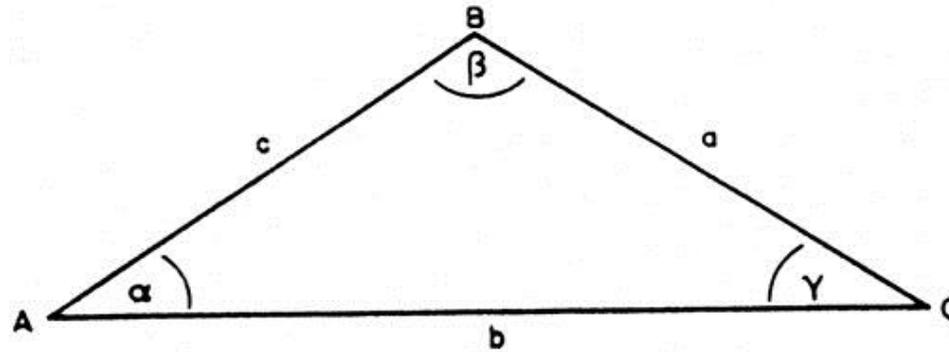
$$a = c \cdot \text{sen } \alpha = b \cdot \text{tag } \alpha = c \cdot \text{cos } \beta = b \cdot \text{cot } \beta$$

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

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



Uso de la geometría para medir distancias



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 :

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



Concepto de distancias

definición de distancia

número de unidades lineales que existen entre dos puntos determinados (magnitud de la variable)

distancia horizontal

distancia vertical

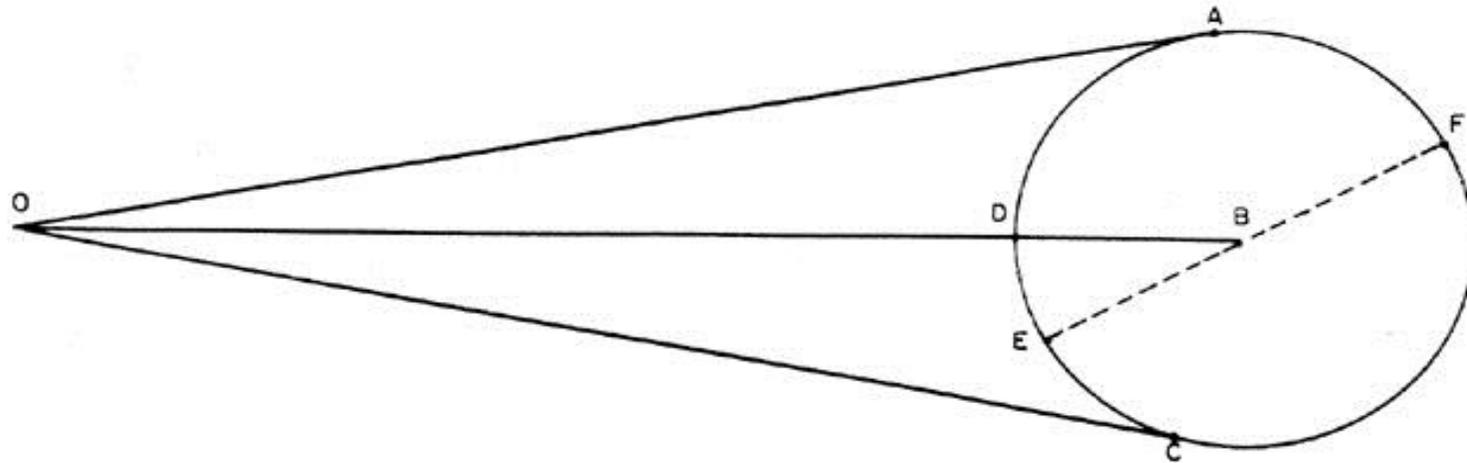
distancia inclinada

métodos de medición

instrumentos



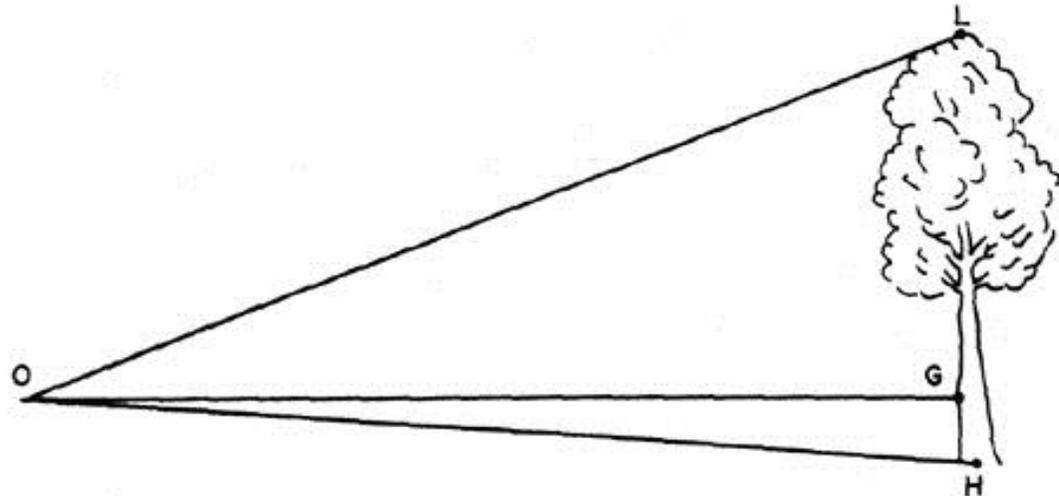
Distancias auxiliares horizontales



- O D Distancia do observador a árvore .
- O A) Distancia do observador ao ponto de tangencia .
- O C)
- O B Distancia do observador ao centro da árvore .
- E F Distancia diametral da árvore .



Distancias auxiliares verticales



O H Distancia inclinada do observador à base da árvore

O G Distancia horizontal do observador á árvore

O L Distancia inclinada do observador á parte superior da árvore

H L Distancia vertical da árvore



Métodos para determinar la distancia

Directos: cuando se aproxima o se determina la unidad de medida a la magnitud real de la variable que se observa

Indirectos: implican en estimaciones de la variable haciendo uso normalmente de relaciones geométricas o trigonométricas



Métodos directos para determinar la distancia

Medidas directas corresponden a la determinación de la variable

Método de los pasos - es necesario conocer el largo del paso normal. Su determinación podrá ser realizada midiendo varias veces una distancia conocida. El grado de aproximación es plenamente aceptable para medidas entre 5 y 30 metros

Método de lecturas directas – a través de reglas, cintas métricas, decámetros, telémetros, medidores a base de rayos laser y de frecuencia de ondas

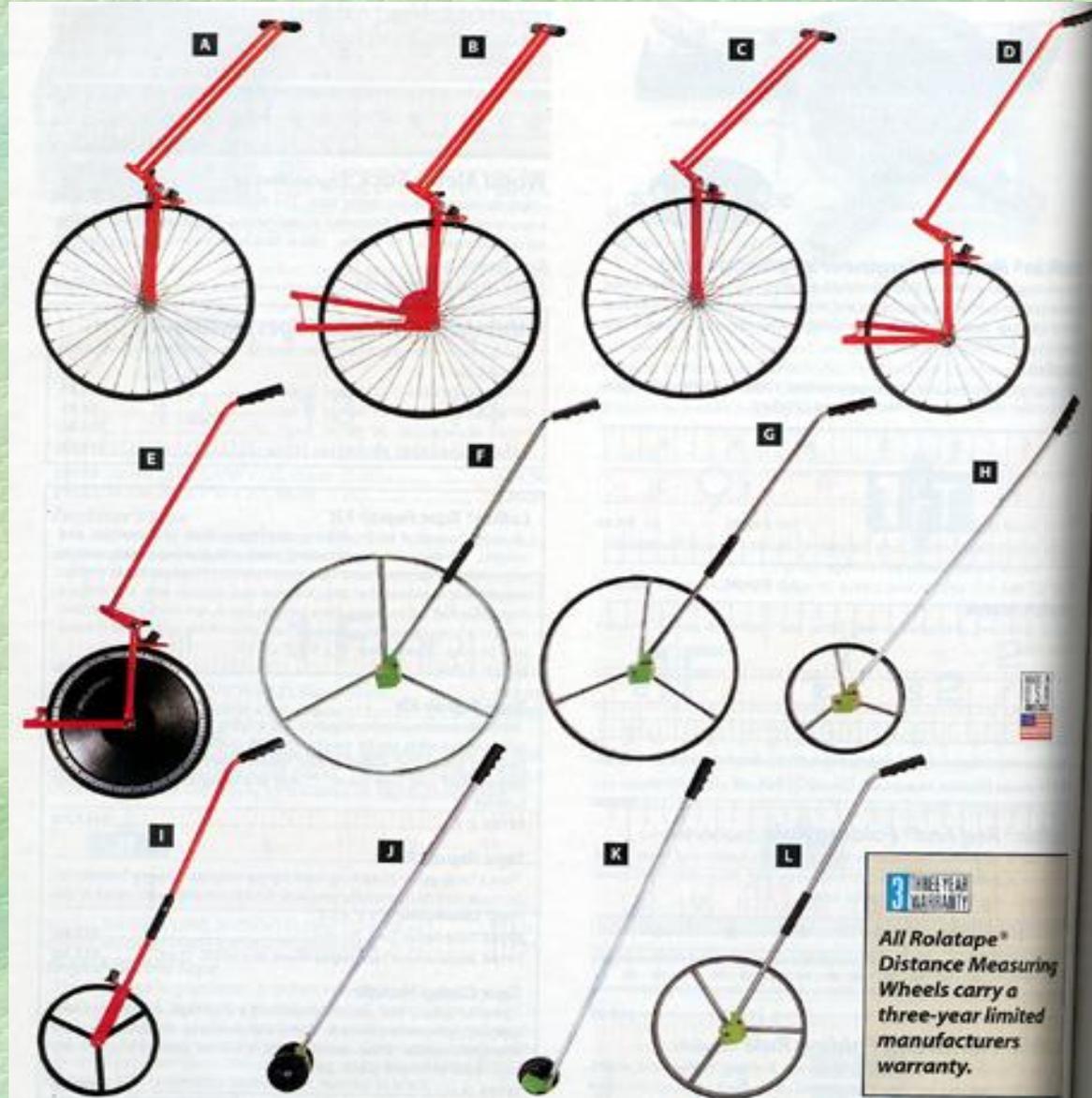


Instrumentos para medir distancias: reglas y cintas





Medidores de distancias



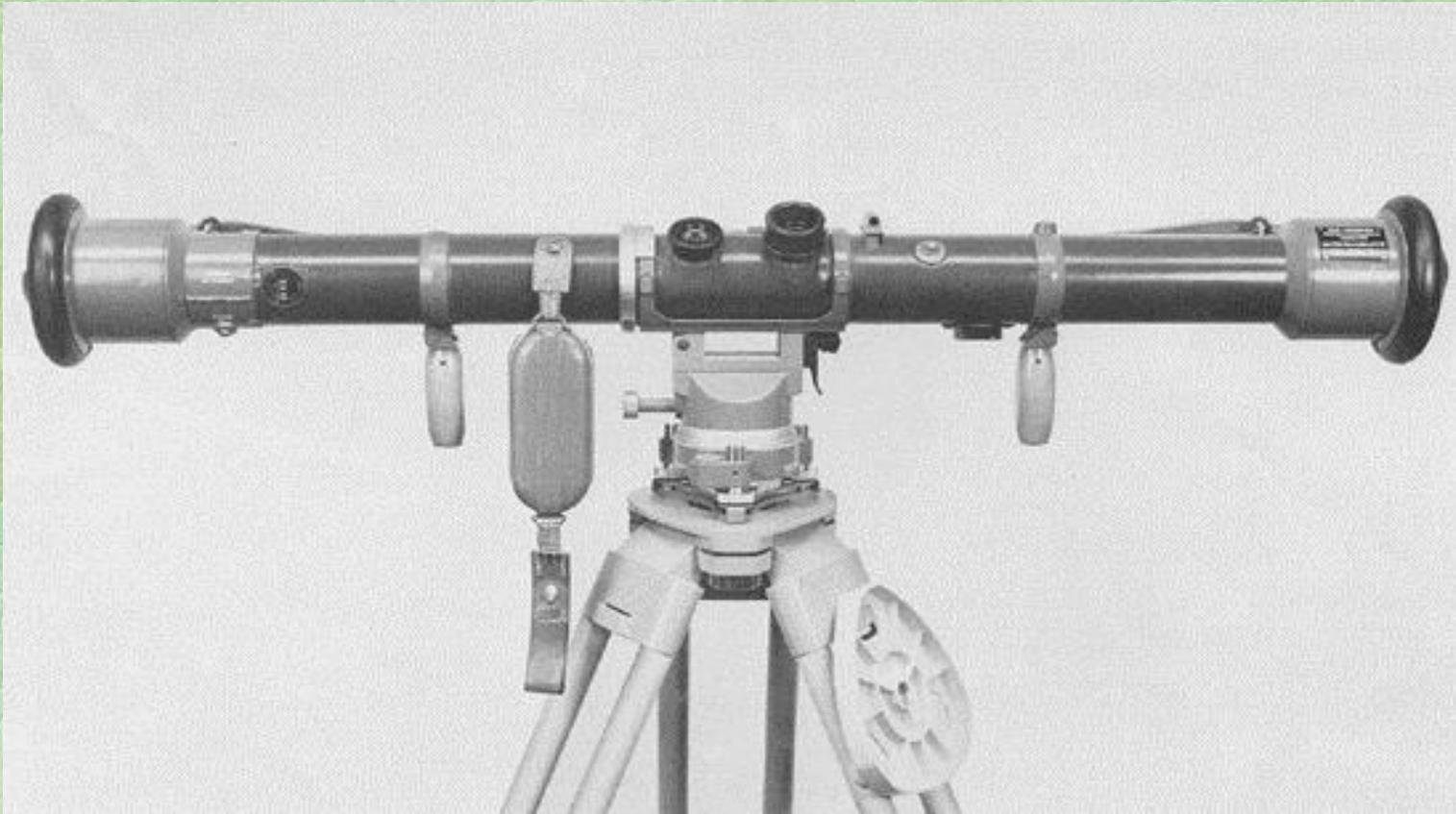


Telémetro Wild



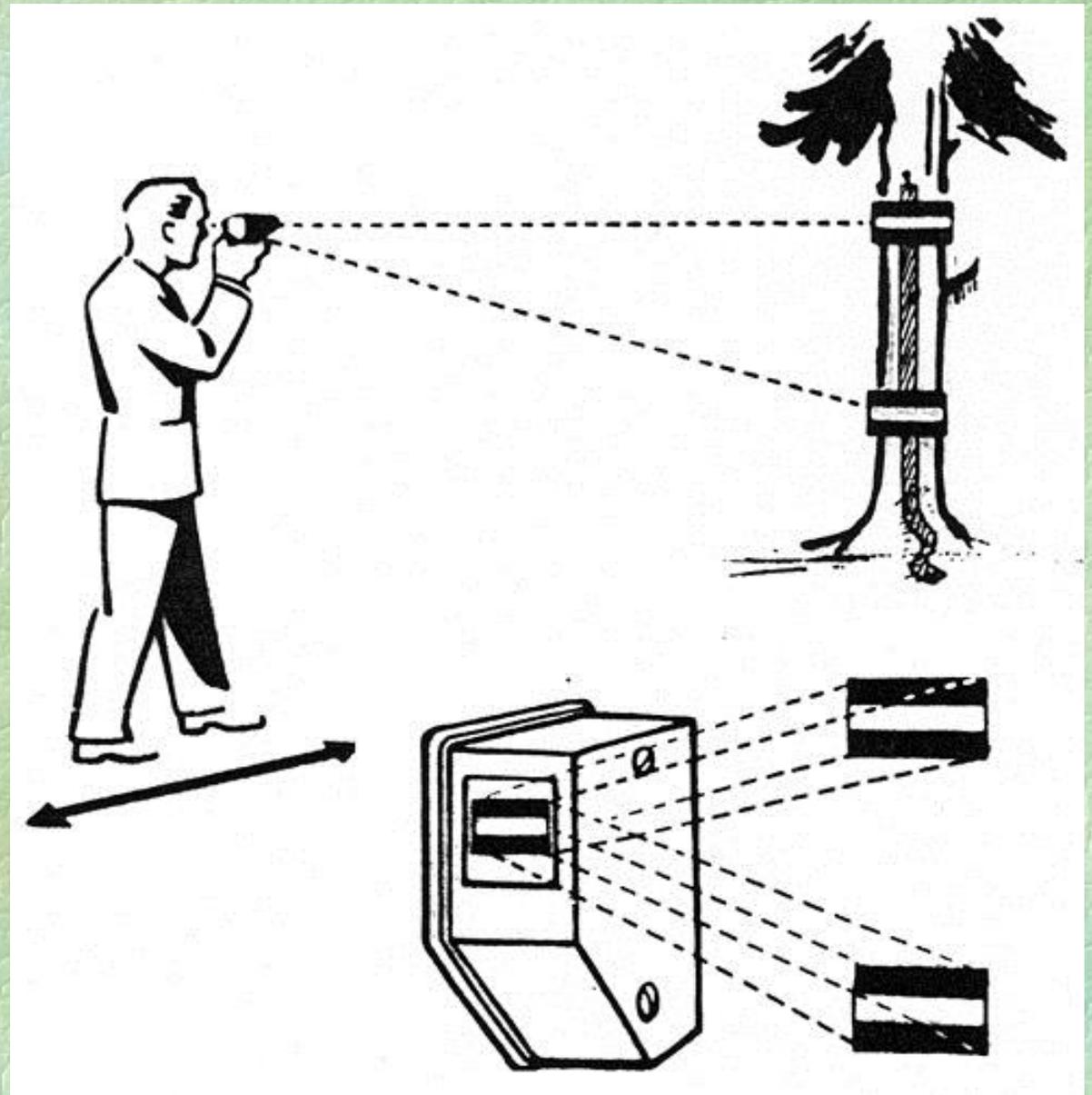


Telémetro Wild



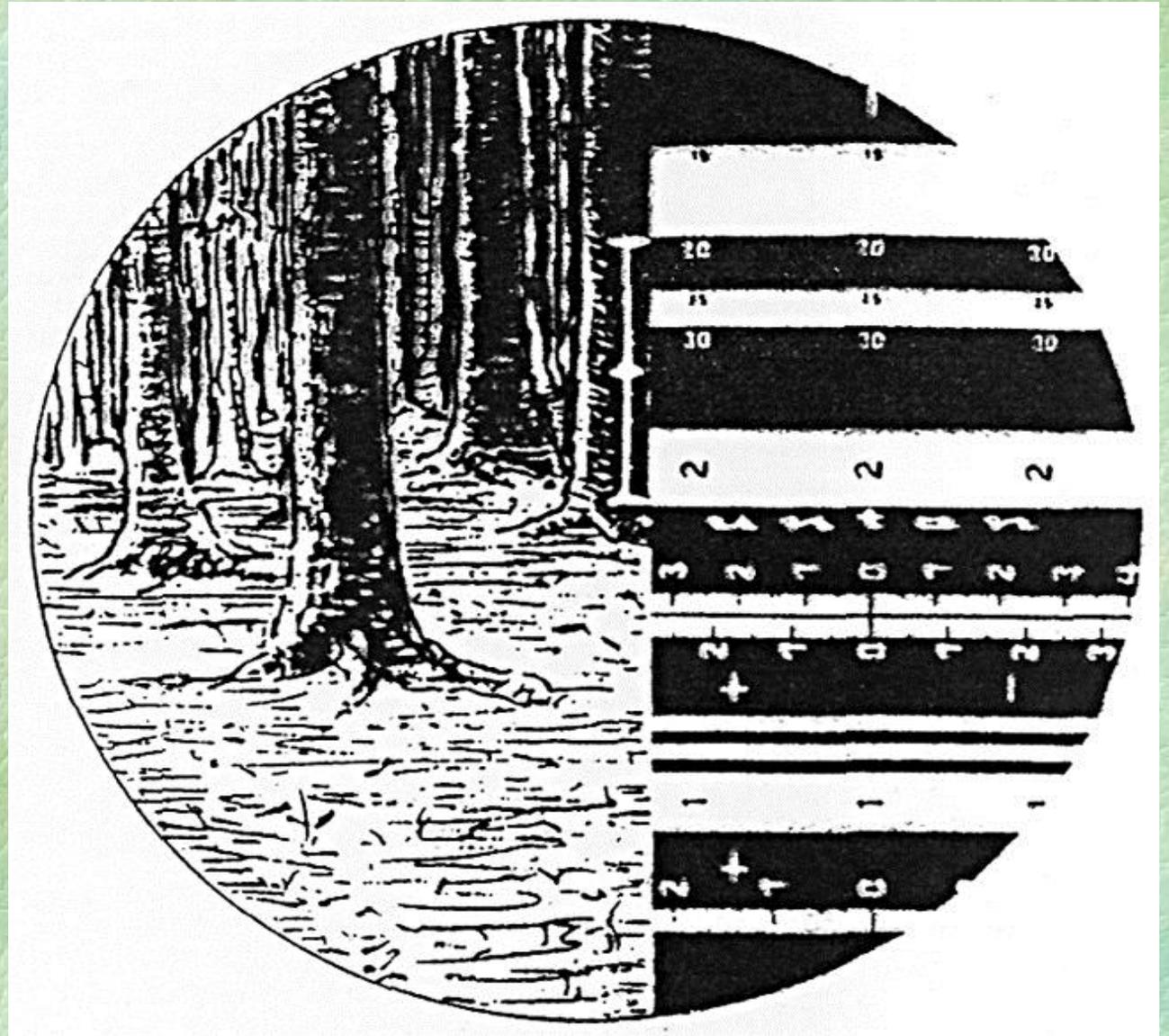


Instrumentos para medir distancias: telémetro en el hipsómetro Haga



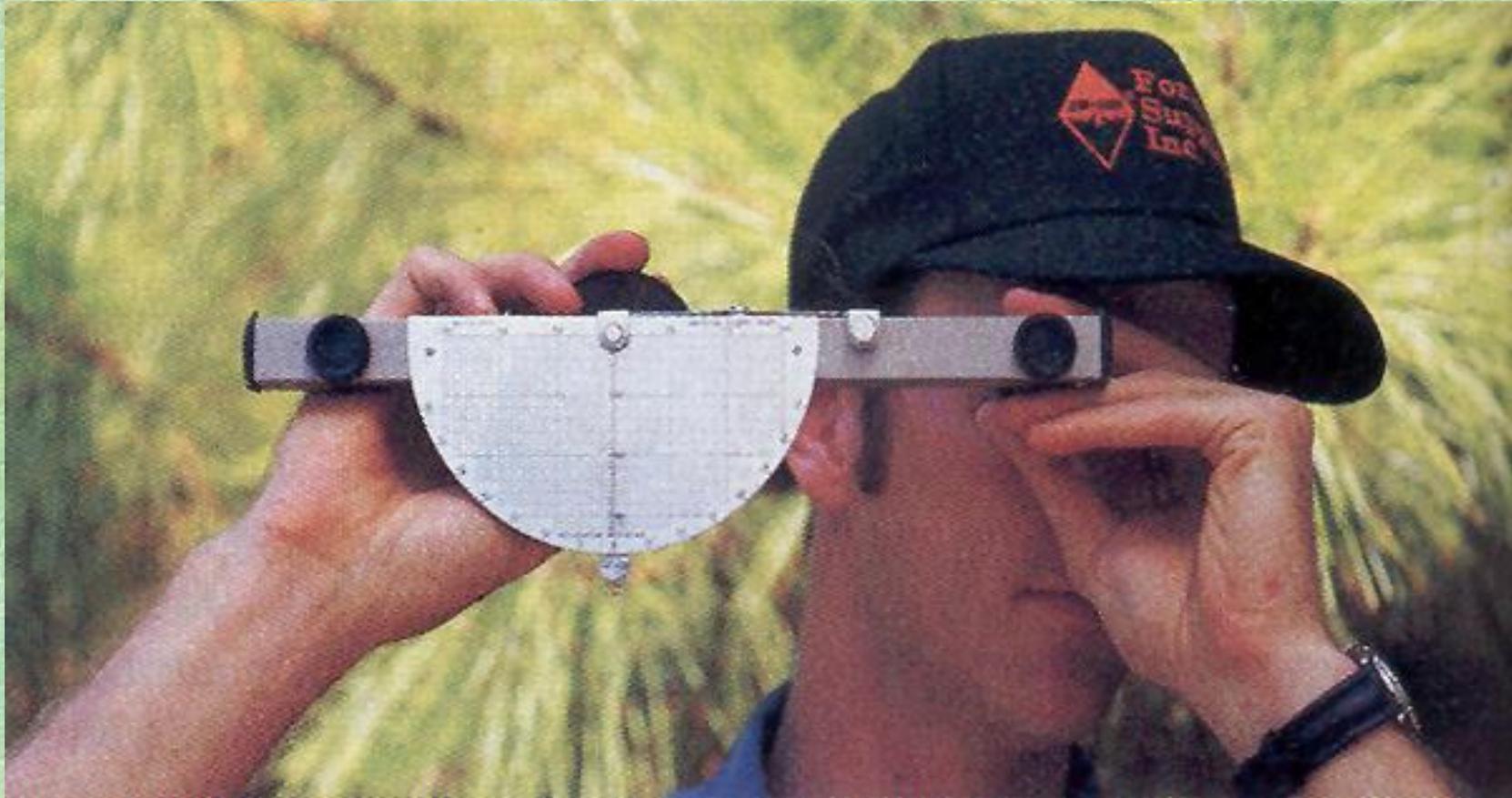


Instrumentos para medir distancias: telémetro no Relascópio de Bitterlich



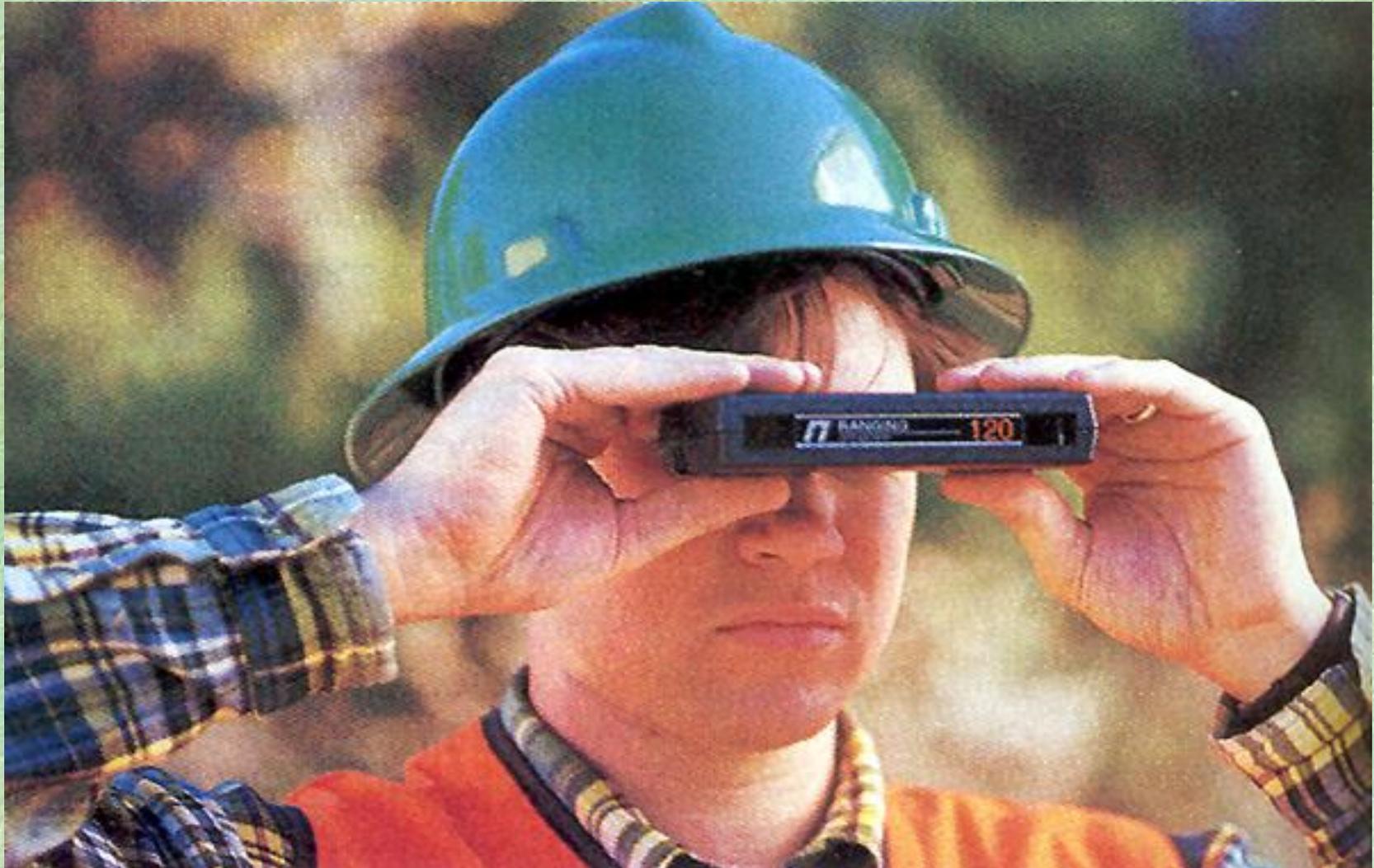


Distanciómetro - Range finder





Distanciómetro de prisma





Medidor de distancia ultra-som





Instrumentos que miden ángulos

Clinómetros

Clinómetro de Abney

Clinómetro Suunto

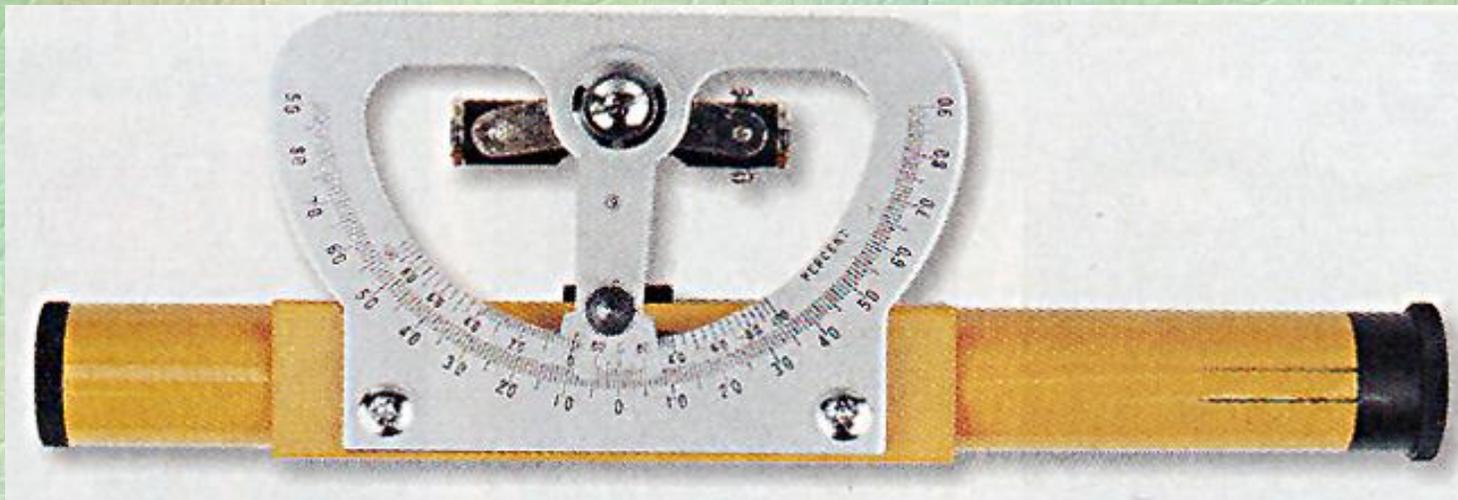
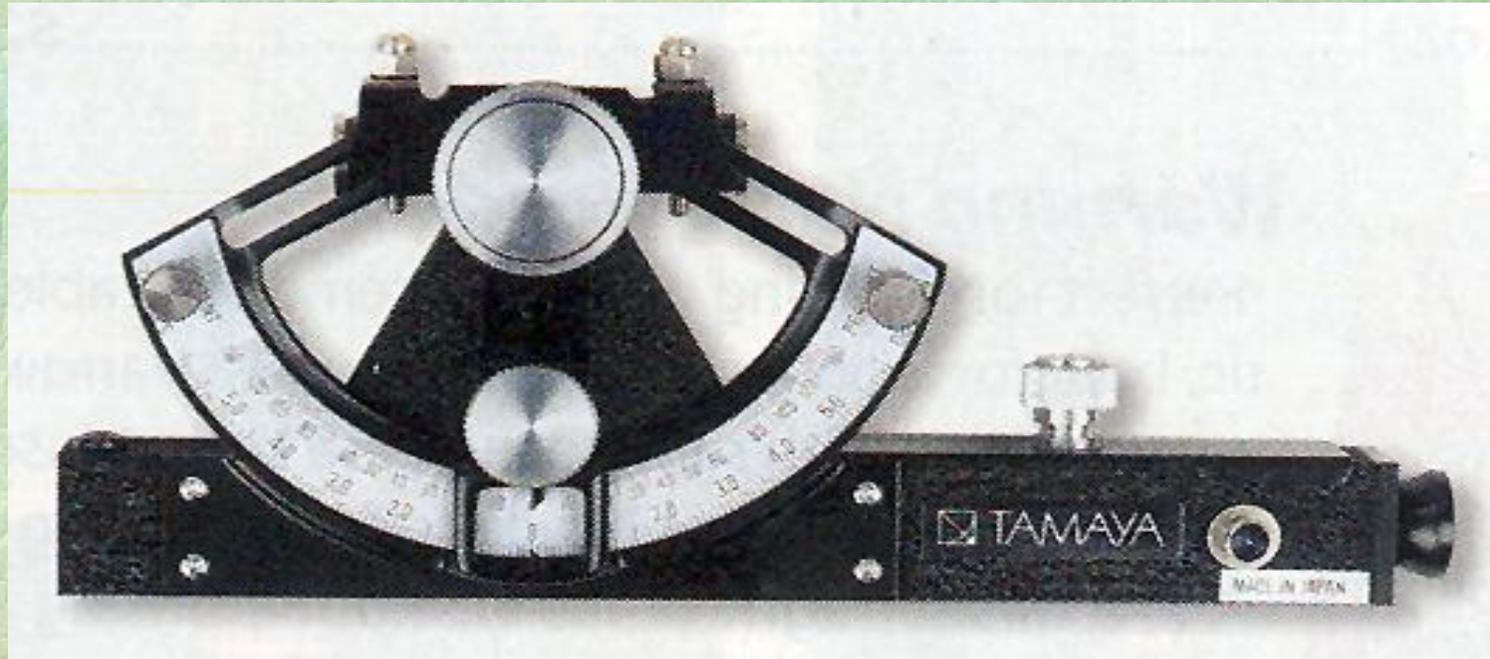
Pentaprisma

Teodolitos, niveles,

Criterion, Tele-Relascópio



Clinómetro de Abney





Clinómetro Suunto





TEODOLITO

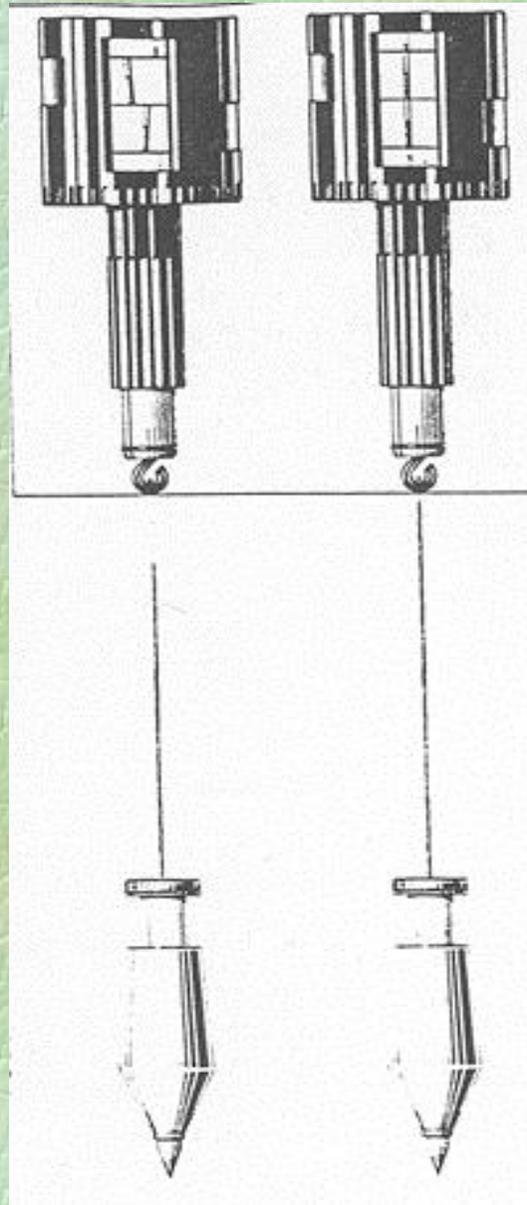
medidas de
ángulos en
diversas
posiciones





Niveles
alta precisión
medidas de
ángulos y
distancias
uso de rayo laser





Pentaprisma

medición angular
de 180°

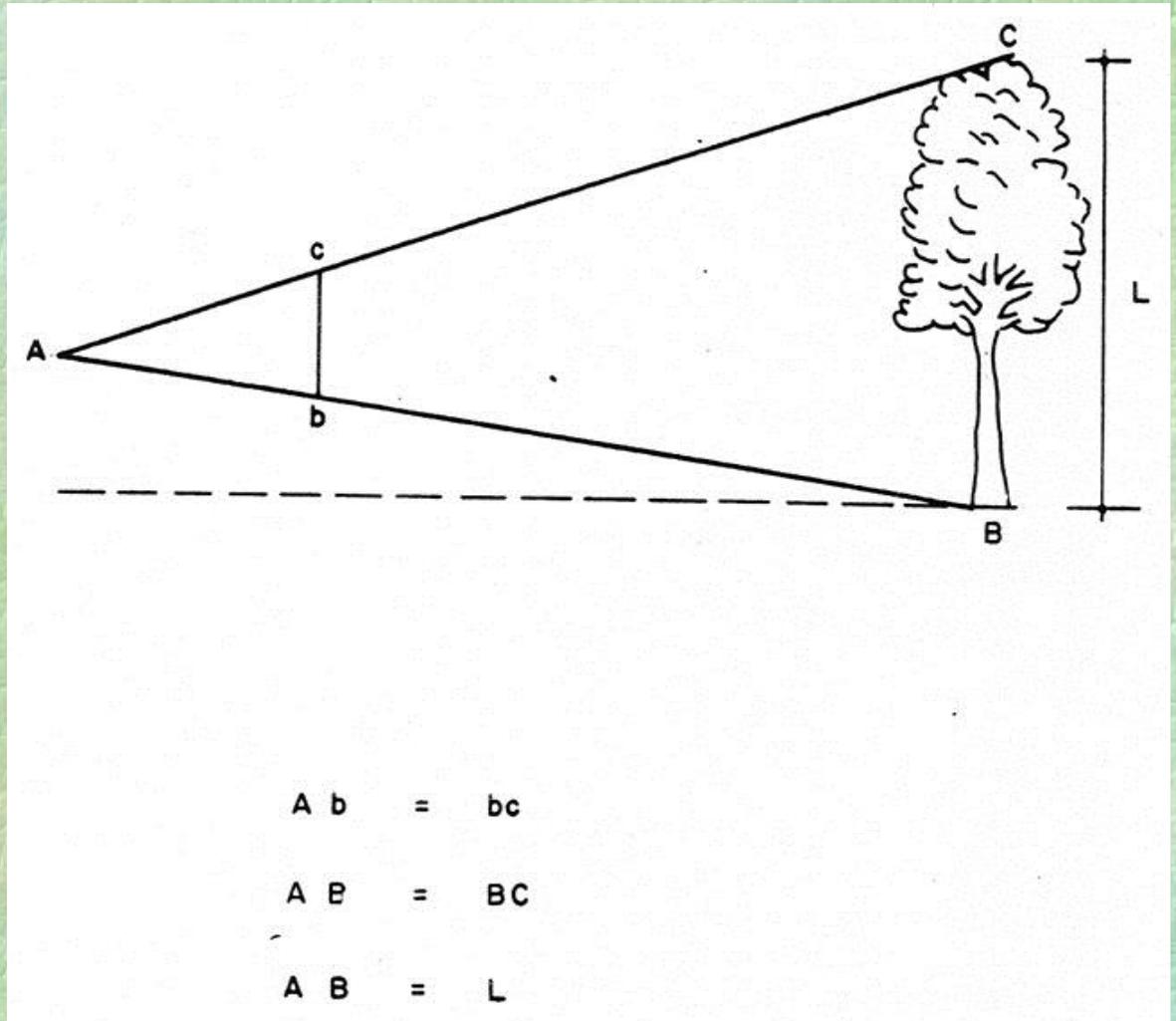


Pentaprisma



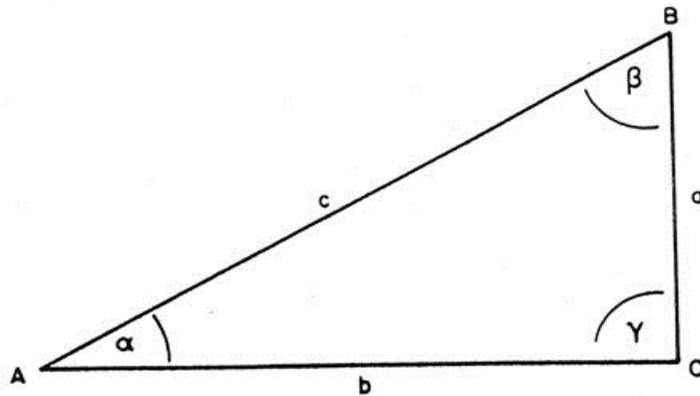


Principio geométrico





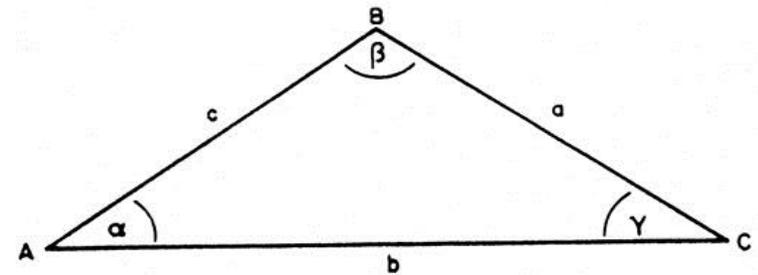
Principio trigonométrico



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

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

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



Relação dos Senos :

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

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

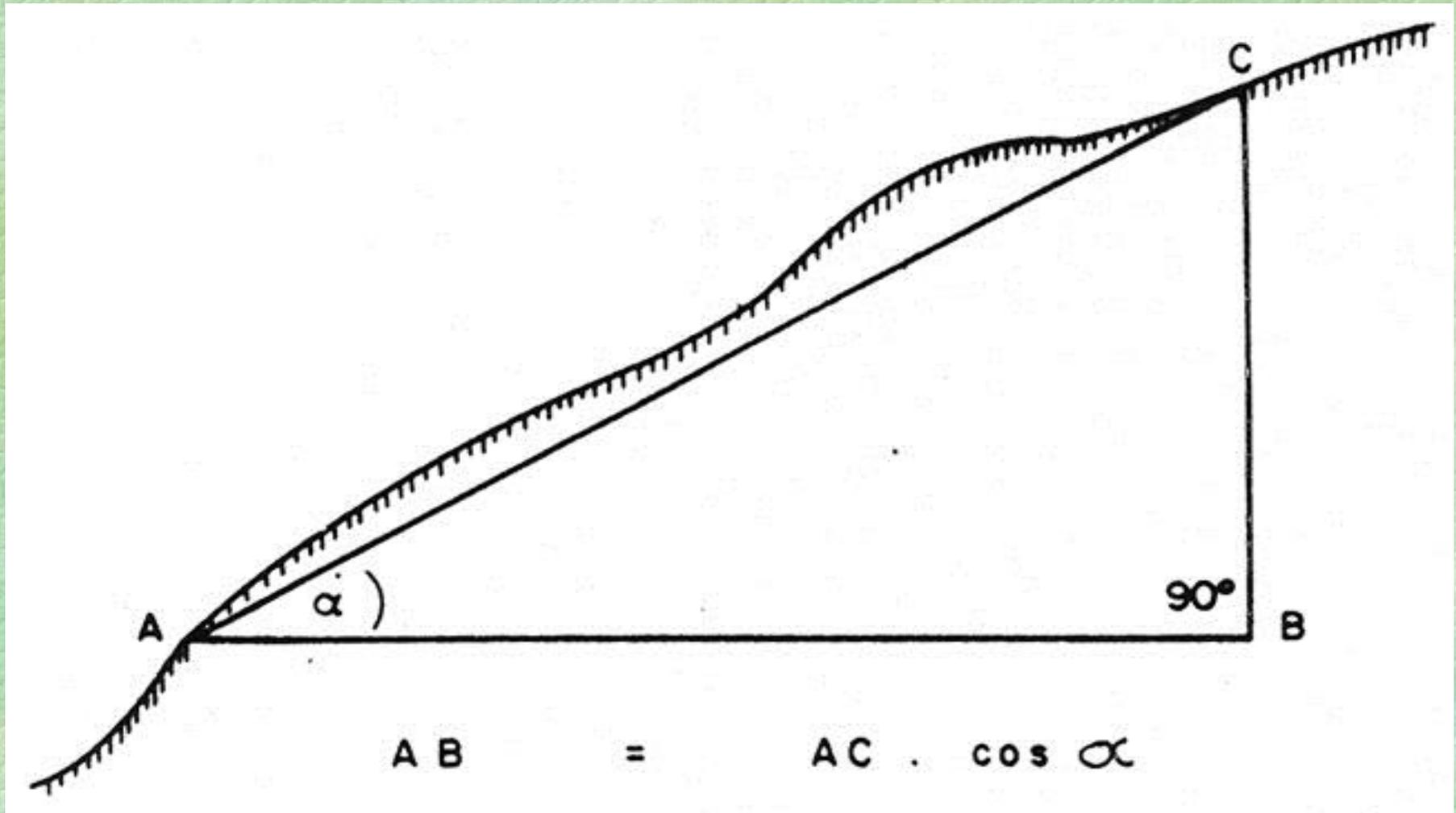
$$c = \frac{a \text{ sen } (\alpha + \beta)}{\text{sen } \alpha} = \frac{a \text{ sen } \gamma}{\text{sen } \alpha}$$

Relação dos Cosenos :

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



Aplicación de la geometría para medir la declividad





Relación de la geografía con datos dendrométricos

Puntos cardinales: direcciones de la rosa de los vientos a través de una aguja imantada apuntando el norte magnético, diferente del norte geográfico

La unidad de medida puede estar dividida en 360 grados o 400 gons



GPS – Global Positioning System



Rastreador de 8 a 12 satélites

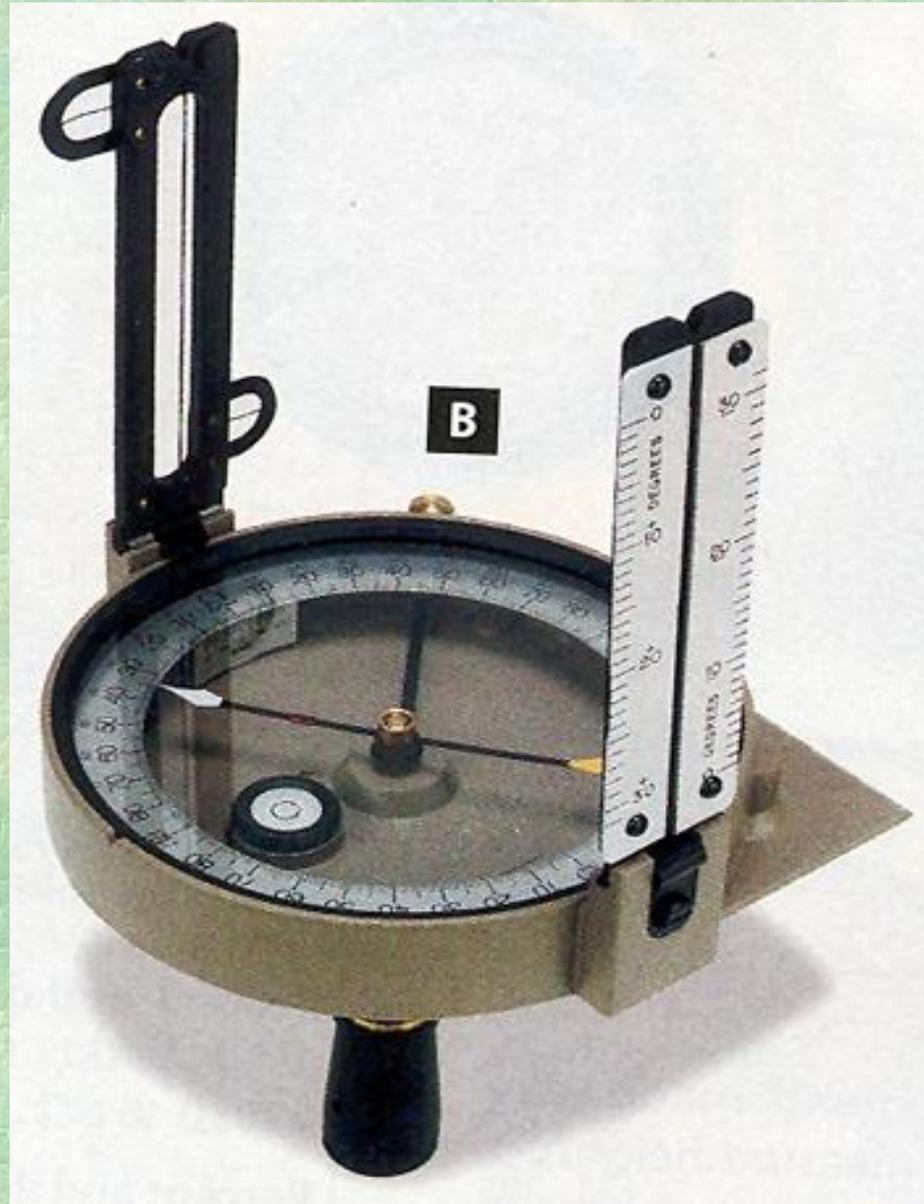
Trabaja como receptor de señales rastreados

Usados para la localización de objetos

El error de posicionamiento puede ser de 2 cm a 15 m



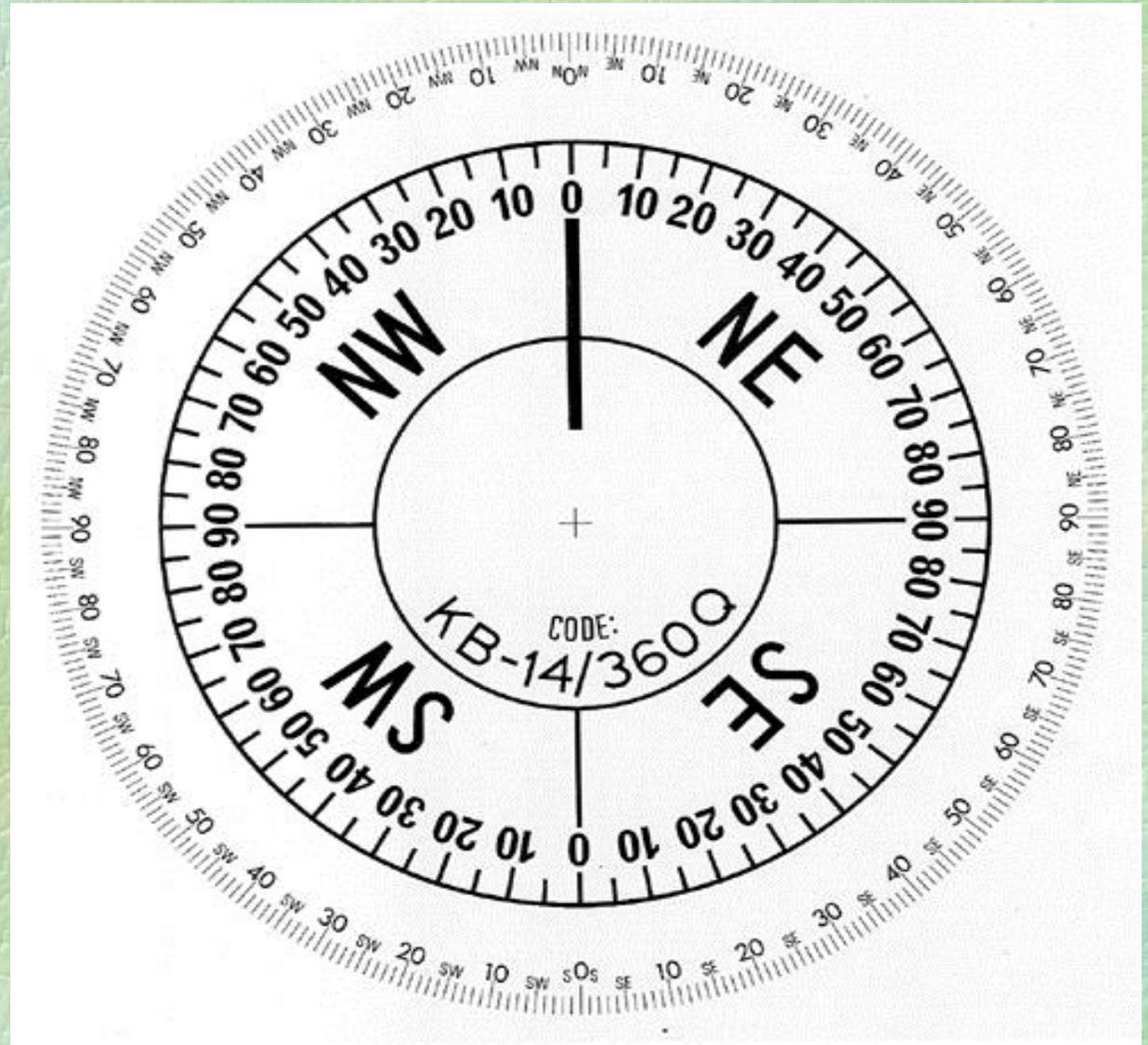
Brújula geodésica

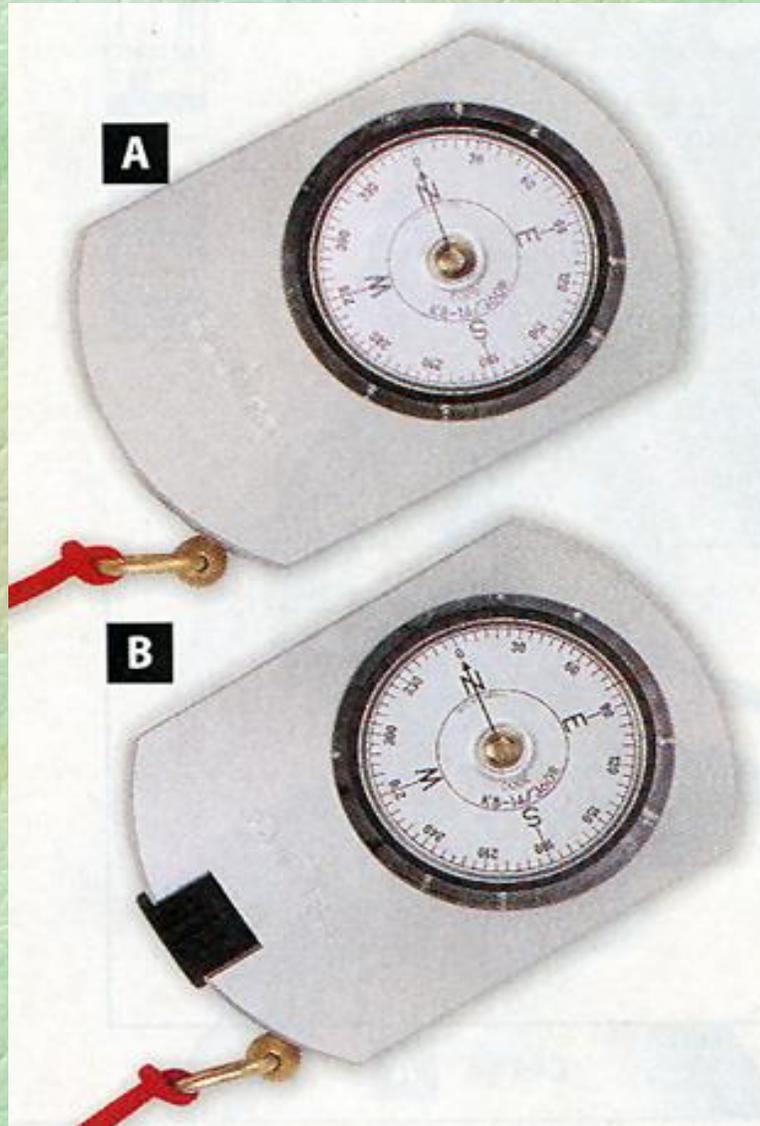




Rosa de los vientos

modelo en la
brújula Suunto
360 grados
en escalas
horizontal y vertical

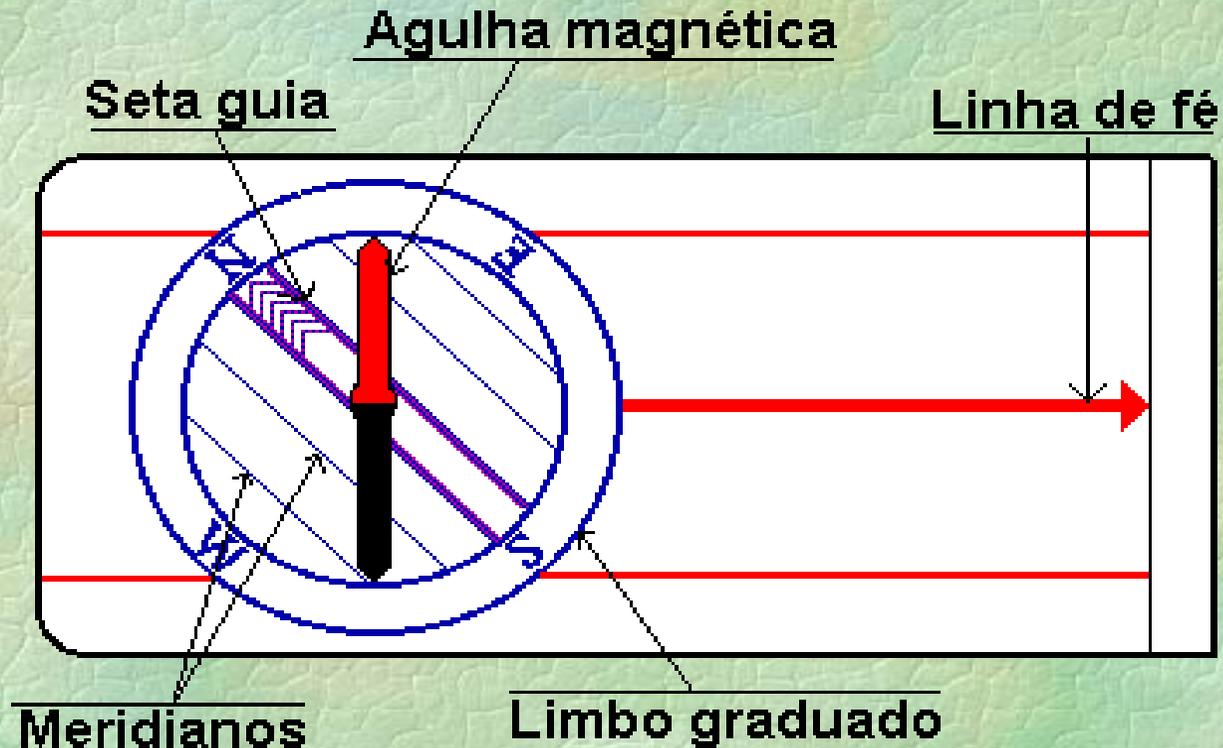




Brújula Suunto 360°

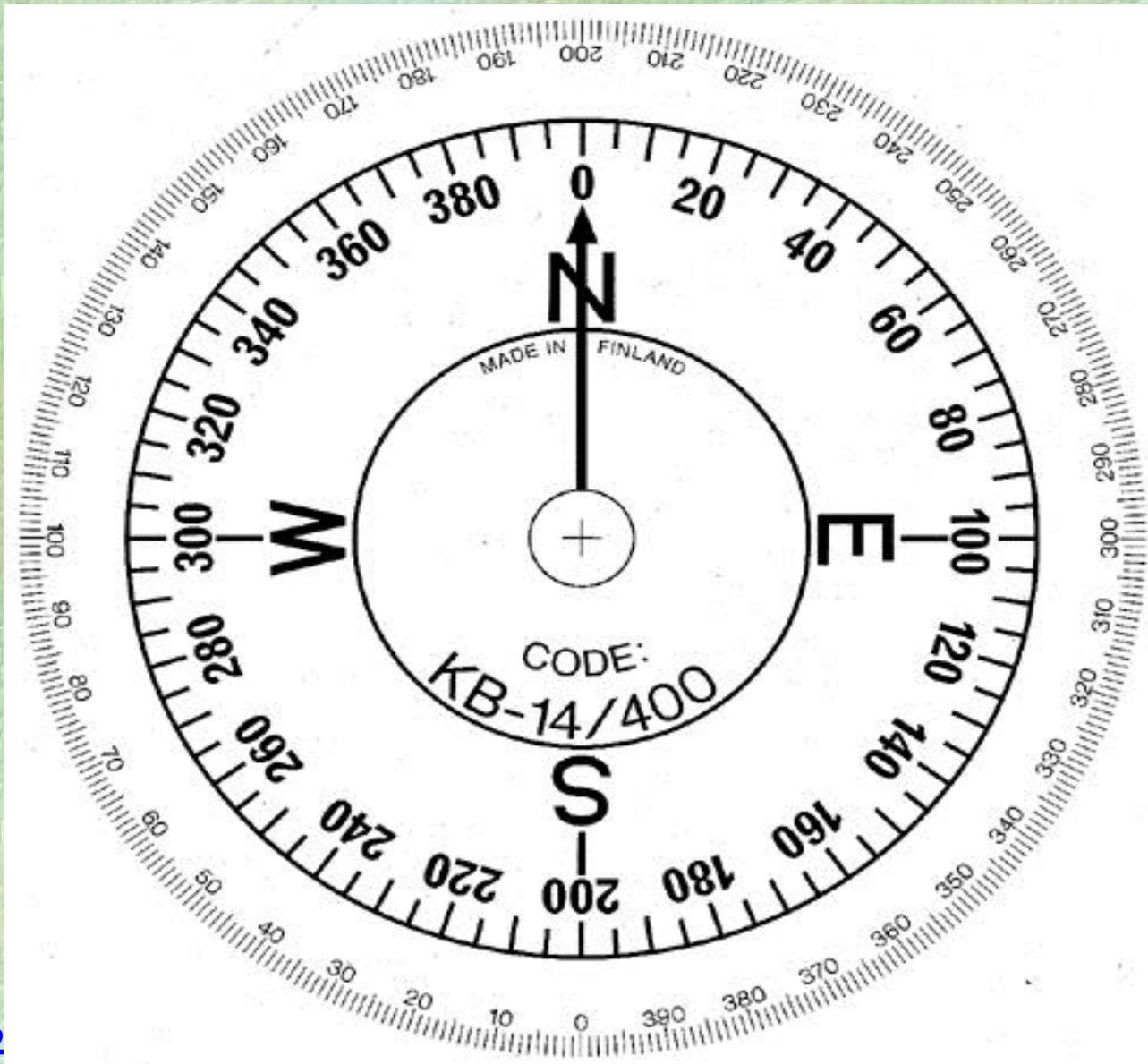


Componentes de una brújula geodésica





Brújula Suunto 400 gons



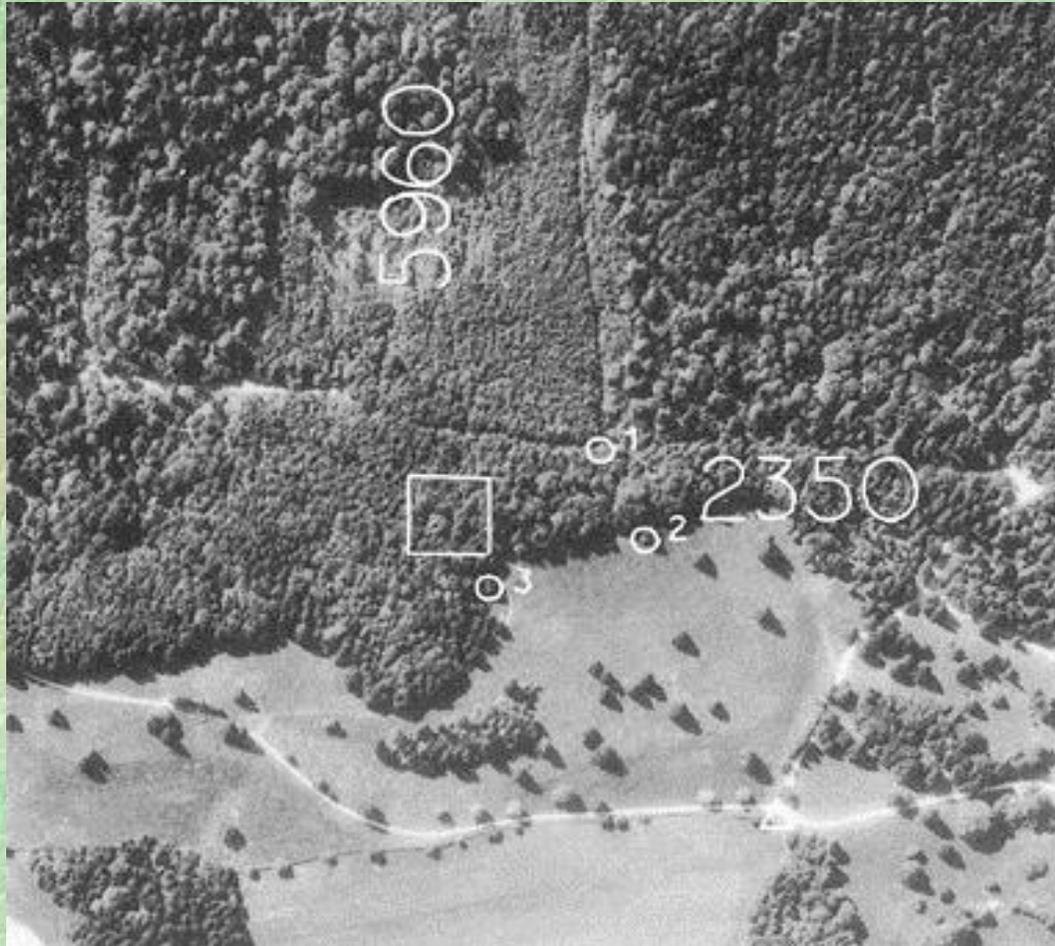


Instrumentos de mensura forestal



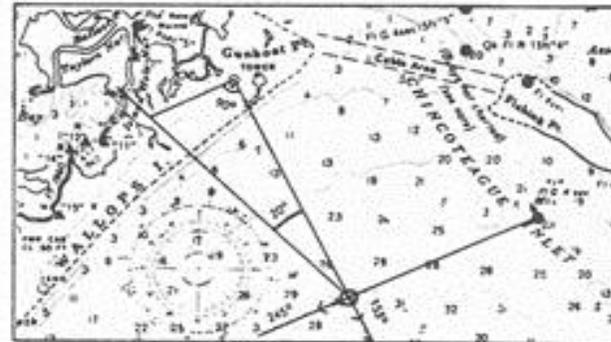
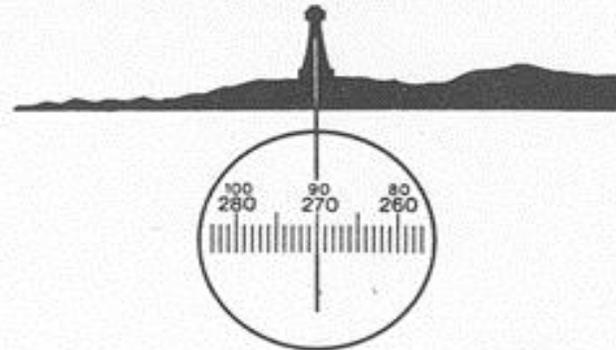


Localización de la parcela y puntos de referencia





Localización de la parcela y puntos de referencia a través del clinómetro Suunto



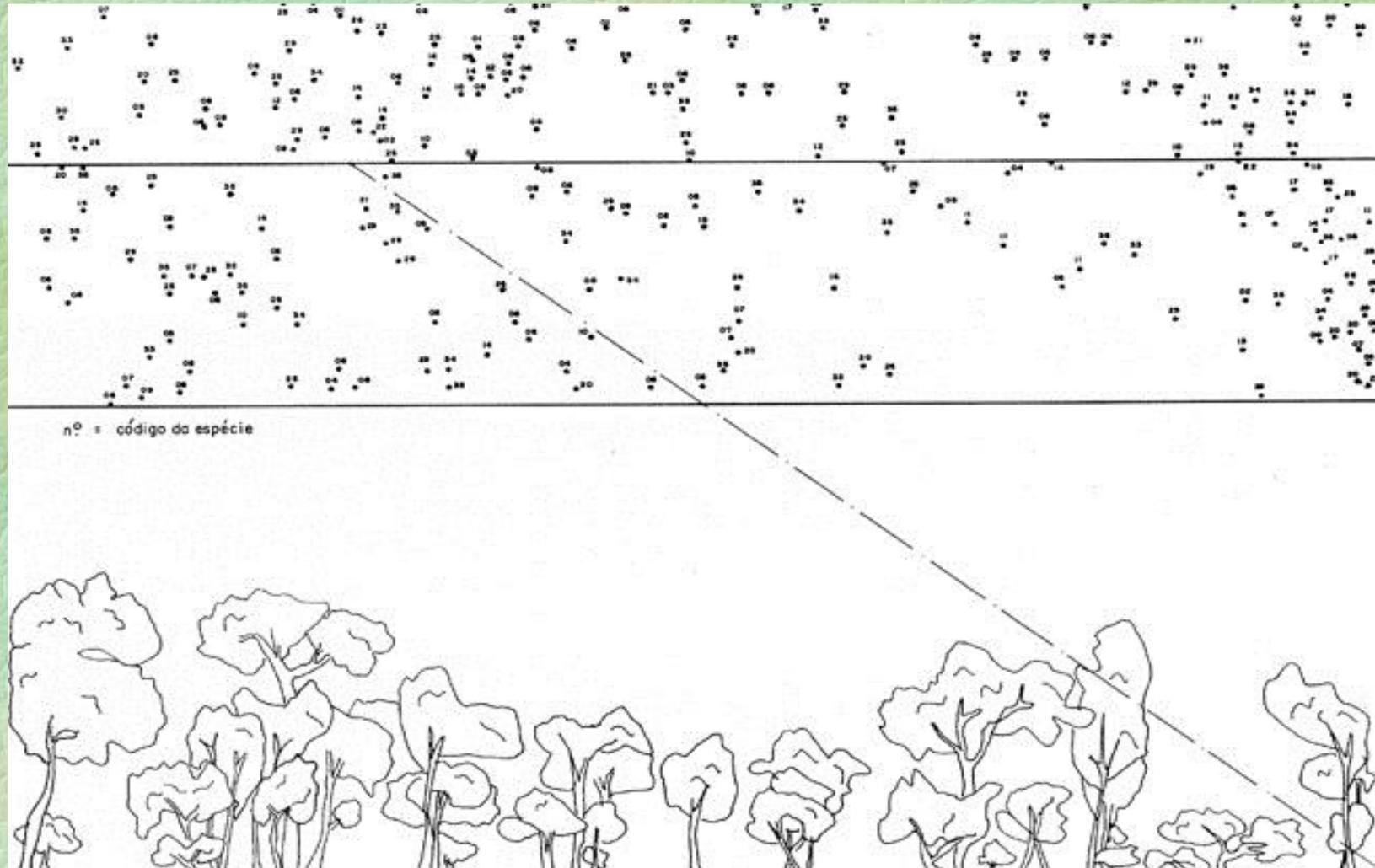


Nivel con brújula





Coordenadas geográficas de los árboles y perfil estructural





Marcado de los árboles

en parcelas de observación científica
corte selectivo en los planes de manejo
árboles escogidos por motivo específico
marcación invisible x marcación visible



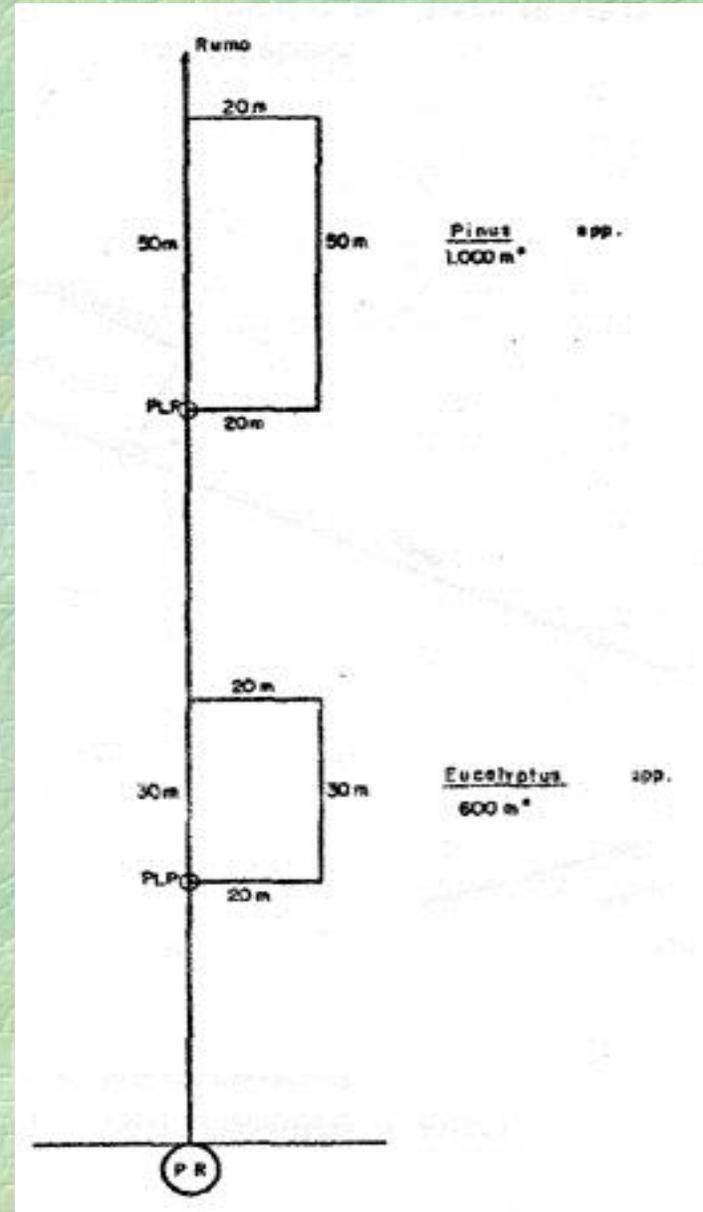
Marcado de puntos:

localización de la parcela de muestreo

PR = ponto de referencia

PLP = ponto localização de la parcela

numeración de los árboles dentro de la parcela por sistema de coordenadas





Instrumentos para el marcado de árboles



Lámina marcadora



Garfo marcador



Marcadores de árboles



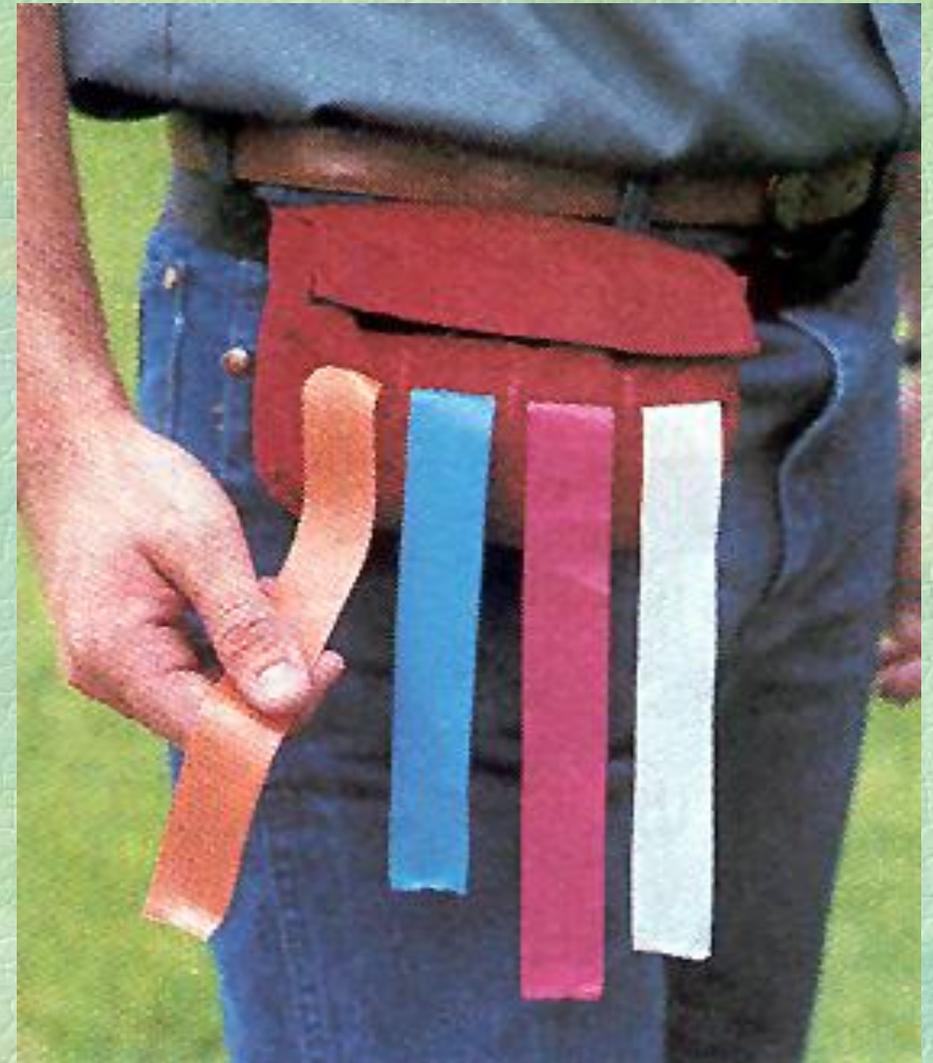
Spray (tintas coloridas)



Raspador



Cintas marcadoras





Recopilación Unidades 1 y 2:

- ⇒ Definiciones ✓
- ⇒ Conceptos y objetivos ✓
- ⇒ Historia de la dendrometria ✓
- ⇒ Correlaciones con otras disciplinas ✓
- ⇒ Distancias ✓
- ⇒ Unidades de medida ✓
- ⇒ Factores de conversión ✓
- ⇒ Componentes del árbol ✓
- ⇒ Objetivo de las mediciones ✓
- ⇒ Variables ✓
- ⇒ Funciones ✓
- ⇒ Errores ✓



Recapitulación:

Individuo de medición ✓

Unidades de medida ✓

Factores de conversión ✓

Variables dendrométricas

Parámetros dendrométricos

Instrumentos de medición

Métodos de medición

Manejo de datos dendrométricos ✓

Interpretación de resultados

Transferencia del conocimiento



Variables Dendrométricas

Diámetros Circunferencias



Planificación de la disciplina

Unidad 3: DAP y otros diámetros. CAP y otras circunferencias. Estimación y medidas de diámetros y circunferencias. Instrumentos. Errores de medición y cálculos de medias.



Sólido geométrico de relación

⇒ cilindro

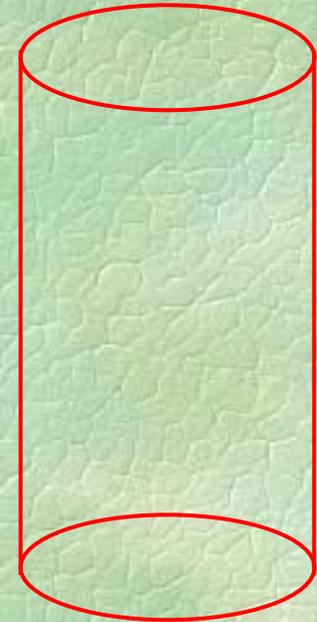
diámetros son equivalentes a
las circunferencias

intervalo de graduación en
las circunferencias es π

$\pi = 3,1416$

$$C = D \cdot \pi$$

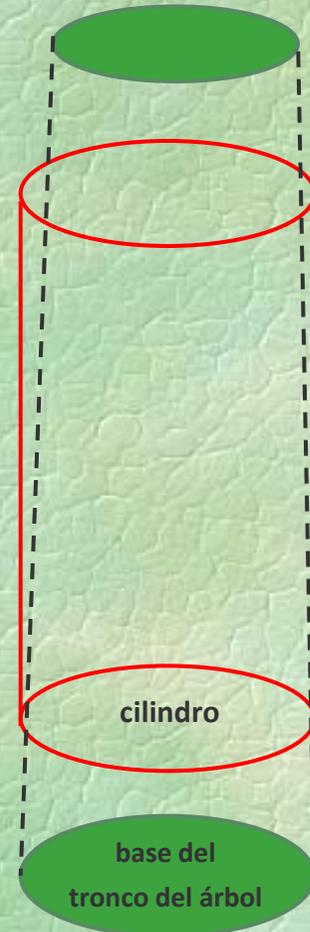
$$D = C / \pi$$





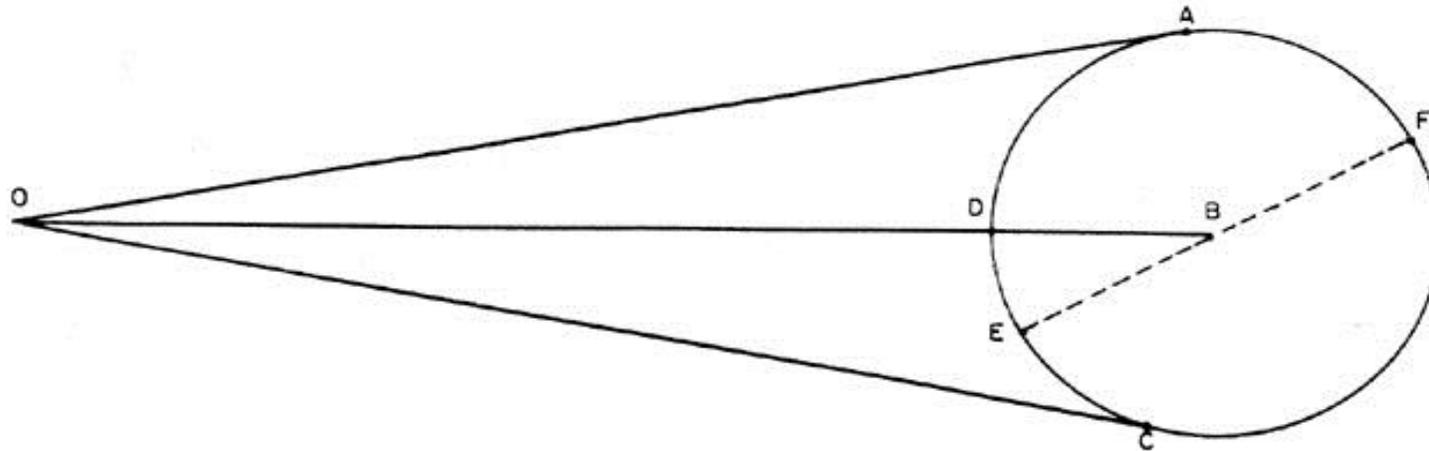
no sólido geométrico a
figura cilíndrica es perfecta
*necesaria apenas una medida del
diámetro*

o tronco del árbol será
considerado como cilindro
geométrico imperfecto
*necesarias dos medidas para
mayor aproximación del valor
verdadero del diámetro*





Distancias auxiliares horizontales



- O D Distancia do observador a árvore .
- O A) Distancia do observador ao ponto de tangencia .
- O C)
- O B Distancia do observador ao centro da árvore .
- E F Distancia diametral da árvore .



FORMA DEL TRONCO

diámetro cilíndrico

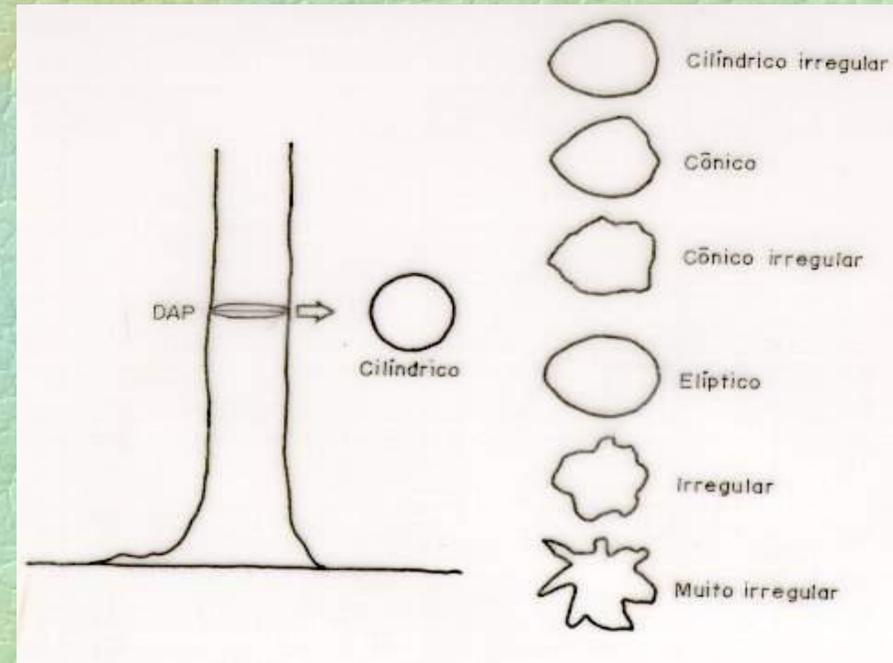
diámetro cilíndrico irregular

diámetro elíptico

diámetro cónico

diámetro cónico irregular

diámetro irregular





Situaciones atípicas



Diámetros convencionales en:

- alturas o distancias fijas**
- alturas o distancias relativas**

**Diámetros
convencionales
en árboles en pie**

**Diámetros
convencionales en
árboles apeados**



Medidas directas = contacto inmediato con la variable

Medidas indirectas = a través de instrumentos ópticos

Medidas estimadas = se fundamentan en métodos estadísticos



diámetros no accesibles

- $D_{h2/3}$ diámetro a dos tercios de h
- $D_{h/2}$ diámetro en la altura media
- D_{9m} diámetro a 9 metros
- $D_{i/c}$ diámetro en la inserción de la copa
- D_{7m} diámetro a 7 metros
- $D_{h/3}$ diámetro a un tercio de h
- $D_{h/10}$ diámetro a un décimo de h
- DAP** diámetro a 1,30 m
- D_b diámetro de la base

diámetros accesibles



Principal variable dendrométrica

DAP = diámetro a la altura del pecho

por convención internacional a **1,30 m** de altura del suelo
en el sistema inglés a **4,5 pies** (1,37 m)

equivalente al **CAP = circunferencia a la altura del pecho**

$$\mathbf{DAP = CAP / \pi}$$

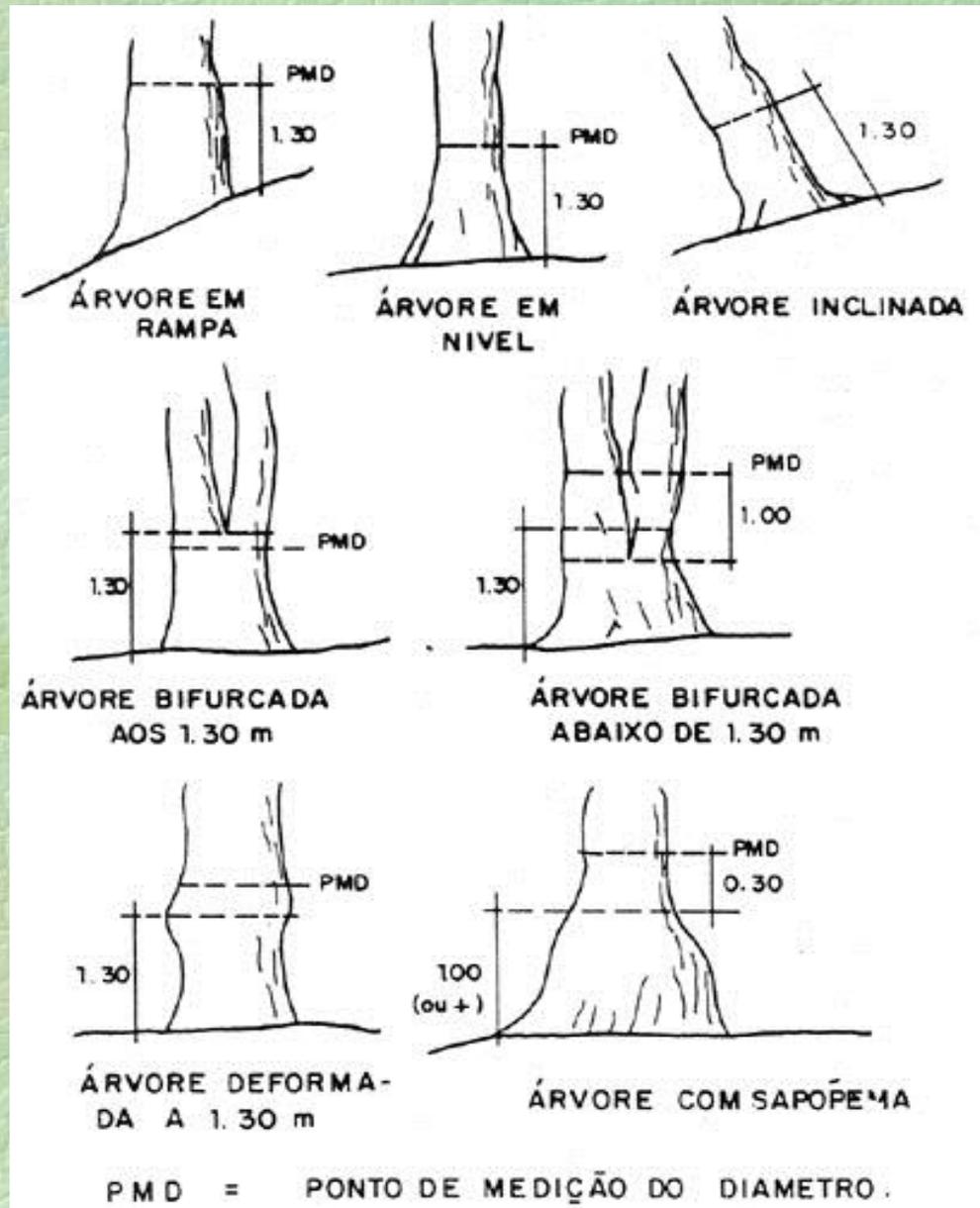
$$\mathbf{CAP = DAP \cdot \pi}$$



El DAP solo será medido a partir de un valor mínimo, denominado de diámetro mínimo establecido por el investigador o estar en el correspondiente proceso metodológico de mensuración



Puntos de medida del DAP





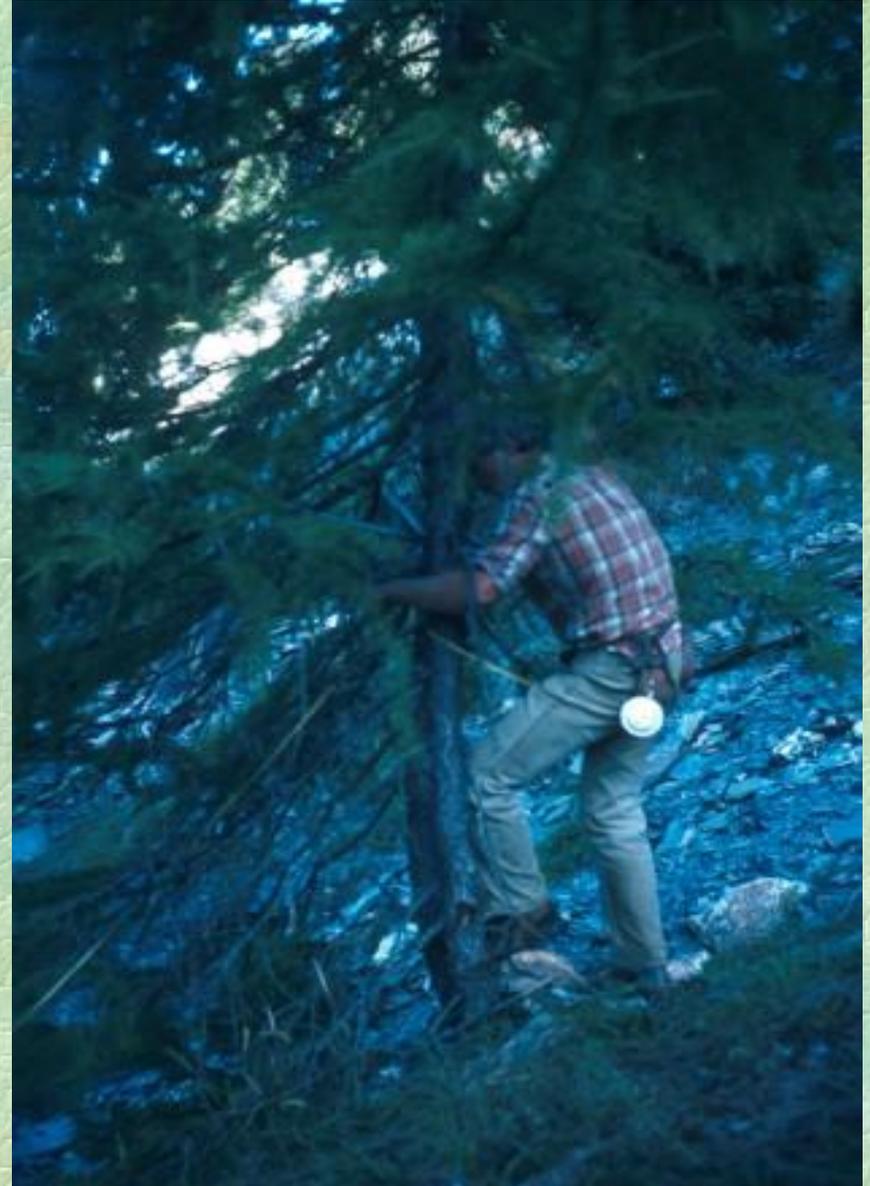
Instrumentos para medir circunferencia:

cinta métrica \Rightarrow cinta de costurera (1,50 m), cintas métricas de hasta 5 metros

cinta diamétrica \Rightarrow proporcionan medidas directas de diámetros, es posible encontrar cintas diamétricas de 5 y 10 metros



Cinta diamétrica



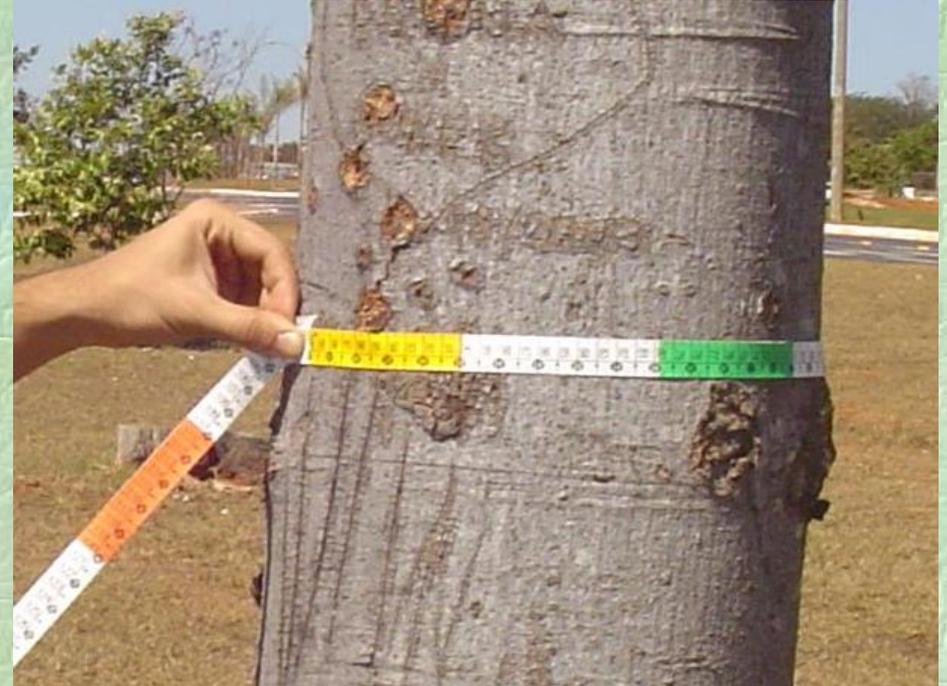


Cintas diamétricas





Cintas métricas de costurera (1,50 m)





Instrumentos para medir diámetros:

forcípula \Rightarrow normalmente construido de metal leve y resistente, ofrece medidas directas de diámetro de uso constante en las mediciones forestales, posiblemente el instrumento más común de la dendrometria

forcípula finlandesa \Rightarrow proporcionan medidas directas de diámetros a diversas alturas del tronco, es posible encontrar esta forcípula en diversos tamaños

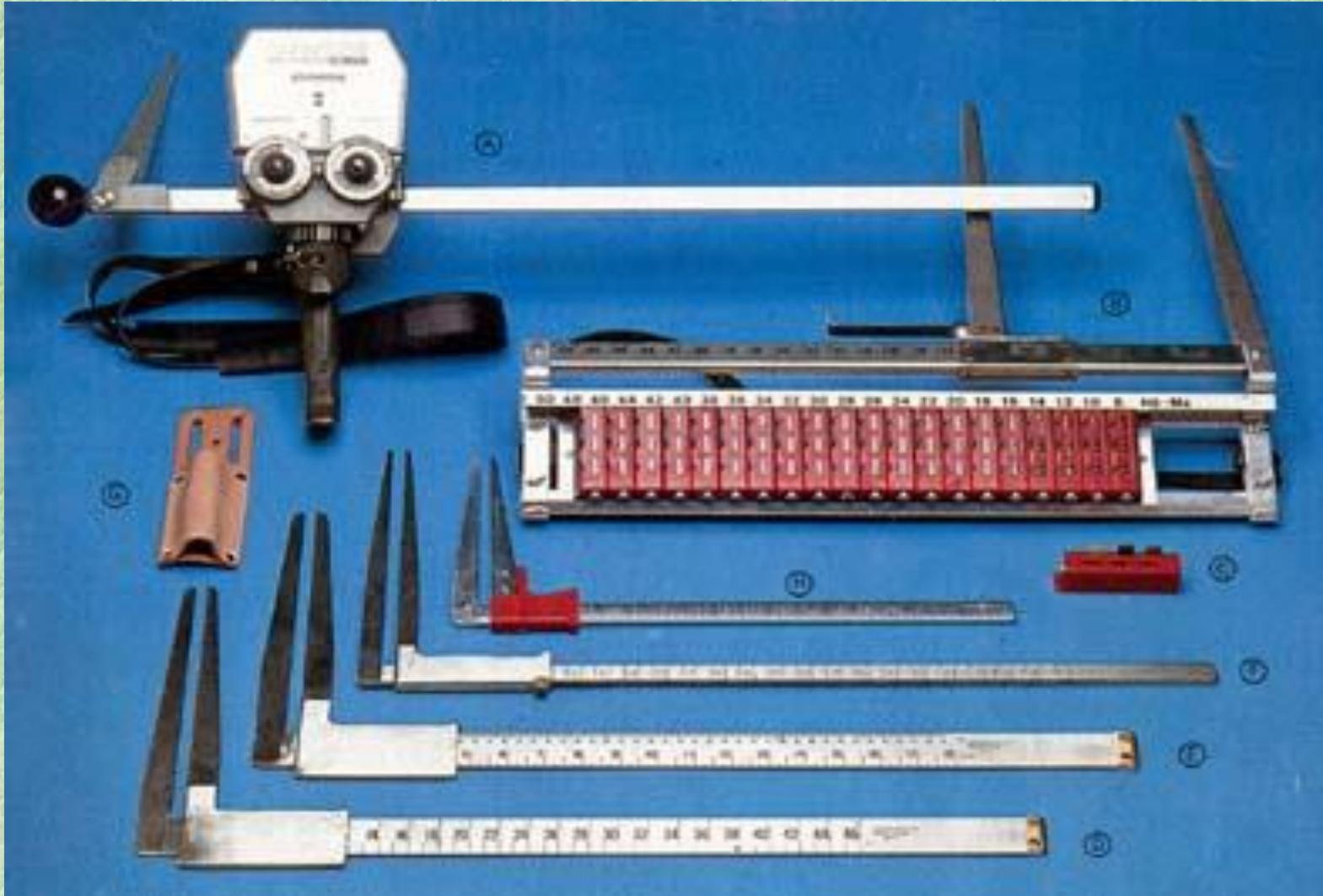


Forcípula, caliper o compas forestal





Modelos de forcípulas de alta precisión



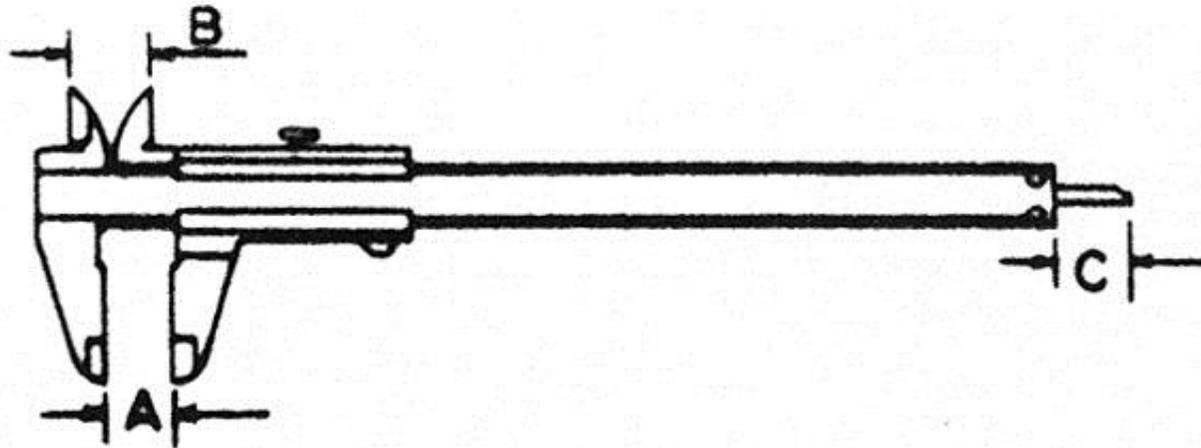


Tipos de forcípulas cuanto al tamaño





Pie de rey de precisión



A = Medida Externa

B = Medida Interna

C = Medida de Profundidade

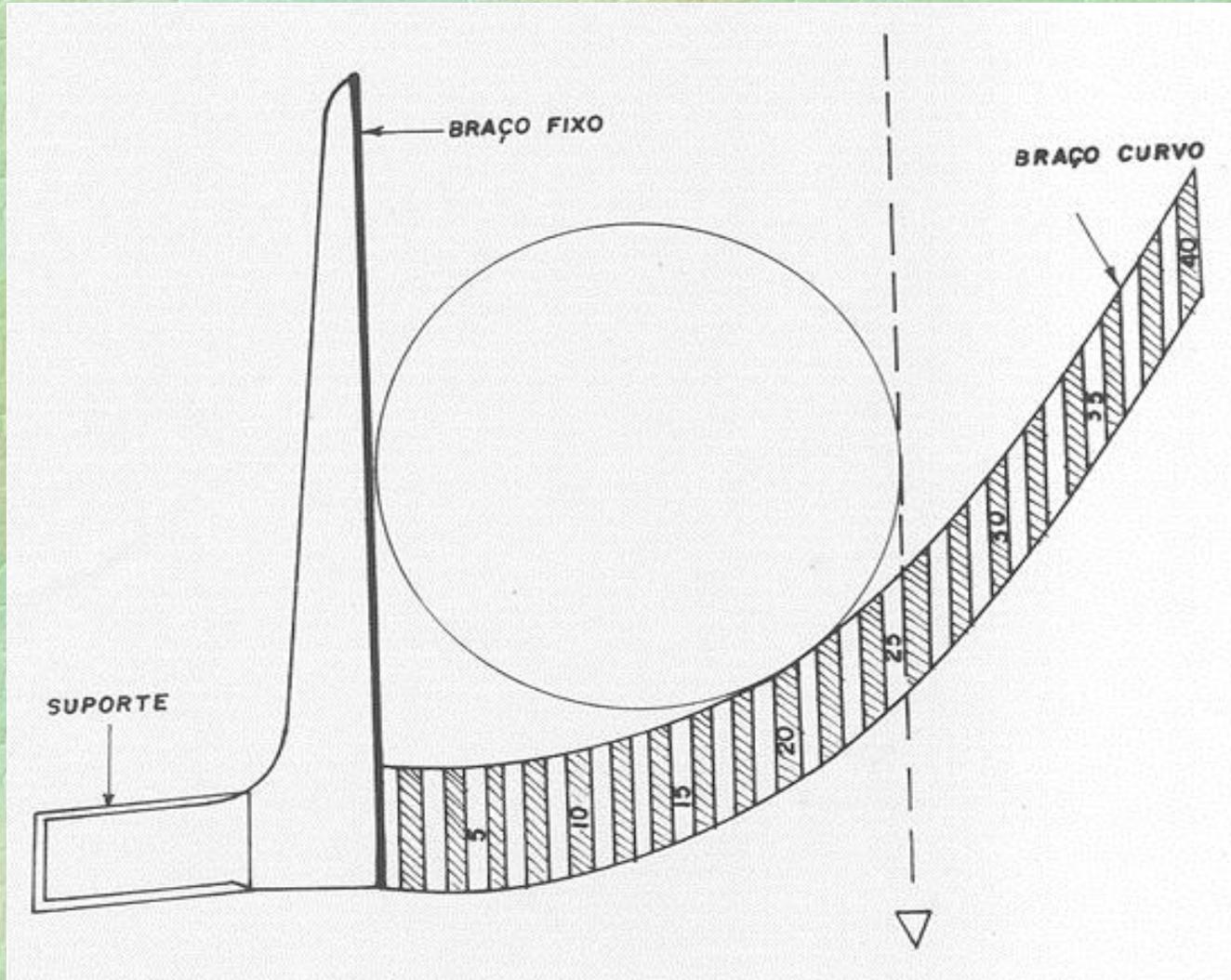


Modelos de pie de rey de precisión





forcípula finlandesa





Forcípula finlandesa



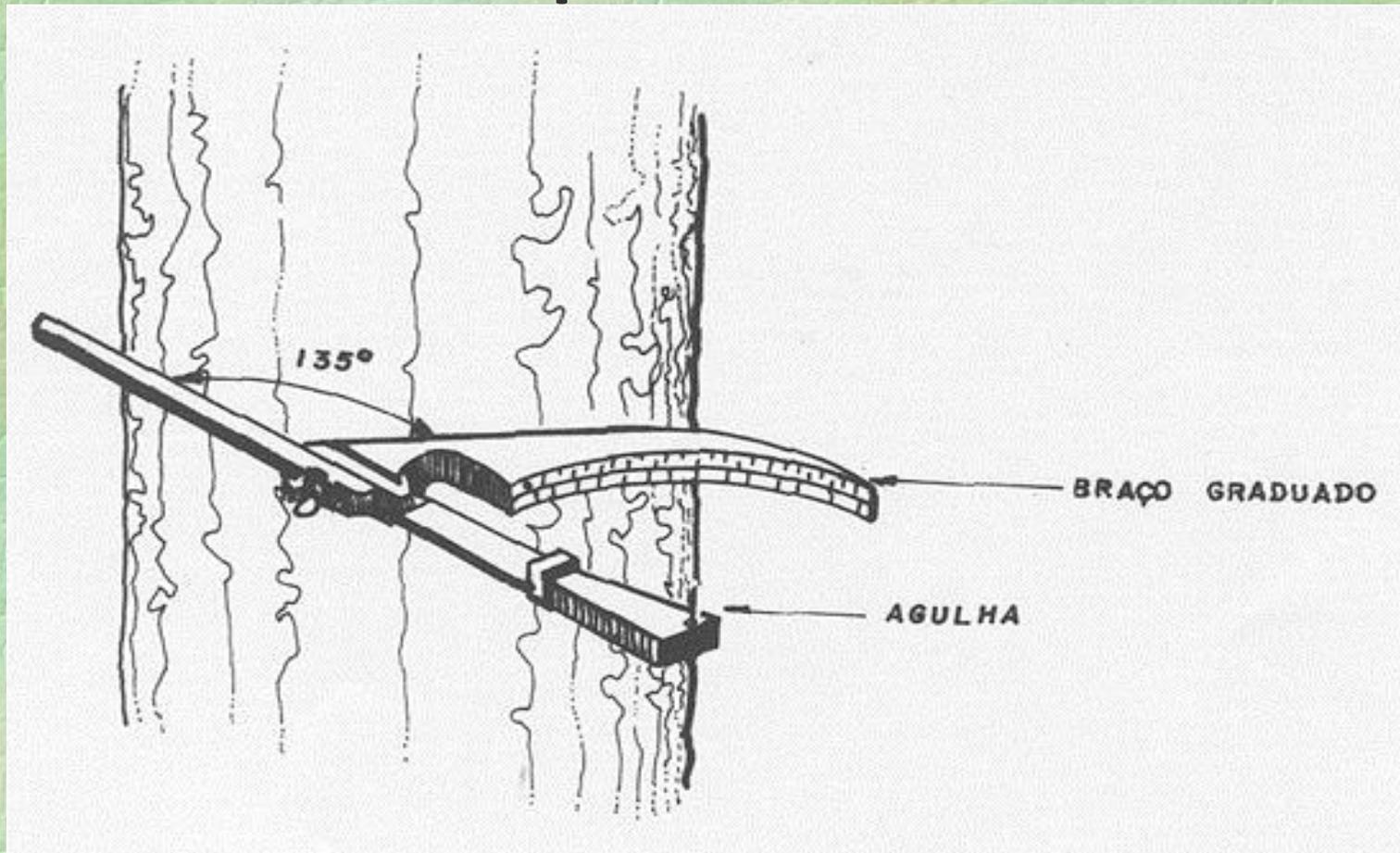


Modelos de forcípulas finlandesas





Visor diamétrico de Bitterlich forcípula de tarifas





Visor diamétrico de Bitterlich

constituido por dos brazos fijos, uno de ellos en forma de arco (contiene la graduación), formando un ángulo de 135°

en un extremo do brazo fijo está asegurada una aguja que hace coincidir el punto de lectura el arco graduado contiene dos escalas, una para lecturas directas de diámetro y la otra para el área transversal correspondiente

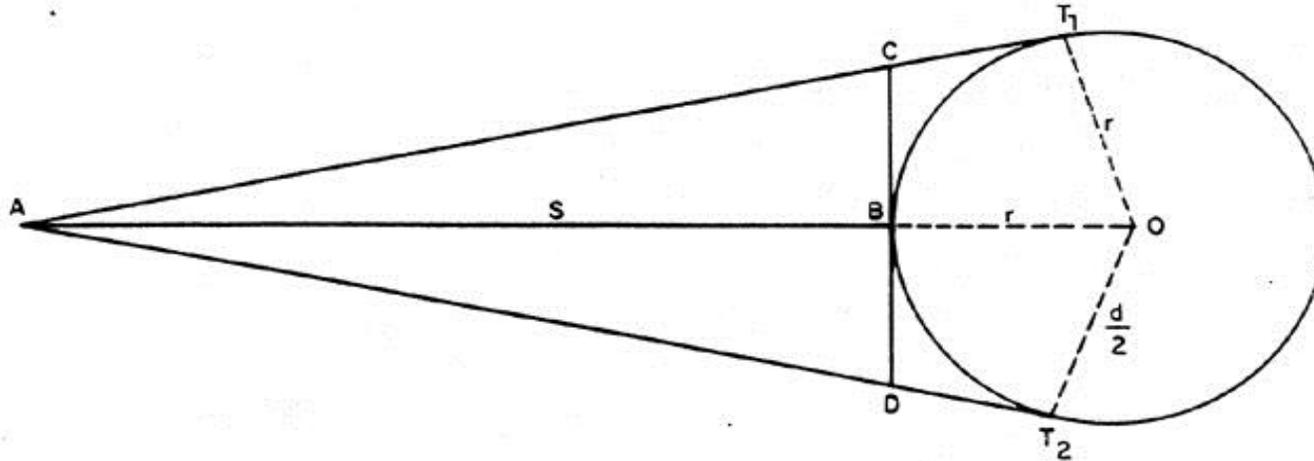


Visor diamétrico de Bitterlich





Principio de construcción de la regla Biltmore



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

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

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

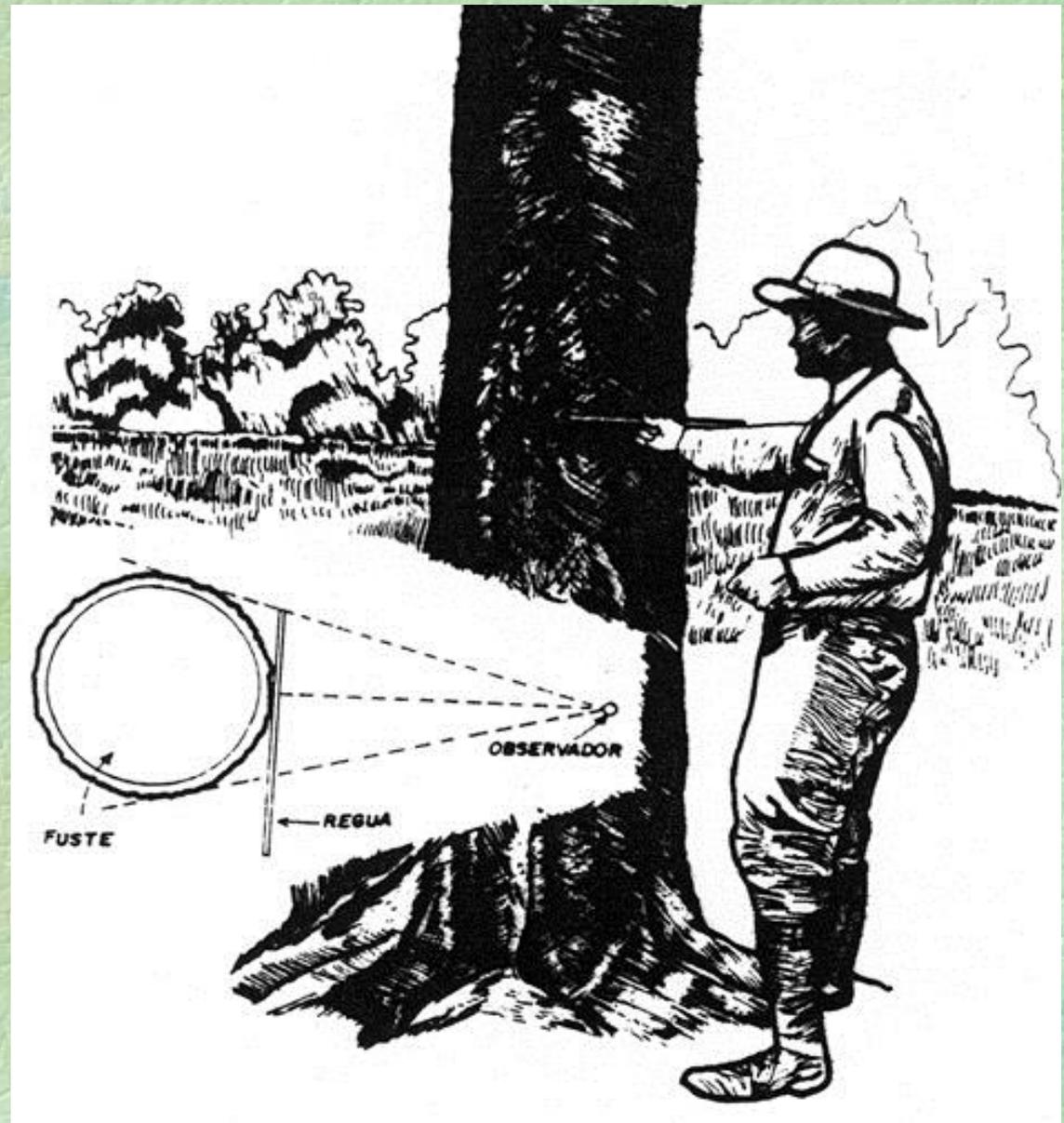
$$\textcircled{1} \quad \overline{CD} = \frac{2sr}{\sqrt{s^2 + 2rs}} = \frac{sd}{\sqrt{s^2 + sd}} = \sqrt{\frac{sd^2}{s+d}}$$

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



En el mercado norteamericano las reglas de Biltmore están graduadas para trabajar a distancias fijas de 25 pulgadas

La regla debe estar apoyada al tronco a la altura del diámetro a ser medido, haciendo coincidir el punto cero de la regla con una de las tangentes del tronco, y la otra tangente coincidirá con un valor de la escala correspondiente





Pentaprisma de Wheeler

recomendado para determinar el diámetro mínimo comercial en árboles en pie, construido con dos prismas, uno fijo y un otro móvil, escala graduada en cm permite obtener mediciones de diámetros de 7,6 a 86,4 cm, en diversas alturas



Uso del relascópio para medidas del diámetro

Relascópio: construido por Prof. Bitterlich en 1944, hoy en día considerado el instrumento forestal más importante

Instrumento metálico, pequeño y de fácil manejo, compuesto de prismas internos, de tres ventanas de iluminación, un botón para liberar y asegurar el movimiento pendular de las escalas

Observando por el ocular se tiene una visión circular dividida por la línea del horizonte o de visión. En la mitad inferior están las escalas y en la mitad superior el visual del árbol o bosque

Las escalas se clasifican en tres bandas, tres escalas de tangentes y fajas de distancias

Es posible a través del relascópio realizar mas de 52 mediciones dendrométricas, entre ellas la determinación precisa de cualquier diámetro del árbol



Relascópio de Bitterlich
también conocido como
Relascópio de espejo
o
Relascópio reflector





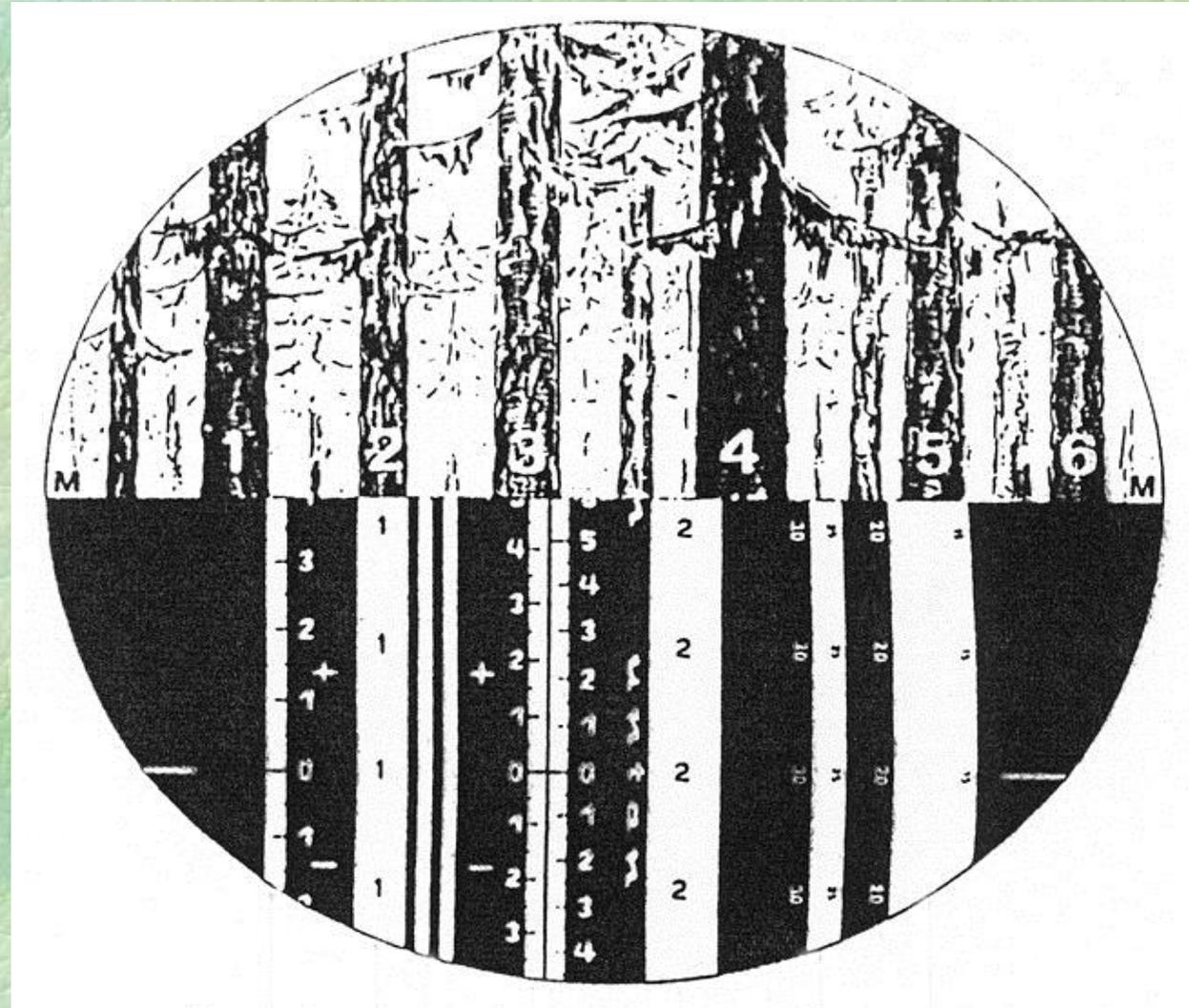
Visión a través
del relascópio

banda 1

banda de los 4
cuartos

M - M línea de
lectura

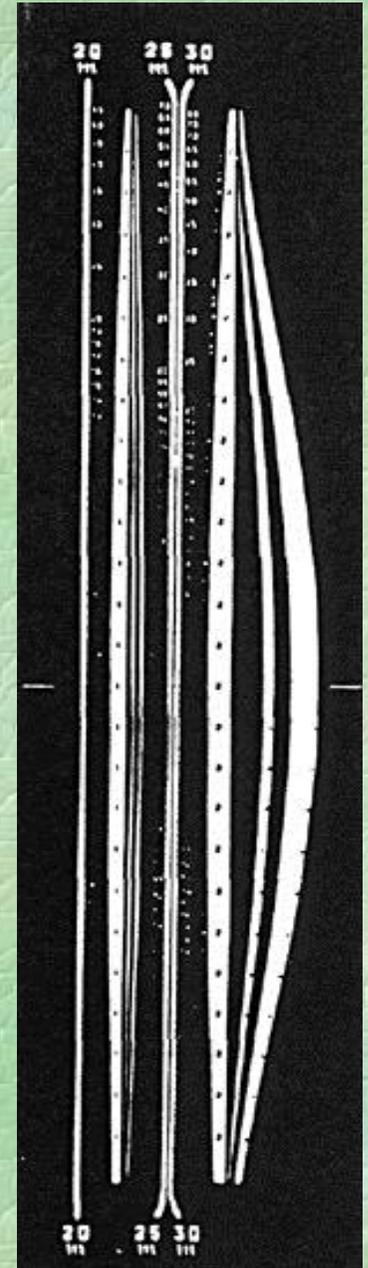
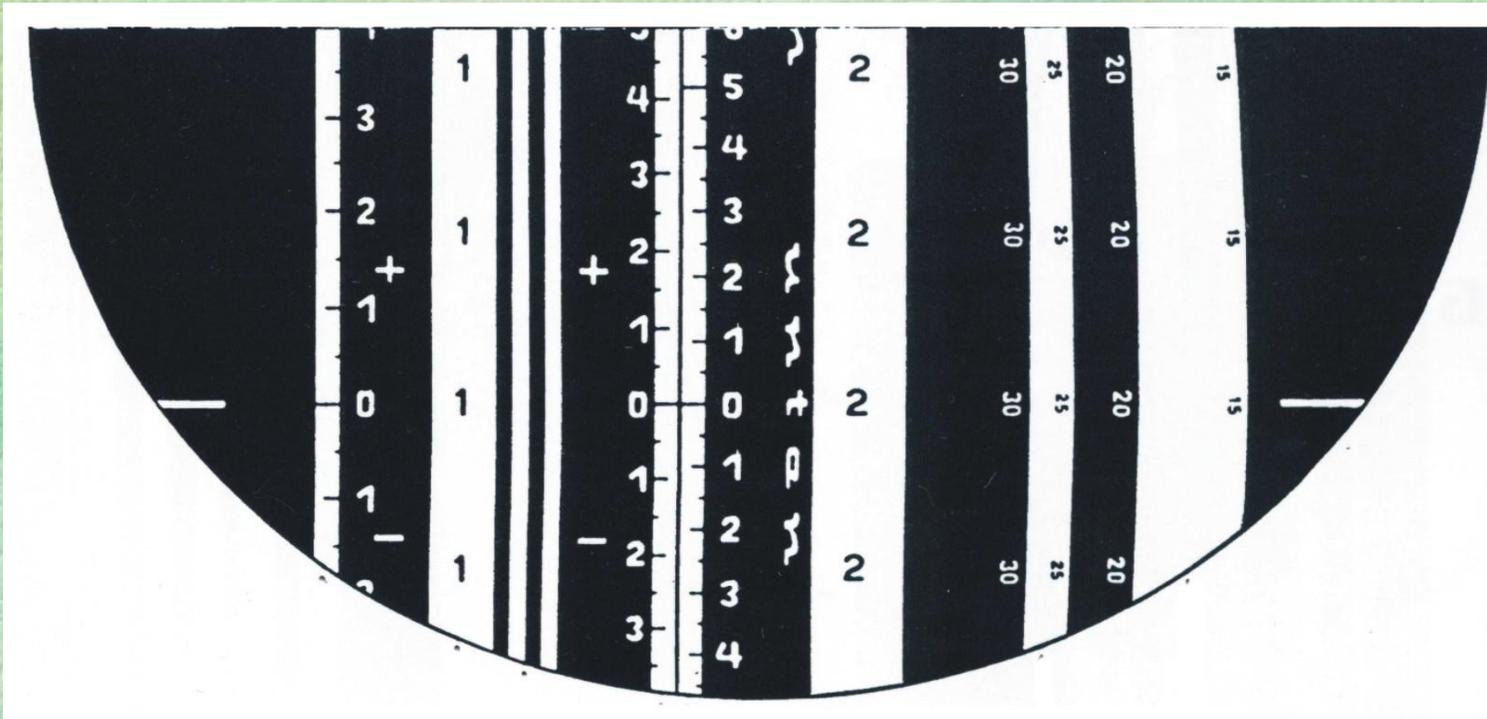
0 - punto central de
las escalas





Relascópio de Bitterlich

Bandas de numeración: banda 1,
banda de los cuatro cuartos y banda 2





Princípio de Bitterlich

Dos bandas cuartas corresponden al valor de la distancia entre el árbol y el instrumento, en centímetros

Estando a 20 metros del árbol, dos bandas cuartas medirán 20 centímetros, de tal forma que la banda 1 + las cuatro bandas cuartas podrán cubrir un diámetro de 80 centímetros

Cualquier diámetro en cualquier altura podrá ser determinado con mucha precisión



Medición de los diámetros

Número de individuos que deben ser medidos: más de 60 para asegurar la probabilidad estadística y poder calcular el intervalo de confianza, el error y el coeficiente de variación

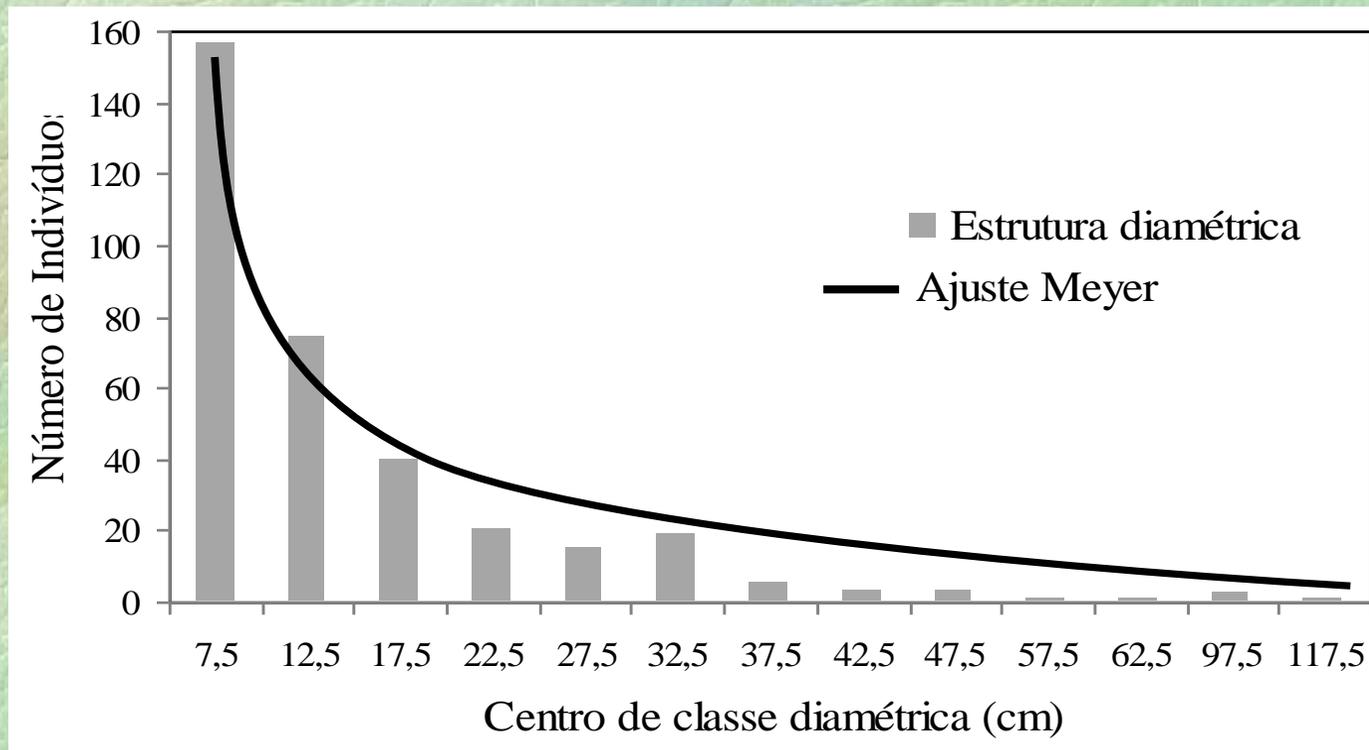
El diámetro a ser medido deberá siempre seguir un determinado rumbo pre establecido

Todas las mediciones de esos individuos deberán ser ejecutados con el mismo tipo de instrumento y definición previa de la precisión

El equipo de mensuradores deberá tener experiencia compatible

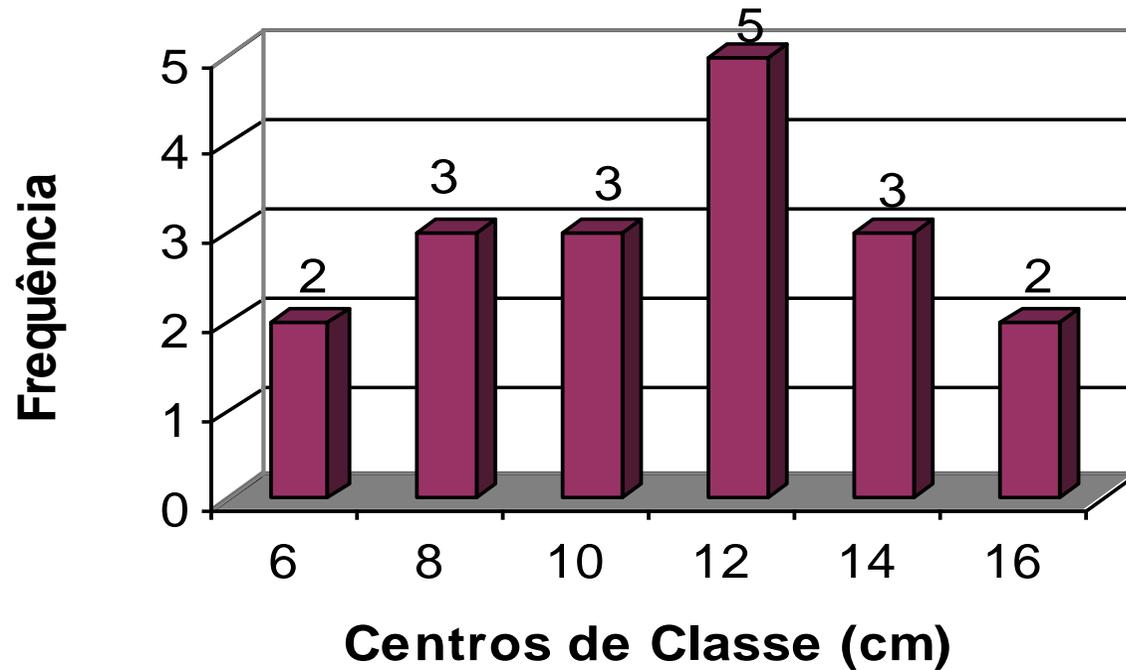


Curva de a distribución diamétrica obedece las leyes de la estadística bosques naturales





Curva de la distribución diamétrica obedece las leyes de la estadística plantaciones





Distribución de los árboles en clases diamétricas

cm	n	acumulado	%
10 – 20	110	110	43,82
20 – 30	85	195	33,86
30 – 40	36	231	14,34
40 – 50	14	245	5,57
50 – 60	6	251	2,39

en la literatura clásica el intervalo de la clase diamétrica es de 5 o 10 cm, dependiendo del total de la población y de la amplitud de la variable a ser considerada. En plantaciones industriales se puede utilizar clases de 2 o 3 cm



Distribución de los árboles en clases diamétricas			
cm	PMC	n	Producto
10 – 15	12,5	7	87,5
15 – 20	17,5	1	17,5
20 – 25	22,5	12	270,0
25 – 30	27,5	6	165,0
30 – 35	32,5	8	260,0
35 – 40	37,5	2	75,0
40 – 45	42,5	4	170
totales		40	1.045,0

DAP medio de acuerdo con las clases diamétricas: $DAP = 1.045/40 = 26,13 \text{ cm}$

DAP medio en función de la media de la clase diamétrica: $DAP = 187,98/7 = 26,85 \text{ cm}$



Trinchete diamétrico: instrumento para identificar el número de individuos por clase diamétrica

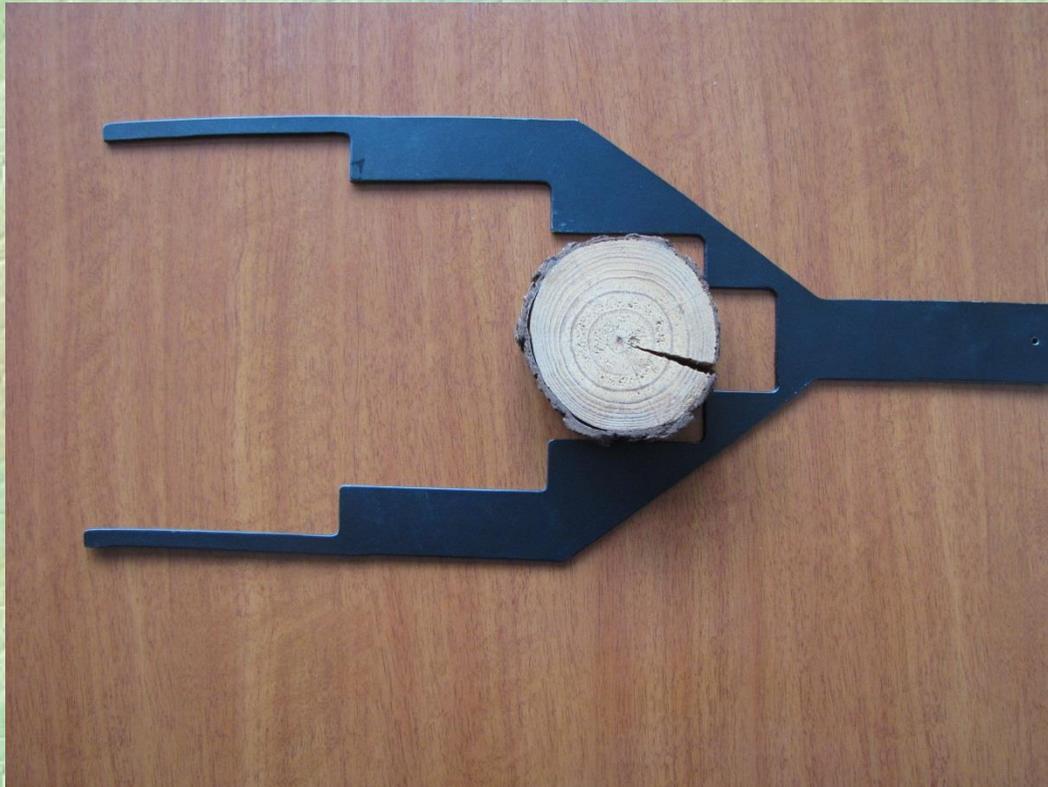
forcípula



Trinchete
diamétrico



Trinchete diamétrico de 5 cm





Cálculo del árbol central

individuo que posee el DAP medio

DAP medio aritmético

DAP medio de los números reales

DAP medio dos valores arredondeados

DAP medio cuadrático

DAP medio ponderado



Diámetros medios dasométricos

es necesario que los datos estén ordenados en orden creciente o decreciente

DAP medio de Hohenadl

DAP medio de Weise

DAP medio alemán

DAP medio según el área basal medio

DAP medio de Lorey



Cual la necesidad de calcular el árbol central?

extrapolación para el total de la población
cuando se trata de identificar o
determinar características inherentes de
ese individuo

ejemplo: densidad básica de la madera, número de
ramas de primer orden, biomasa leñosa, característica
fotosintética, consumo nutricional, estado fitosanitario
del bosque, etc.



Cual la necesidad de clasificar los diámetros en clases diamétricas?

Toda y cualquier acción silvicultural y de manejo (ordenación) forestal estará en función de las clases diamétricas

ejemplo: grado de desbaste, número de árboles portadores de semillas, intervención económica en el macizo forestal, control de aglomeración poblacional, selección de materia prima, definición de sistemas de manejo, etc.



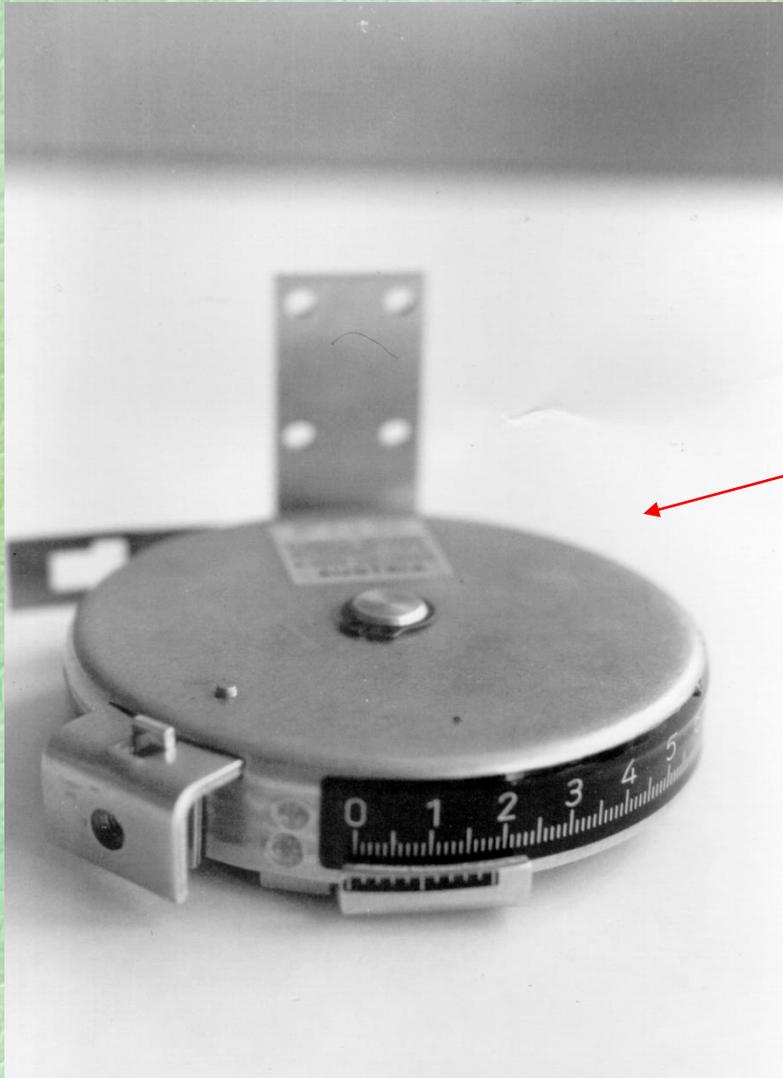
Crecimiento diametral

aumento gradual de la variable diámetro en determinado espacio de tiempo (de horas hasta varios años) = acúmulo de las capas de floemas (anillos de crecimiento)

ese aumento está en función de la edad y del ritmo de crecimiento

necesidad de conocer el D_{inicial} y el D_{final}

instrumentos para medir directamente el crecimiento diametral: Dial-Dendro, fito tensiómetros, micro-dendrómetros



Dial Dendro

otros instrumentos:

Fito tensiómetro

Micro dendrómetro



Variable CORTEZA

Instrumentos:

medidor de corteza

martillo medidor de corteza

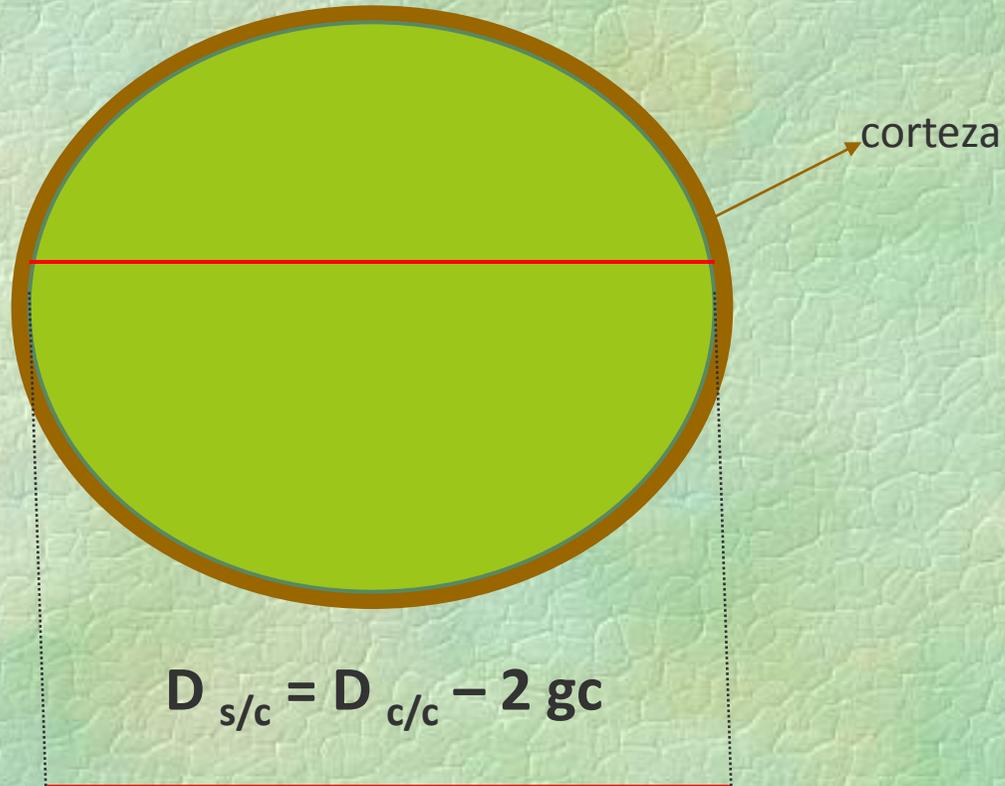
regla con unidades de milímetros

$$D_{c/c} = D_{s/c} + 2gc$$

$$D_{s/c} = D_{c/c} - 2gc$$



Grosor de la corteza





Medidores de corteza



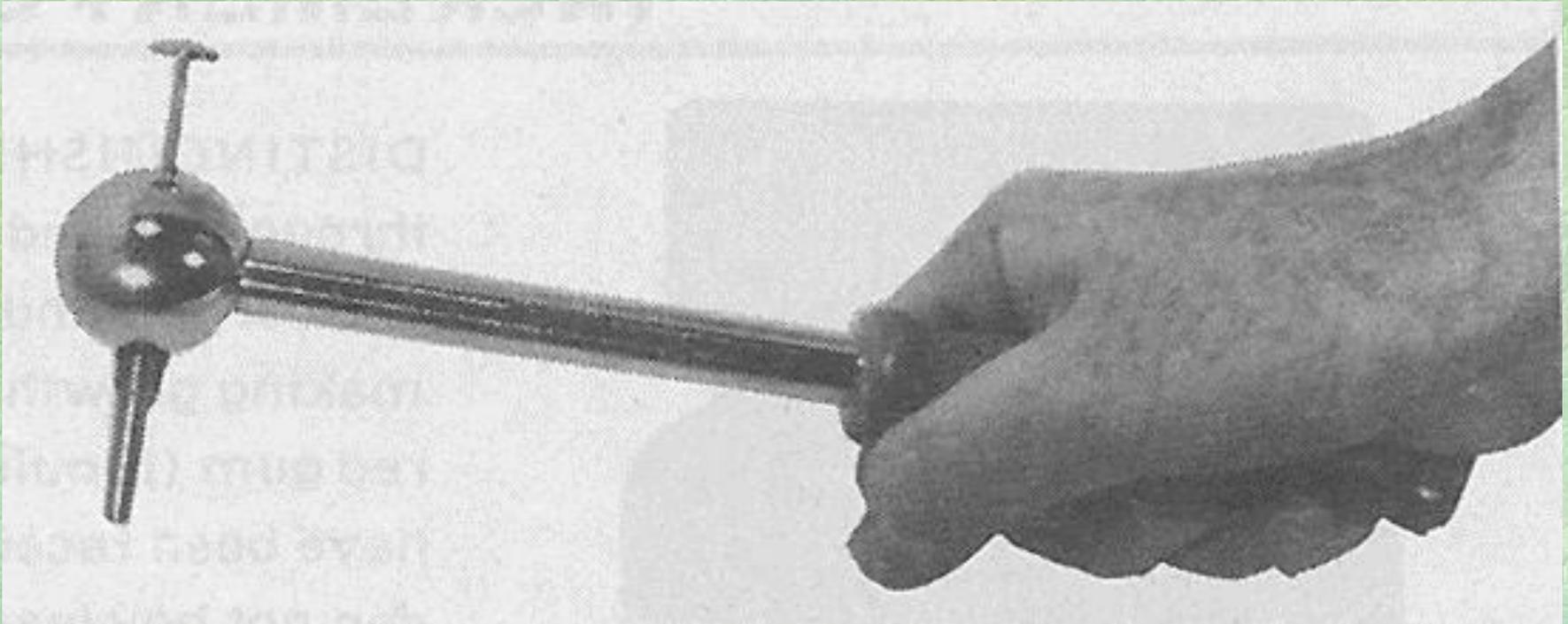


Extractor de corteza





Martillo medidor de corteza





Importancia para conocer las características de la corteza

influye en el volumen del tronco y del árbol
influye en el valor económico del árbol/tronco
existe sector productivo e industrial que utiliza la
corteza de algunas especies



Diámetro de la copa

no existe correlación precisa entre el DAP y el diámetro de la copa

o tamaño y forma de la copa es función de la intensidad de luz

la silvicultura procura trabajar con copas pequeñas

la cobertura de las copas es un indicativo del tipo de densidad de un bosque

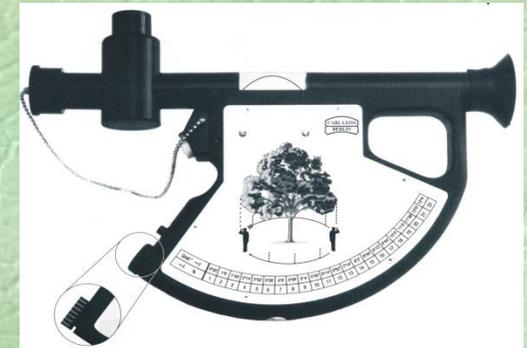
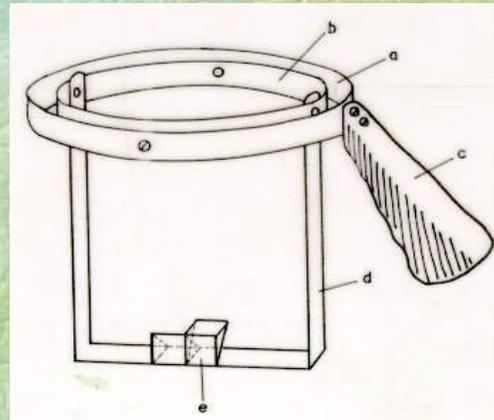


Instrumentos que permiten medir el diámetro de la copa

prisma medidor de copa

cuña diamétrica

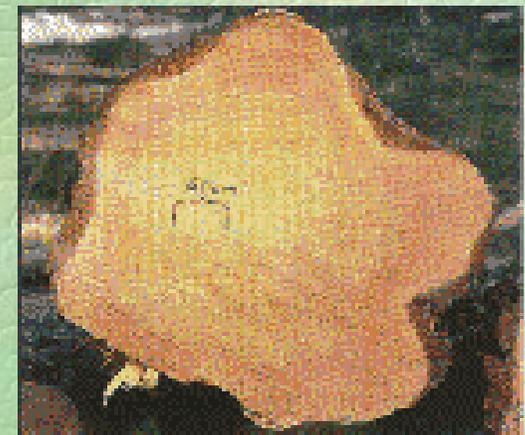
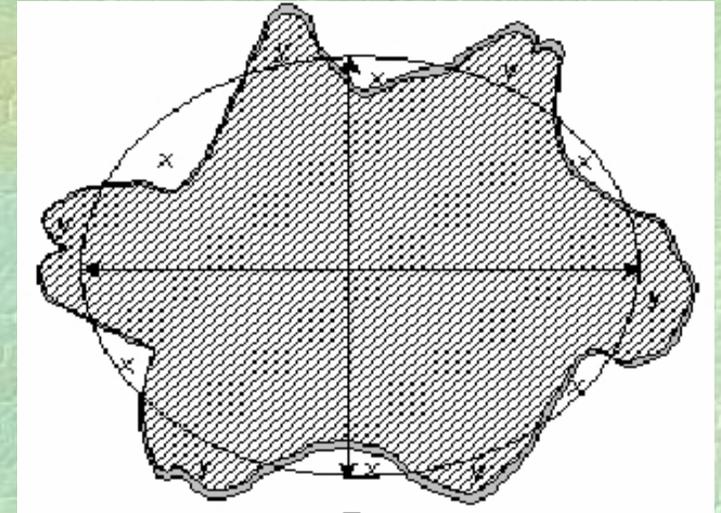
círculos de superposición



Un método simple e eficiente es la medida en el suelo, la proyección de la propia copa. Usándose de una cinta métrica desde que fuese posible observar los límites de la copa en cuestión



Curiosidades, cual será el diámetro de estos discos de madera ?





- **Rescapitulación:**
- Individuo de mensuración ✓
- Unidades de medida ✓
- Factores de conversión ✓
- Variables dendrométricas ✓
- Parámetros dendrométricos
- Instrumentos de medición ✓
- Métodos de medición ✓
- Manejo de datos dendrométricos ✓
- Interpretación de resultados
- Transferencia del conocimiento.



variable dendrométrica

ÁREA BASAL

Unidad 4: área basal y otras áreas transversales.
Determinación de la densidad poblacional.
Instrumentos. Principio de Bitterlich.



Área transversal

corte transversal hipotético del tronco a cierta altura denominada también como área seccional

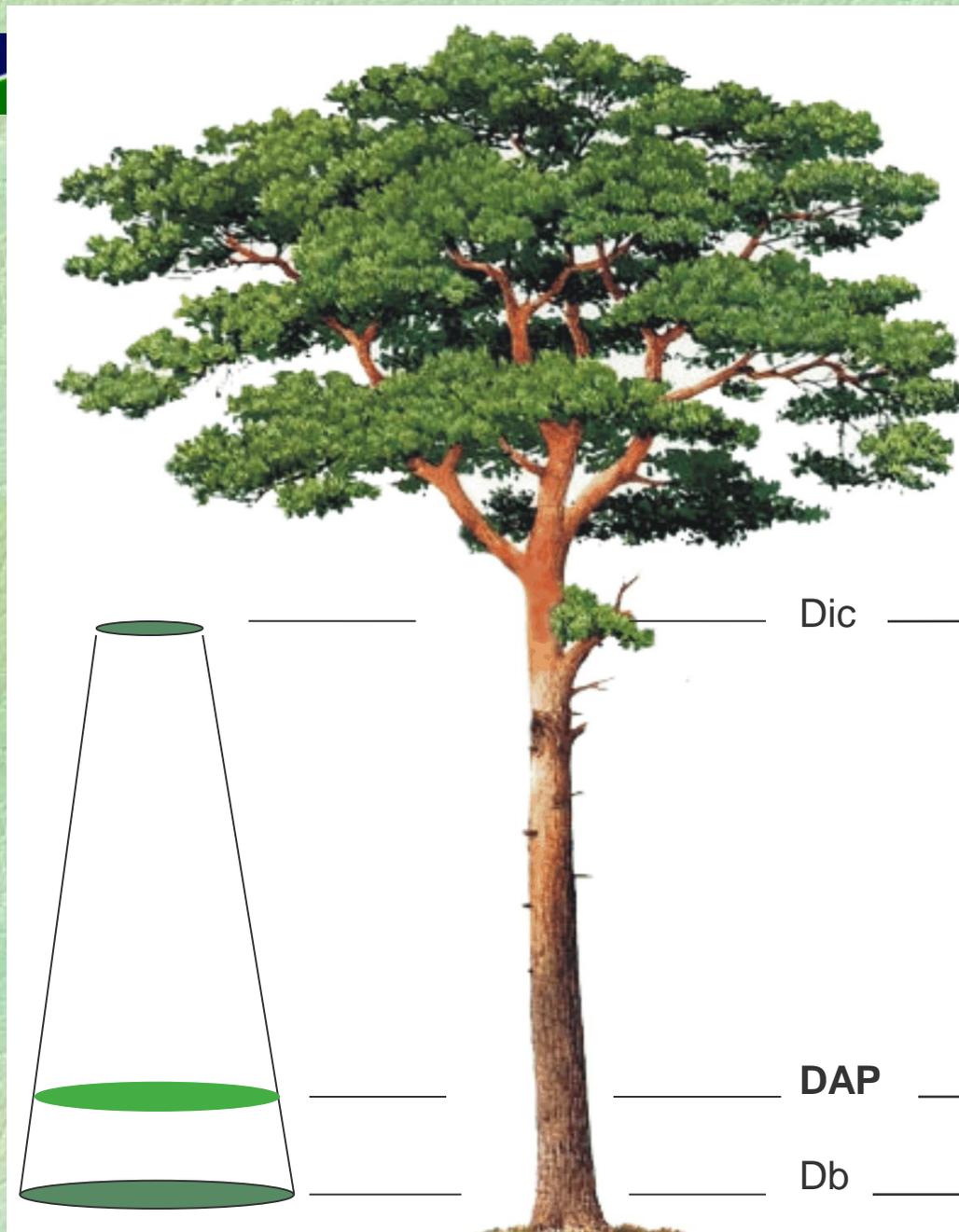
Área transversal a la altura del D base, D 7m, D h/2, etc..

Determinación de una superficie

Área del círculo (cilindro) = $d^2 \cdot \pi/4$

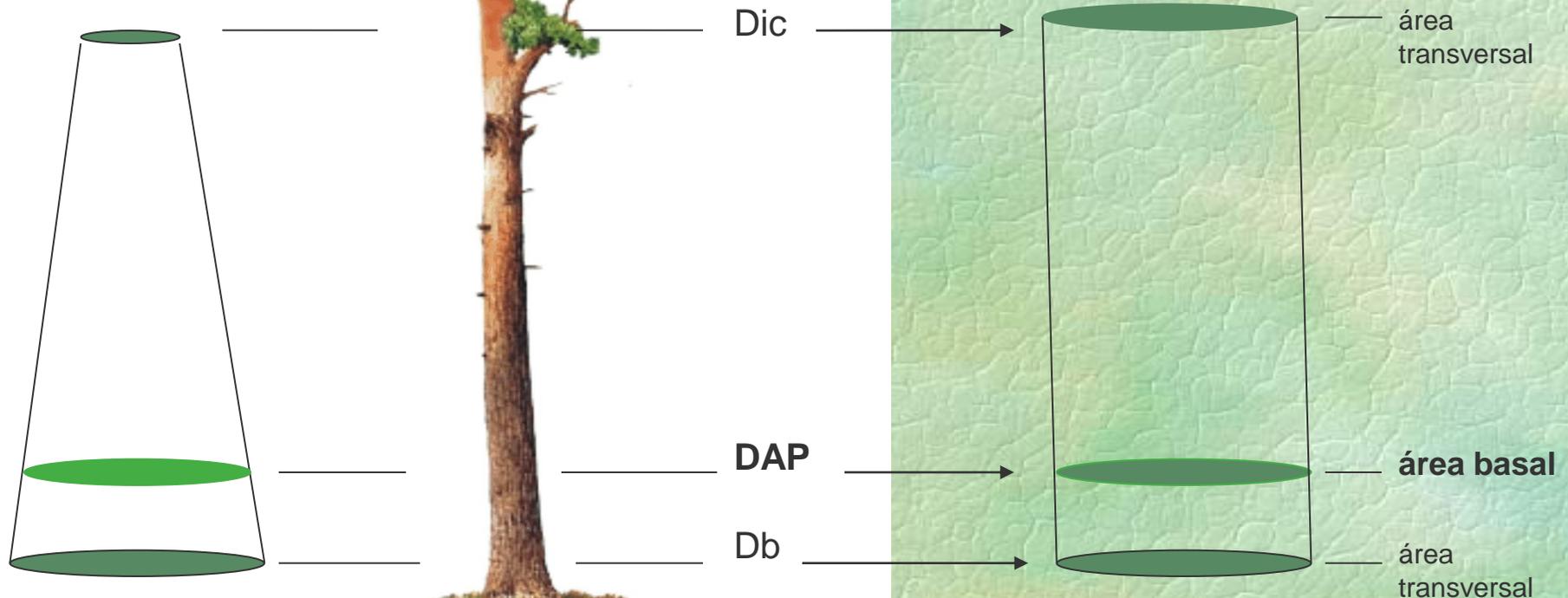
Área basal

corte a la altura del DAP (1,30 m)
superficie del tronco a 1,30 m



Diámetros y alturas
convencionales

Sólido geométrico
cilindro





Área basal

g = superficie ocupada por un tronco (cm^2 , m^2)

G = superficie ocupada por el bosque (m^2/ha)

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

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

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

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

en una forma elíptica del tronco: $g = (D \cdot d) \cdot \pi/4$



Cálculo del error del área basal elíptico

Ejemplo: $D = 24 \text{ cm}$, $d = 18 \text{ cm} \Rightarrow d \text{ medio} = 21 \text{ cm}$

área medida (S_1) = $\pi/4 [(D+d)/2]^2 = 346,3606 \text{ cm}^2$

área de la elipse (S_2) = $\pi/4 (D \cdot d) = 339,2920 \text{ cm}^2$

Error (E) = $(D - d)^2 / 4 D d \cdot 100 = 36/1728 = 2,08 \%$

Error (E) = $(S_1 - S_2) / S_2 = 7,0686 / 339.292 = 2,08 \%$



Área basal definida por el DAP medio

$$\bar{g} = \frac{\overline{DAP}^2 \cdot \pi}{4000} \quad (\text{m}^2)$$



Área basal medio

$$\bar{g} = \frac{\sum g_i}{n}$$

aritmética

$$\bar{g}_{Med} = \frac{\sum g_i}{2}$$

mediana



Principio de Bitterlich

define la densidad de un bosque a través de la determinación del área basal por hectárea

En una parcela de área variable también conocida como parcela de la Prueba de Numeración Angular, "en un giro de 360 grados en un punto fijo del bosque, el número de árboles contados con DAP igual o superior a un ángulo constante es proporcional a su área basal por hectárea"

$$AB \text{ (m}^2\text{/ha)} = N \cdot K$$

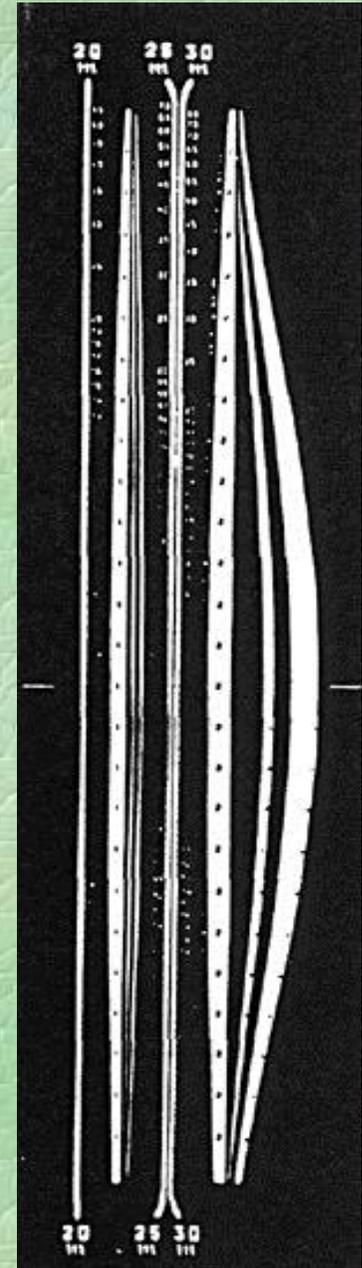
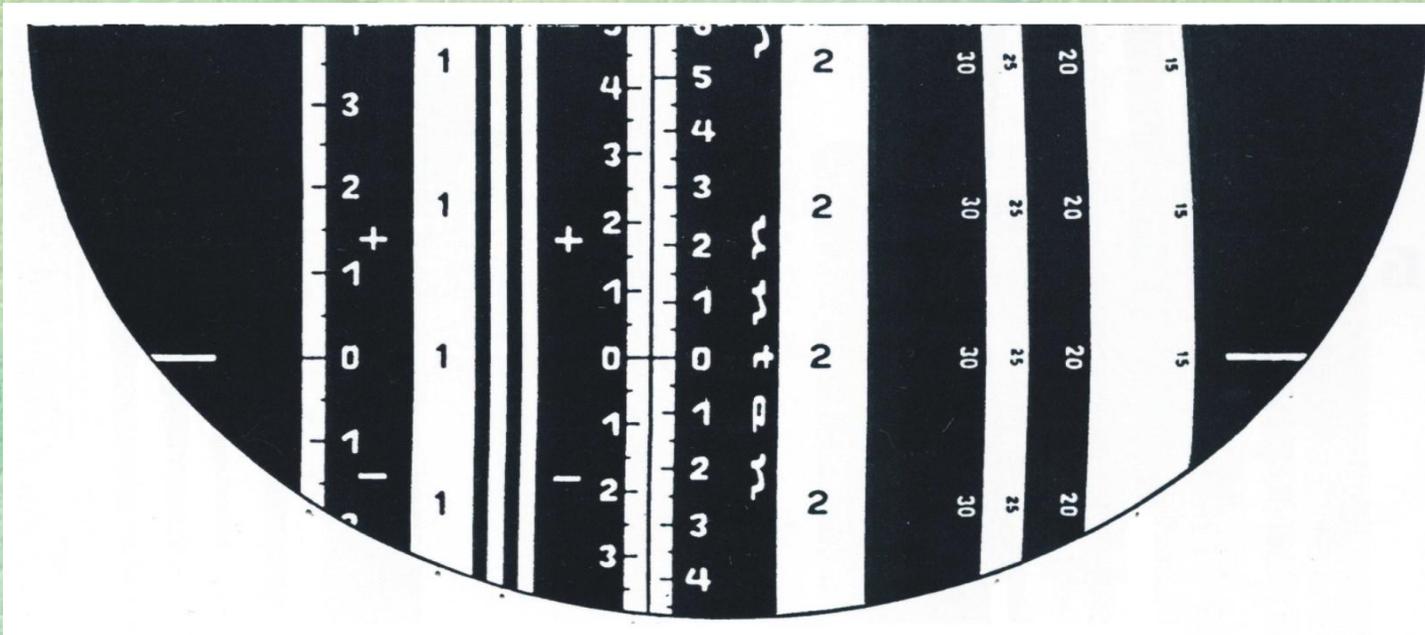
N = número de árboles contados

K = factor basimétrico



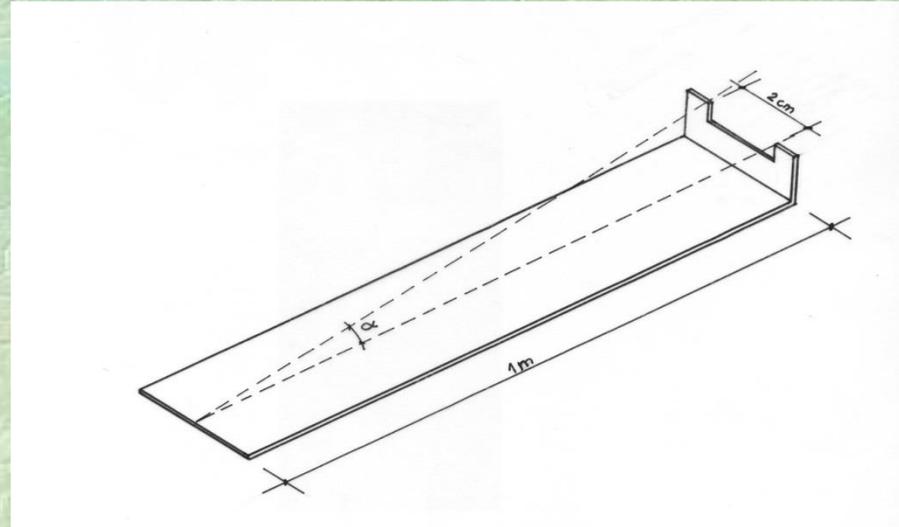
Relascópio de Bitterlich

Bandas de numeración: banda 1, banda 2





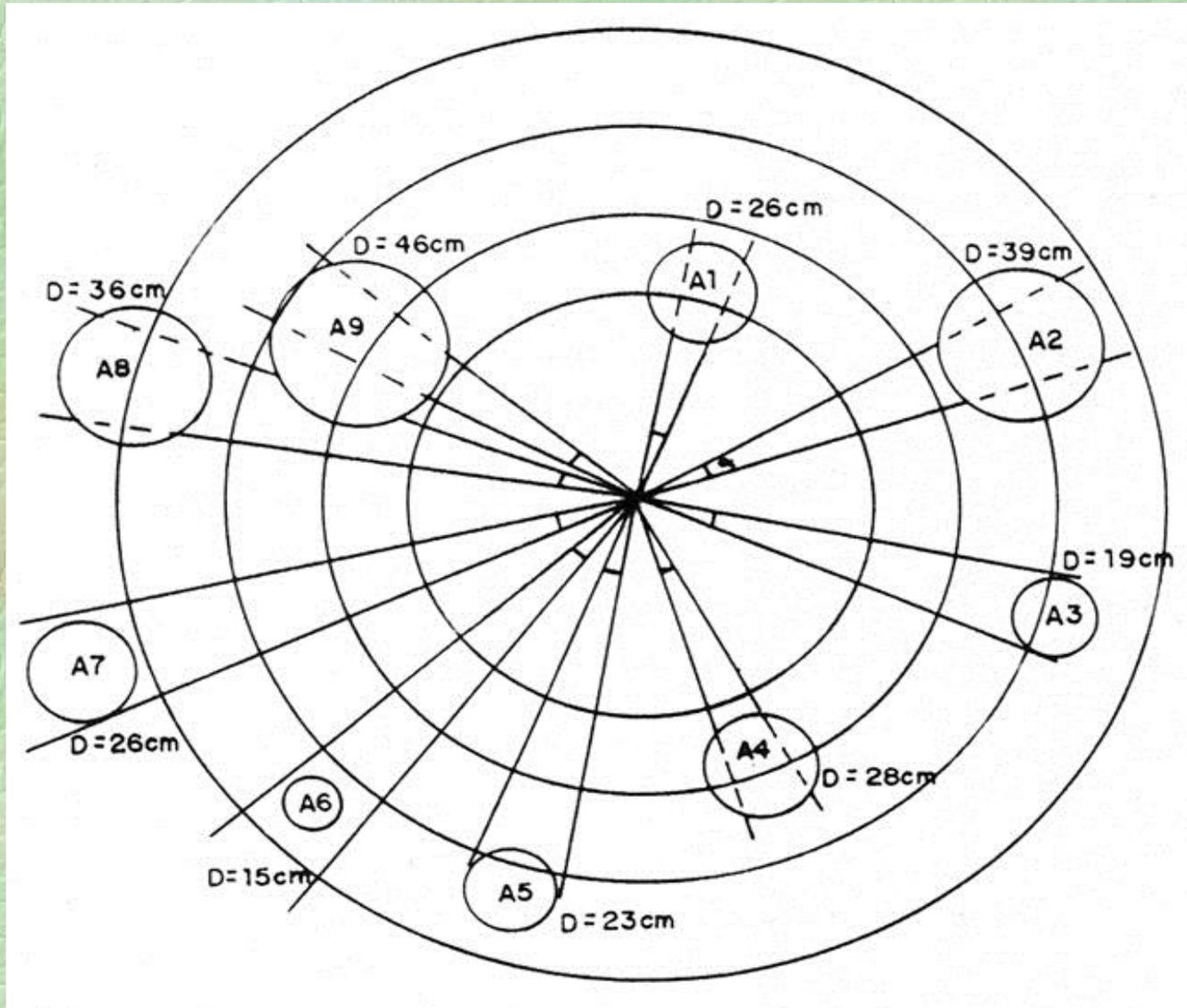
Barra de Bitterlich



consiste de una barra de 1 metro de largo estando en uno de sus extremos fijada una placa metálica con una abertura de 2 cm esta relación en las bandas do Relascópio corresponde a $K = 1$ la abertura de los 2 cm en la placa metálica permite mantener un ángulo constante de visión en un giro de 360 grados los diámetros (troncos) observados a través de la abertura por la placa metálica, ingresan en un proceso de conteo, por el cual los árboles cuyos diámetros fuesen mayores al de la abertura harán parte de la Parcela de Numeración Angular



Parcela de Numeración Angular Parcela de Area Variable





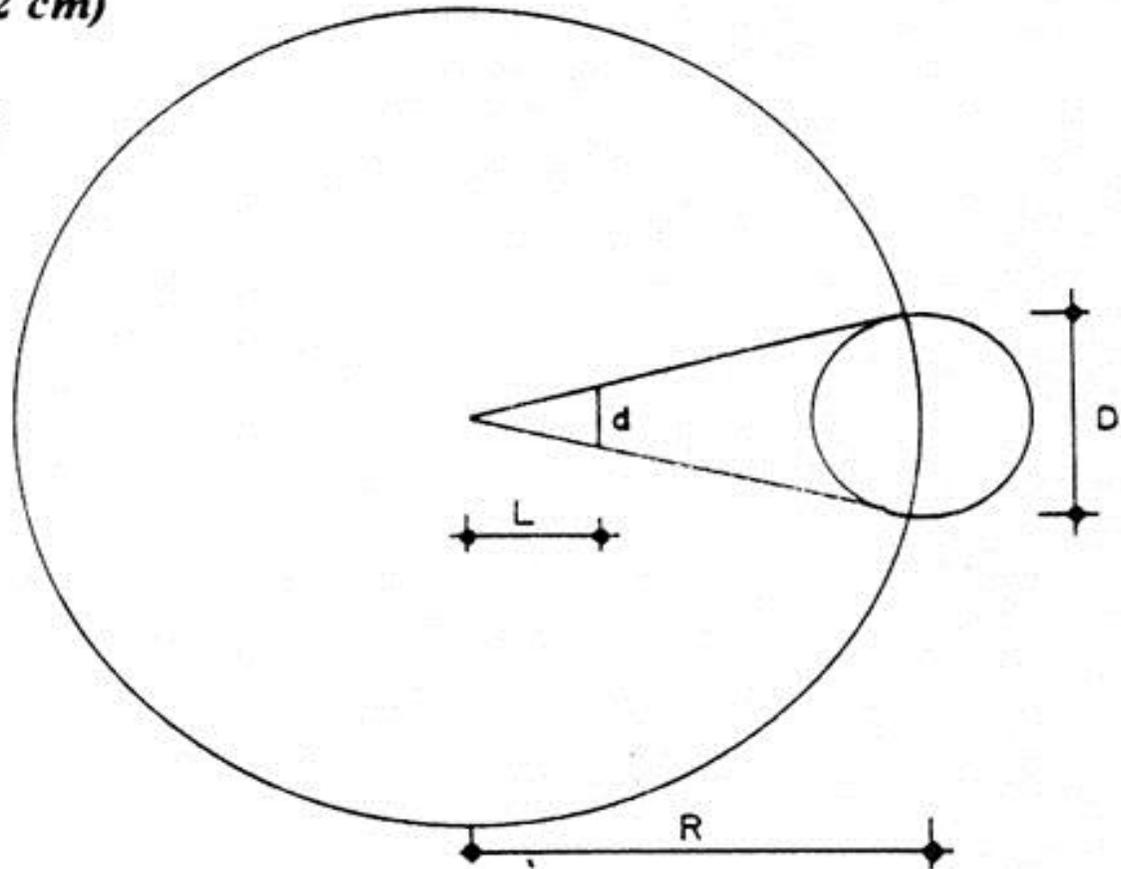
Demostración del principio de Bitterlich

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

d = abertura angular (2 cm)

D = DAP

R = radio de la parcela





Demostración

relación de la semejanza de triángulos $d/L = D/R$

$$R = (D L) / d = (20 \cdot 1) / 2 = 10 \text{ metros (distancia crítica)}$$

$$\text{Área de la parcela (A}_p\text{)} = \pi R^2 = 3,1416 \cdot 10^2 = 314,16 \text{ m}^2$$

$$\text{Área basal (AB)} = \pi/4 \cdot \text{DAP}^2 = 3,1416/4 \cdot 20^2 = 0,031416 \text{ m}^2$$

Por la regla de tres:

$$\begin{array}{r} 314,16 \text{ m}^2 - 0,031416 \text{ m}^2 \\ 10.000 \text{ m}^2 - x \end{array}$$

x = 1 (en una hectárea existirá apenas un árbol)

1 árbol = 1 m²/ha



Densidad del bosque

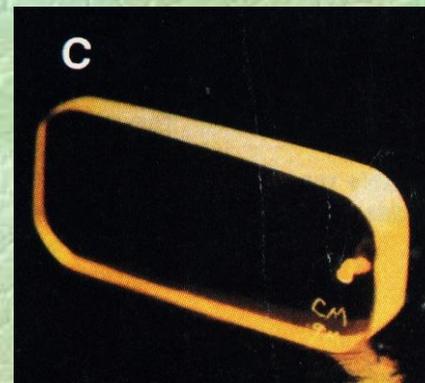
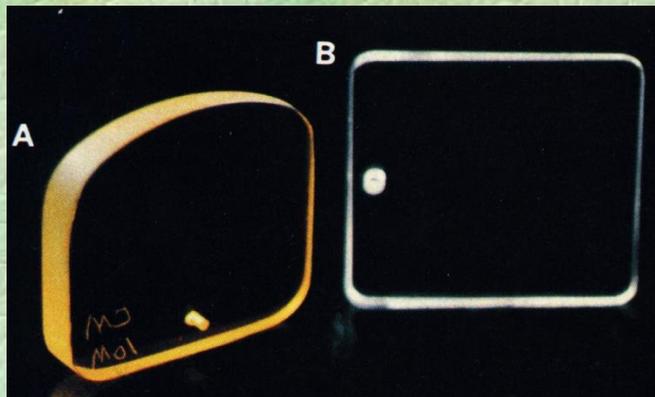
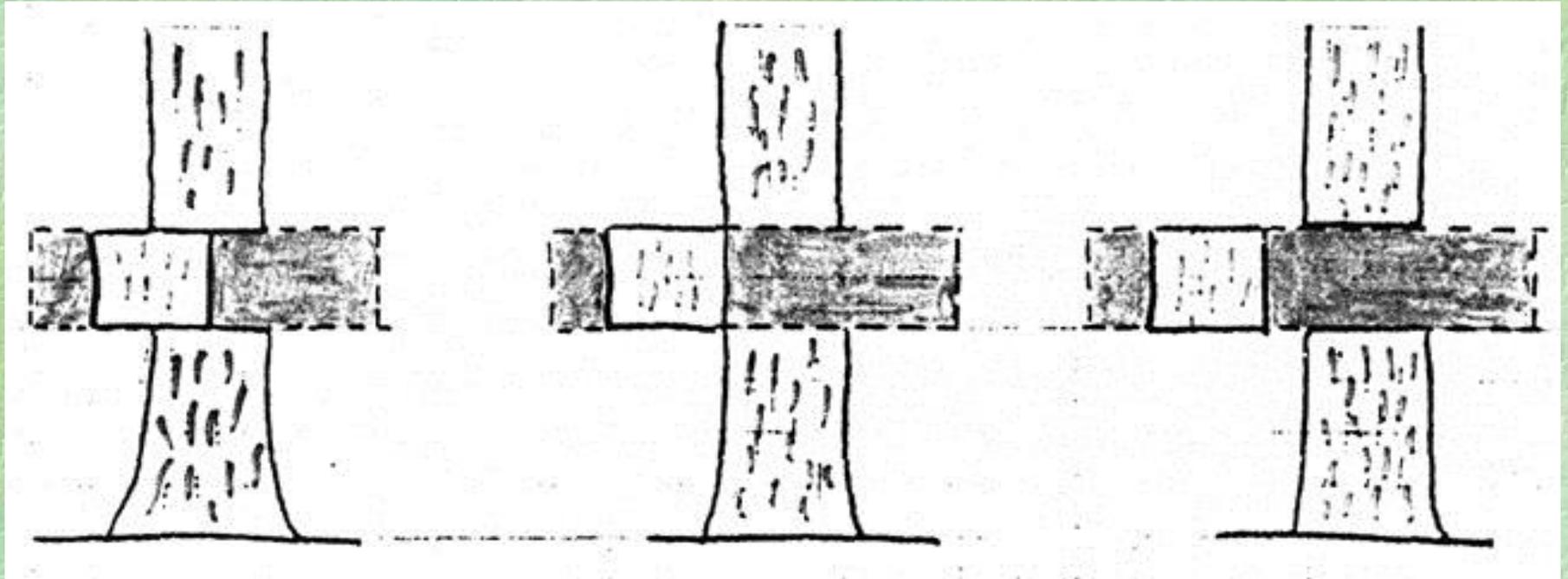
$n = 10.000 / (\text{área de la parcela variable})$

$n = 10.000 / 314,16 = 31,82$

$n = 32 \text{ árboles con DAP igual a } 20 \text{ cm} / \text{ hectárea}$



Prisma basimétrico





Construcción del prisma basimétrico

$$di = 2\sqrt{k}$$

en consecuencia será

K=1 el prisma tendrá 2,0 dioptrías

K=2 el prisma tendrá 2,83 dioptrías

K=3 el prisma tendrá 3,46 dioptrías

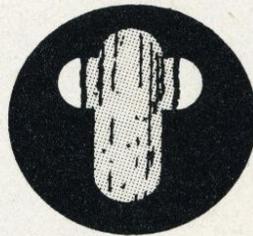
K=4 el prisma tendrá 4 dioptrías

el uso del prisma obedece los mismos principios de la prueba de numeración angular

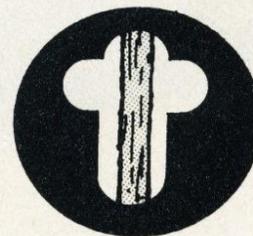
si el diámetro observado a través del prisma estuviese fuera de la proyección del tronco, ese árbol no ingresa en el conteo; coincidiendo la tangencia izquierda del tronco con la de la derecha, cuenta como mitad y si el desplazamiento del tronco aún estuviese en su proyección, ese árbol será contado



Tubo Panamá de medición angular



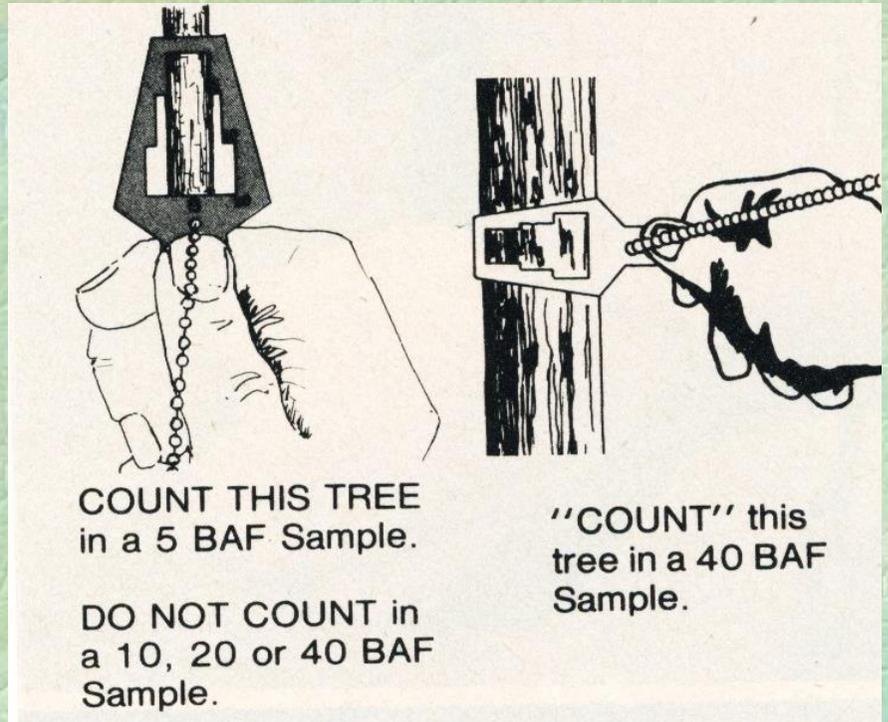
COUNT
THIS TREE



DO NOT COUNT
THIS TREE



Medidor alemán de área basal





Recapitulación:

- Individuo de mensuración ✓
- Unidades de medida ✓
- Factores de conversión ✓
- VARIABLES dendrométricas ✓
- Parámetros dendrométricos ✓
- Instrumentos de medición ✓
- Métodos de medición ✓
- Manejo de datos dendrométricos ✓
- Interpretación de resultados
- Transferencia del conocimiento



variable dendrométrica

ALTURA

Instrumentos

Altura media

Alturas dominantes



Planificación de la disciplina

Unidad 5: Alturas, métodos de medición e instrumentos. Correlación hipsométrica. Errores y cálculos de medias.

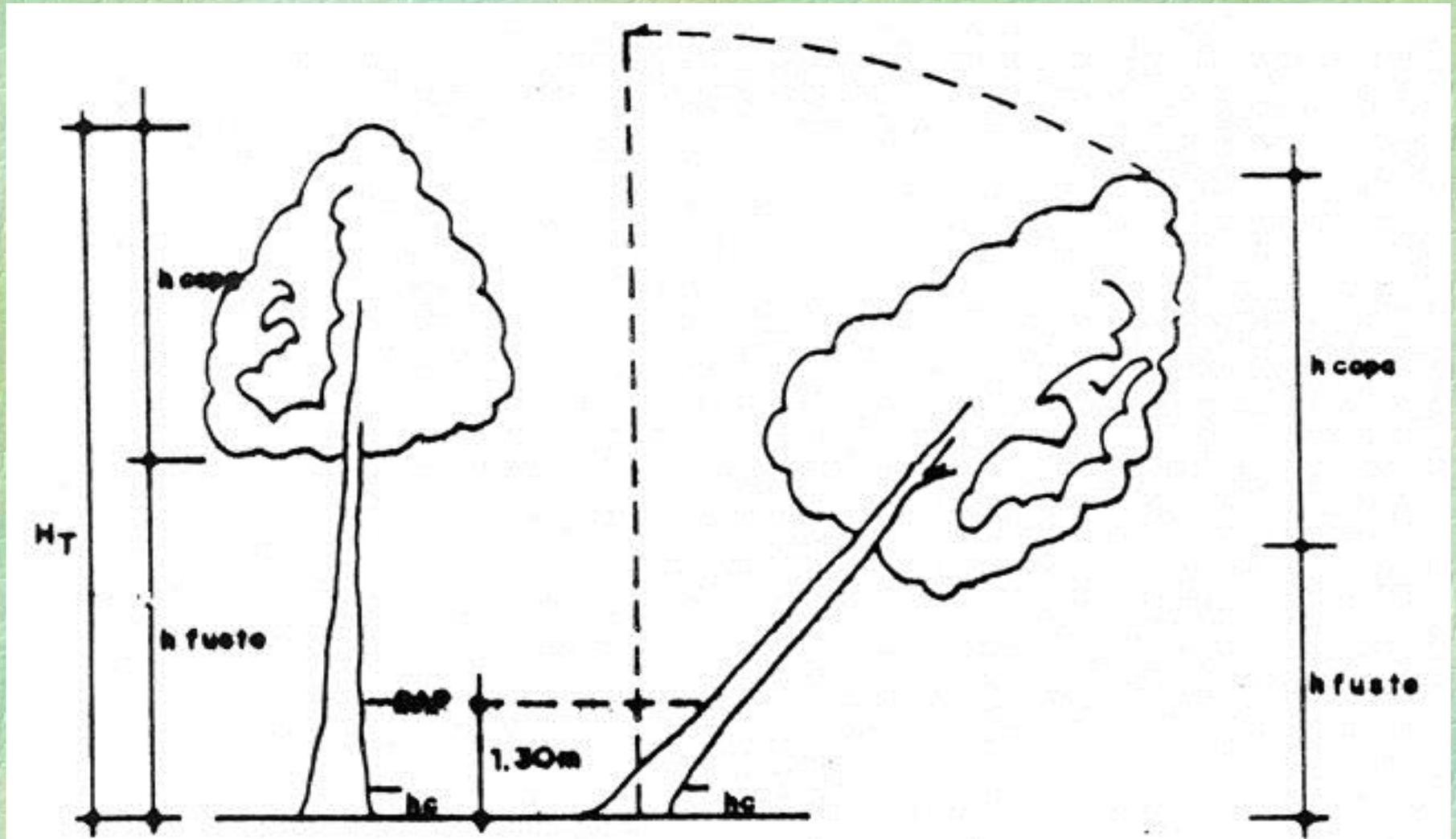


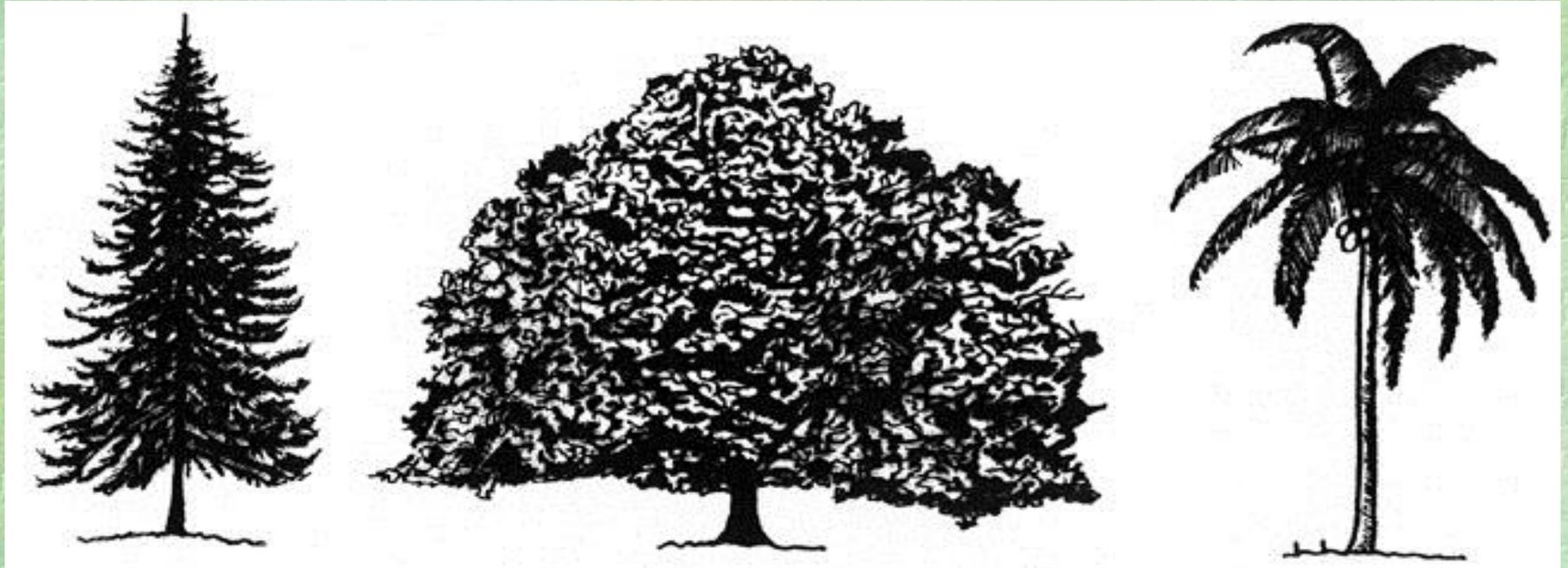
Altura

La variable altura permite junto al DAP estimar y calcular el volumen de madera del tronco y del árbol

La altura es función directa de la intensidad de la luz, así dos árboles con DAP del mismo valor podrán tener alturas muy diferentes, dependiendo del local donde ellos crecen

En los sistemas de manejo forestal la altura permite identificar los sitios forestales





Clases de alturas

altura total, altura del tronco y altura de la copa



Definición de alturas

altura total: del suelo hasta el ápice del árbol

altura del tronco: del suelo hasta el comienzo de la copa

altura del corte: máximo a 0,30 m del suelo

altura comercial: del D_{base} hasta el $D_{mínimo}$

altura de la copa: de su comienzo hasta el ápice de la copa

altura del tronco comercial: en función de su uso





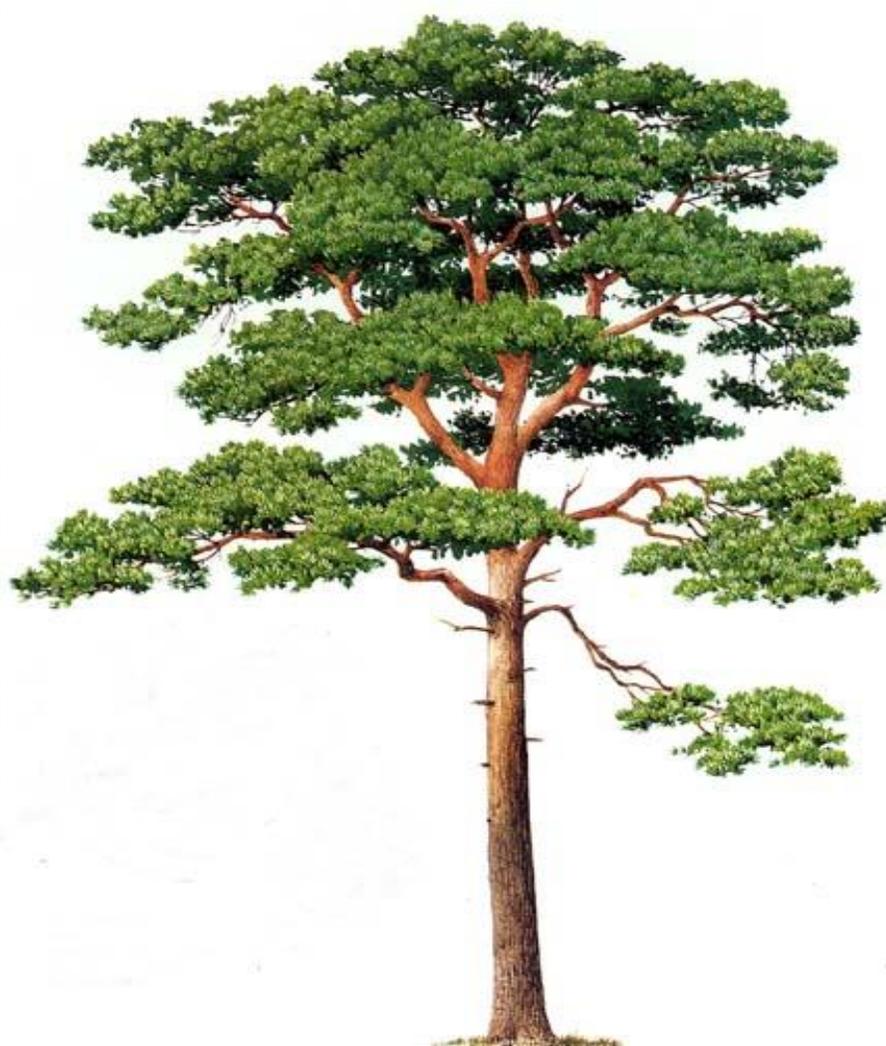
Medidas de
alturas en
árboles en
pie

seccionamiento
del tronco



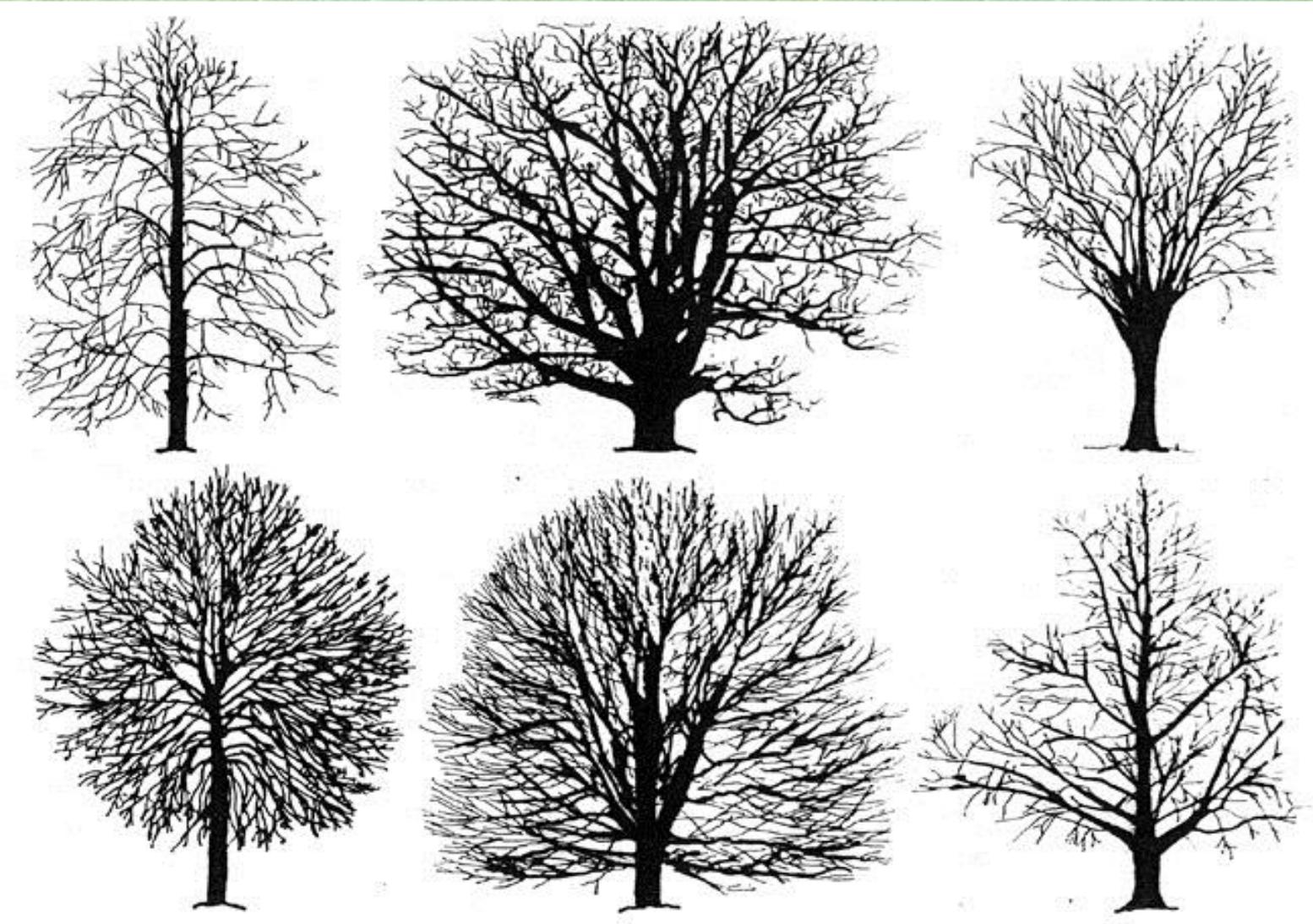


Identificar puntos de medición de alturas





Tipos de árboles



Dificultad de identificar puntos de medición de alturas



Definición de alturas

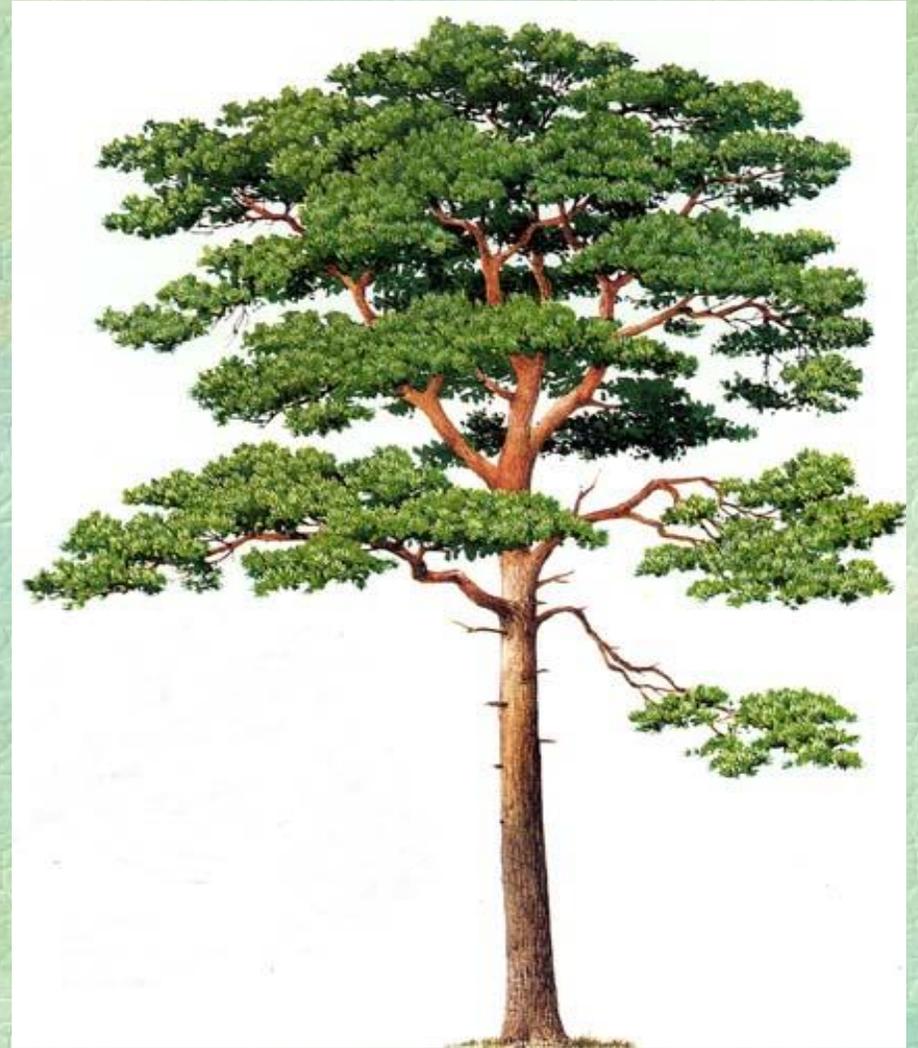
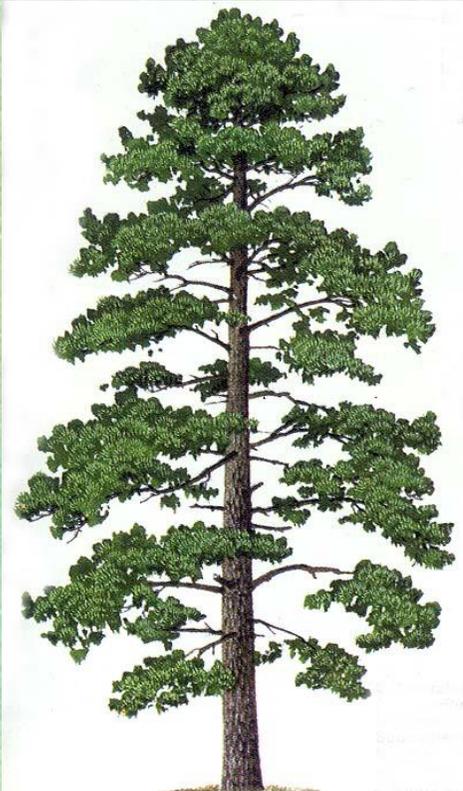
altura total
altura del tronco
altura de corte
altura comercial
altura de la copa
altura del tronco comercial

**necesidad de tener
árboles con formas
forestales**



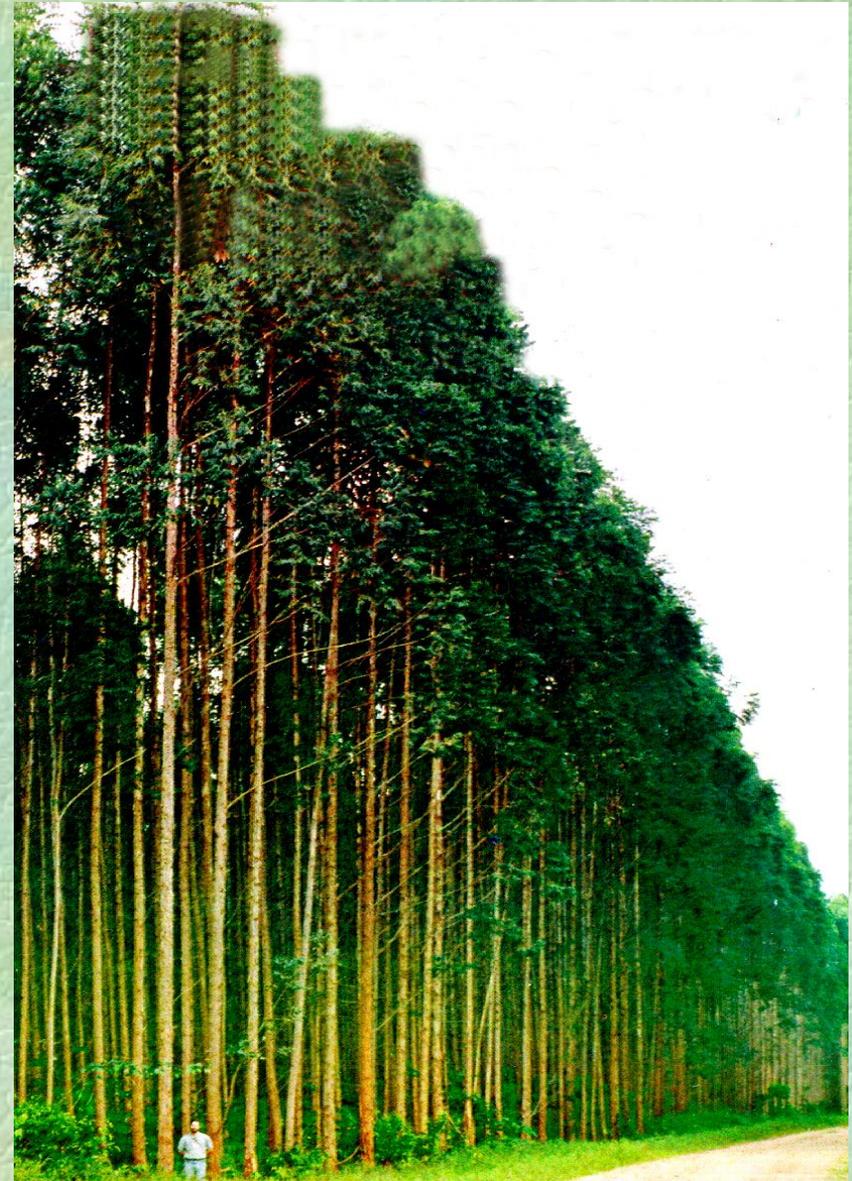


Formas forestales deseables





Reflorestamientos clonales





Medidas directas de la variable altura

cuando los individuos están con el máximo de 6 metros de altura

instrumentos para medir en árboles en pie:

reglas con graduación métrica, desde 30 cm (reglas escolares) hasta 1 m (utilizadas en el comercio de telas). Muy útiles en la definición de individuos de la regeneración natural

reglas telescópicas o de encaje

reglas topográficas

instrumento para medir en árboles apeados: cinta métrica, forcípula de cubado



Reglas y miras telescópicas





Mediciones de altura en árboles apeados

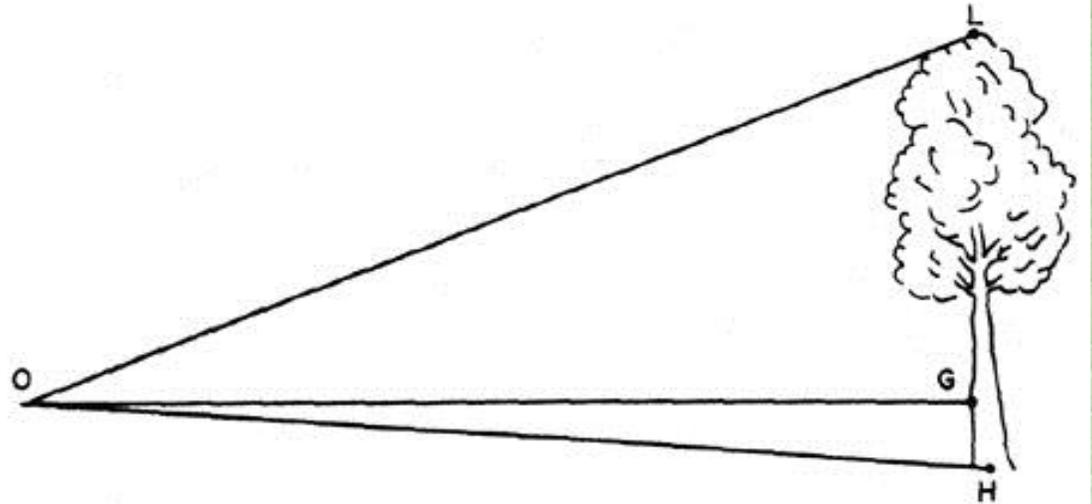




Distancias auxiliares verticales

Principio de medición
geométrica

Principio de medición
trigonométrica



O H Distancia inclinada do observador à base da árvore

O G Distancia horizontal do observador á árvore

O L Distancia inclinada do observador á parte superior da árvore

H L Distancia vertical da árvore



Métodos e instrumentos fundamentados en el principio de medición geométrica

utilizan la semejanza de triángulos

son simples en su construcción y de fácil manejo

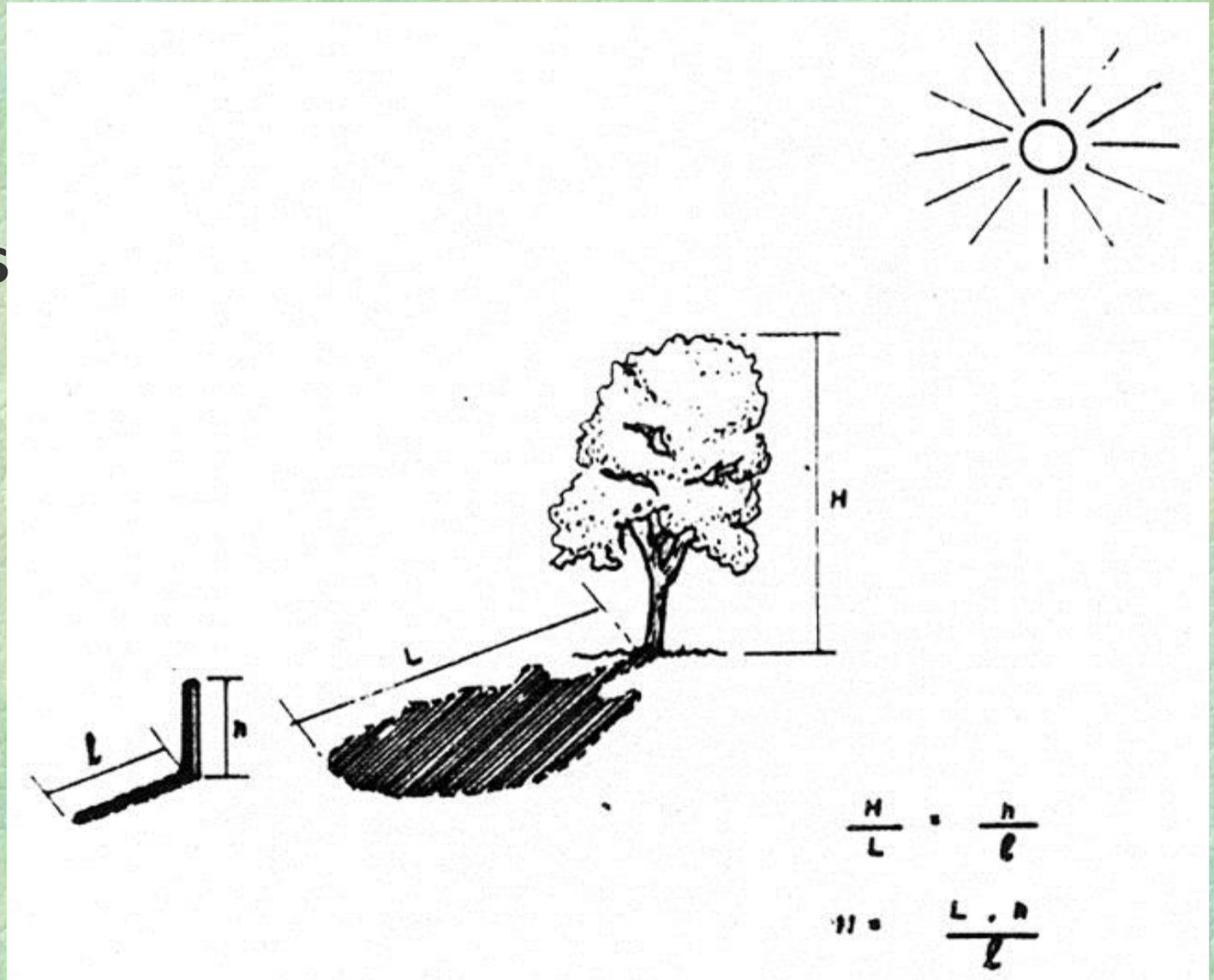
no corrigen la inclinación del terreno

precisan determinar la distancia entre el árbol y el operador
del instrumento

producen mayores errores de estimación

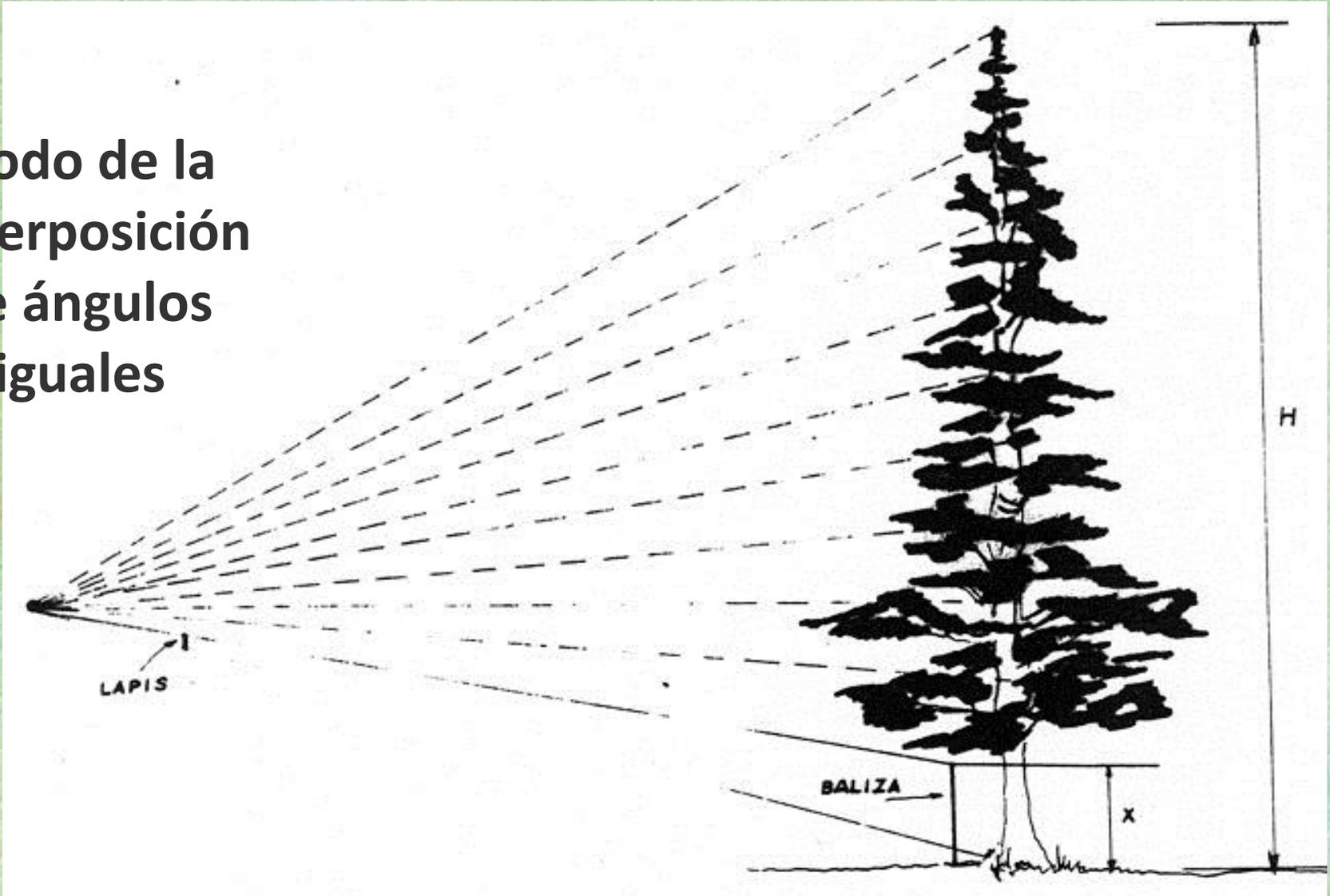


Método de las sombras



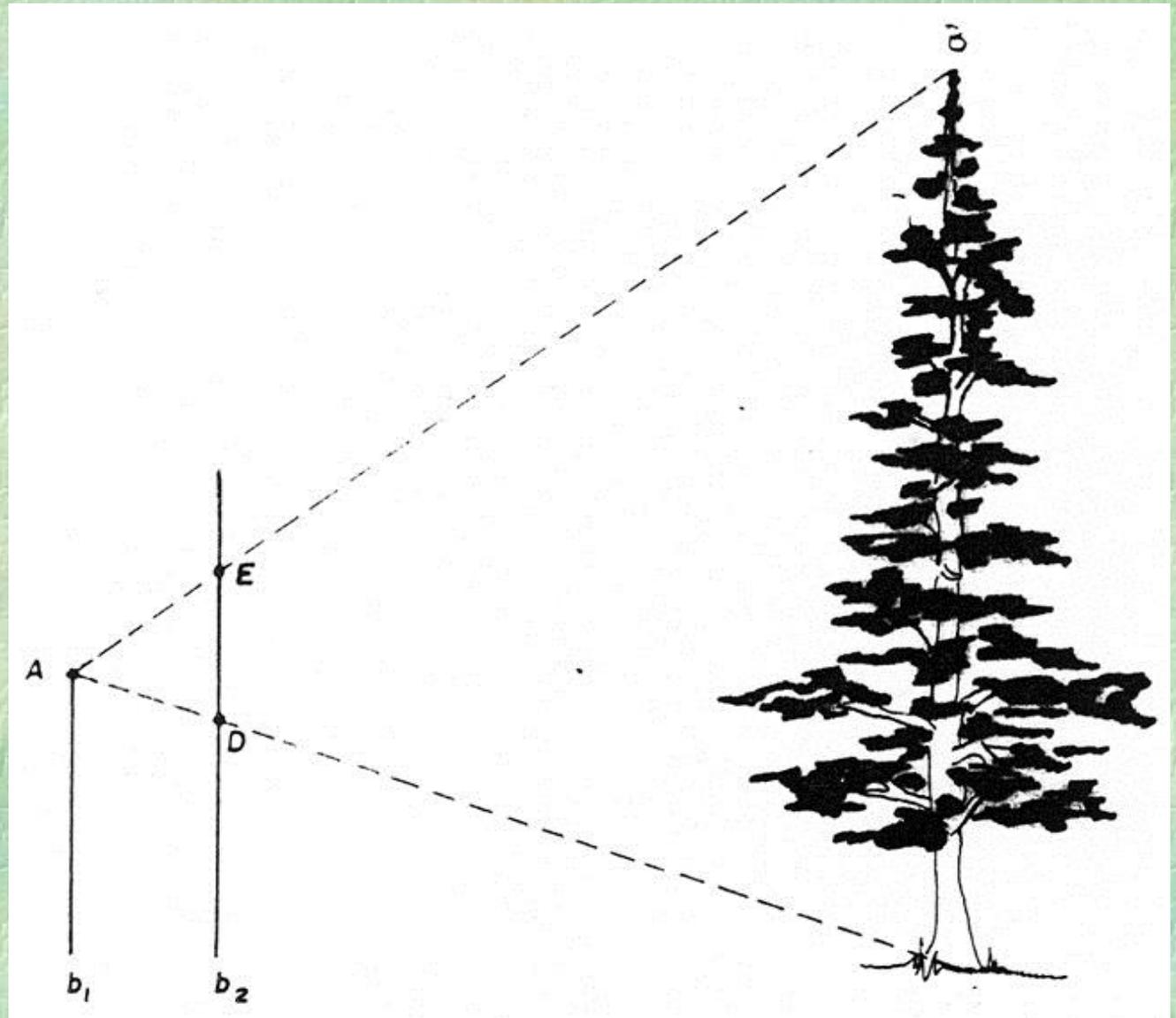


Método de la superposición de ángulos iguales



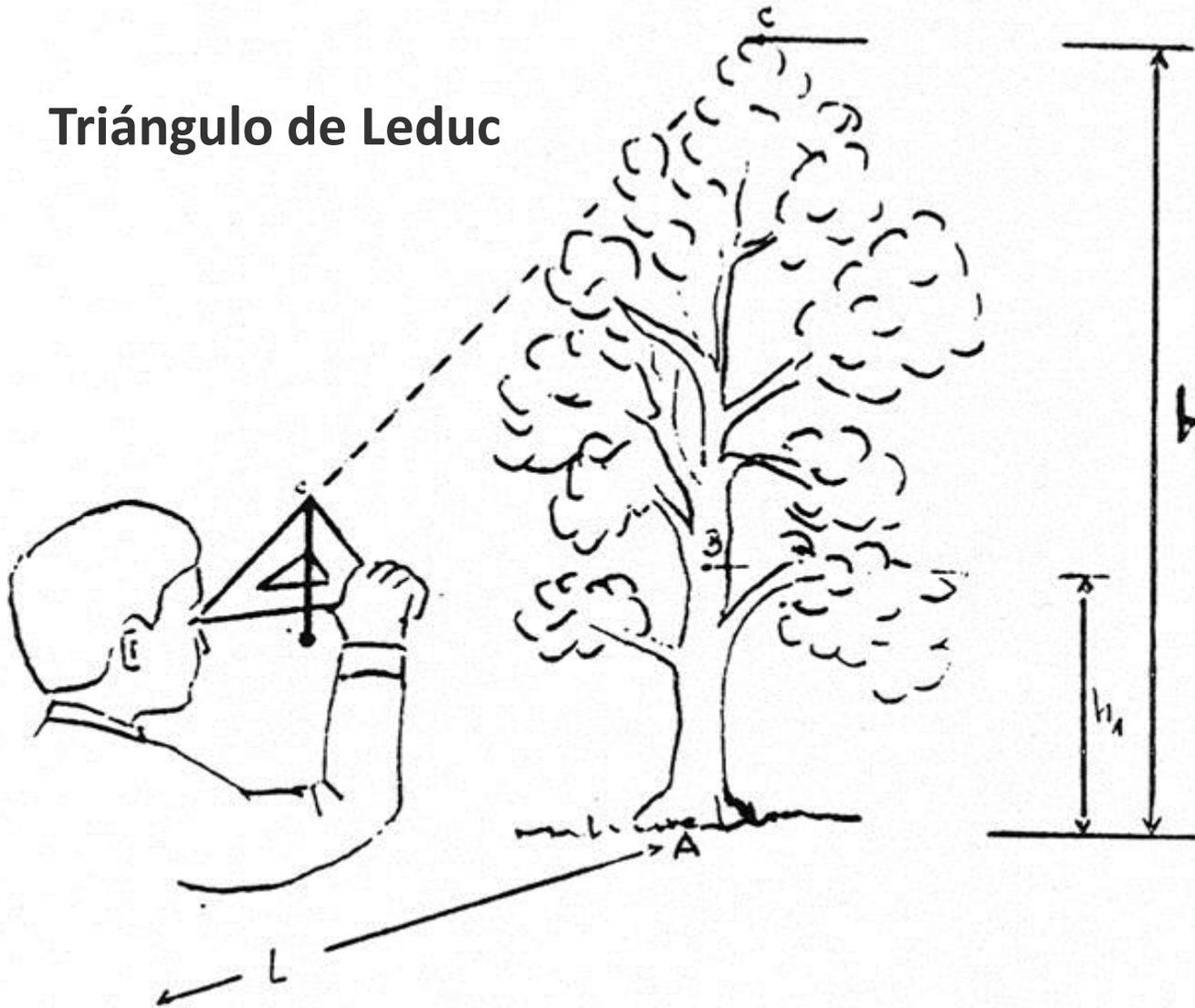


Método de las dos varas



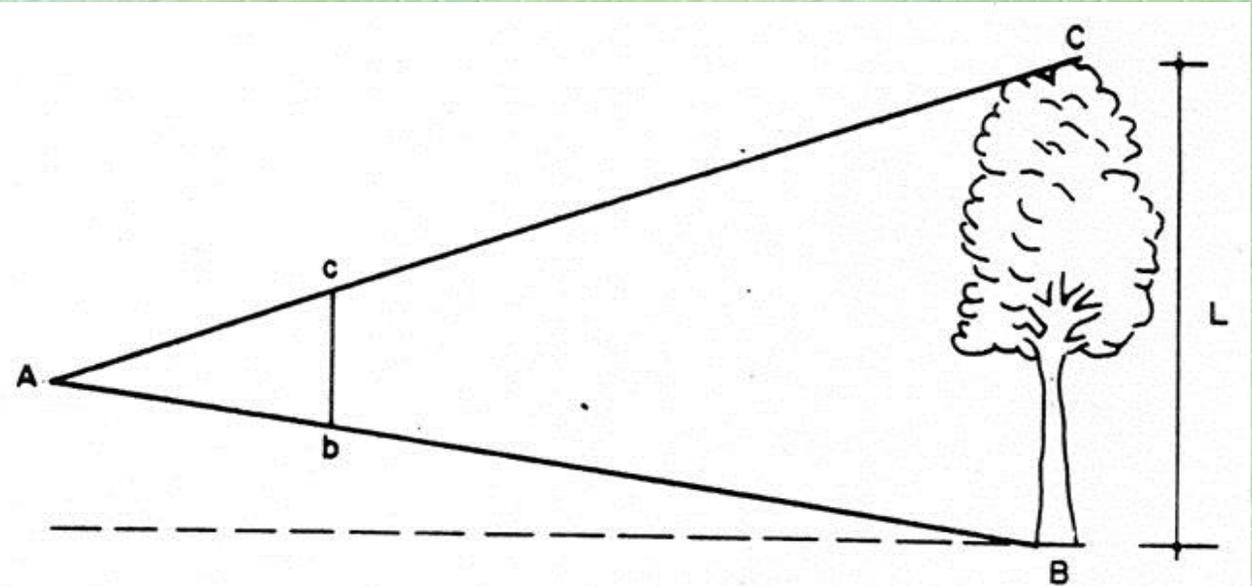


Triángulo de Leduc





Método de la vara



$$A b = bc$$

$$A B = BC$$

$$A B = L$$

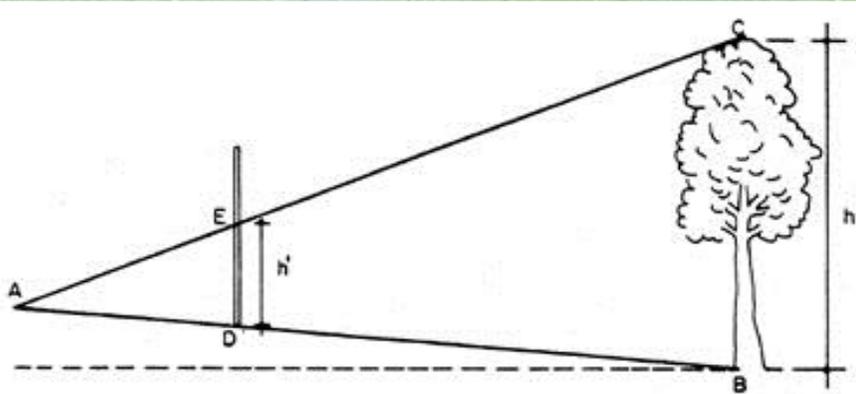


Instrumentos construidos en el principio geométrico

Hipsómetro de Merrit: en los Estados Unidos es utilizado para medir secciones de 16 pies (4,87m) del tronco, manteniendo el instrumento a 26 pies del ojo del mensurador

Hipsómetro de Christen: regla de 30 cm de largo que requiere una vara adicional, normalmente de 2 a 4 metros. En los mercados europeos existen varas telescópicas de hasta 9 metros

Hipsómetro de Relación: utilizado con frecuencia en Francia



Hipsómetro de Merrit

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

$$AB = 30 \text{ m}$$
$$AD = 60 \text{ cm}$$

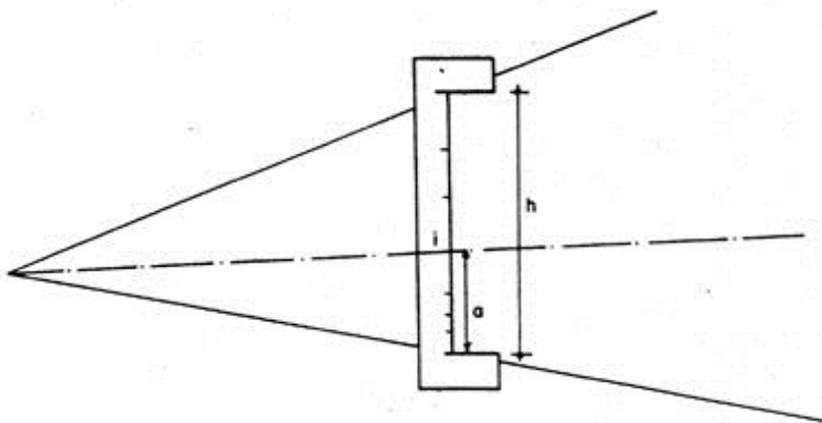
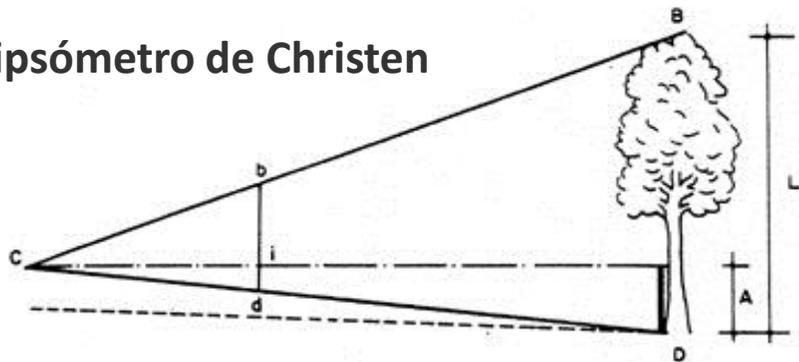
$$ED = \frac{CB \cdot AD}{AB}$$

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

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



Hipsómetro de Christen



$$\frac{L}{A} = \frac{h}{a}$$

$$a = \frac{A \cdot h}{L}$$

h = comprimento do instrumento

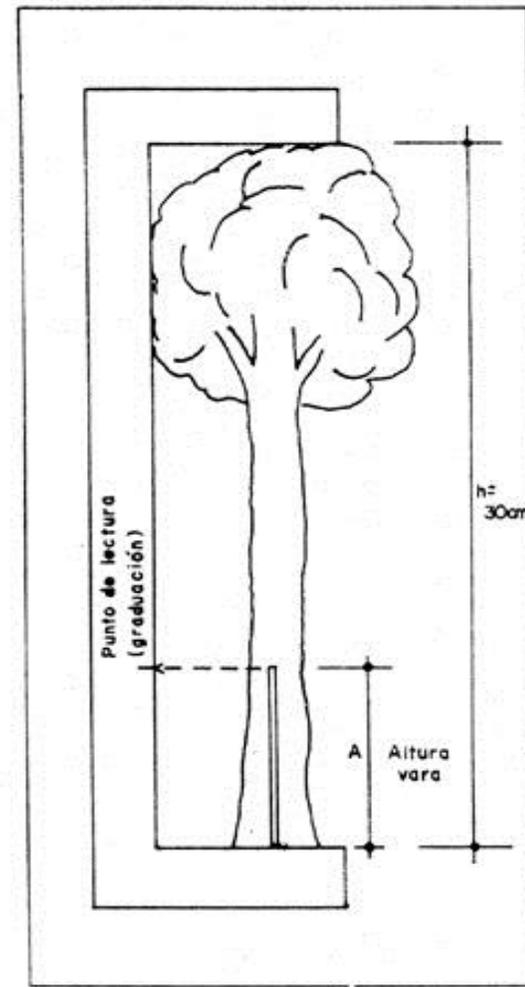
A = comprimento da vara

L = Altura

a = graduação

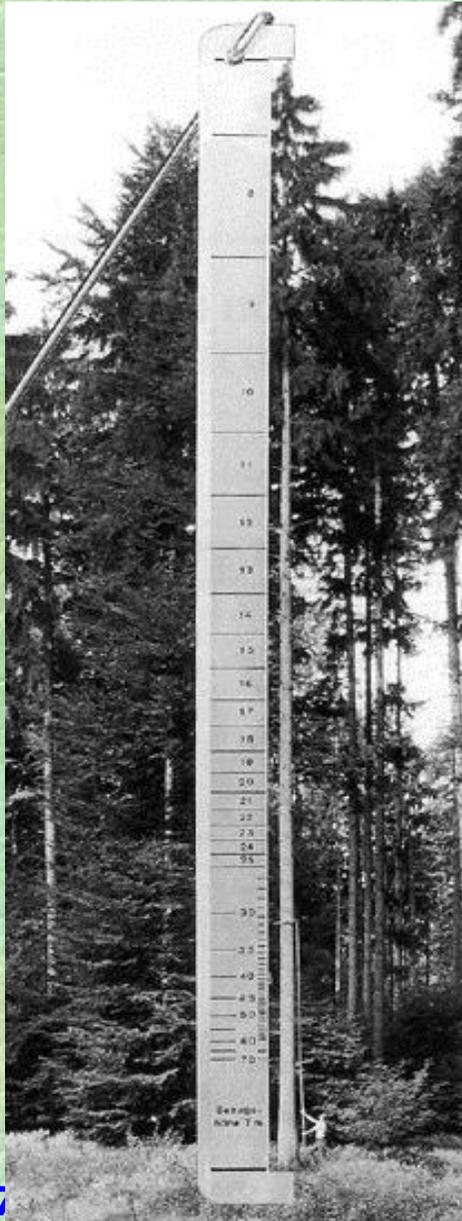
i = ponto de leitura

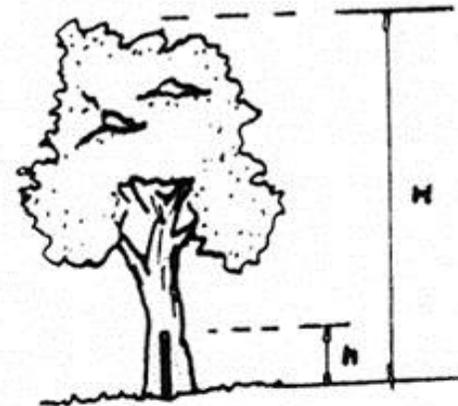
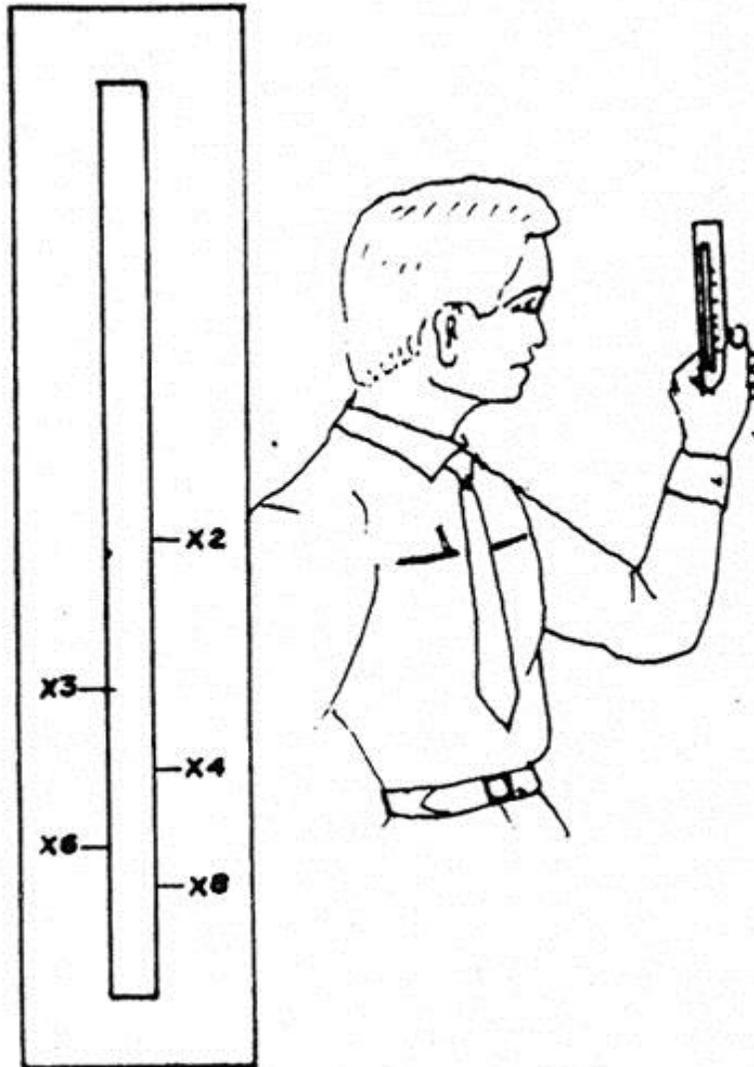
$A = 3m$	
L (m)	a (cm)
3,0	30,0
4,0	22,5
5,0	18,0
6,0	15,0
7,0	12,9
8,0	11,2
9,0	10,0
10,0	9,0
11,0	8,2
12,0	7,5
13,0	6,9
14,0	6,4
15,0	6,0
16,0	5,6
17,0	5,3
18,0	5,0
19,0	4,7
20,0	4,5
21,0	4,3
22,0	4,1
23,0	3,9
24,0	3,7
25,0	3,6
26,0	3,5
27,0	3,3
28,0	3,2
29,0	3,1
30,0	3,0





Hipsómetro de Christen

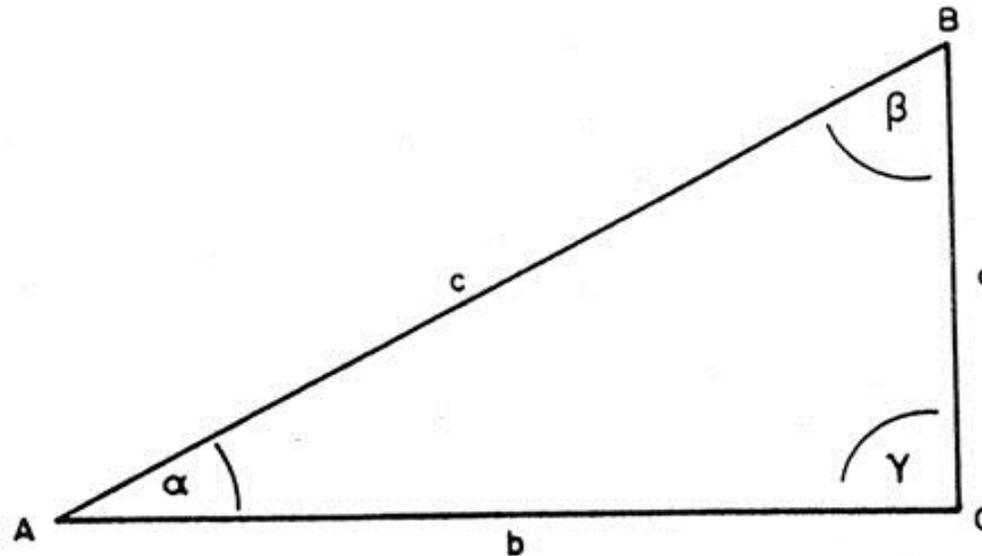




Hipsómetro de relación



Uso de la geometría para medir distancias



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

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

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



Instrumentos contruidos en principios trigonométricos

Características de las mediciones

Las mediciones son más precisas que las obtenidas por el principio geométrico

posibilidad de corrección del efecto de la inclinación del terreno

necesidad de efectuar dos mediciones, encima y debajo del horizonte de visada

requiere del conocimiento de la distancia horizontal

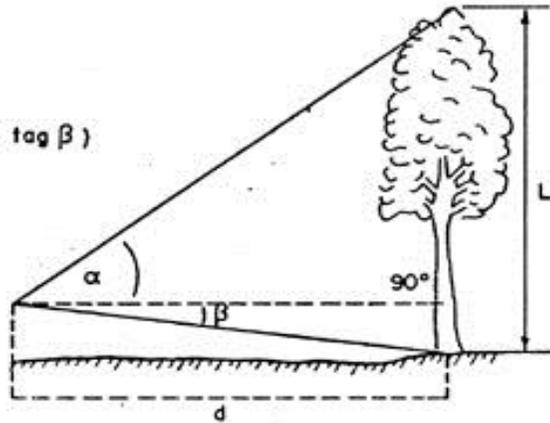
instrumentos ópticos precisan de bastante luz para efectuar la lectura correspondiente

los instrumentos son más caros y solo es posible de obtenerlos en pocas casas especializadas



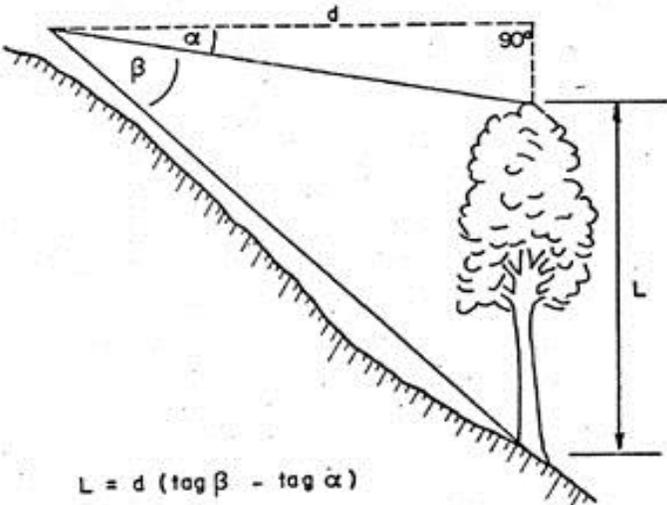
Tres posibles situaciones en la medida de altura a través del principio trigonométrico, en local plano e inclinado

$$L = d (\operatorname{tag} \alpha + \operatorname{tag} \beta)$$

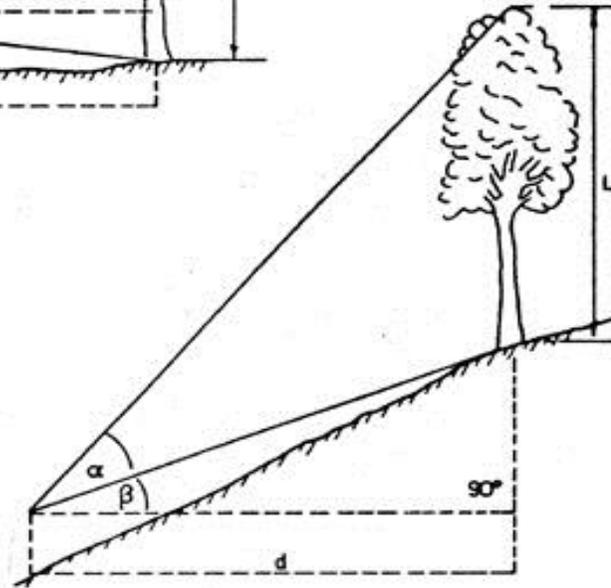


Leitura inferior	Leitura superior	altura
-	+	$L = d (\operatorname{tag} \alpha + \operatorname{tag} \beta)$
-	-	$L = d (\operatorname{tag} \beta - \operatorname{tag} \alpha)$
+	+	$L = d (\operatorname{tag} \alpha - \operatorname{tag} \beta)$

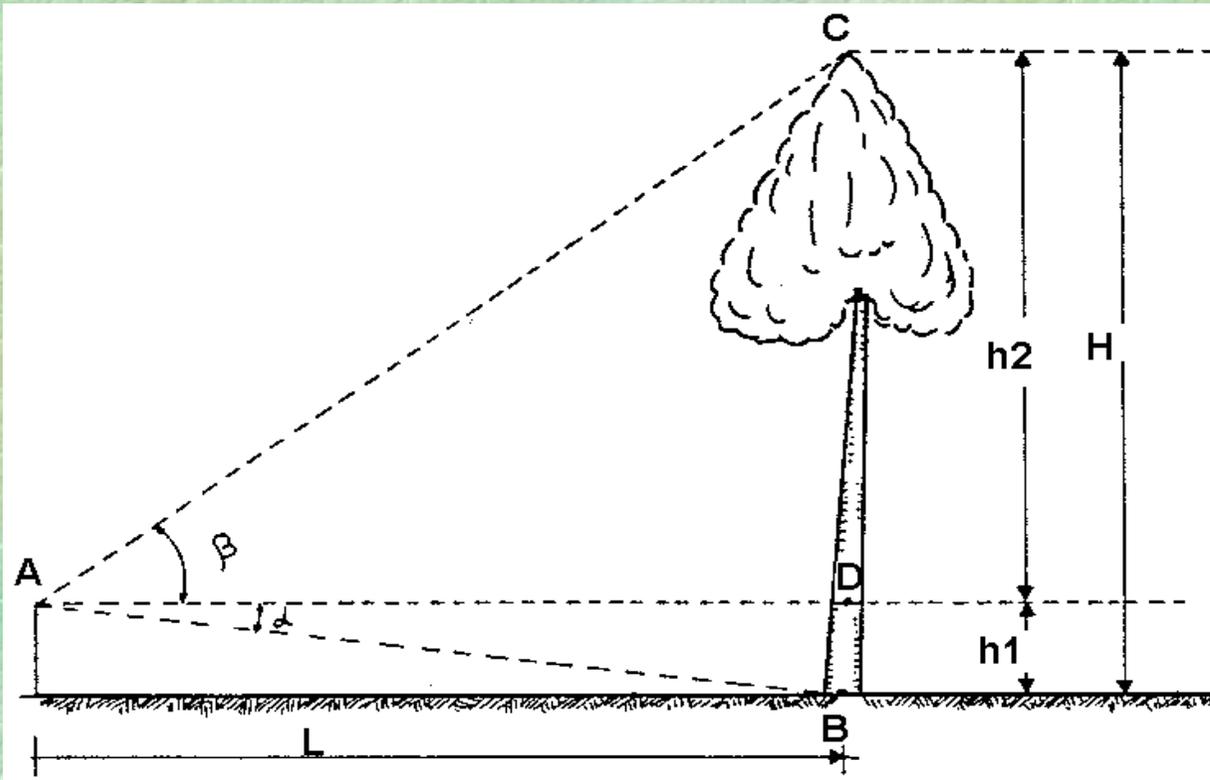
$$L = d (\operatorname{tag} \beta - \operatorname{tag} \alpha)$$



$$L = d (\operatorname{tag} \alpha - \operatorname{tag} \beta)$$



Determinación de la altura en terreno plano



$$\overline{BD} = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot L$$

$$\overline{DC} = \operatorname{tg}(\beta) \cdot L$$

$$\overline{BC} = \overline{BD} + \overline{DC}$$

$$\overline{BC} = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot L + \operatorname{tg}(\beta) \cdot L$$

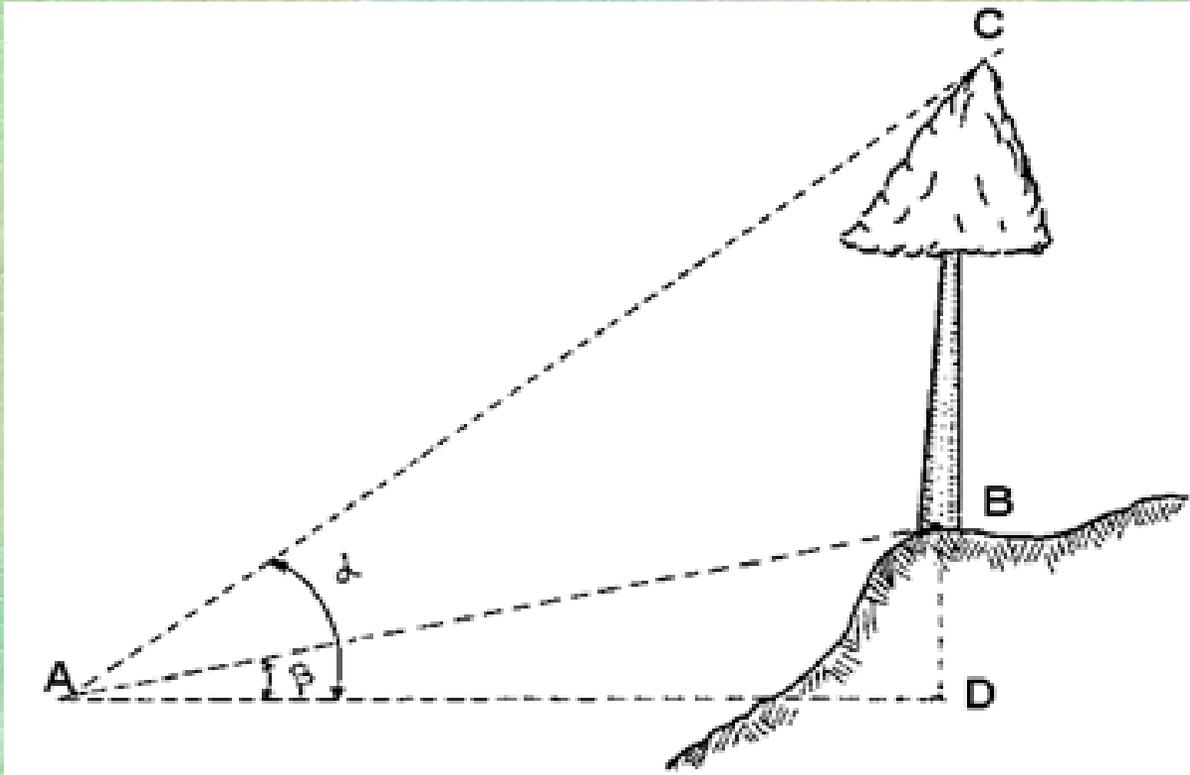
$$\overline{BC} = L \cdot [\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta)]$$

$$H = L \cdot [\operatorname{tg}(\alpha) + \operatorname{tg}(\beta)]$$

Ley de los senos y cosenos



Determinación de la altura en terreno inclinado



$$\overline{DC} = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot L$$

$$\overline{DB} = \operatorname{tg}(\beta) \cdot L$$

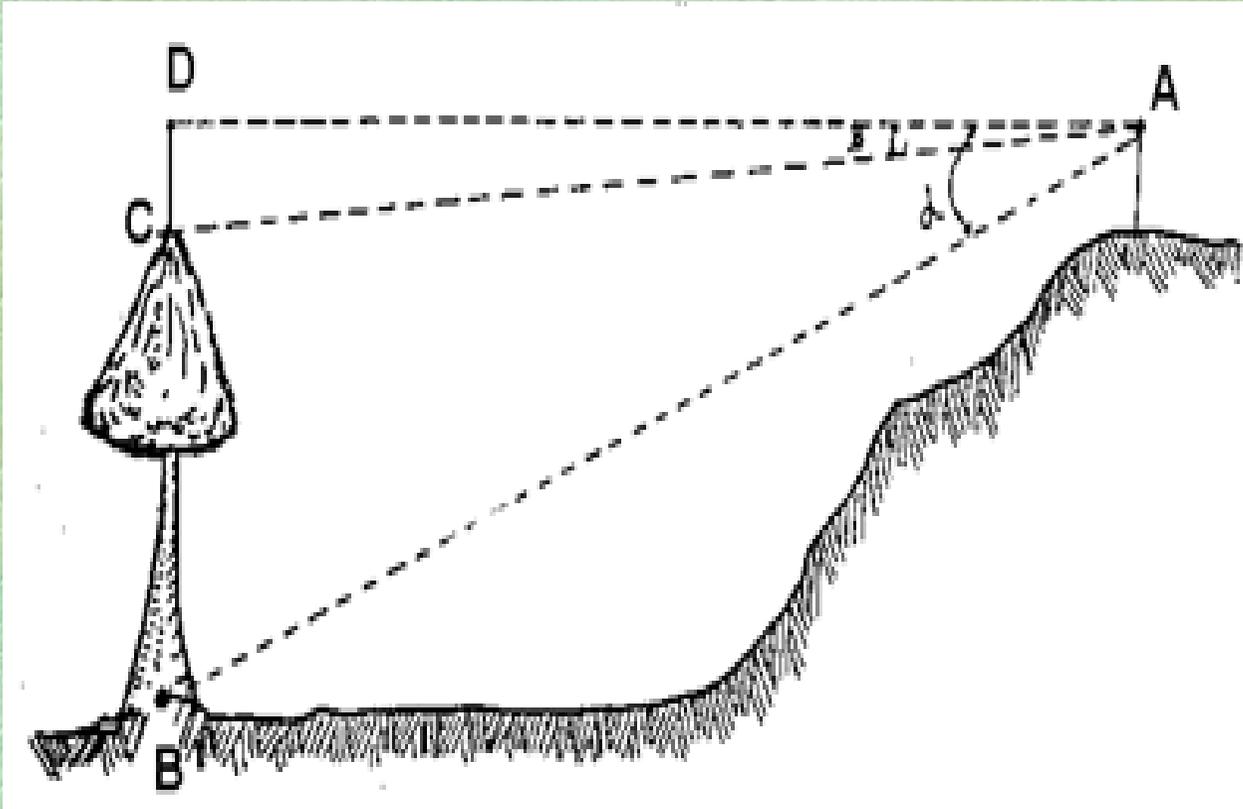
$$\overline{BC} = \overline{DC} - \overline{DB}$$

$$\overline{BC} = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot L - \operatorname{tg}(\beta) \cdot L$$

$$\overline{BC} = L \cdot [\operatorname{tg}(\alpha) - \operatorname{tg}(\beta)]$$

$$H = L \cdot [\operatorname{tg}(\alpha) - \operatorname{tg}(\beta)]$$

Determinación de la altura en terreno inclinado



$$\overline{BD} = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot L$$

$$\overline{CD} = \operatorname{tg}(\beta) \cdot L$$

$$\overline{BC} = \overline{BD} - \overline{CD}$$

$$\overline{BC} = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot L - \operatorname{tg}(\beta) \cdot L$$

$$\overline{BC} = L \cdot [\operatorname{tg}(\alpha) - \operatorname{tg}(\beta)]$$

$$H = L \cdot [\operatorname{tg}(\alpha) - \operatorname{tg}(\beta)]$$



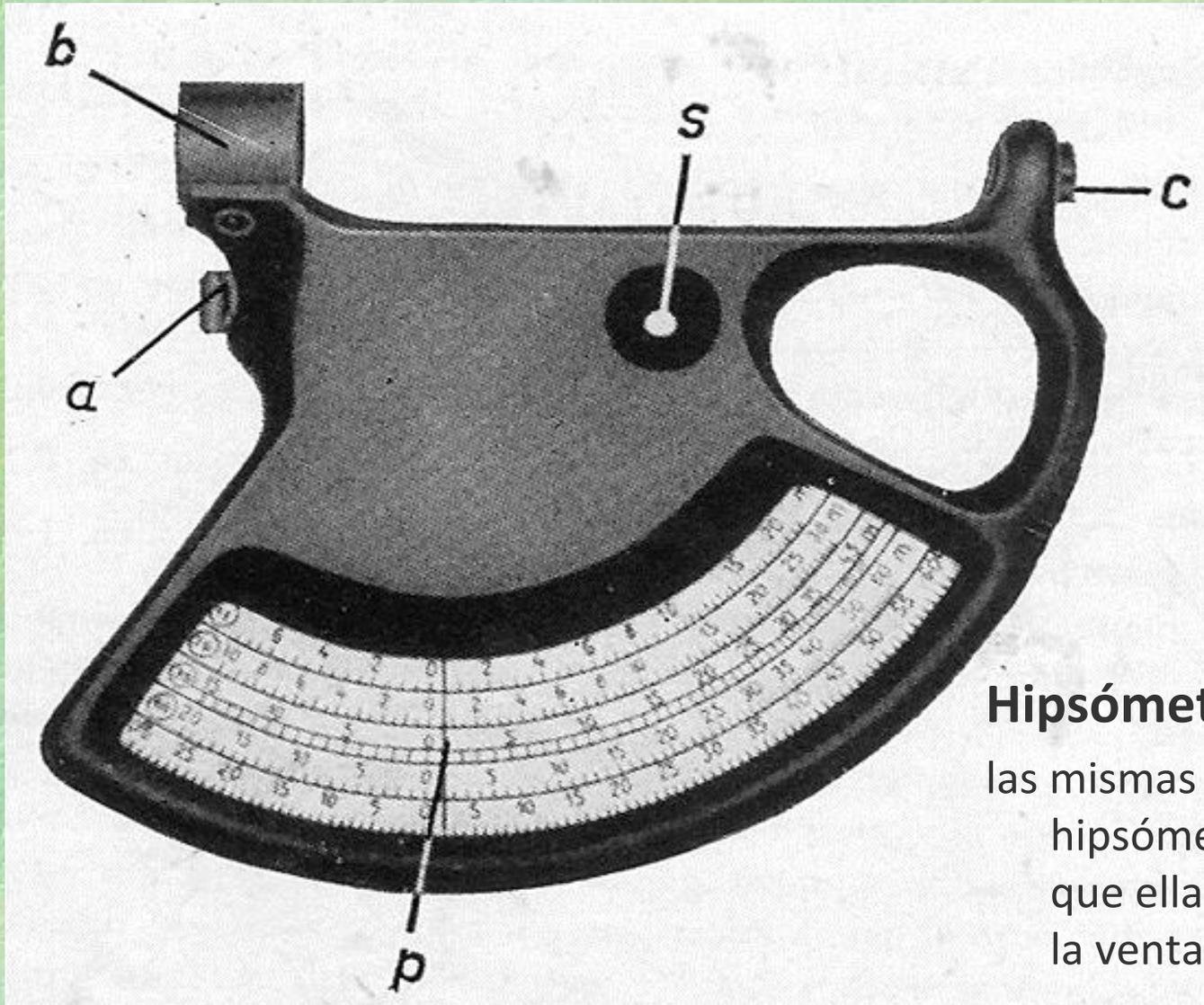
Hipsómetro Haga

escalas graduadas para 15,
20, 25 y 30 m + escala
porcentual

la escala escogida aparece en
la ventana del
instrumento, la distancia
de esa escala está dentro
de un círculo colorido

se debe focalizar el punto de
medida con el **péndulo
liberado**





Hipsómetro Blume Leiss

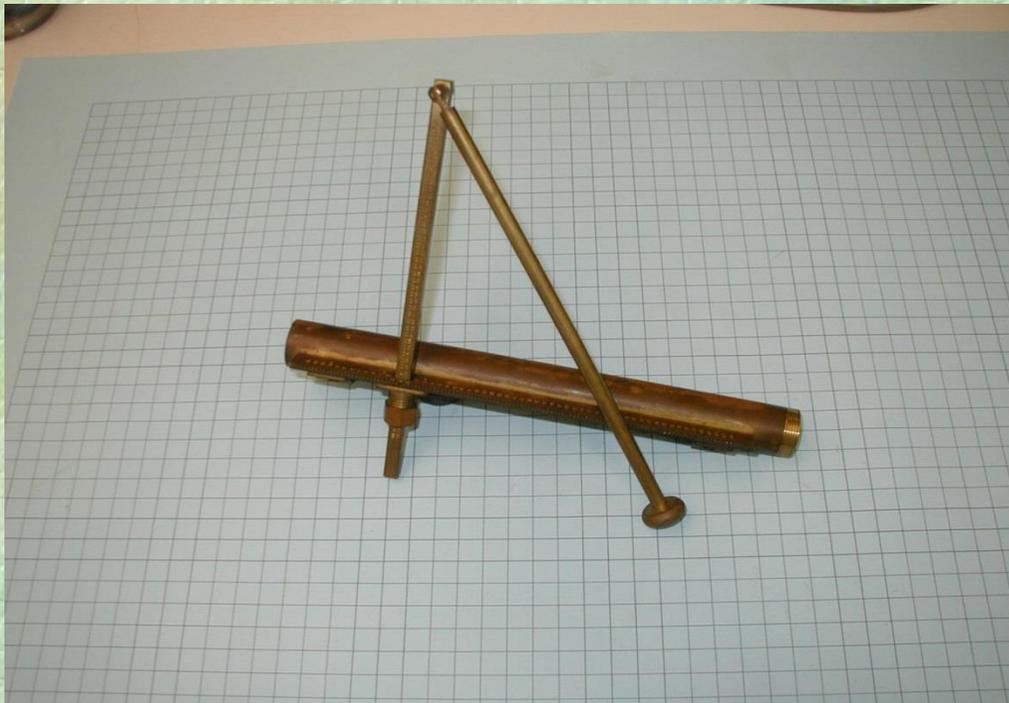
las mismas escalas que en el hipsómetro Haga con la diferencia que ellas aparecen todas juntas en la ventana del instrumento



Hipsómetro de Weise

instrumento de forma tubular con una escala de distancia acoplada perpendicularmente al instrumento y una escala para lectura de la altura a una distancia entre el mensurador y el árbol que es determinada con la cinta métrica

el instrumento puede ser utilizado desde cualquier distancia entre 1 y 60 m.





Hipsómetro y brújula Suunto (twing Suunto)

Hipsómetro Suunto

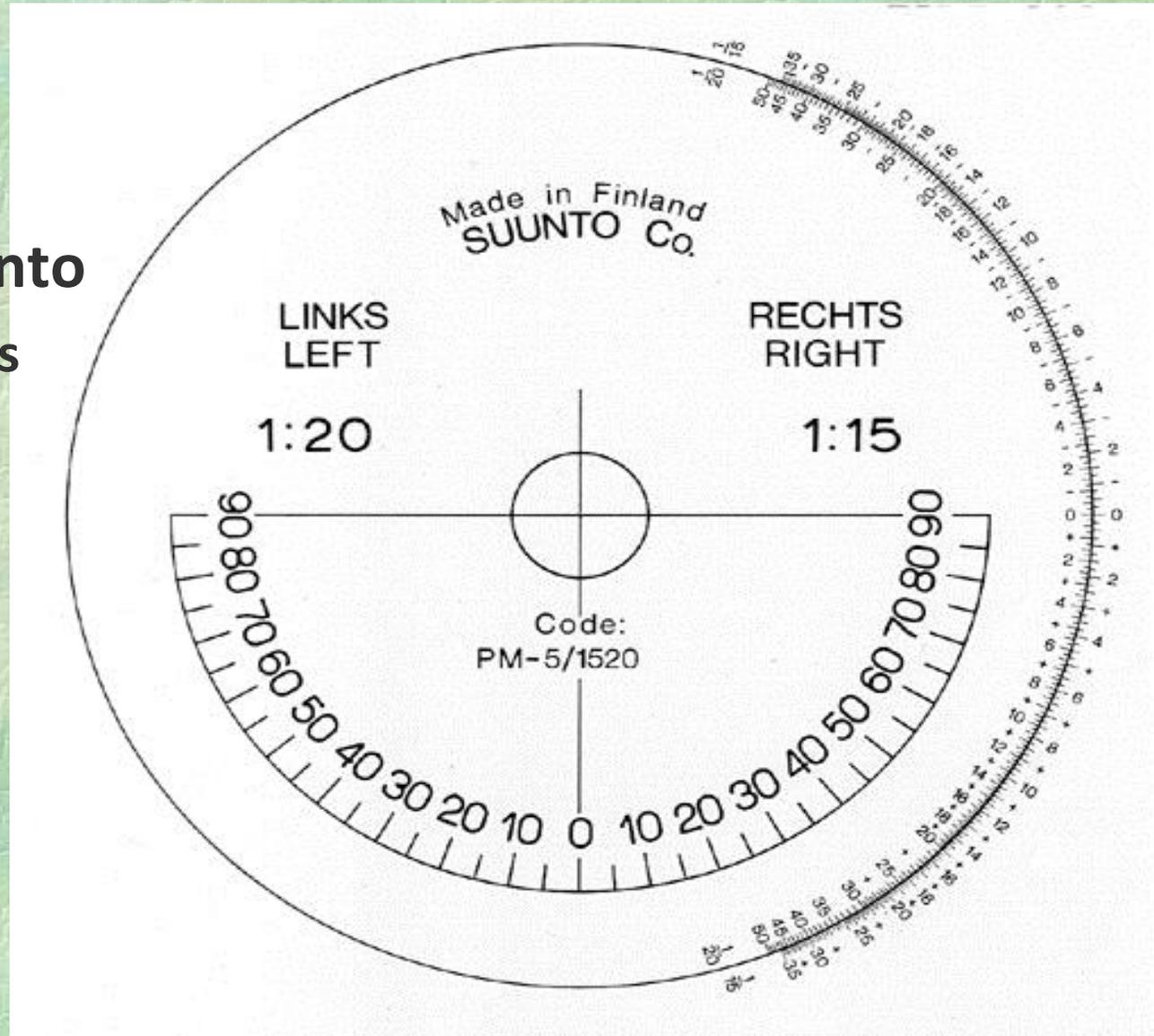
instrumento pequeño, leve y
de fácil manejo, de alta
precisión

el modelo padrón presenta
una escala en grados y una
otra en %





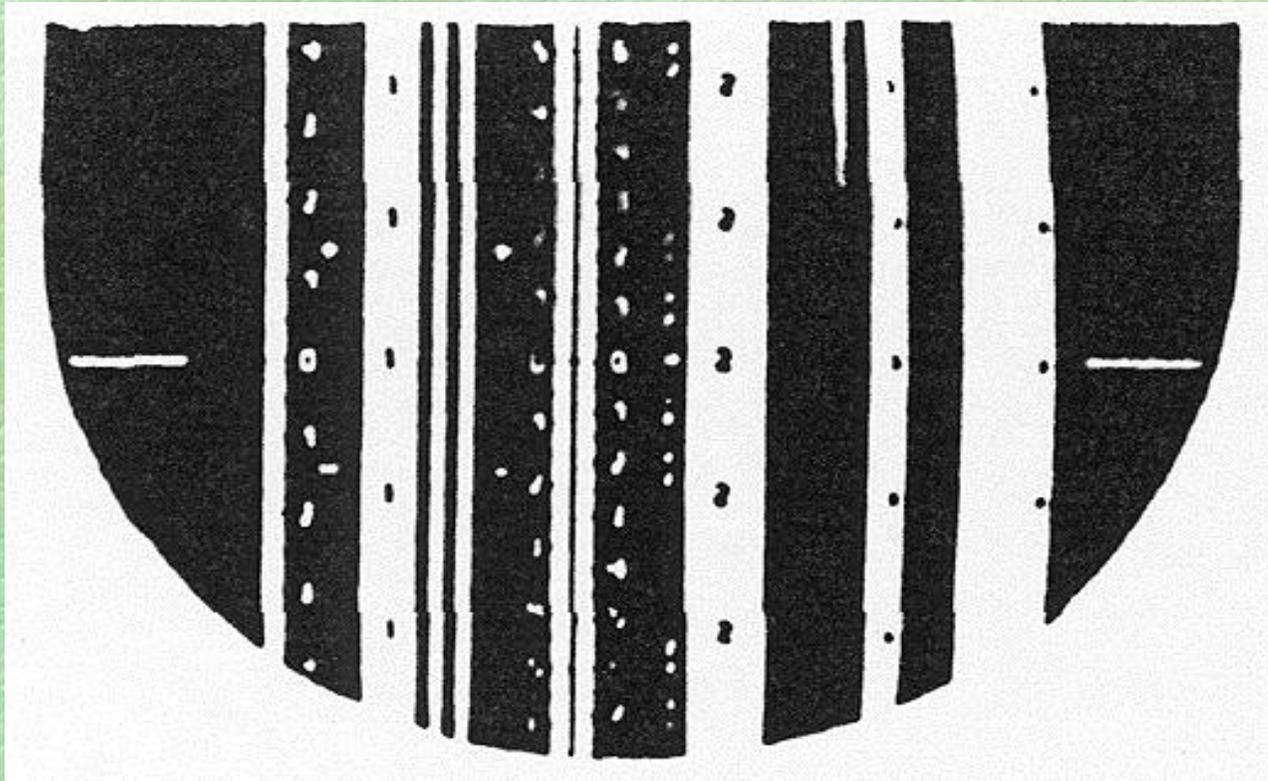
Escalas del hipsómetro Suunto para distancias fijas de 15 y 20 metros



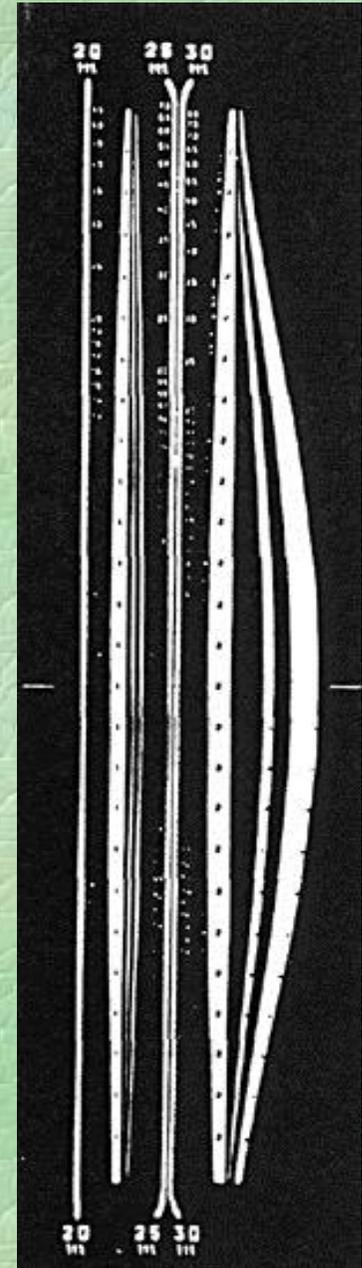


Relascópio de Bitterlich

Escalas de tangentes para 20, 25 y 30 m

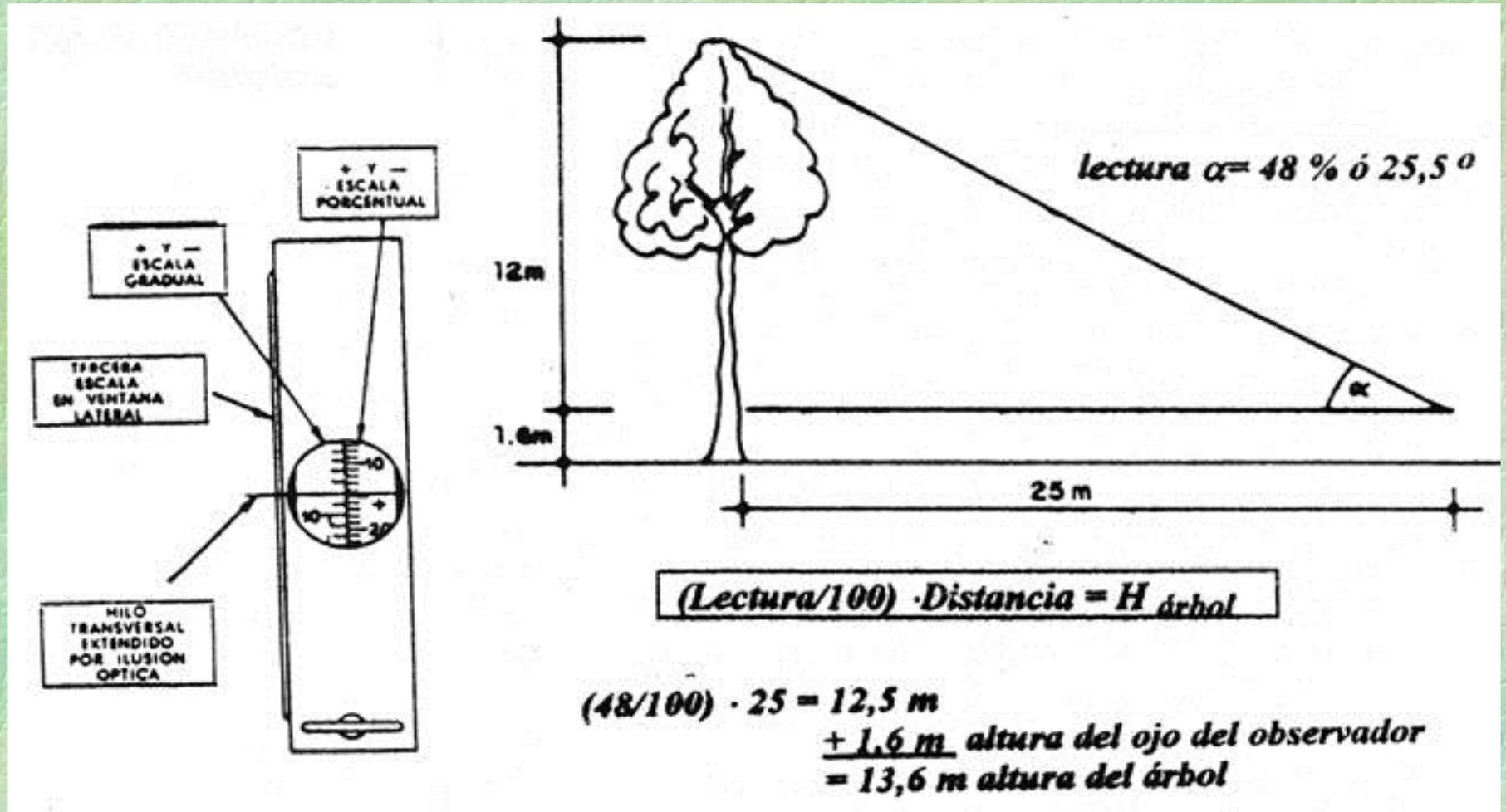


la graduación de las escalas ya están corregidas considerando el efecto de la declividad del terreno. Previamente se debe fijar el punto de medida en el árbol para después liberar el péndulo del instrumento.





Determinación de la altura en escala porcentual





Medición de la altura en grados

terreno plano: $H = \text{distância} \cdot [\text{tg}(\alpha) + \text{tg}(\beta)]$

terreno inclinado: $H = \text{distância} \cdot [\text{tg}(\alpha) - \text{tg}(\beta)]$



Medición de la altura en porcentaje

- terreno plano:
$$H = \frac{\textit{distância}}{100} \cdot (\textit{lectura1} + \textit{lectura2})$$
- terreno inclinado:
$$H = \frac{\textit{distância}}{100} \cdot (\textit{lectura1} - \textit{lectura2})$$



Errores

la precisión en las medidas de altura no es absoluta

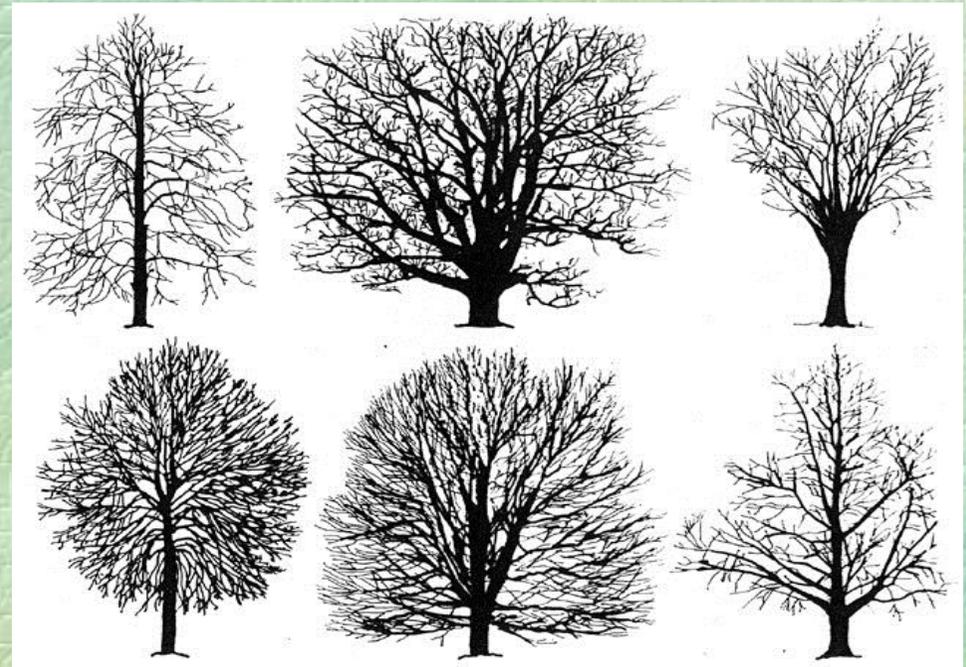
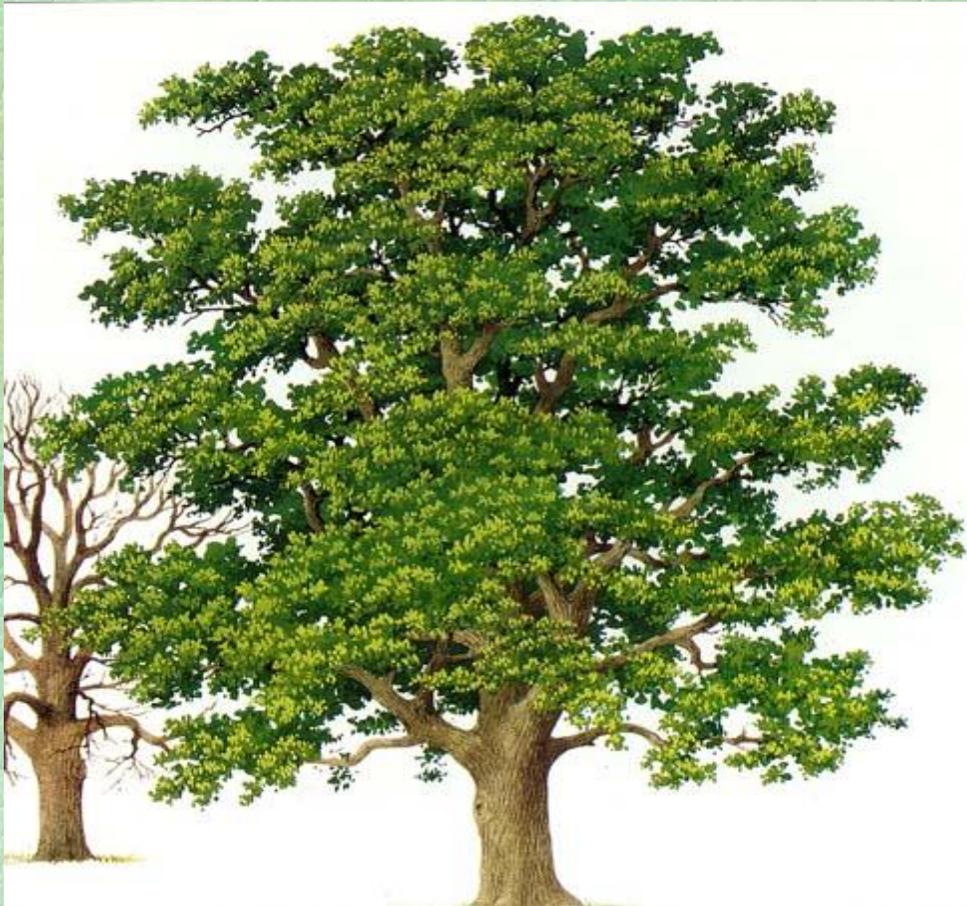
dependiendo de la altura del árbol, distancia del mensurador al árbol y del ángulo de medición el valor de la medida podrá variar entre algunos centímetros hasta 10% del valor de las mediciones

dificultad de identificar los puntos de medida

instrumentos ópticos precisan de bastante luz para proceder con la lectura correspondiente



Tipos de árboles





Determinación del parámetro altura

Número de individuos a ser medidos: distribuidos regularmente en las clases diamétricas a fin de asegurar la probabilidad estadística y poder calcular el intervalo de confianza, el error y el coeficiente de variación

El punto de medición de la altura deberá seguir siempre la metodología previamente establecida

Todas as mediciones de esos individuos deberán ser ejecutados con el mismo tipo de instrumento y de acuerdo con la definición previa de la precisión

El equipo de mensuradores deberá tener experiencia compatible



Cálculo de la altura media

H total, H comercial

altura media aritmética

altura media cuadrática

altura media por la frecuencia de la clase de altura

altura media dominante

altura del árbol con g medio

altura media de Weise

altura del árbol central de Lorey

altura del árbol de Hohenadl

altura del árbol H_z



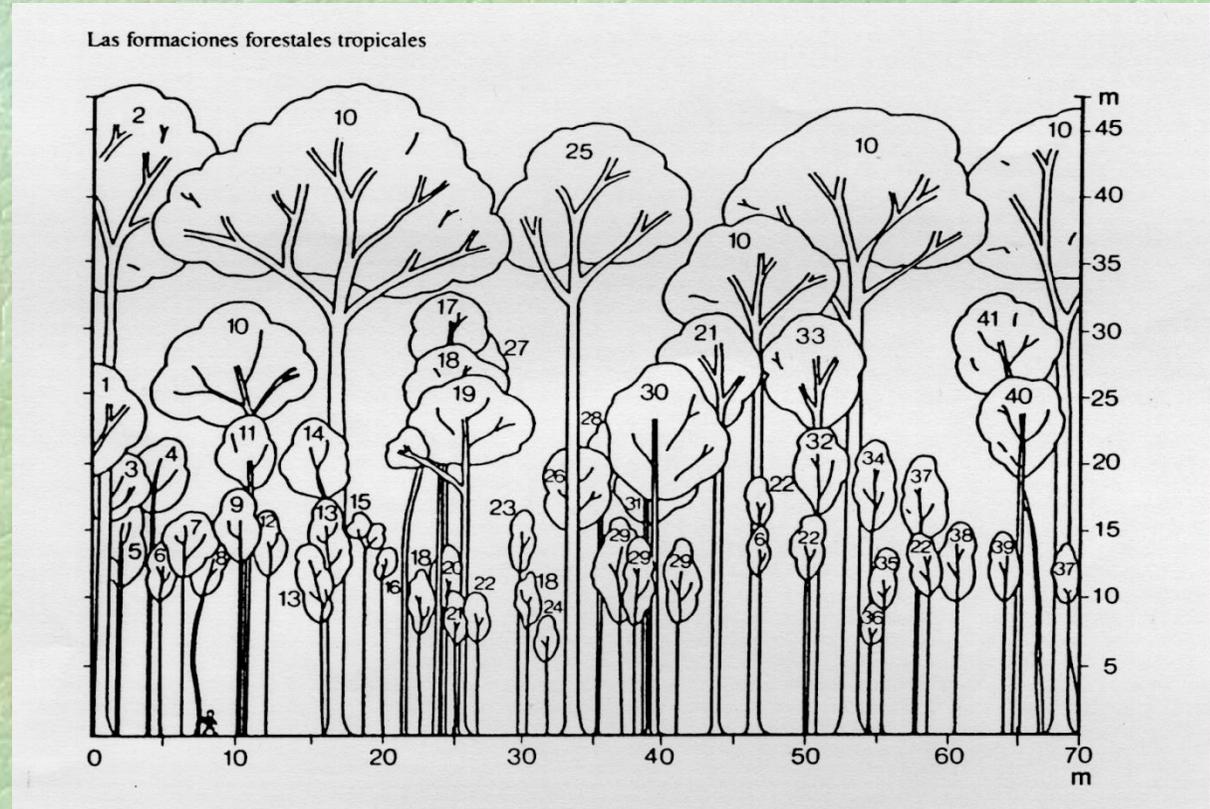
Distribución de los árboles en clases de altura

Estrato dominantes

Estrato co-dominantes

Estrato intermediario

Estrato dominados

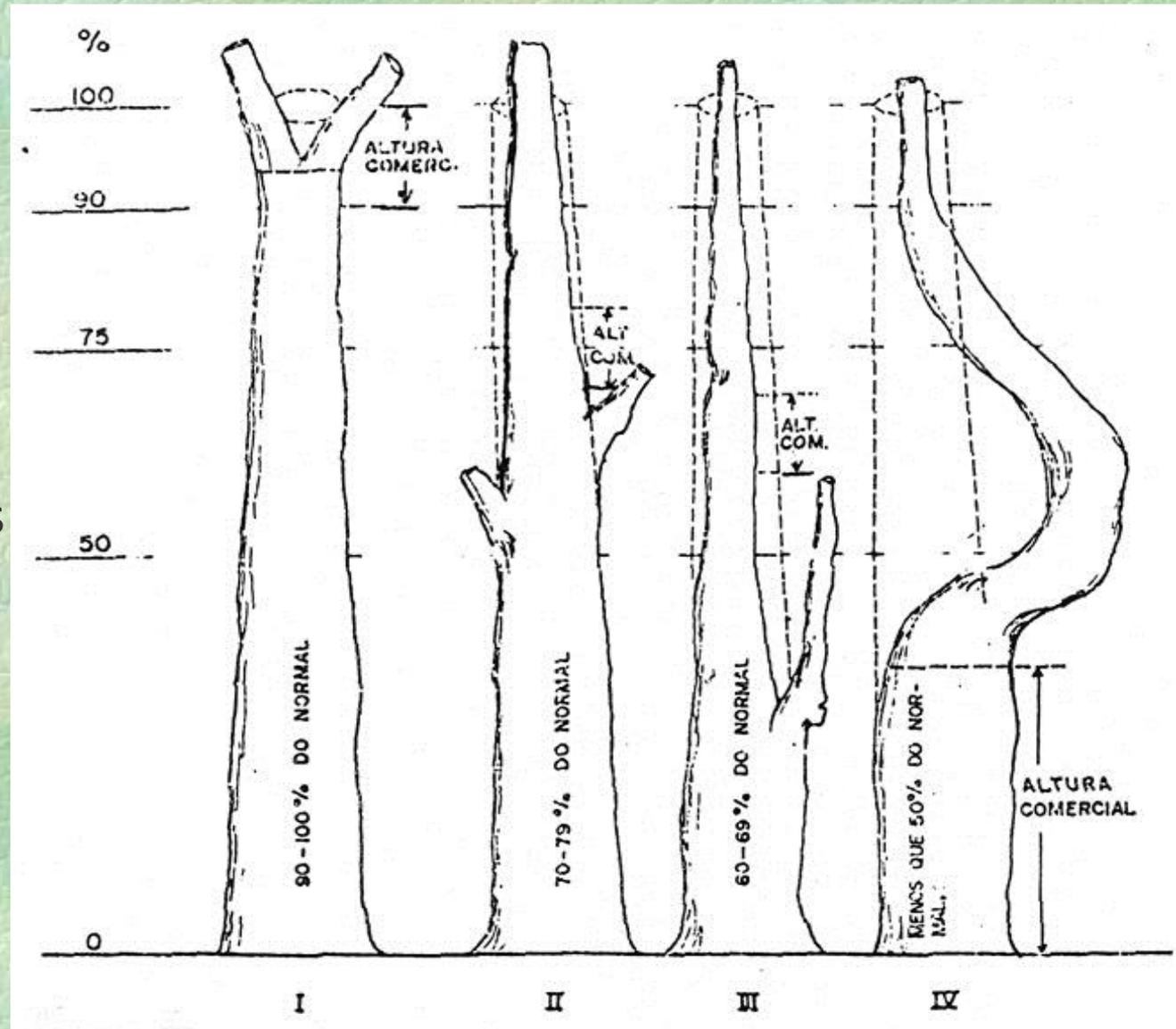




Formas de troncos, alturas del tronco comercial

clasificación del
aprovechamiento
comercial del
tronco

calidad de los troncos
comerciables





Crecimiento en altura





Parámetro altura

clasificación silvicultural: árbol con más de 3 m de altura

clasificación de la regeneración natural: plántula de 1-30 cm, 30 - 60 cm, 60 cm - 1 m, > 1 metro y aún sin el D mínimo

clasificación de la estratificación vertical: estratos de los árboles dominantes, co-dominantes, intermediarios y dominados

altura media aritmética, altura media por la frecuencia de las clases de altura, altura media de los árboles dominantes, altura del árbol con g medio, altura media de Weise, altura del árbol medio de Lorey, altura del árbol central de Hohenadl, altura del árbol central (D_z)

La mensura de la altura permitirá establecer junto con el DAP, criterios en la definición del volumen del árbol, clasificación del sitio, sistemas de mantenimiento y conducción del bosque



Relaciones hipsométricas

$$H = b_0 + b_1 / D^2 \quad (\text{Assmann, 1952})$$

$$H = b_0 + b_1 \cdot \log D \quad (\text{Hericksen, 1950})$$

$$\log H = b_0 + b_1 \cdot \log D \quad (\text{Stoflls, 1953})$$

$$\log H = b_0 + b_1 / D \quad (\text{Curtis, 1967})$$

$$\ln H = b_0 + b_1 / D^2$$

$$H = b_0 + b_1 / D$$

$$H = b_0 + b_1 D + b_2 D^2$$



- **Resapitulación:**
- Individuo de mensura ✓
- Unidades de medida ✓
- Factores de conversión ✓
- Variables dendrométricas ✓
- Parámetros dendrométricos ✓
- Instrumentos de medición ✓
- Métodos de medición ✓
- Manejo de datos dendrométricos ✓
- Interpretación de resultados
- Transferencia del conocimiento.



variable dendrométrica

EDAD

conceptos

anillos de crecimiento

relaciones dasométricas



Planificación de la disciplina

Unidad 6: Edad. Crecimiento e incremento.
Instrumentos. Predicción del crecimiento. Análisis
del tronco.

Libro de referencia:

*Imaña-Encinas, J.; Silva, G.F.; Pinto, J.R.R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: UnB/EFL, 2005. 40p.*



Edad

Edad en cualquier organismo es el estado de la existencia en un espacio de tiempo considerado desde un origen (comienzo) hasta una determinada fecha (fin)

El tamaño (volumen) de un árbol es función del tiempo en que se desarrolló

Conceptos de la edad del elemento árbol

edad del árbol, edad del bosque, edad de la plantación, edad de rotación, edad juvenil, edad adulta, edad senil, edad de declino, edades irregulares, edades multiplas, edad de corte, edad fértil

Edad de un árbol puede ser precisa

Edad de un bosque es una medida aproximada, considera las edades medias de los árboles



Tipo de crecimiento de los árboles



Monopodial



Simpodial



Determinación de la edad

- **por observación:** experiencia del mensurador e existencia de registros y catastros de las áreas forestales
- **conteo del número de verticilos:** las ramas que crecen en conjunto en un sistema radial en una misma altura del tronco, forman el verticilo (típico en las Araucárias y Coníferas)
- **conteo de los anillos de crecimiento:** una capa de crecimiento del floema, vista en sección transversal, en el leño y en la corteza, forma un anillo de crecimiento



Araucaria angustifolia





Anillos o zonas de crecimiento

Pinus oocarpa - Brasil

Pinus silvestris - Finlândia



Anillos anuales de crecimiento son formados por diferentes capas de tejido de la actividad cambial en dos períodos: el vegetativo y al reposo fisiológico (nítidas en muchas especies)



Edad del bosque equiánia – multiánia

La variable **edad** es importante en las prácticas de manejo y ordenación forestal por que es posible evaluar por medio de ella el crecimiento y la productividad de un sitio

Análisis a través de la escala de intervalos



Determinación de la edad del árbol

En la edad juvenil del árbol el crecimiento deberá ser evaluado por la variable altura, en ese sentido es posible crear clases de altura en función de la edad de los individuos

El crecimiento en altura está definido por la carga genética del individuo y la posibilidad de respuesta a la intensidad de la luz

Hasta 3 m de altura es relativamente fácil su acompañamiento

En la edad adulta el crecimiento en diámetro se torna una variable importante de medición, ya en la edad senil la variable que debe ser considerada es el área basal



Edad del árbol

El período durante el cual los factores climáticos del medio ambiente como temperatura, humedad, duración e intensidad de luz, existiesen favorables al crecimiento del árbol, se producirán anualmente capas de crecimiento que las denominamos de anillos de crecimiento

Alteradas anualmente las condiciones ambientales favorables de crecimiento formarán zonas de crecimiento

El número de anillos formados corresponderá aproximadamente a la **edad** del árbol

Es posible que el árbol pueda formar dos anillos en un año o deje de formar anillo en el año

La formación de anillos de crecimiento es típica de regiones templadas donde las estaciones están bien definidas

En los trópicos los árboles forman zonas de crecimiento



Edad del bosque

Determinación matemática de las clases de edad

Fórmula de la media aritmética (considera solamente las diversas edades existentes en el bosque, inclusive con cálculo de ponderación)

Fórmula de Heyer (media geométrica que asume en el cálculo la variable área basal por edad)

Fórmula de Block (a través del proceso xilométrico es considerada para cada la clase diamétrica el correspondiente volumen)

Fórmula de Smalian (utiliza el volumen por clase diamétrica)



Tabulación típica de datos de campo

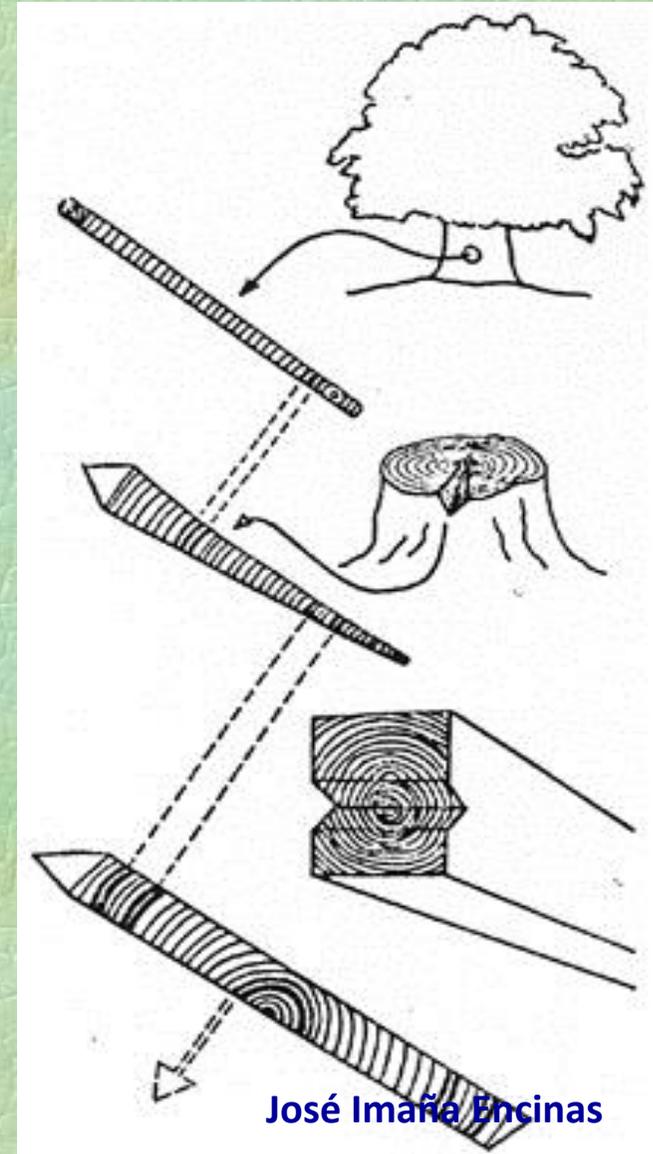
Classe diamétrica	n/ha	AB/ha	Vol/ha
1			
2			
3			
4			
5			



Anillos de crecimiento pueden ser observados en los cortes transversales del tronco y en las muestras del barreno de Pressler

Medios para facilitar la visualización de los anillos son lupas, colorantes, luz, alcohol, gasolina, rayos ultravioletas, pulimento de la superficie, quemadura leve

El método de conteo de los anillos de crecimiento es bastante preciso en árboles que crecen en estaciones climáticas bien marcadas



José Imaña Encinas

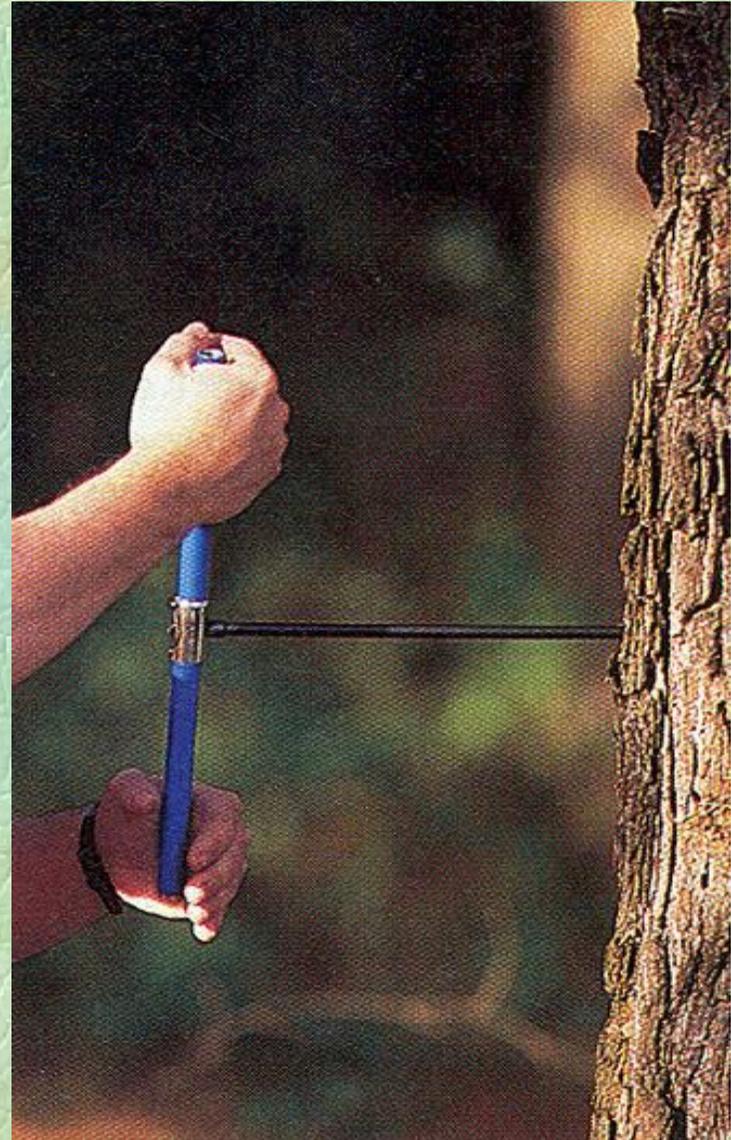


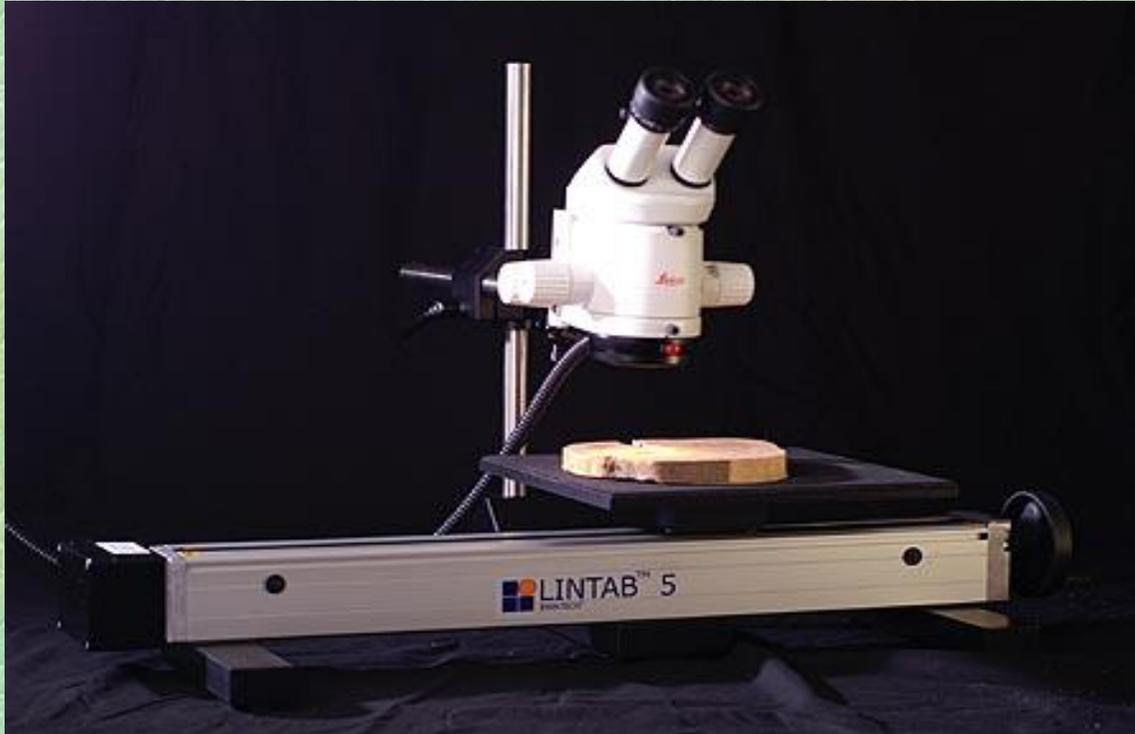
Componentes del barrreno de Pressler





Barreno de Pressler





Determinación de la edad a través de muestras del Barreno de Pressler





Anillos de crecimiento

Existiendo anillos de crecimiento y obtenidos por el **Barreno de Pressler** es posible determinar la edad del árbol a través de varias fórmulas matemáticas:

Fórmula de Pressler

Fórmula de Schneider

Fórmula de Borgreve

Fórmula de Wahlemborg

Fórmula de Jonson

Fórmula de Pande



Anillos de crecimiento

$$i = \frac{1}{K_2} \cdot \log e\left(\frac{K_1 + x}{K_1 - x}\right)$$

No existiendo anillos de crecimiento, **Pande** desarrolló un complejo proceso matemático en función de derivadas con respecto al tiempo e incremento de la variable diámetro y factores que influyen el crecimiento, donde:

i = edad

x = variable en la edad de la época de la medición

K_1 y K_2 = constantes de cálculo, que son definidas en función de diámetros medidos en dos, tres o más años



Anillos de crecimiento

Método del Análisis del Tronco

evalúa el incremento en términos del volumen, diámetro o altura de un árbol en un determinado sitio

determina detalladamente el crecimiento pasado del árbol, permitiendo sintetizar su comportamiento desde el estagio juvenil hasta el momento del análisis correspondiente

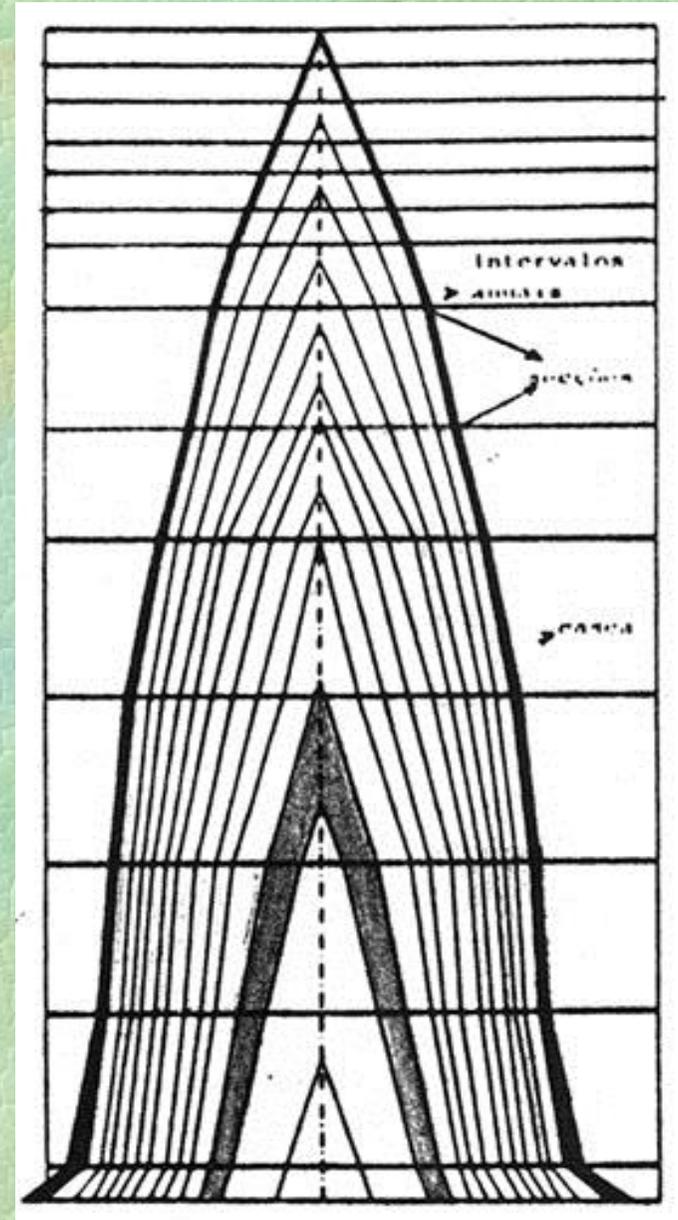
se hace necesario analizar un cierto número de secciones transversales del árbol observando características de los anillos anuales de crecimiento



Perfil esquemático del tronco con los respectivos cortes transversales mostrando los anillos de crecimiento

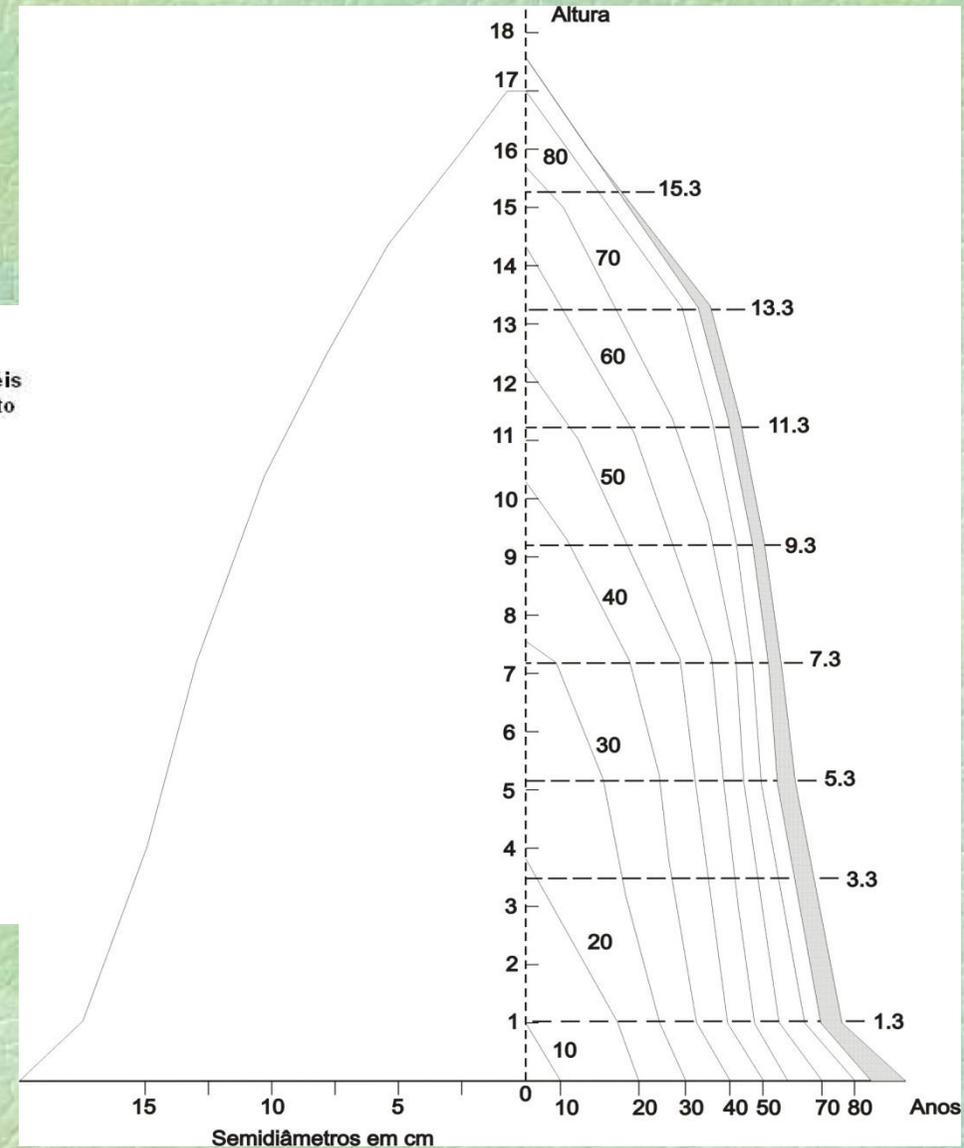
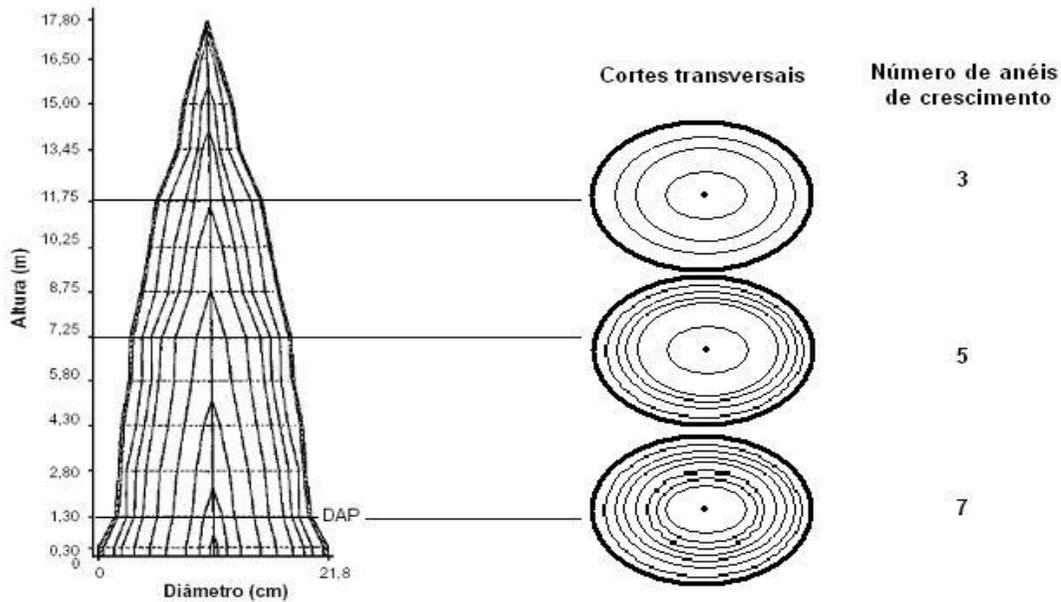
Método de Análisis del Tronco

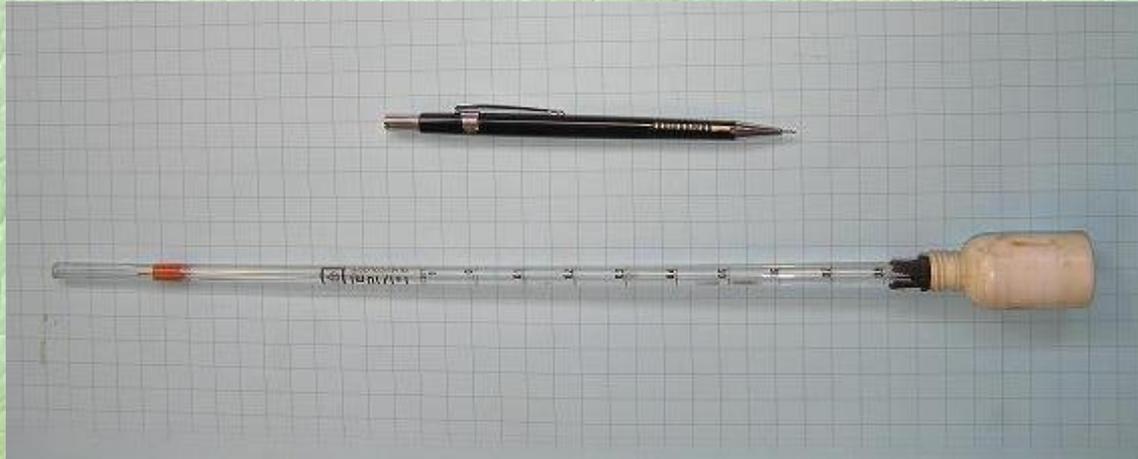
- *análisis del tronco completo*
- *análisis del tronco parcial*





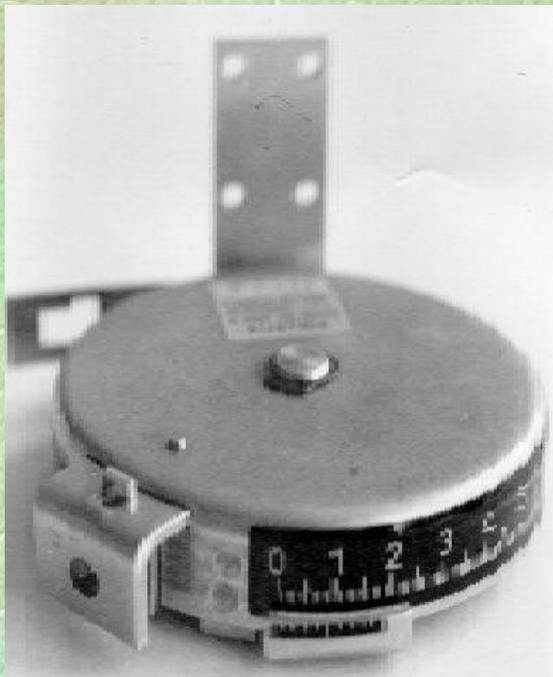
Perfil resultante del análisis del tronco



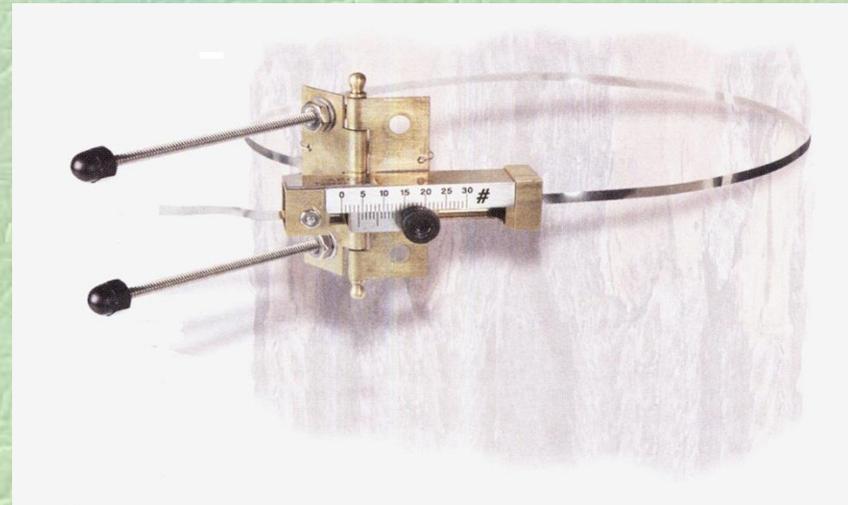


Fitotensiómetro

Dial Dendro



Microdendrómetro





Crecimiento e incremento

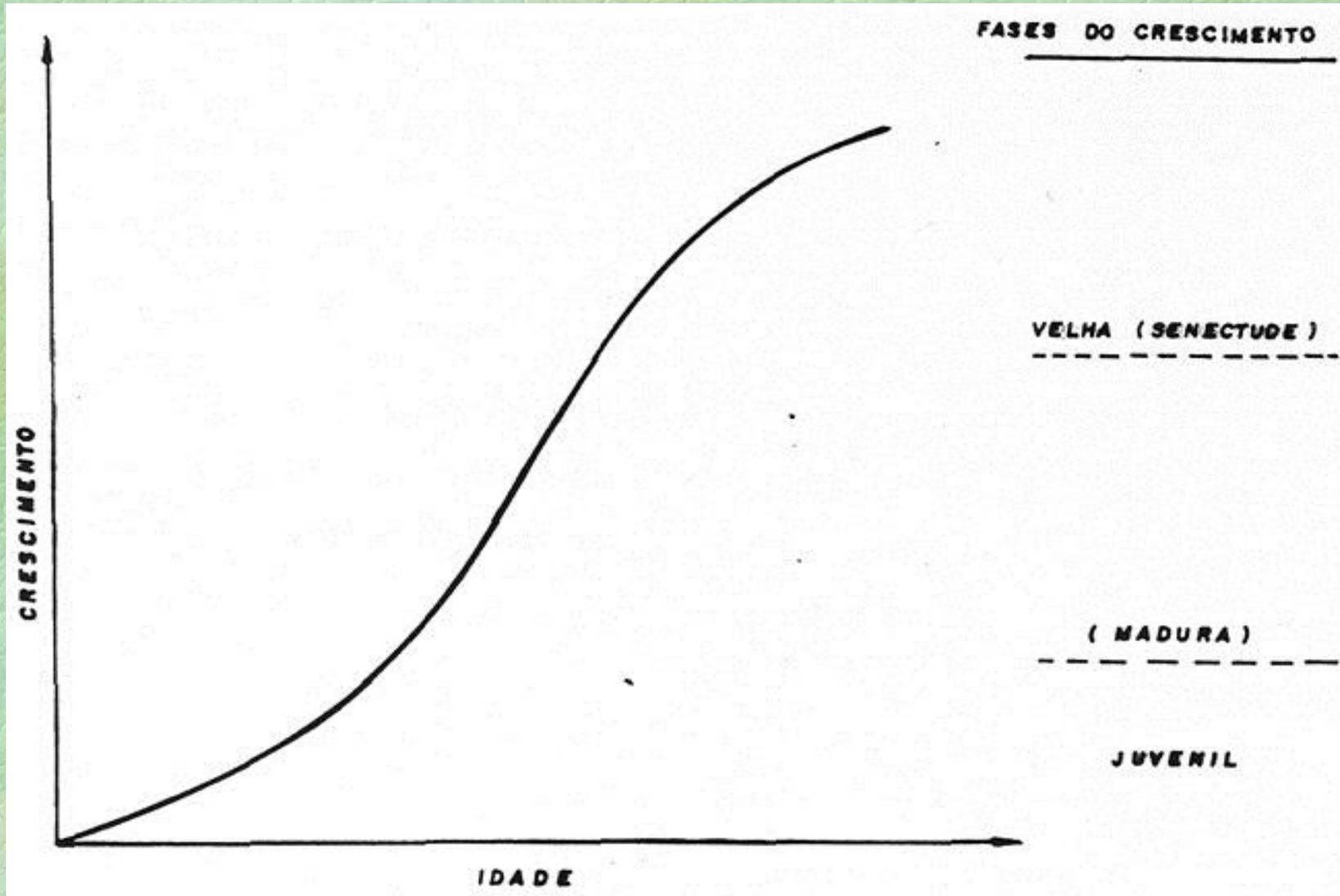
Crecimiento: aumento gradual y acumulativo de la variable que se mide

crecimiento en diámetro
crecimiento en altura
crecimiento en área basal
crecimiento en volumen
crecimiento porcentual

Incremento: es el crecimiento de cualquiera de las variables consideradas que son evaluadas de acuerdo a los cambios climáticos en períodos cortos de tiempo, ***lo que crece en un árbol en períodos sucesivos de tiempo***



Curva típica del ritmo de crecimiento





cálculo del crecimiento en volumen

será el aumento en volumen en determinado período de tiempo

$$C \text{ volumen} = \text{Vol final} - \text{Vol inicial}$$

$$C \text{ vol} = \pi/4 \cdot F \cdot h \cdot (D \text{ final}^2 - D \text{ inicial}^2)$$



$$P = \frac{400}{n} \left(\frac{D_{final} - D_{inicial}}{D_{final} + D_{inicial}} \right)$$

Fórmula de Pressler

$$P = \frac{400}{rD_{final}}$$

Fórmula de Schneider

r = número de anillos en el último cm del radio



$$P = \frac{100 \cdot (4/n) \cdot D}{D^2}$$

Fórmula de Borggreve

$$P = \frac{40 \cdot K}{D_{final}}$$

Fórmula de Wahleberg

K = largo radial en cm de los últimos 10 anillos

$$P = \frac{100}{n} \left(1 - \frac{D_{inicial}^2}{D_{final}^2} \right)$$

Fórmula de Jonson



$$P = \left(\frac{V_{final} - V_{inicial}}{V_{final} + V_{inicial}} \right) \cdot \frac{200}{n}$$

Fórmula de Pressler

P = % del crecimiento volumétrico

$$P = \frac{(V_{final} - V_{inicial}) \cdot 200}{V_{final}(n - 1) + V_{inicial}(n - 1)}$$

Fórmula de Kunse

P = % del crecimiento del volumen medio



Crecimiento porcentual

- fórmula del interés simple

$$I_s = [(V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}}) n / V_{\text{inicial}}] \cdot 100$$

- fórmula del interés compuesto

$$I_c = \left(\sqrt[n]{\frac{V_{\text{final}}}{V_{\text{inicial}}}} - 1 \right) \cdot 100$$



Incremento

Incremento anual: expresa lo que el árbol creció en un año consecutivo

Incremento volumétrico anual (IA)

$$IA = \text{volumen en 2000} - \text{volumen en 1999}$$

Incremento medio anual (IMA): expresa el valor medio del incremento anual del árbol; su cálculo se efectúa por la relación del crecimiento total y la edad del árbol

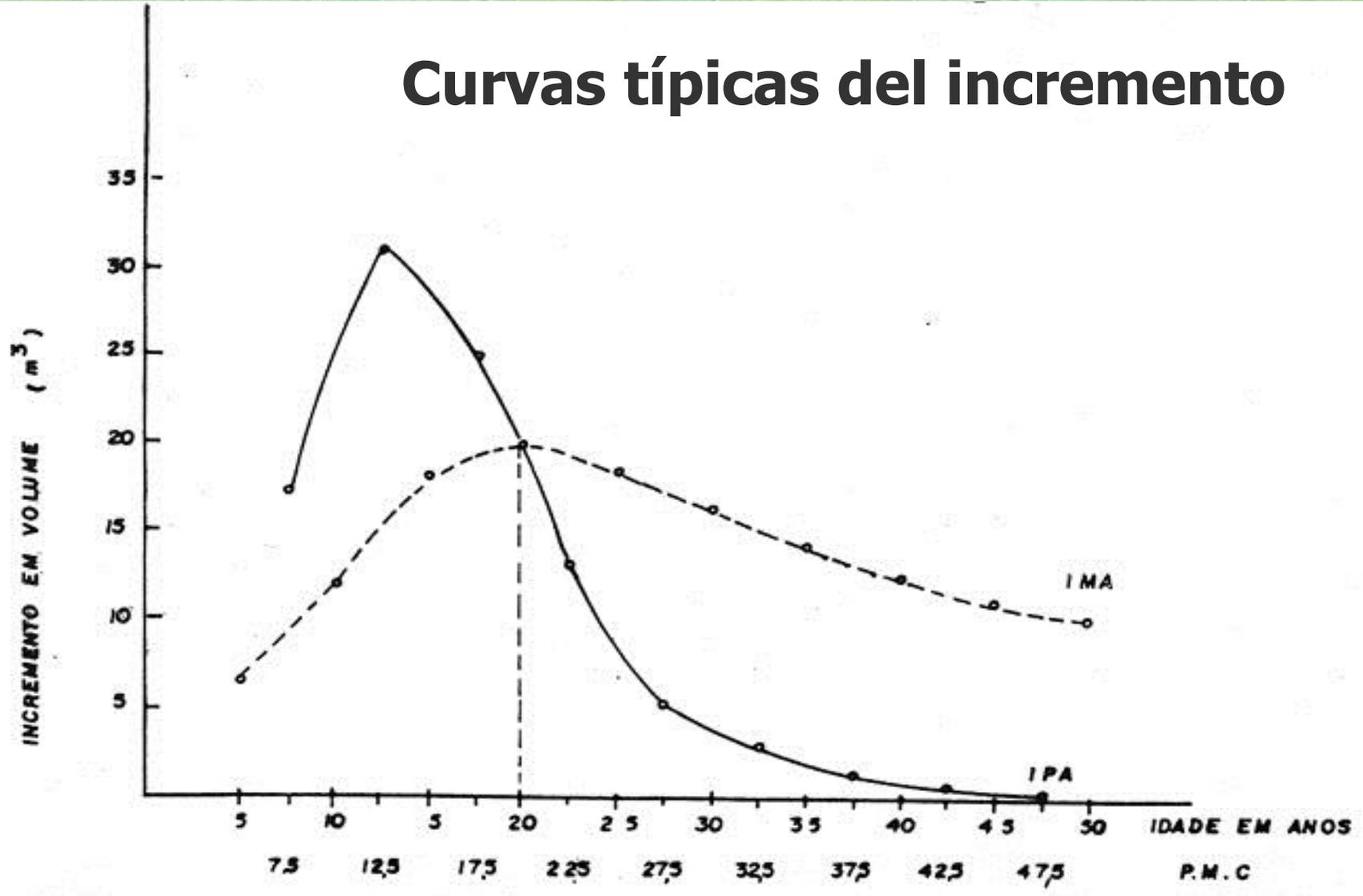
$$IMA = (\text{volumen del árbol}) / \text{edad}$$

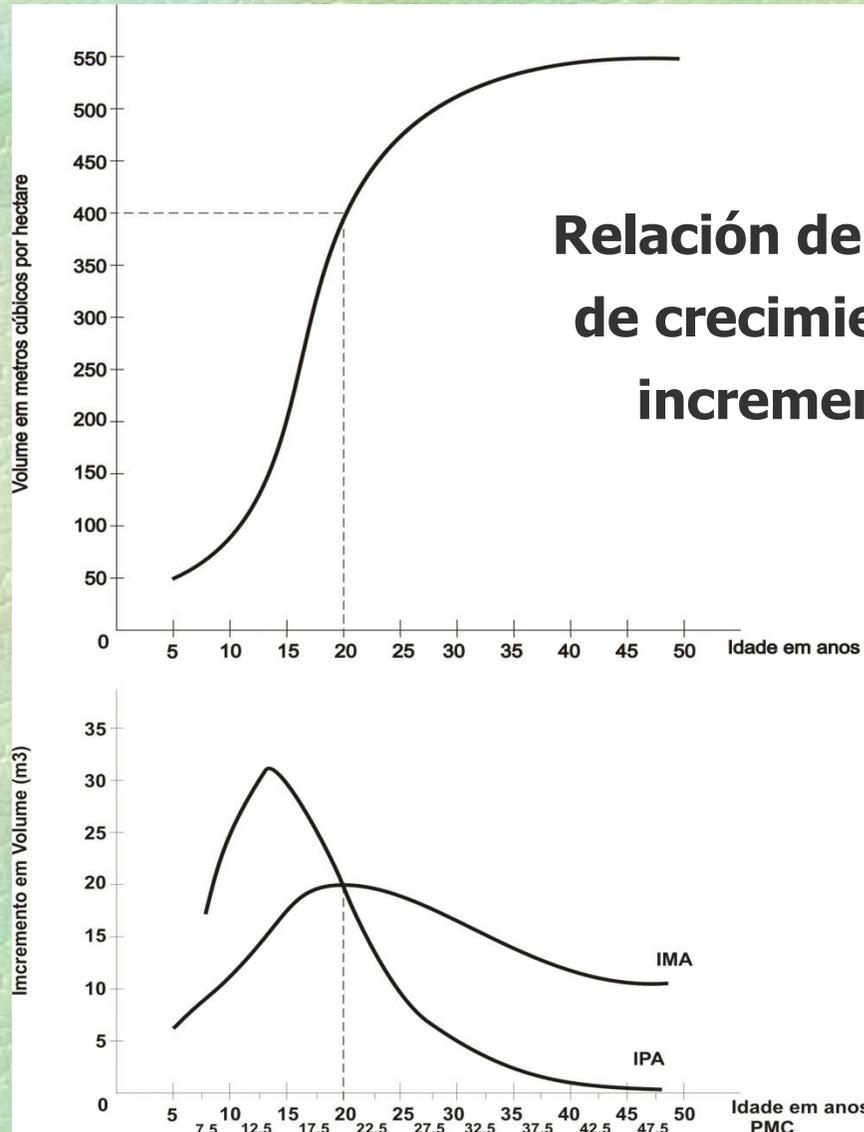
Incremento periódico anual (IPA): indica lo que el árbol creció en media en un período

$$IPA = (\text{vol. 2000} - \text{vol. 1990}) / 10 \text{ años}$$



Curvas típicas del incremento







Predicción del crecimiento

*igualando el crecimiento del pasado
con el crecimiento del futuro*

esta previsión de crecimiento es válida apenas para un período igual al acúmulo del crecimiento

Esa extrapolación produce normalmente una sobre estimación de la variable observada

Solamente el área basal mantiene una tasa casi que constante del crecimiento, inclusive extrapolando para la mayor parte de la vida del árbol



Predicción del crecimiento

prolongando la curva de tendencia del crecimiento pasado

Principio válido si se considera apenas una determinada etapa de la vida del árbol
(fase juvenil, fase adulta, fase senil, etc.)



Predicción del crecimiento

comparando los datos de un período para árboles similares en condiciones ambientales semejantes

Este principio tiene más base científica que los anteriormente citados. Se debe considerar el mayor número de observaciones posibles en un extenso período de tiempo. Presenta resultados bastante confiables sin embargo se debe efectuar ajustes necesarios a fin de proceder con correspondientes prácticas silviculturales



Predicción del crecimiento

se torna muy peligroso hacer cualquiera de las previsiones de crecimiento cuando:

- el crecimiento depende de varios factores que no son mensurables
- el tiempo al cual se desea extender es mayor al período observado,
- el número de observaciones (árboles medidos) es relativamente pequeño
- no existen datos iniciales consistentes



variable dendrométrica

FACTOR DE FORMA

Conceptos

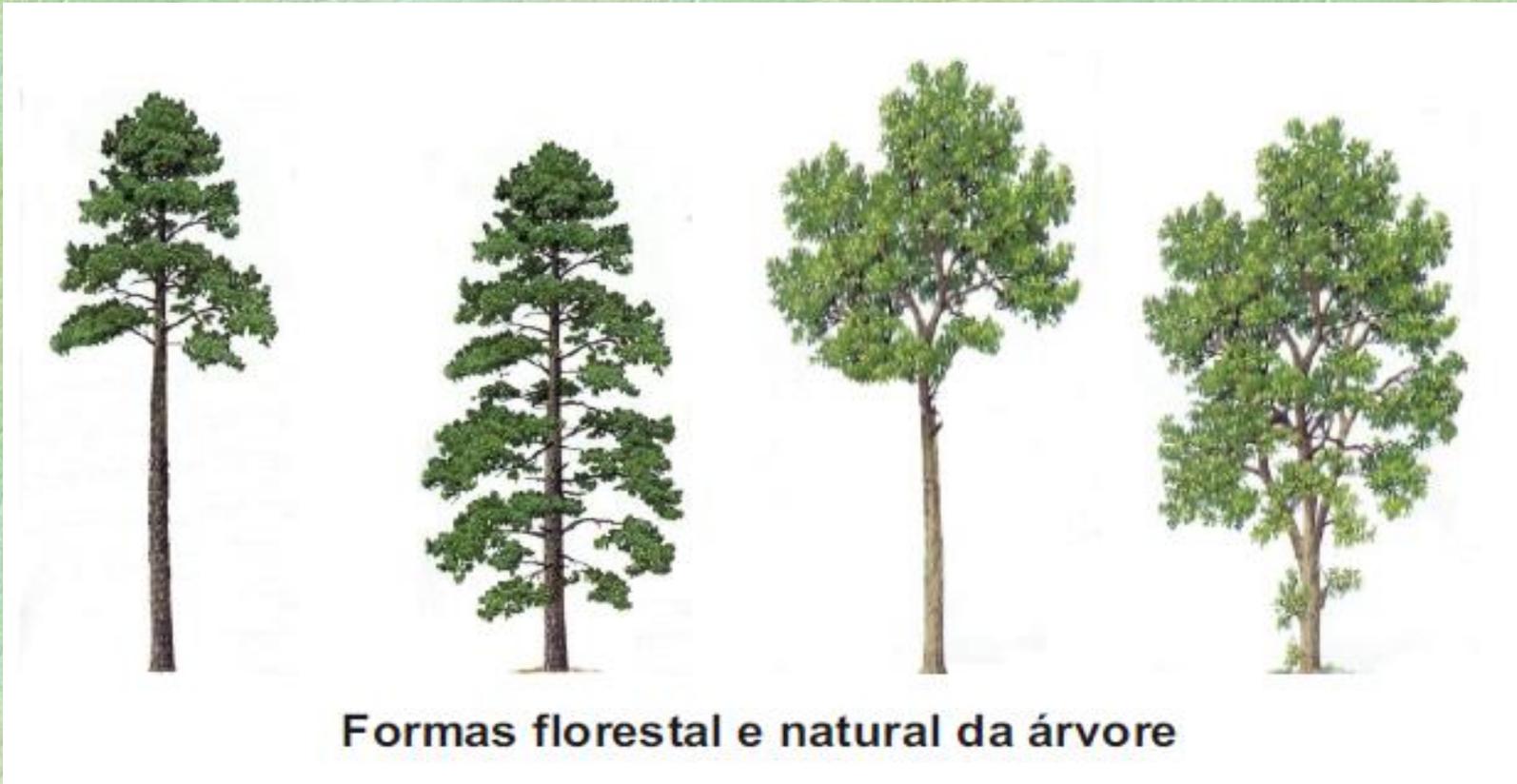
Procesos de cálculo

Relaciones dasométricas



Planificación de la disciplina

Unidad 6: Forma. Factor de forma. Cuociente de forma. Proceso de cálculo.





Crecimiento apical del árbol



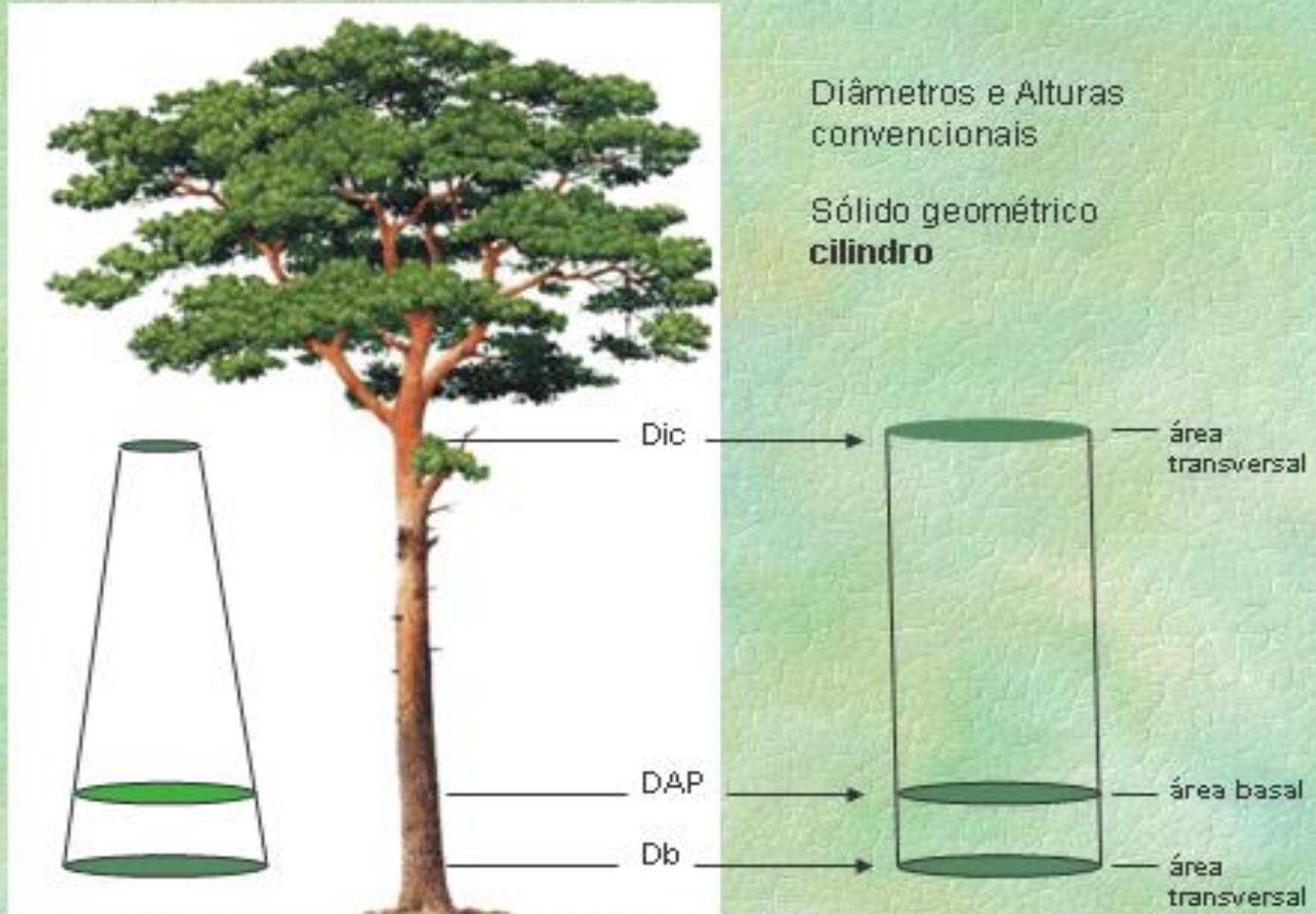
Monopodial



Simpodial

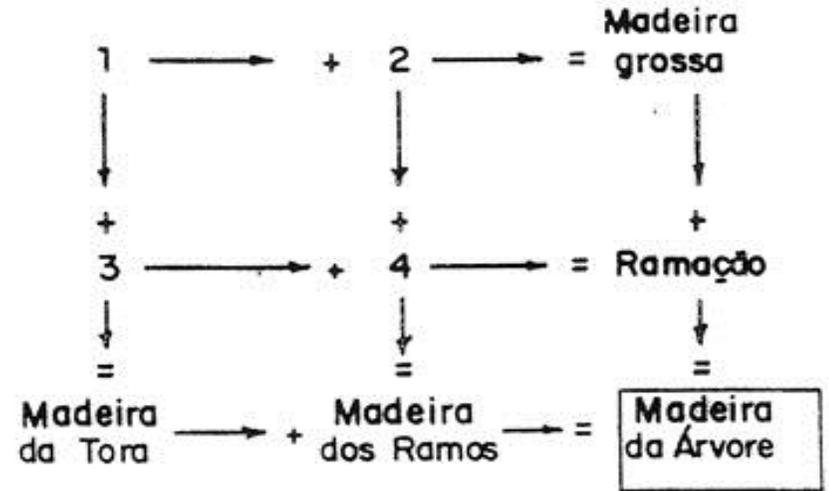
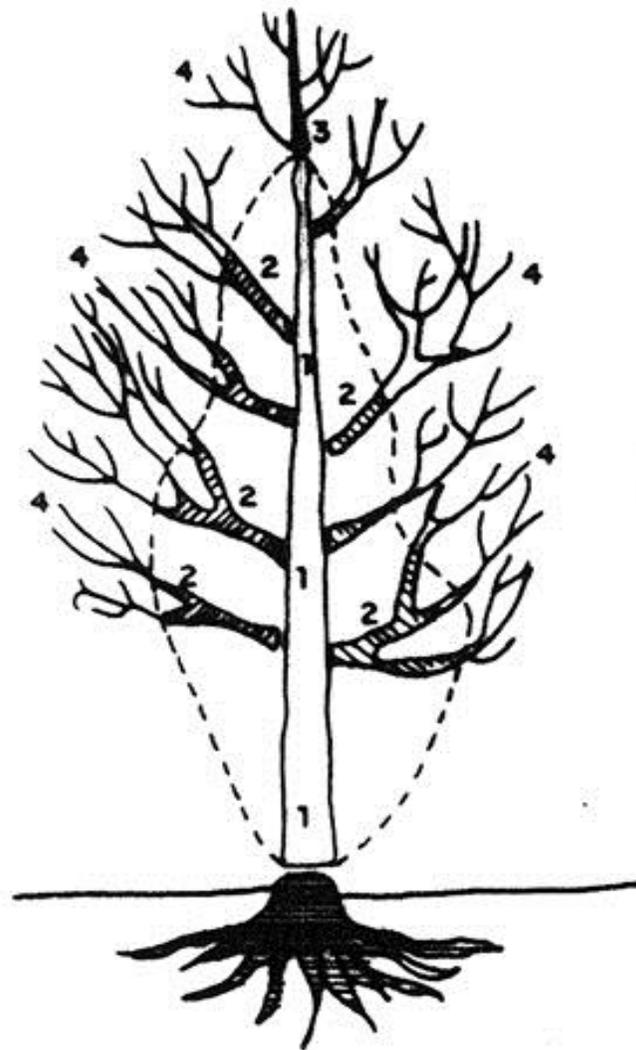


Puntos convencionales de medidas dendrométricas





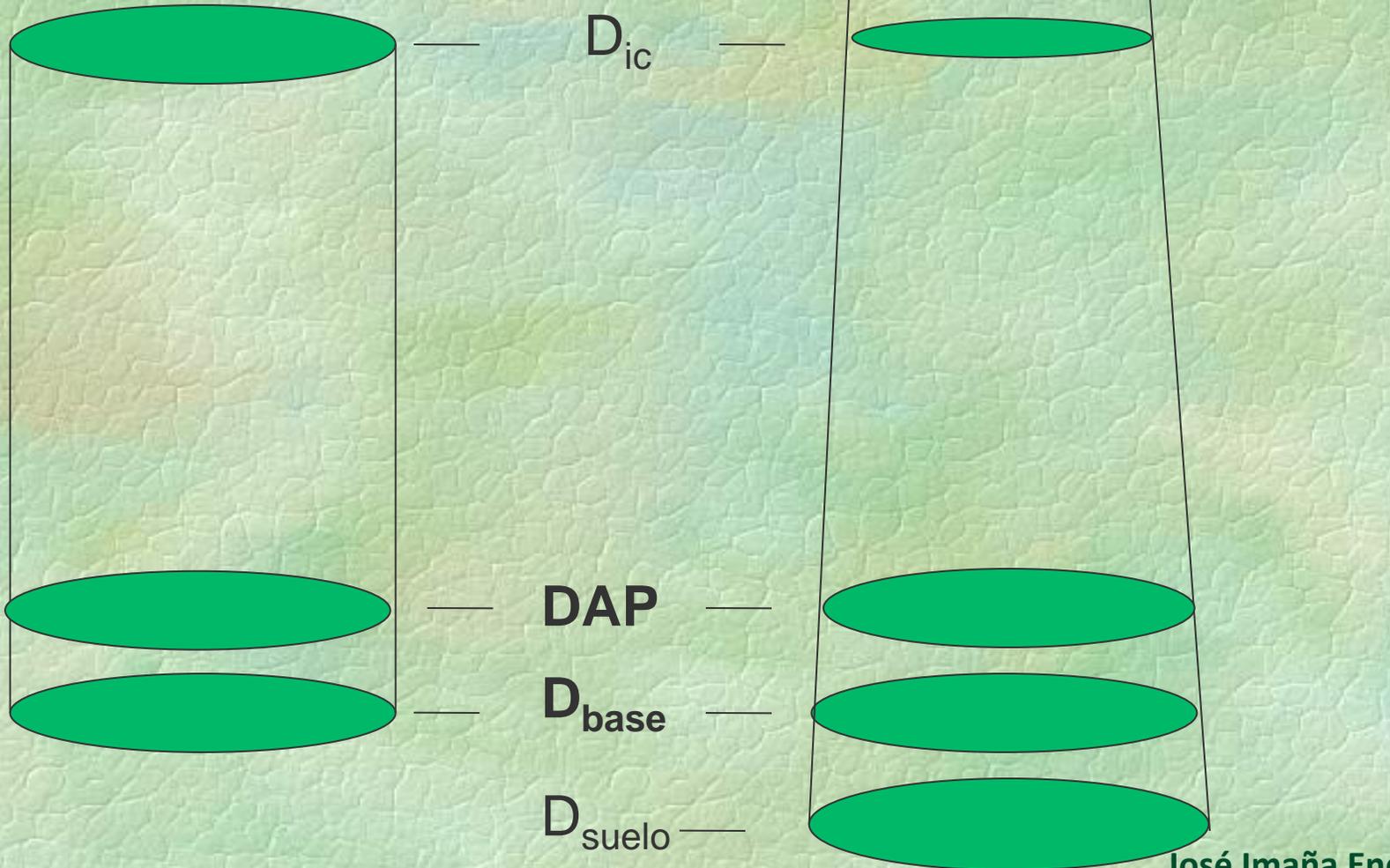
Clasificación del árbol de acuerdo con Prodan



- 1 Fuste principal
- 2 Ramos primários
- 3 Ápice
- 4 Ramos secundários



Relación de cilindros





Conicidad del tronco y del árbol

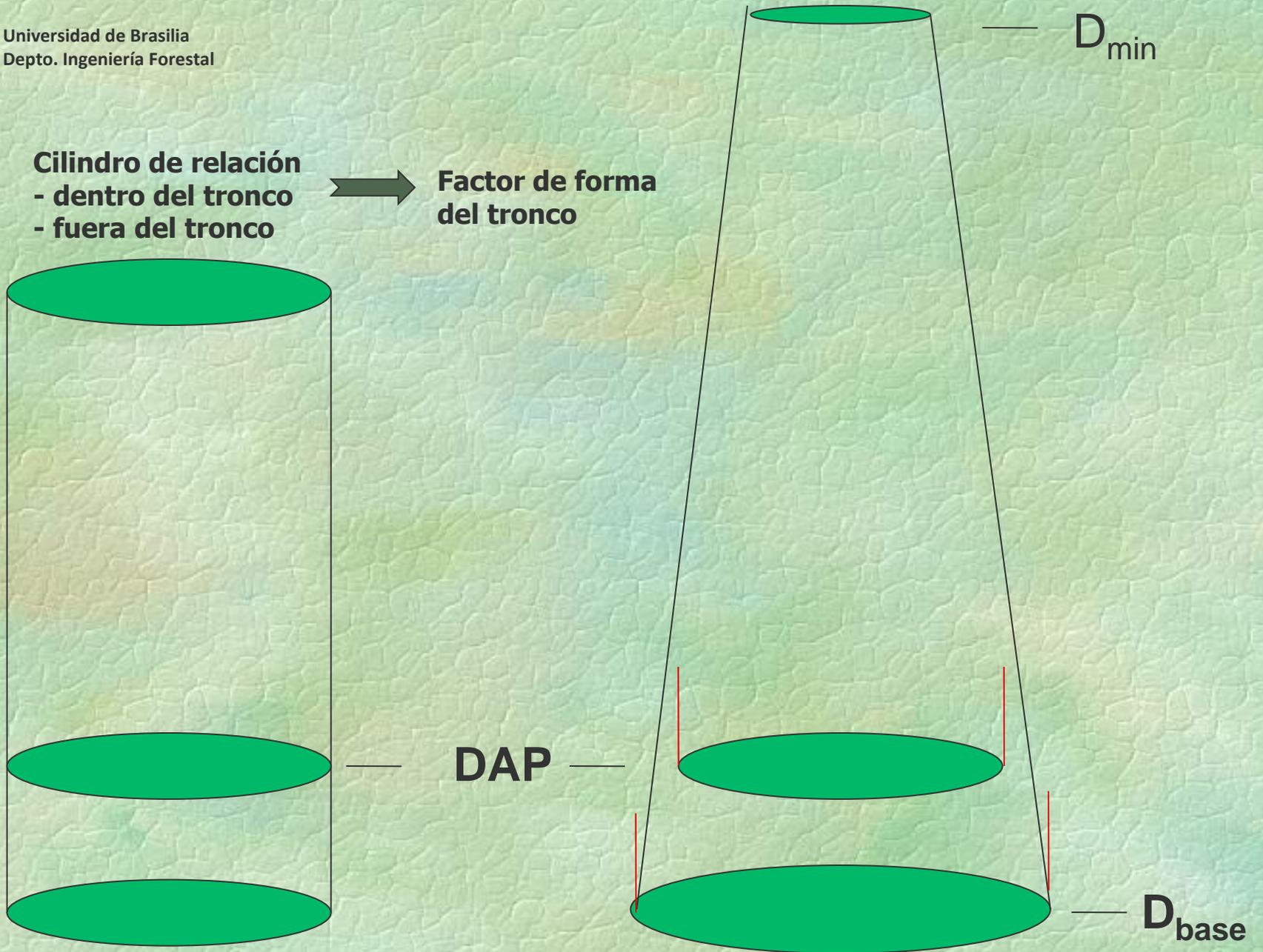
en el tronco, conforme aumenta la altura el diámetro va disminuyendo
esa disminución de diámetros es conocida en la literatura como
“taper” o afinamiento del tronco o simplemente como conicidad del
tronco

el taper es consecuentemente una función del diámetro y tendrá
influencia directa en la determinación del volumen del tronco

en el cilindro, el diámetro en cualquier altura siempre tendrá el mismo
valor numérico

en el tronco del árbol, con altura igual al del cilindro los diámetros irán
disminuyendo en función de la altura

a esa relación, entre el volumen del cilindro y el volumen ocupado por
el tronco, es se define como *factor de forma*





El Factor de Forma
es definido por la relación del
volumen real del árbol
dividido por el volumen del cilindro,
formado por el correspondiente DAP
del árbol



factor de forma artificial
cilindro por el DAP

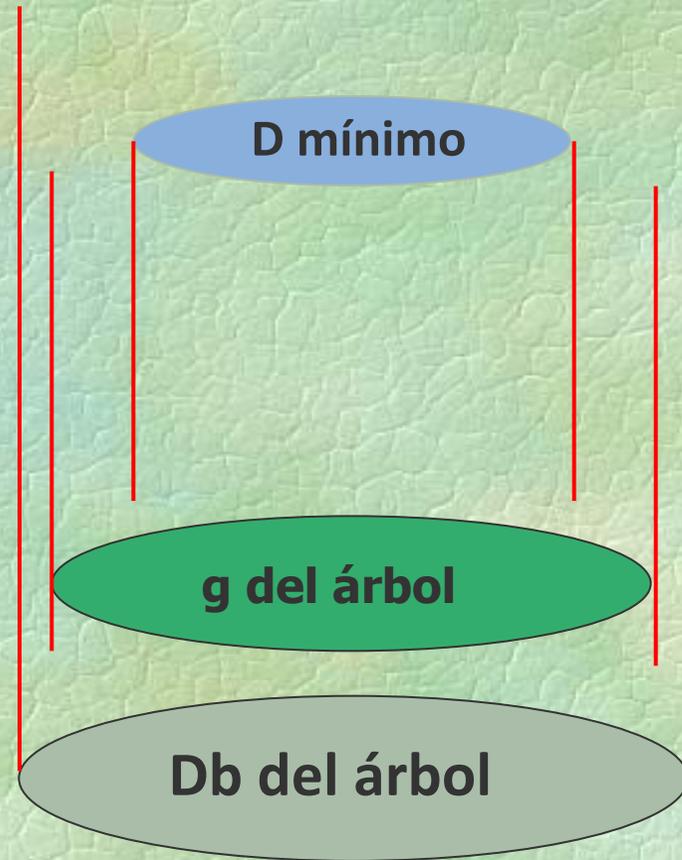
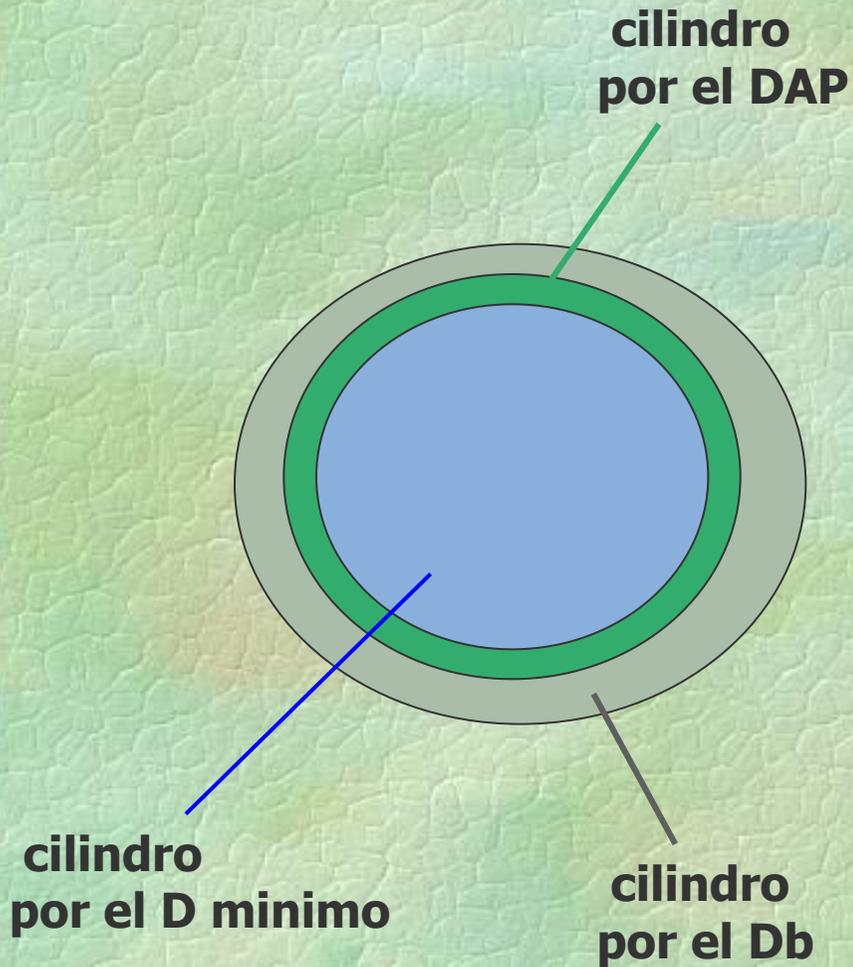
$$f_{1,3} = \frac{V_{real}}{V_{cilindro}}$$

factor de forma de Hohenadl
cilindro a partir de 0,1 de H

$$f_{o,1} = \frac{V_{real}}{V_{cilindro}}$$



Relación de cilindros





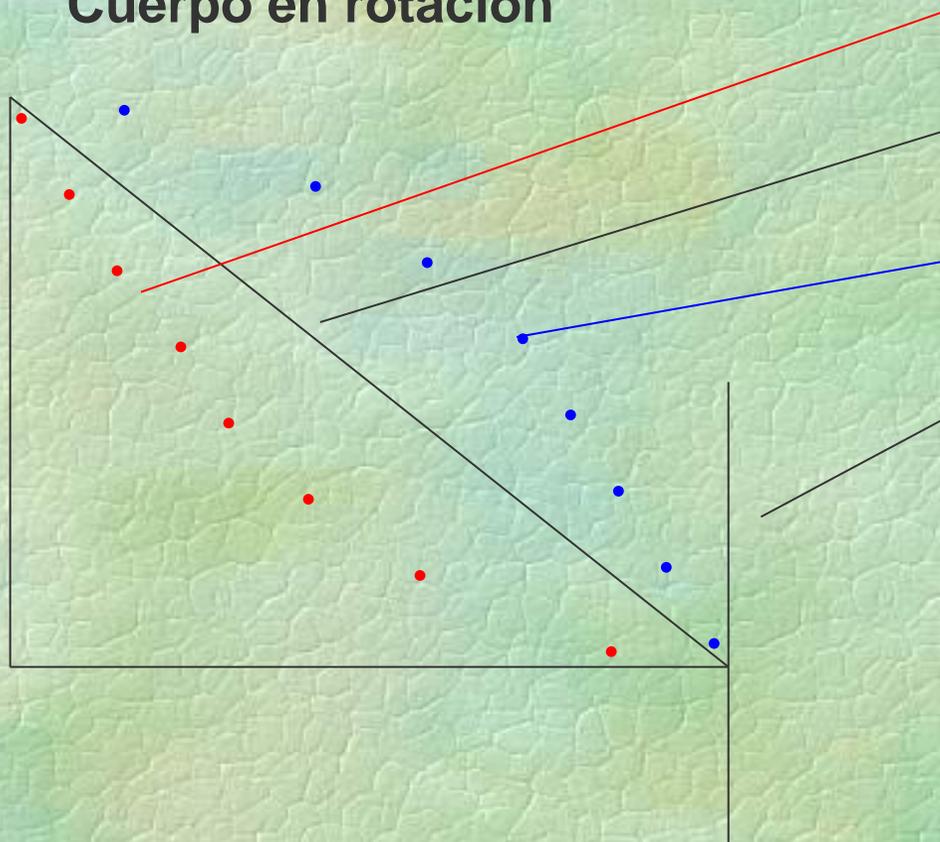
Factores de forma específicos del DAP
sugieren las formas generales

(stem shapes):

- 1,00 cilindro
- 0,60 paraboloides cúbico
- 0,50 paraboloides cuadrático
- 0,33 cono
- 0,25 neiloide



Cuerpo en rotación



Forma:

neiloide

cono

paraboloide

cilindro



$$g_x = p \cdot x^r$$

$$v = \int_{x=0}^h g_x \cdot dx$$

Onde:

v = volumen del sólido de revolución;

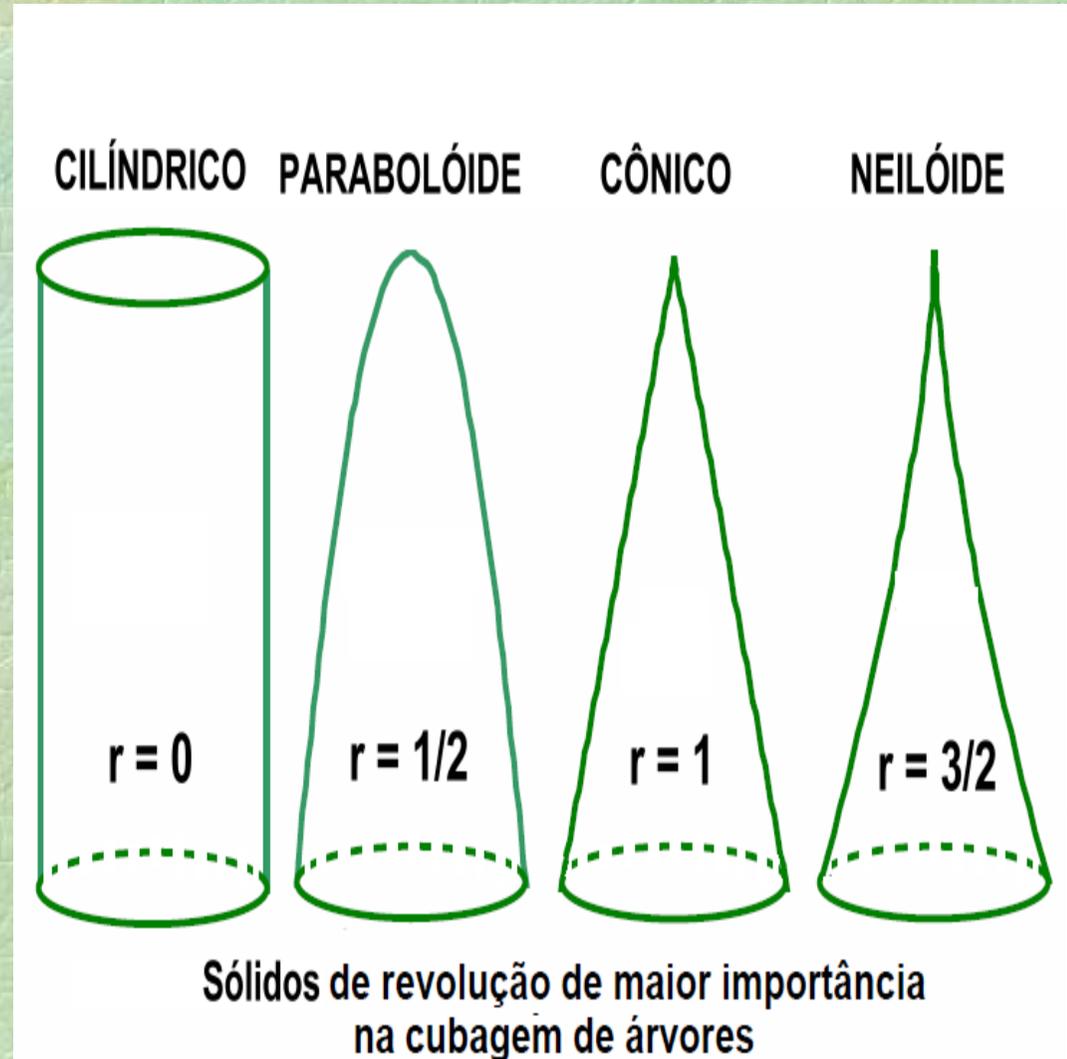
g_x = área basal (m^2);

x = distancia (m) al topo;

p e r = coeficientes:

p – tamaño;

r – forma

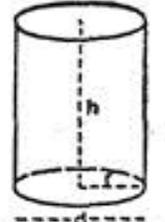
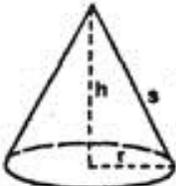
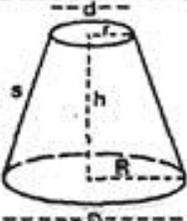
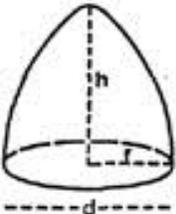
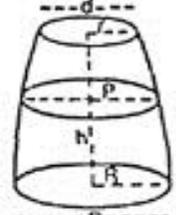




Formas geométricas

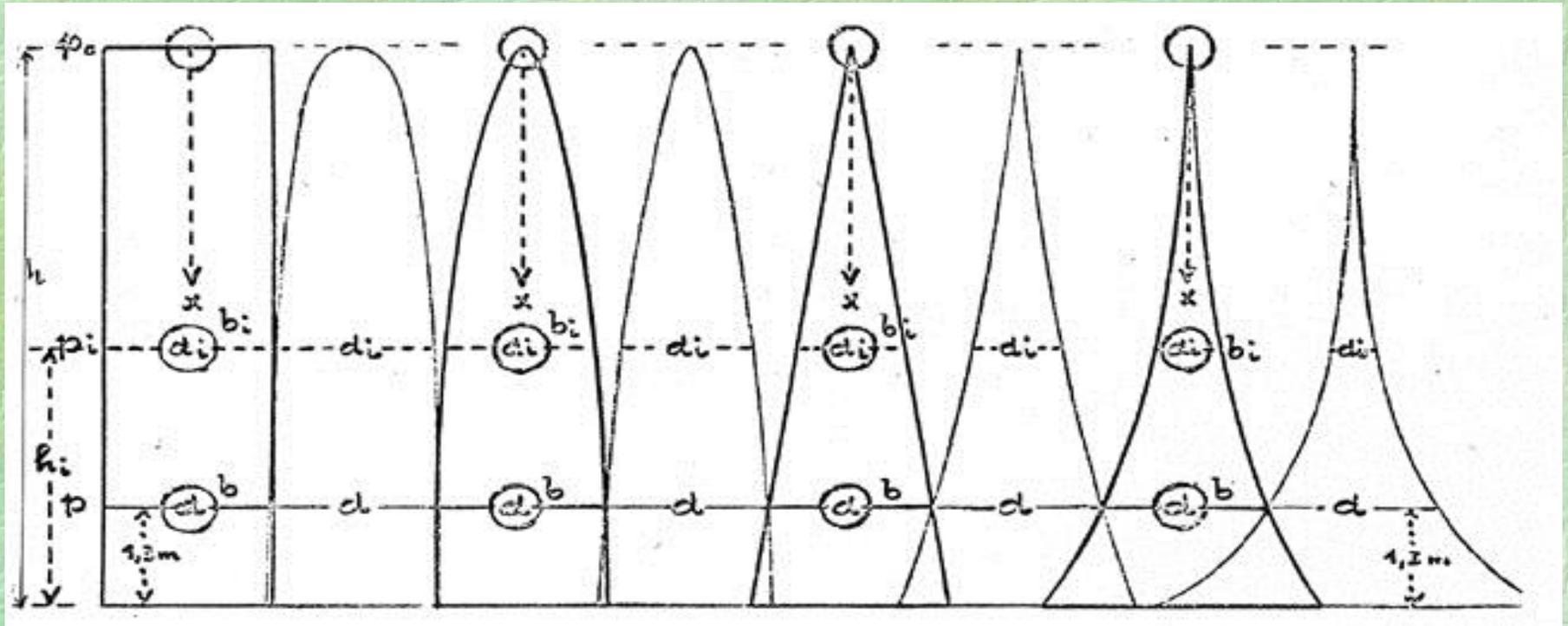
La forma del árbol es importante variable para determinar el volumen geométrico

su determinación está en la relación del volumen del árbol con la de un sólido geométrico la mayoría de las veces con el cilindro y entre los diámetros del propio tronco

	<p style="text-align: center;">Cylinder</p> <p>Volume = $\pi r^2 h = \frac{\pi d^2 h}{4}$</p> <p>Surface area = $2(\pi r h + \pi r^2)$</p>
	<p style="text-align: center;">Cone</p> <p>Volume = $\frac{\pi r^2 h}{3} = \frac{\pi d^2 h}{12}$</p> <p>Surface area = $\pi r s + 2 \pi r^2$</p>
	<p style="text-align: center;">Frustum of Cone</p> <p>Volume = $\frac{\pi}{3} (R^2 + Rr + r^2) h$ $= \frac{\pi}{12} (D^2 + Dd + d^2) h$</p> <p>Surface area = $\pi s (R + r) + \pi r^2 + \pi R^2$</p>
	<p style="text-align: center;">Paraboloid</p> <p>Volume = $\pi r^2 \frac{h}{2} = \frac{\pi d^2 h}{8}$</p> <p>Surface area = $\frac{2\pi r}{12h^2} ((r^2 + 4h^2)^{3/2} - r^2) + \pi r^2$</p>
	<p style="text-align: center;">Frustum of Paraboloid</p> <p>Volume = $\frac{\pi h}{2} (R^2 + r^2)$ $= \frac{\pi h}{8} (D^2 + d^2)$ or $\frac{\pi h p^2}{4}$</p> <p>Surface area = (area of paraboloid (base R) less area of paraboloid (base r)) + $\pi R^2 + \pi r^2$</p>



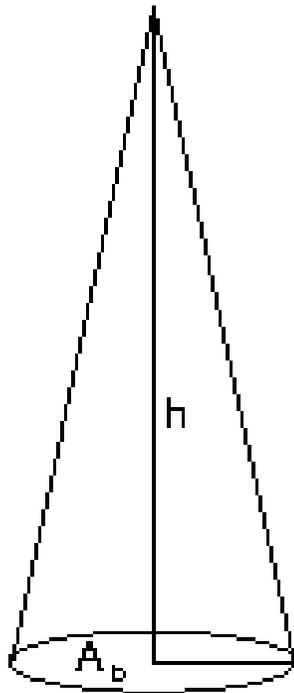
Integración y derivación de un cilindro para un conoide





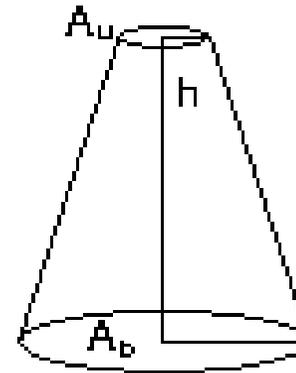
Sólido geométrico: cono

Cone



$$V = \frac{(A_b h)}{3}$$

Fuste de um cone
(cone truncado)



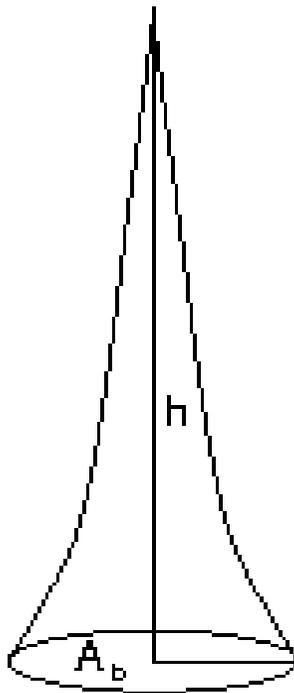
$$V = \frac{h}{3} \left(A_b + \sqrt{A_b A_u} + A_u \right)$$



Sólido geométrico: neiloide

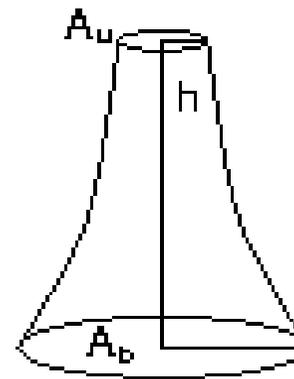
Neilóide

Neilóide



$$V = \frac{(A_b h)}{3}$$

Neilóide
truncado
neiloide

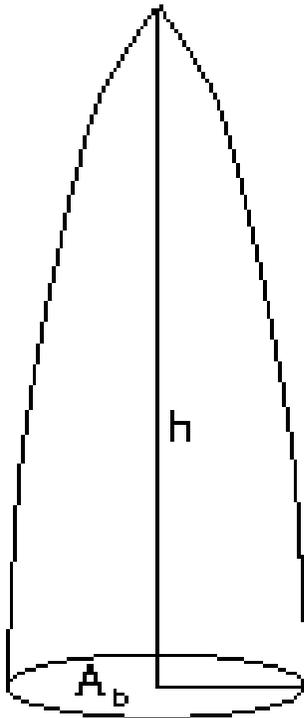


$$V = \frac{h}{4} \left(A_b + \sqrt[3]{A_b^2 A_u} + \sqrt[3]{A_b A_u^2} + A_u \right)$$



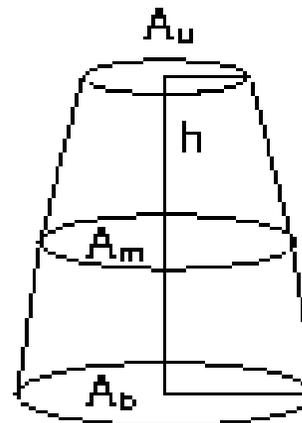
Sólido geométrico: parabolóide

Parabolóide



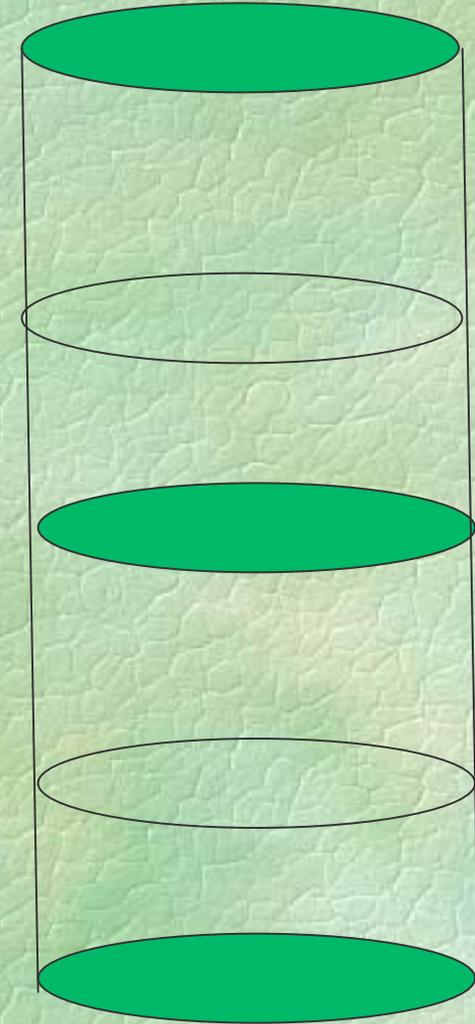
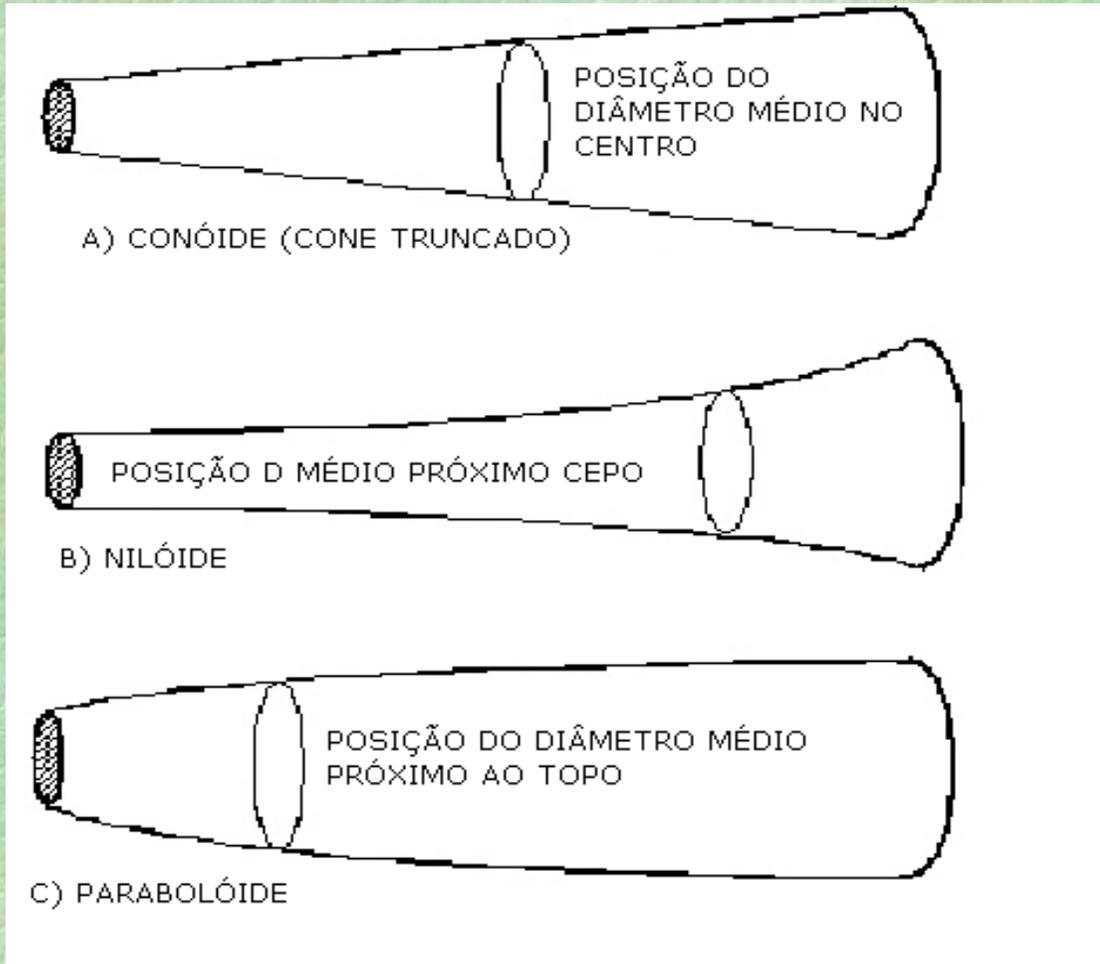
$$V = \frac{(A_b h)}{2}$$

Fusteforme de uma parabolóide

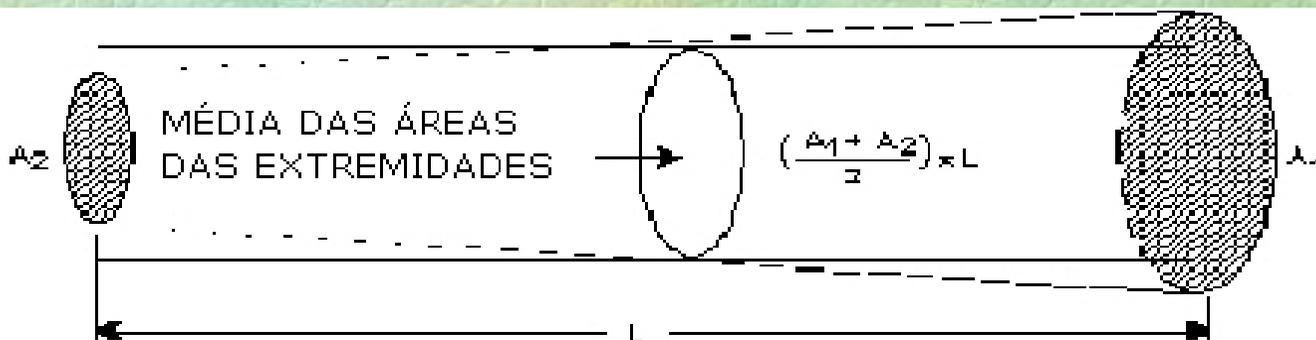




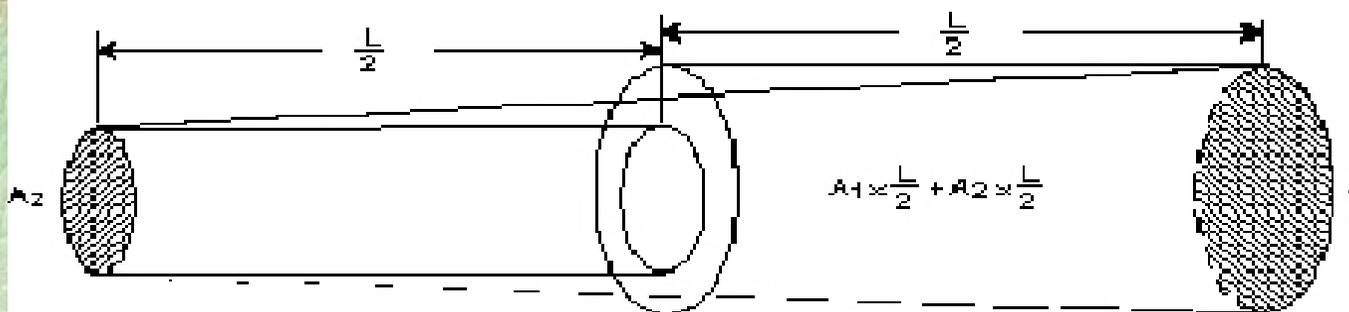
Posición del diámetro medio



Relación de áreas transversales



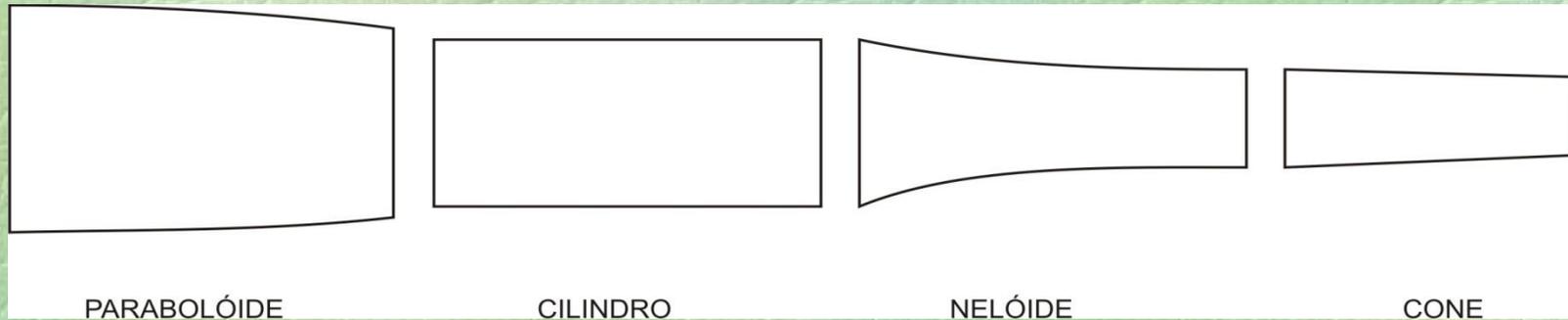
CILINDRO COM A ÁREA DA SEÇÃO TRANSVERSAL MÉDIA ENTRE O TOPO E A BASE DA ÁRVORE.



SOLIDO INSERIDO NO PONTO MÉDIO DAS ÁREAS DA BASE E DO TOPO



seccionado de un tronco



PARABOLÓIDE

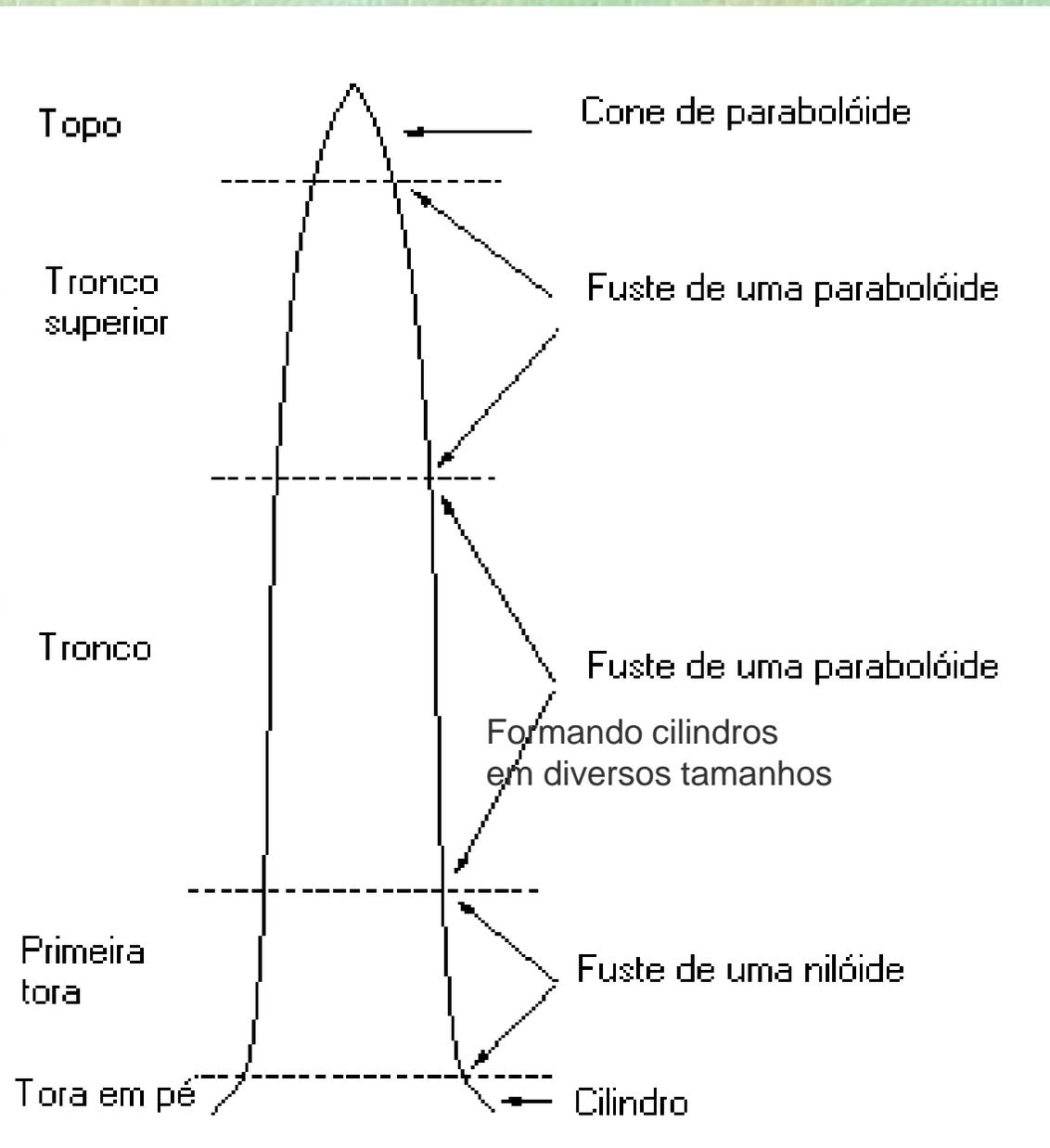
CILINDRO

NELÓIDE

CONE



Principio del sortimiento





Factor volumétrico de forma (**f**)

también conocido como

factor de forma (FF) 0
coeficiente mórfico (CM)

Fórmula tradicional del volumen: **V árbol = AB · H · f**

$$\mathbf{f = Vol\ árbol / (AB \cdot H)}$$

siendo que **AB · H = Vol cilindro**

consecuentemente

$$\mathbf{f = Vol\ árbol / Vol\ cilindro}$$



Factor volumétrico de forma (f)

Dependiendo donde se considere el cálculo del área transversal y altura, existen los siguientes factores de forma:

absoluto: área al nivel del suelo y altura total

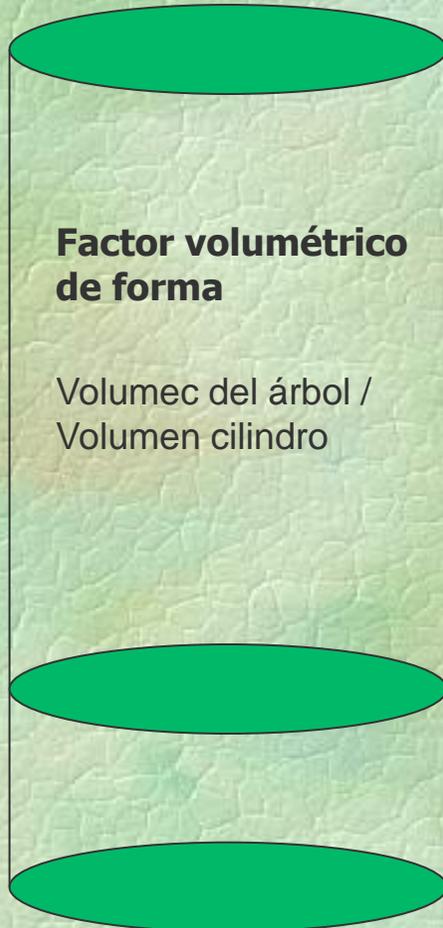
normal: área a 5 o 10% de la altura total y altura total

comercial: área a nivel del DAP y altura comercial

a la altura del DAP: área a nivel del DAP y altura total

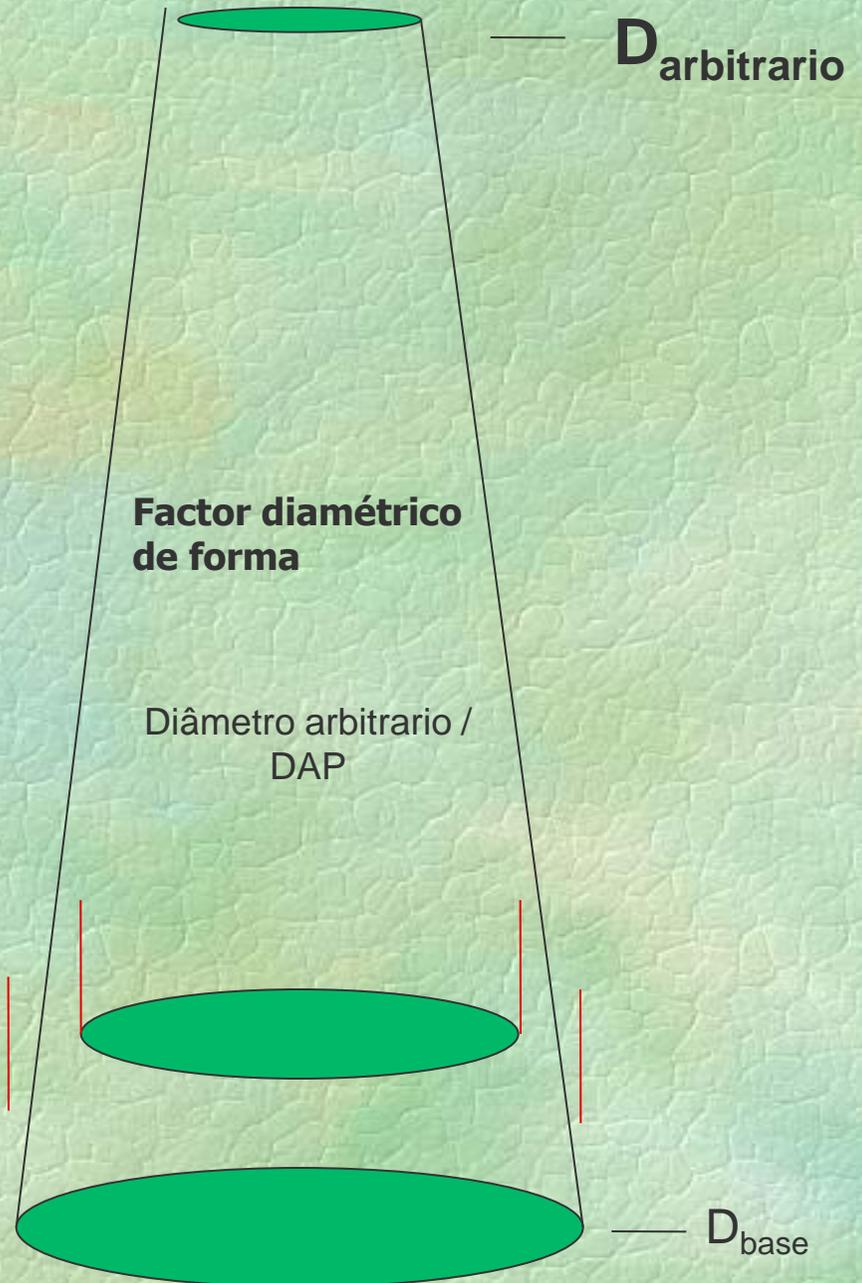


Relación de formas



Relación entre
dos volúmenes

— **DAP** —



Relación entre
dos diámetros



Factor diamétrico de forma

también conocido como *cociente de forma (QF)*
o *coeficiente de forma (CF)*

$$\mathbf{CF = Diámetro arbitrario / DAP}$$

por la fórmula del factor volumétrico de forma

$$f = \text{Vol árbol} / \text{Vol cilindro}$$

$$f = \frac{D_i^2 \cdot (\pi / 4) \cdot H}{DAP^2 \cdot (\pi / 4) \cdot H} = \frac{D_i^2}{DAP^2}$$

$$\frac{D_i}{DAP} = \sqrt{f} \Rightarrow CF = \sqrt{f} \Rightarrow CF^2 = f$$



Coeficiente de forma de Girard

$$Q_G = \frac{D_{5,2}}{DAP}$$

diámetro medido a 5,2 m de altura del suelo



Factor diamétrico de forma

Dependiendo donde se considere la medición de los diámetros existen los siguientes cocientes de forma:

QF normal: Di debe ser el diámetro a $H/2$

QF absoluto: Di a la altura de $H/2$ descontando 1,30 m de H



Planilla de datos - cubado rigoroso

	árbol 1			árbol 2		
PM	d (cm)	g (cm ²)	CF	d (cm)	g (cm ²)	CF
D0	26,0	530,93	1,30	13,0	132,73	1,18
D1	21,0	346,36	1,05	11,5	103,87	1,04
D2	20,0	314,16	1,00	10,5	86,59	0,95
D3	18,0	254,47	0,90	9,5	70,88	0,86
D4	17,5	226,98	0,88	9,0	63,62	0,82
D5	16,5	213,82	0,83	8,0	50,27	0,73
D6	15,5	188,69	0,78	7,5	44,18	0,68
D7	15,0	176,71	0,75	7,0	38,48	0,64
D8	14,5	165,13	0,73	6,5	33,18	0,59
D9	13,0	132,73	0,65	6,0	28,27	0,55
D10	12,5	122,72	0,63	5,5	23,76	0,50
D11	12,0	113,10	0,60	5,0	19,63	0,45
D12	11,5	103,87	0,58	3,5	9,62	0,32
D13	10,8	86,59	0,53	3,0	7,07	0,27
D14	9,5	70,88	0,48	2,5	4,10	0,23
D15	8,0	50,27	0,40			
D16	6,5	33,18	0,33			
D17	5,0	19,63	0,25			
D18	4,5	15,90	0,23			
D19	4,0	12,57	0,20			

Cálculo del CF

árbol 1:

$$CF = 13,10/20 = 0,655$$

$$CF = 0,6$$

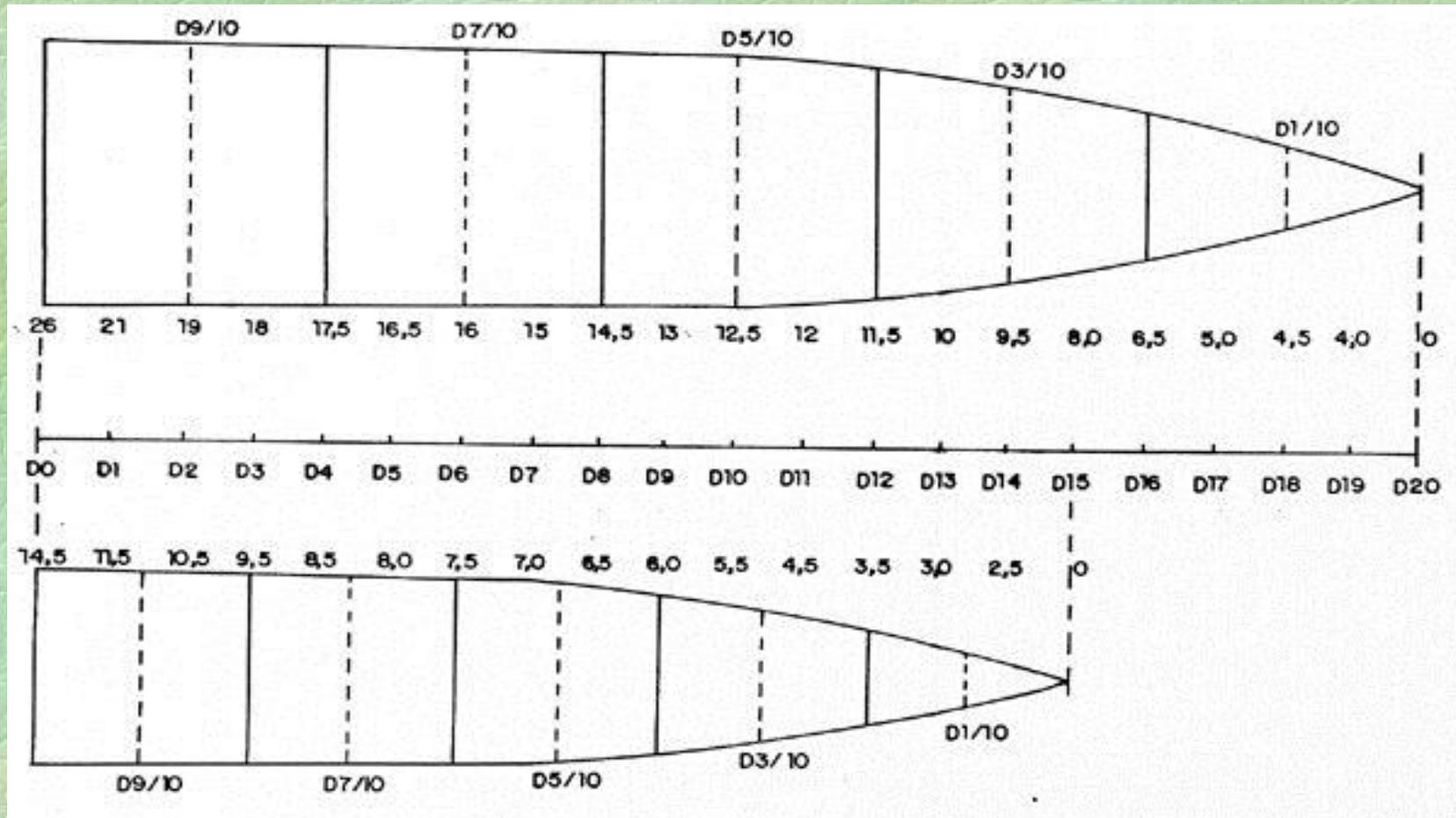
árbol 2:

$$CF = 9,81/15 = 0,654$$

$$CF = 0,6$$



cubado riguroso por el método de Hohenadl





Coeficientes de forma normal de Hohenadl

	árbol 1	CF	árbol 2	CF
$N_9 = D (9/10) / D_9$	20,00 / 20 = 1,00		11,00 / 11 = 1,00	
$N_7 = D (7/10) / D_9$	15,50 / 20 = 0,77		8,50 / 11 = 0,77	
$N_5 = D (5/10) / D_9$	12,50 / 20 = 0,62		6,75 / 11 = 0,61	
$N_3 = D (3/10) / D_9$	9,50 / 20 = 0,47		5,25 / 11 = 0,47	
$N_1 = D (1/10) / D_9$	4,50 / 20 = 0,22		2,75 / 11 = 0,25	

$$f = 0,2 (1 + N_7 + N_5 + N_3 + N_1)$$

$$f = 0,2 (1 + 0,77 + 0,62 + 0,47 + 0,22)$$

$$f = 0,449$$

$$\sqrt{f} = CF$$

$$CF = 0,67$$

consecuentemente los dos árboles pertenecen a la misma población



Cálculo del factor volumétrico de forma por el cubado riguroso - Smalian

Sección	árbol 1	árbol 2
1	0,0348645	0,0118300
2	0,0330260	0,0095230
3	0,0284315	0,0078735
4	0,0240725	0,0067250
5	0,0220400	0,0056945
6	0,0201255	0,0047225
7	0,0182700	0,0041330
8	0,0170920	0,0035830
9	0,0148930	0,0030725
10	0,0127725	0,0026015
11	0,0117910	0,0021695
12	0,0108485	0,0014625
13	0,0095230	0,0008345
14	0,0078735	0,0005585
15	0,0060575	
16	0,0041725	
17	0,0026405	
18	0,0017765	
19	0,0014235	

Volumen de madera en m³

árbol 1 = 0,2906940

árbol 2 = 0,0647835

f = Vol árbol / Vol cilindro

árbol 1:

$0,2906940 \text{ m}^3 / 0,62832 \text{ m}^3 = 0,4626$

f = 0,4626

CF = 0,68

árbol 2:

$0,0647835 \text{ m}^3 / 0,1425495 \text{ m}^3 = 0,454621$

f = 0,454621

CF = 0,67.



Factor de Forma de una plantación

dependiendo del tamaño y homogeneidad de la plantación forestal, entre 5 a 10 árboles representativos de la población serán apeados y medidos

se debe considerar la distribución de las clases diamétricas

el volumen debe ser calculado en secciones de tamaños entre 1 y 2 metros, a fin de obtener el volumen real del árbol



Cálculo indirecto del Factor de Forma

Conociéndose el factor de forma de los árboles de las varias clases de diámetro de una plantación se puede ajustar una regresión para su cálculo a partir del diámetro y altura:

$$f = b_0 + b_1 \cdot h + b_2 \cdot (h/d)$$

donde: f = factor de forma artificial

b_0, b_1, b_2 = coeficientes de la ecuación

h = altura del árbol en m

d = DAP en cm



parámetro dendrométrico

VOLUME

conceptos

volumen de madera en pie

volumen de madera en árboles apeados

fórmulas de cálculo



Recapitulación:

Individuo de mensuración ✓

Unidades de medida ✓

Factores de conversión ✓

VARIABLES dendrométricas ✓

Parámetros dendrométricos

Instrumentos de medición ✓

Métodos de medición ✓

Manejo de datos dendrométricos ✓

Interpretación de resultados

Transferencia del conocimiento

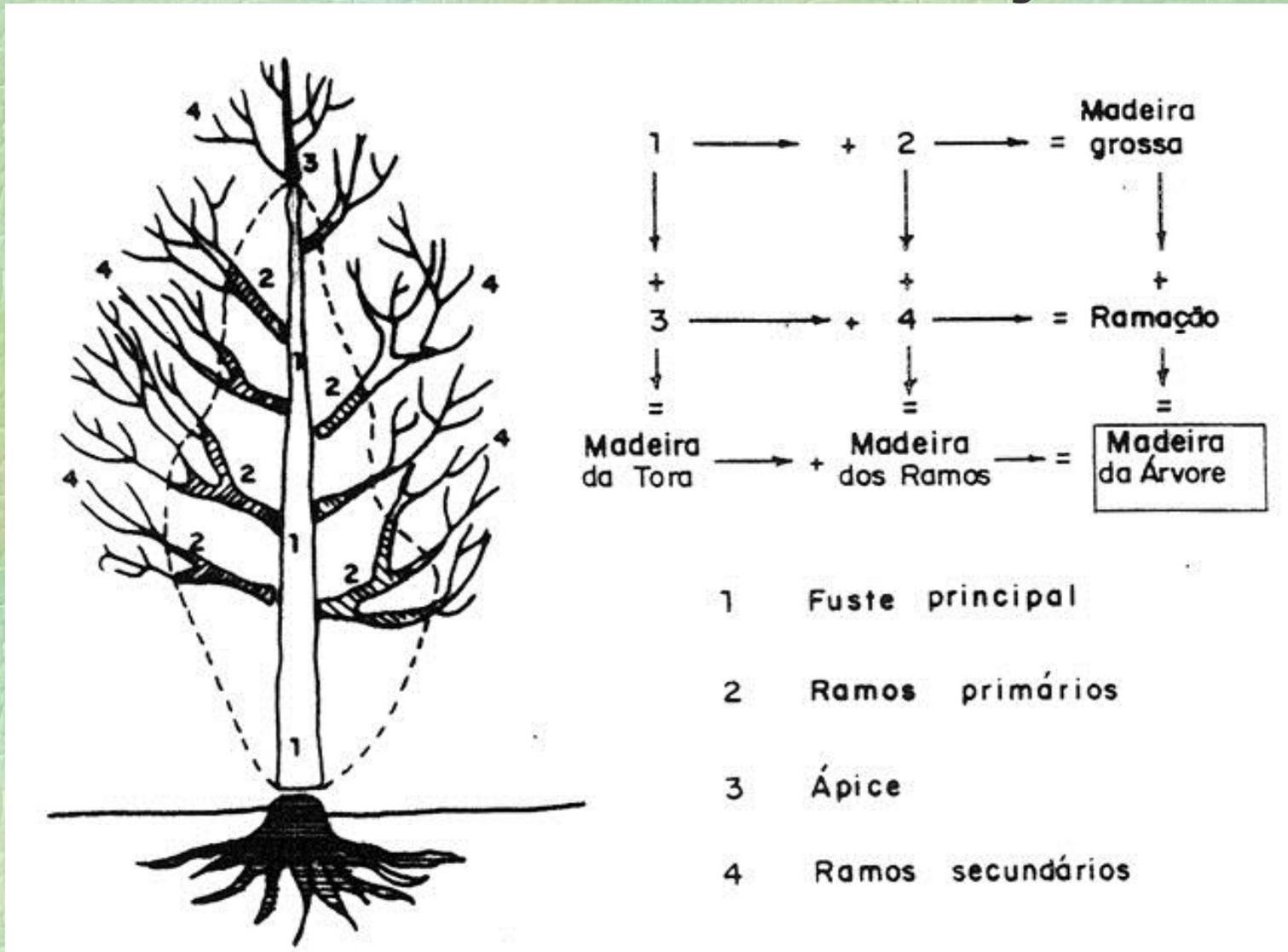


Planificación de la disciplina

Unidad 9: Volumen del árbol, del tronco, de la corteza. Volumen apilado. Instrumentos. Biomasa leñosa. Estimación y medición del volumen. Cubado riguroso. Cubado en pie.



Clasificación del árbol según Prodan





Volumen del árbol \Rightarrow bosque \Rightarrow producto

Volumen del árbol en pie \Rightarrow árbol apeado

volumen parcial \Rightarrow volumen total

volumen exacto \Rightarrow volumen estimado



Principio de Arquimedes

todo cuerpo inmerso en un fluido producirá el desplazamiento del líquido igual al volumen del cuerpo

Principio xilométrico

medición exacta del volumen

Uso: cuerpos de prueba en laboratorio
toretas transportados

Proyecto Radam-Brasil



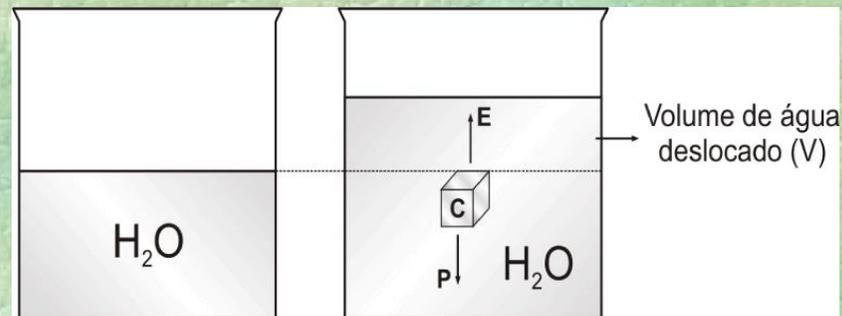
Determinación de la densidad de la madera

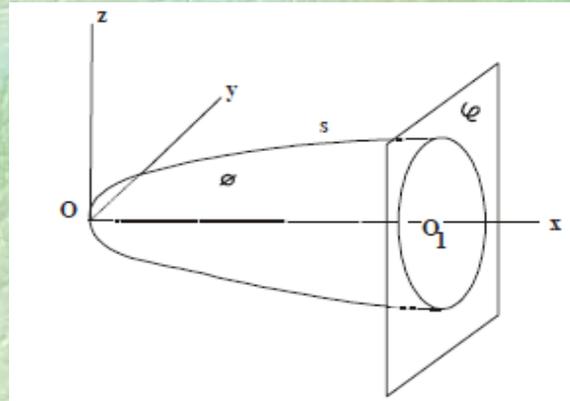
La densidad del agua es igual a 1.

Considerar a relación de masa (gramas) = volumen (cm^3).

Por el método xilométrico o balanza hidrostática medir la diferencia de la masa de agua dislocada del recipiente conteniendo el cuerpo de prueba

si el cuerpo de prueba fuese igual a 150 gr
su volumen será igual a 150 cm^3





Ecuación de la parábola

$$y = k \sqrt{x}$$

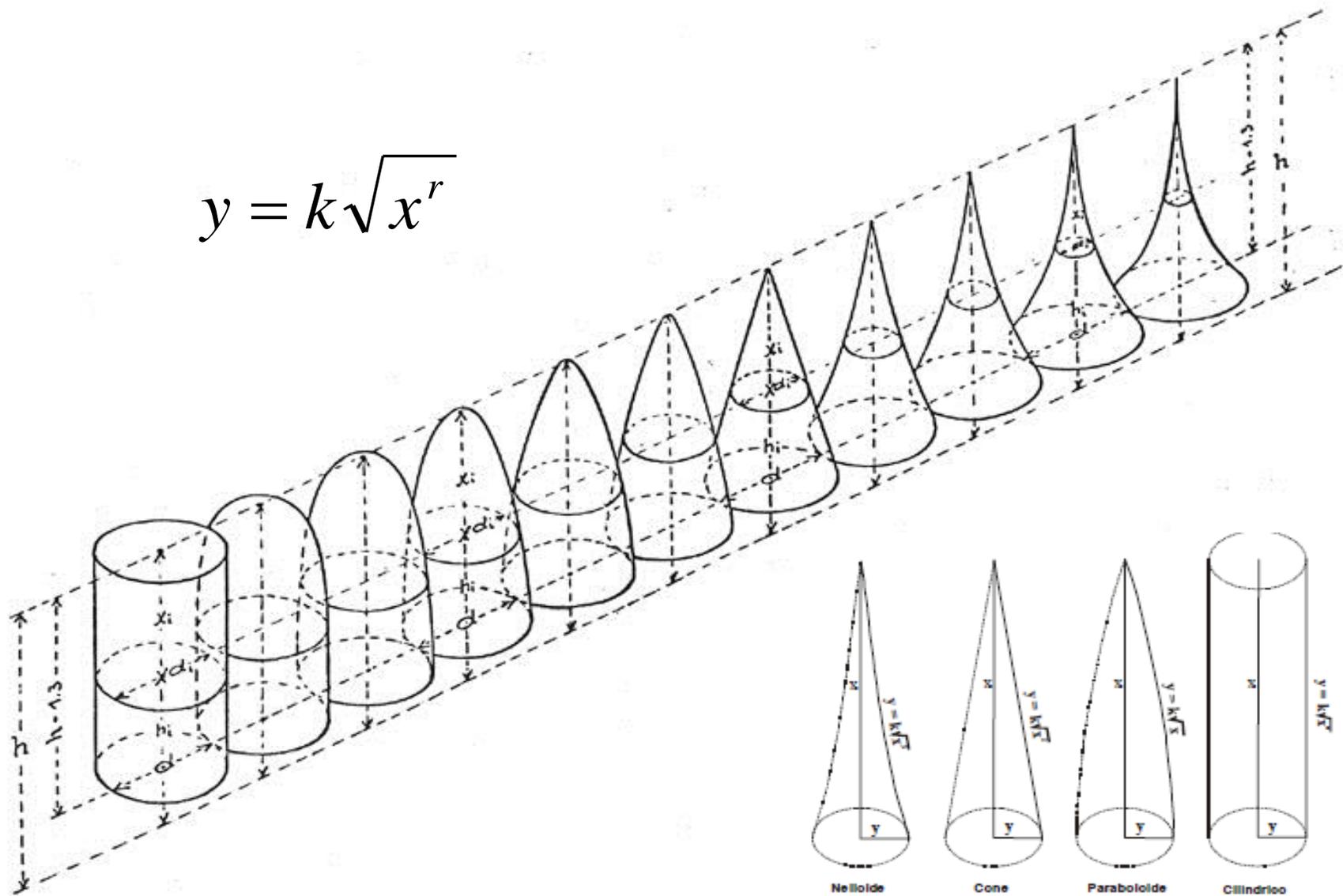
Si el exponente fuese igual a r
se puede generar nuevas curvas
dependiendo del valor de r

$$y = k \sqrt{x^r}$$

y = radio a lo largo del tronco
 x = distancia de la sección en el topo de la curva
 r = índice que caracteriza la forma de la curva
 k = coeficiente o constante que describe
el tamaño del cuerpo de rotación

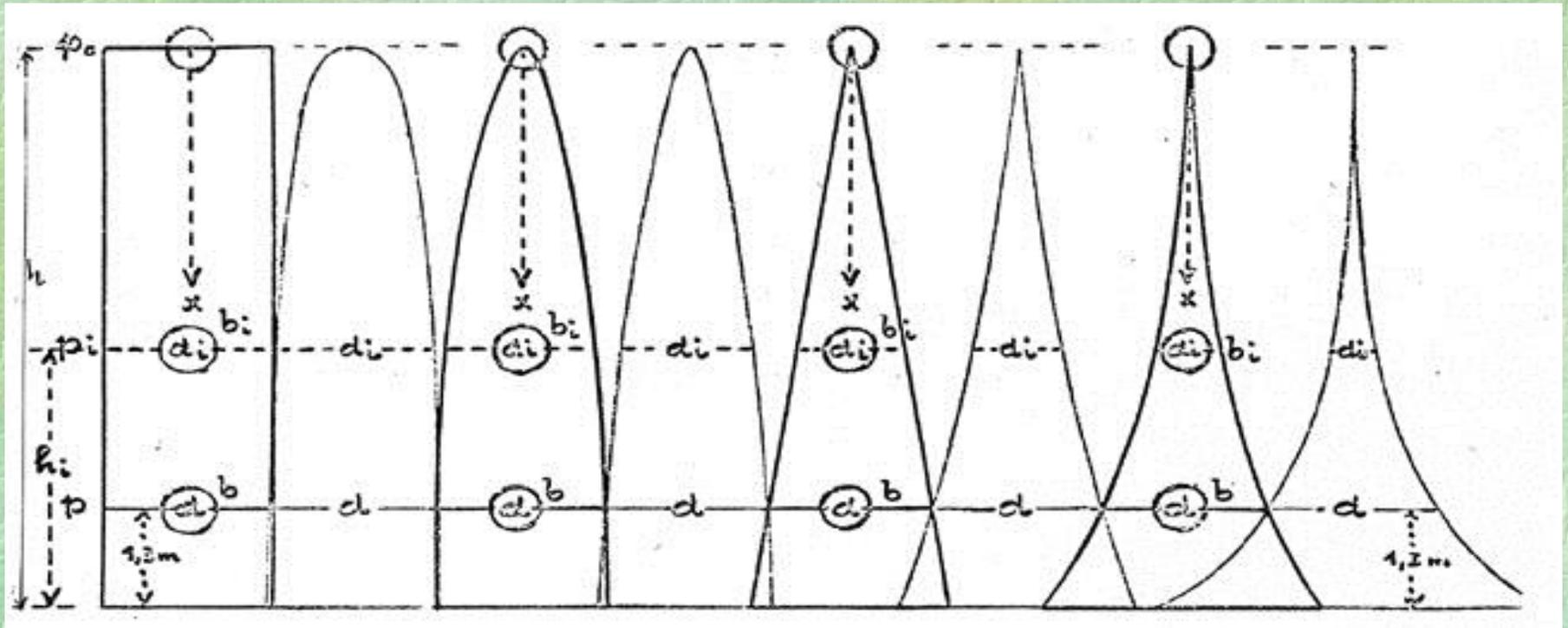


$$y = k\sqrt{x^r}$$



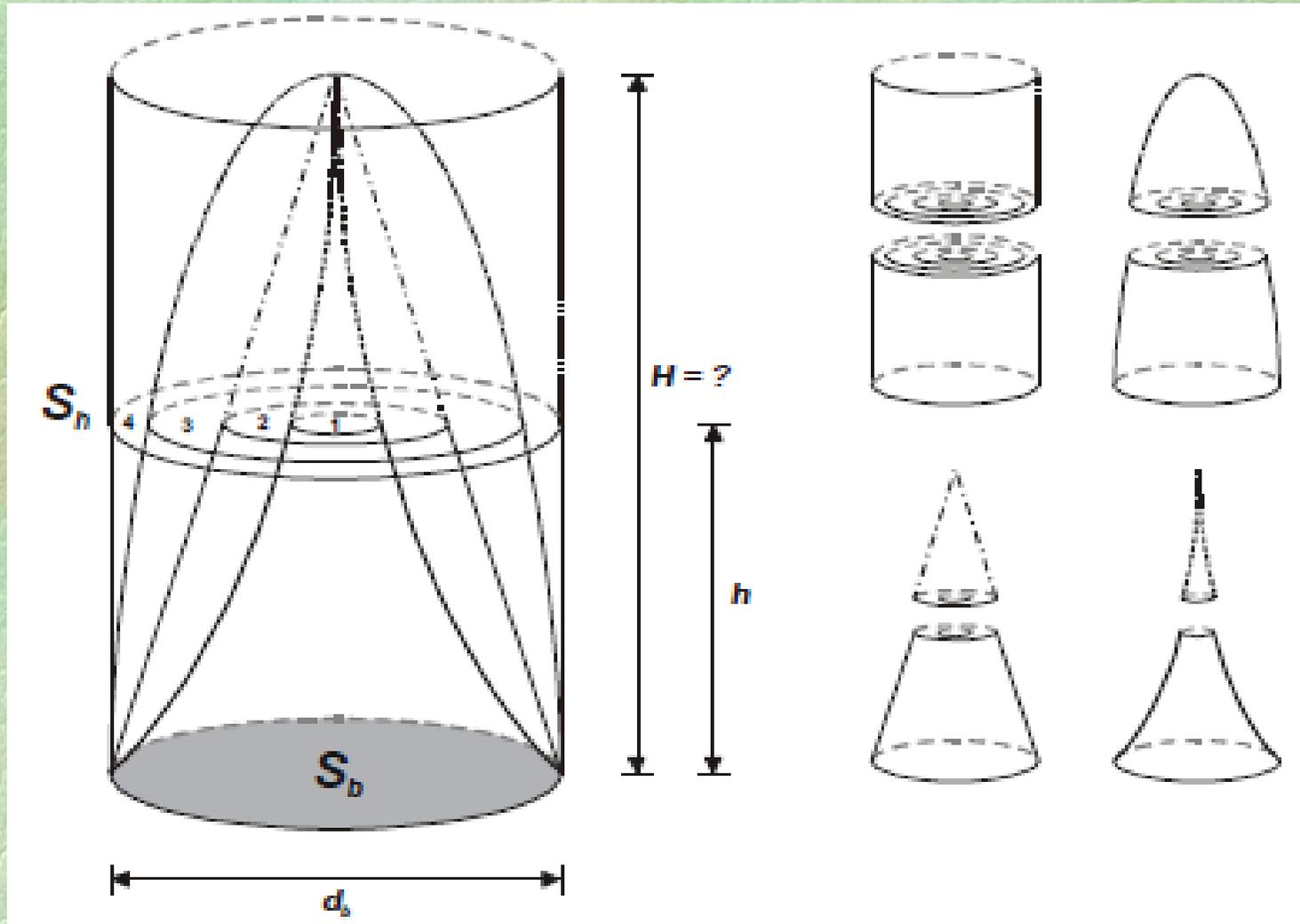


Integralización del cilindro en figuras geométricas





Relación del cilindro con figuras geométricas





Sólidos geométricos

	<p style="text-align: center;">Neiloid</p> <p>Volume = $\frac{\pi}{4} r^2 h = \frac{\pi}{16} d^2 h$</p>
	<p style="text-align: center;">Frustrum of Neiloid</p> <p>Volume = $\frac{\pi h}{6} (r_1^2 + 4r_2^2 + r_3^2)$</p>
	<p style="text-align: center;">Sphere</p> <p>Volume = $\frac{4\pi r^3}{3}$</p> <p>Surface area = $4\pi r^2$</p>

	<p style="text-align: center;">Cylinder</p> <p>Volume = $\pi r^2 h = \frac{\pi d^2 h}{4}$</p> <p>Surface area = $2(\pi r h + \pi r^2)$</p>
	<p style="text-align: center;">Cone</p> <p>Volume = $\frac{\pi r^2 h}{3} = \frac{\pi d^2 h}{12}$</p> <p>Surface area = $\pi r s + 2\pi r^2$</p>
	<p style="text-align: center;">Frustrum of Cone</p> <p>Volume = $\frac{\pi}{3} (R^2 + Rr + r^2) h$ $= \frac{\pi}{12} (D^2 + Dd + d^2) h$</p> <p>Surface area = $\pi s (R + r) + \pi r^2 + \pi R^2$</p>
	<p style="text-align: center;">Paraboloid</p> <p>Volume = $\pi r^2 \frac{h}{2} = \frac{\pi d^2 h}{8}$</p> <p>Surface area = $\frac{2\pi r}{12h^2} ((r^2 + 4h^2)^{3/2} - r^3) + \pi r^2$</p>
	<p style="text-align: center;">Frustrum of Paraboloid</p> <p>Volume = $\frac{\pi h}{2} (R^2 + r^2)$ $= \frac{\pi h}{8} (D^2 + d^2)$ or $\frac{\pi h p^2}{4}$</p> <p>Surface area = (area of paraboloid (base R) less area of paraboloid (base r)) + $\pi R^2 + \pi r^2$</p>



Fórmulas del volumen de sólidos geométricos

cilindro: $V = A \text{ (área)} \cdot H \text{ (altura)}$

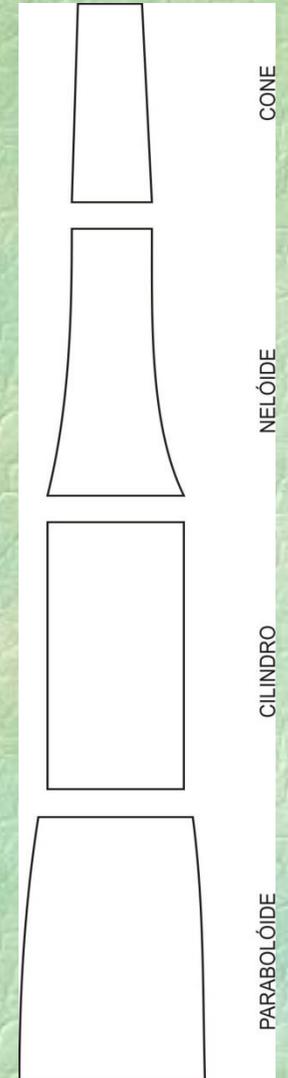
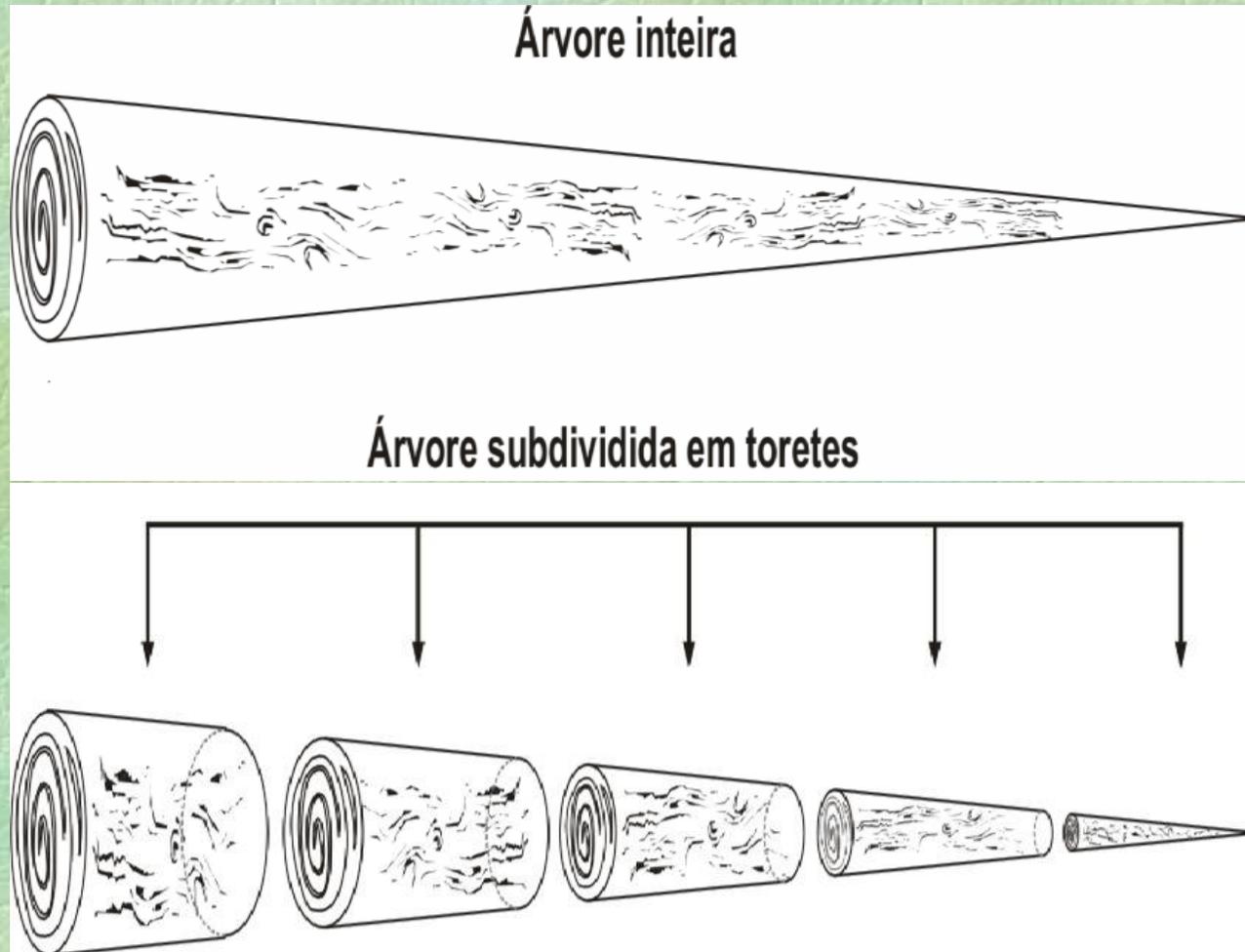
paraboloide: $V = (A_1 + A_2) / 2 \cdot H$

neiloide: $V = (A_1 + 4A' + A_2) / 6 \cdot H$

cono: $V = \left(\frac{A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 - A_2}}{3} \right) \cdot H$



Seccionamiento del tronco en sólidos geométricos truncados





Fórmulas clásicas para el cálculo del volumen

Smalian

$$V = \frac{(A_1 + A_2)}{2} \cdot h$$

Huber

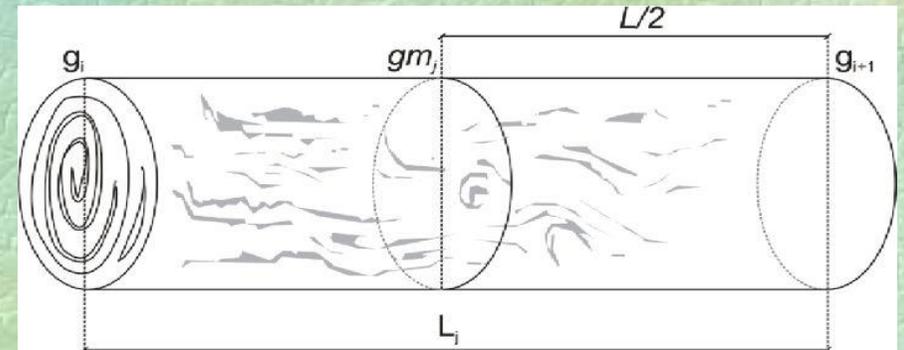
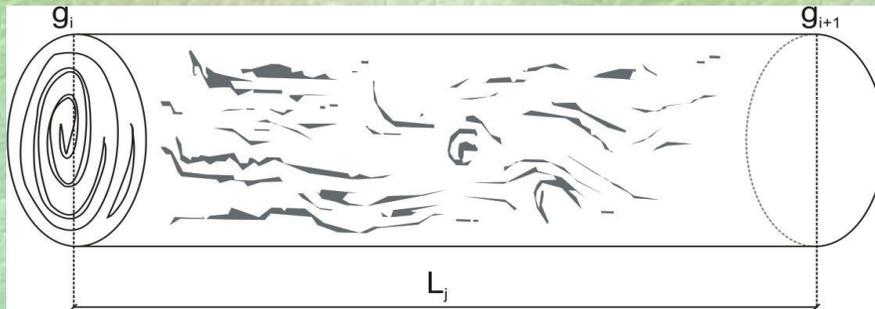
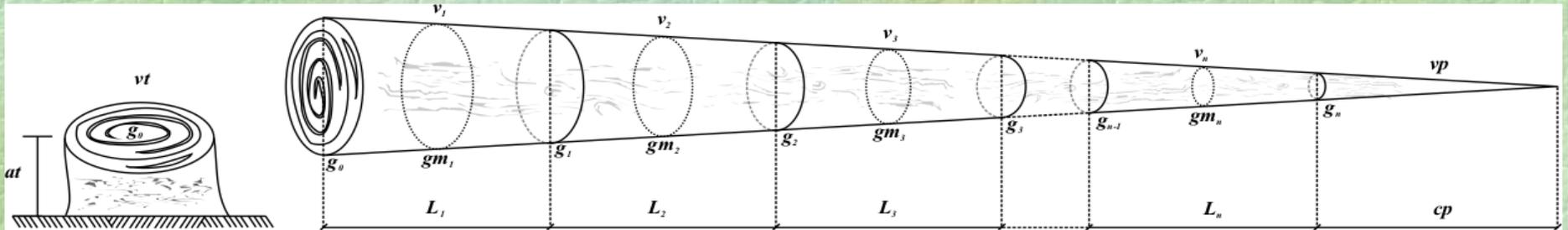
$$V = A' \cdot h$$

Newton

$$V = \frac{(A_1 + 4A' + A_2)}{6} \cdot h$$



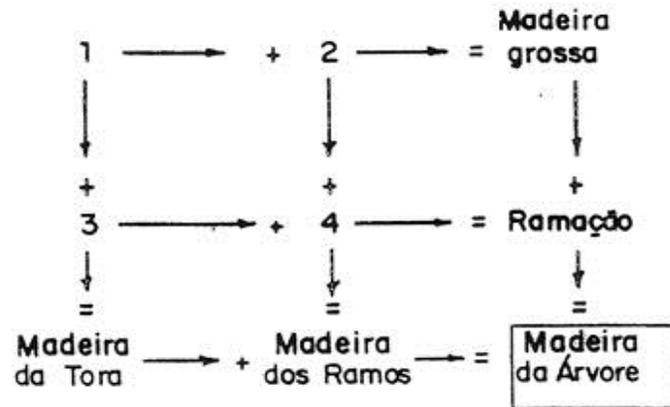
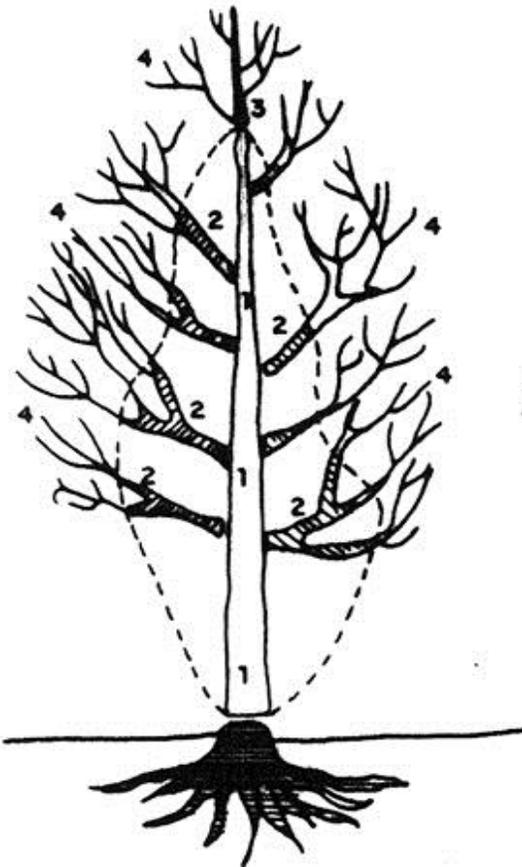
Seccionamiento del tronco para el cubado rigoroso



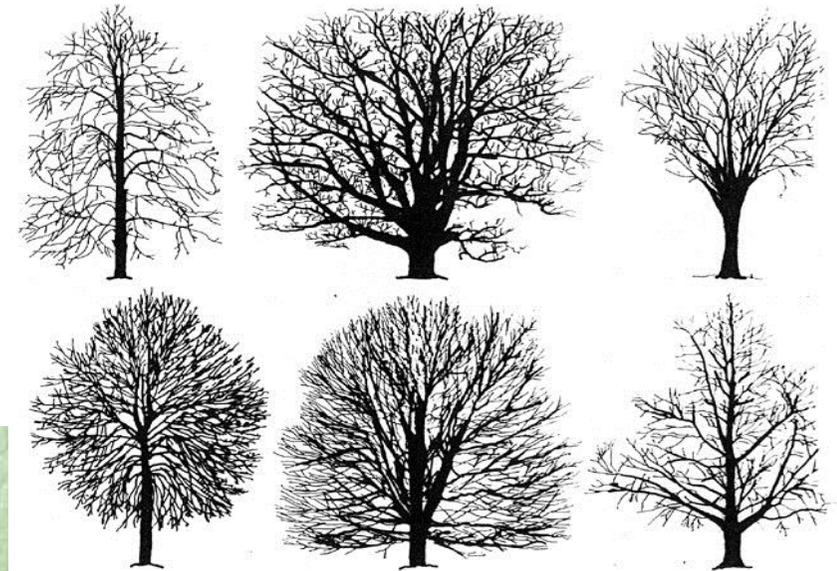


Volumen del árbol
Volumen del tronco
Volumen de las ramas
Volumen de la corteza

Volumen en pie
Volumen en árbol apeado



- 1 Fuste principal
- 2 Ramos primários
- 3 Ápice
- 4 Ramos secundários





Volumen en árboles abatidos





Cálculo del volumen del tronco según Hohenadl

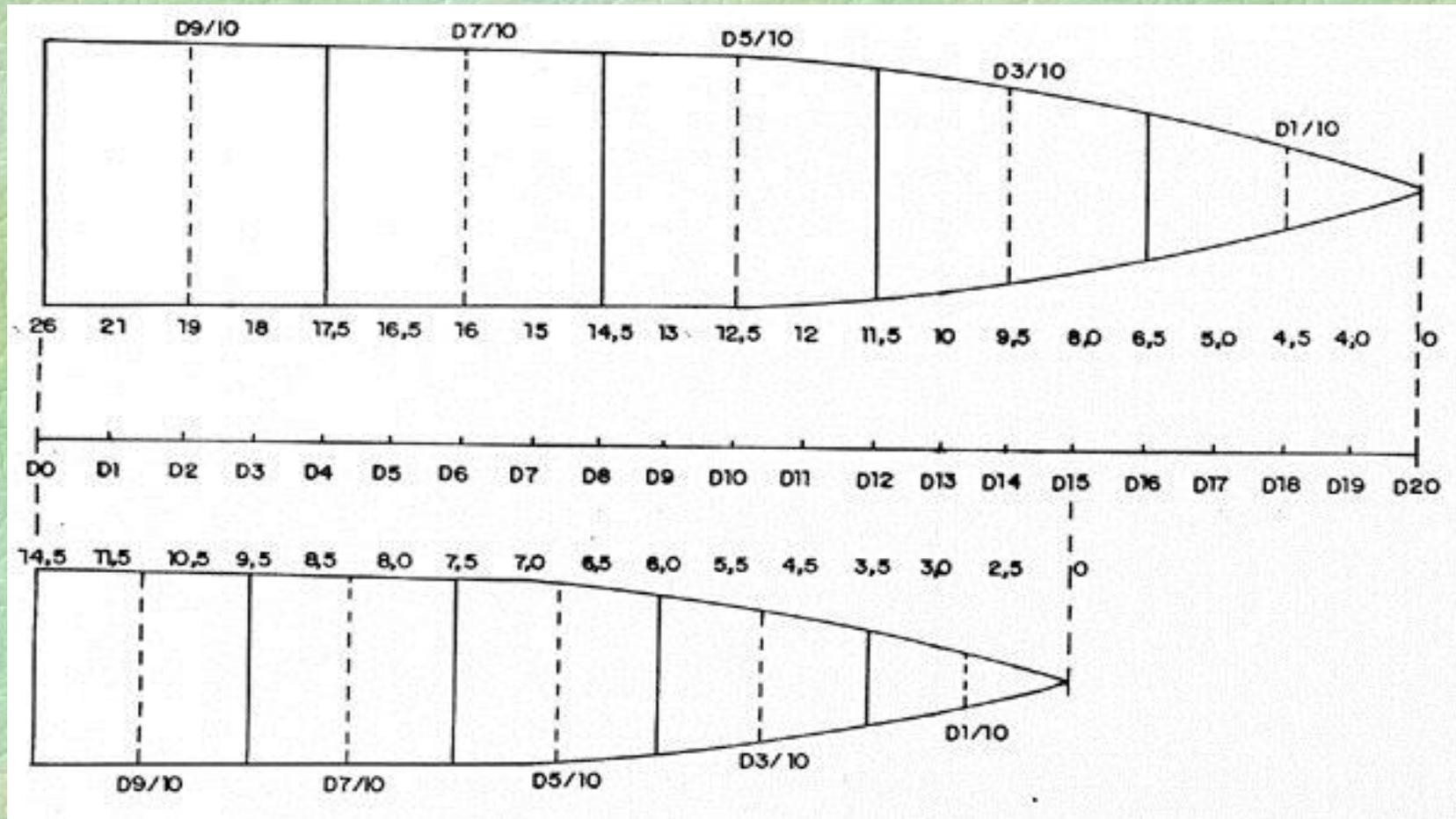
$$V = \sum V_i$$

$$V_i = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

el tronco debe ser dividido en 5 partes (secciones) iguales
el volumen de cada sección será medido por la fórmula de
Huber



Seccionamiento del tronco proporcionalmente





Cálculo del volumen del tronco según la FAO

$$V = 0,2h \cdot \left(\frac{2g_1 + g_2 + g_3}{4} + g_{0,7} + g_{0,5} + g_{0,3} + g_{0,1} \right)$$

el tronco debe ser dividido en 5 partes (secciones) iguales en el mismo principio de Hohenadl

la primera sección es contada dos veces y dividida en tres sub secciones donde g_1 está a $1/6$ de h , g_2 a $3/6$ de h , y g_3 a $5/6$ de h de la primera sección



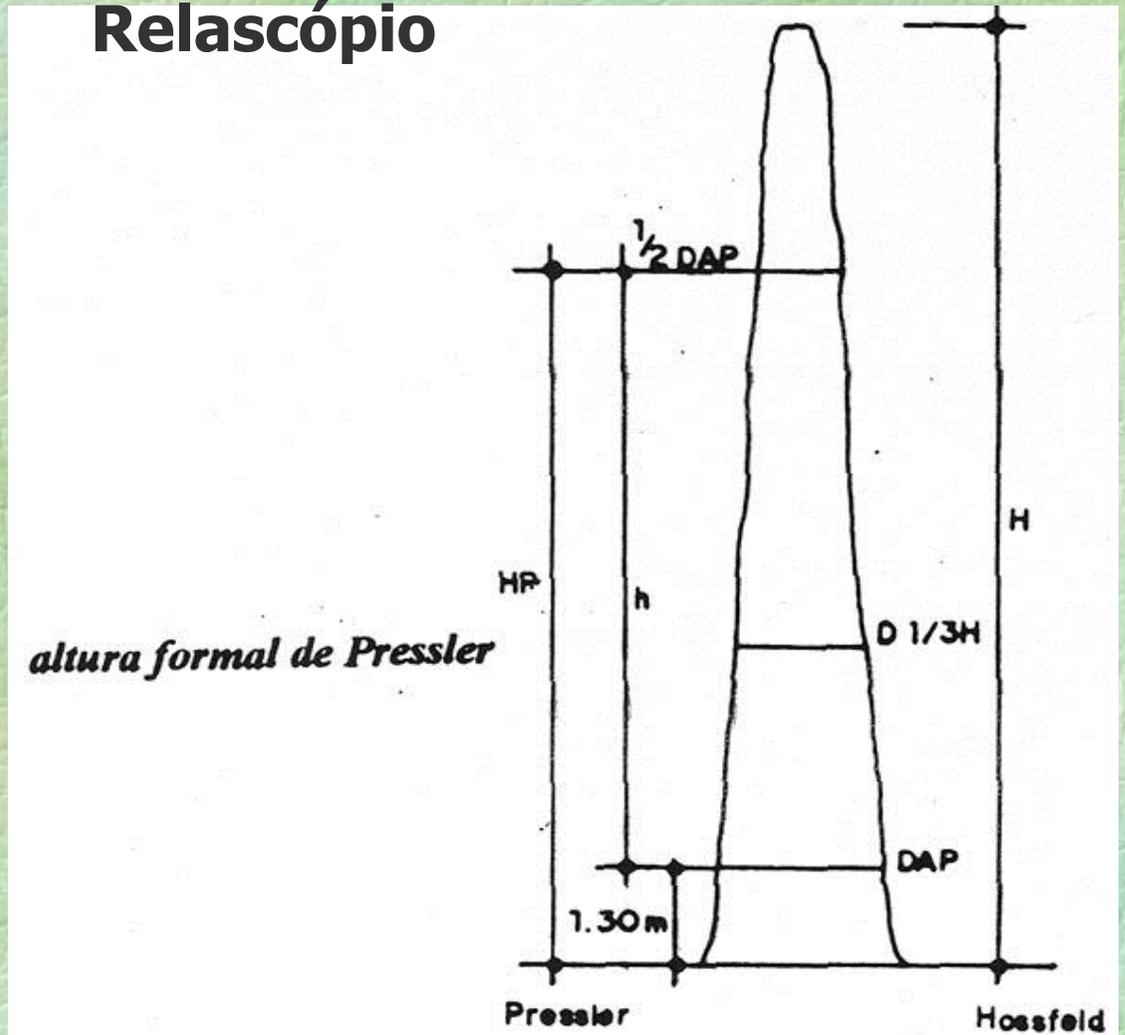
Determinación del volumen en pie a través del Relascópio

Pressler:

$$V = \frac{2g \cdot h}{3}$$

Hossfeld:

$$V = \frac{3g_{1/3_de_H}}{4} \cdot H$$





Cubado riguroso

medición precisa y real del volumen de madera

los diámetros deben ser medidos en distancias equidistantes
a lo largo del tronco

en la práctica es utilizada distancias de 2 metros

el resultado del cubado riguroso puede ser presentado en
forma analítica (cubado analítico) o en forma gráfica
(cubado gráfico)



Cubado analítico

Las fórmulas de Smalian y Huber son las más usuales debido a la simplicidad de las operaciones matemáticas y la posibilidad del estricto control de los procedimientos en la toma de datos y cálculos correspondientes

La fórmula de Newton proporciona alto grado de precisión sin embargo sus cálculos son más demorados y precisan de cierto cuidado

Oettel en Alemania en la mitad del siglo XVIII fue el primero en utilizar fórmulas matemáticas para calcular el volumen de madera



Cubado gráfico

Desarrollado en Alemania por Reineke en 1926

el volumen del tronco es obtenido por el seccionamiento de su perfil longitudinal

el método puede ser aplicado a todo tipo de árboles, tenga o no semejanza con algún sólido geométrico

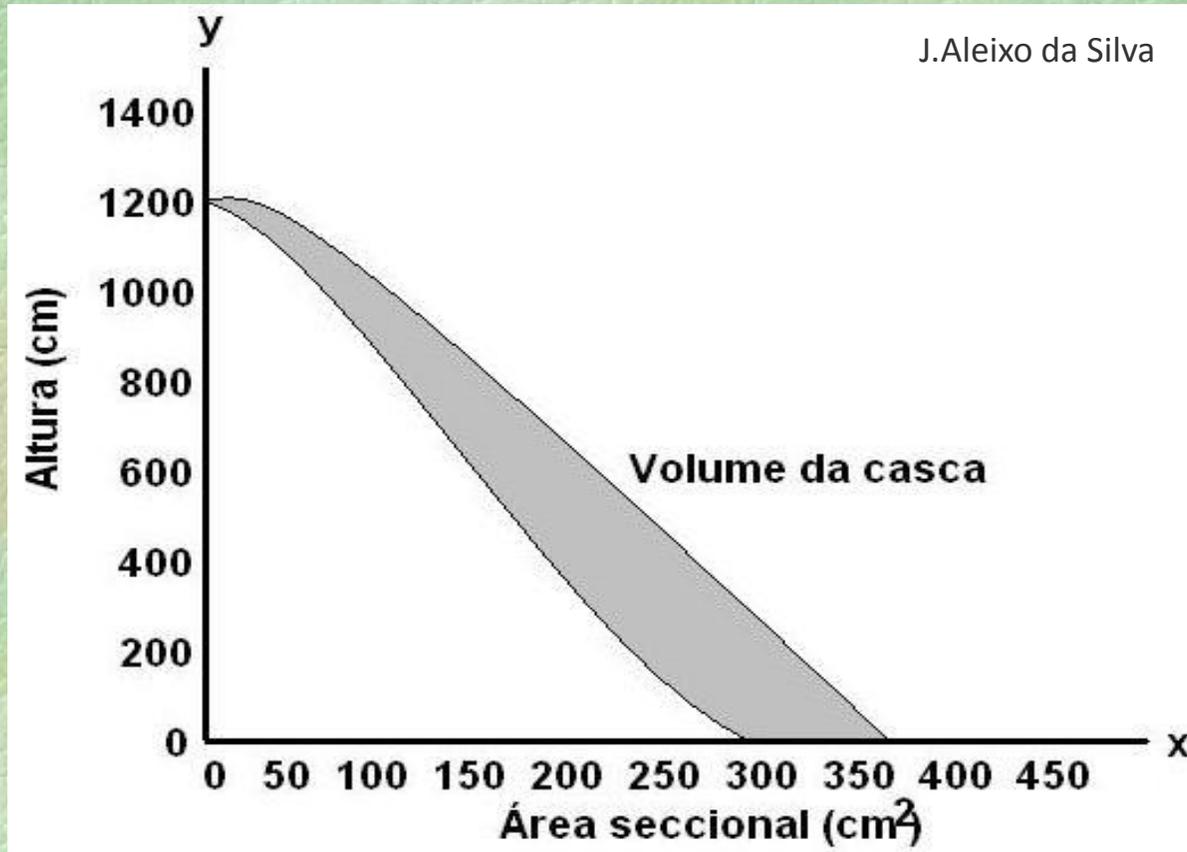
la superficie del diseño obtenido puede ser determinado a través de un planímetro o por la relación de pesos del papel utilizado

métodos modernos como el spline están fundamentados en este tipo de cubado

desventaja: dificultad de armonizar las curvas en clases diamétricas

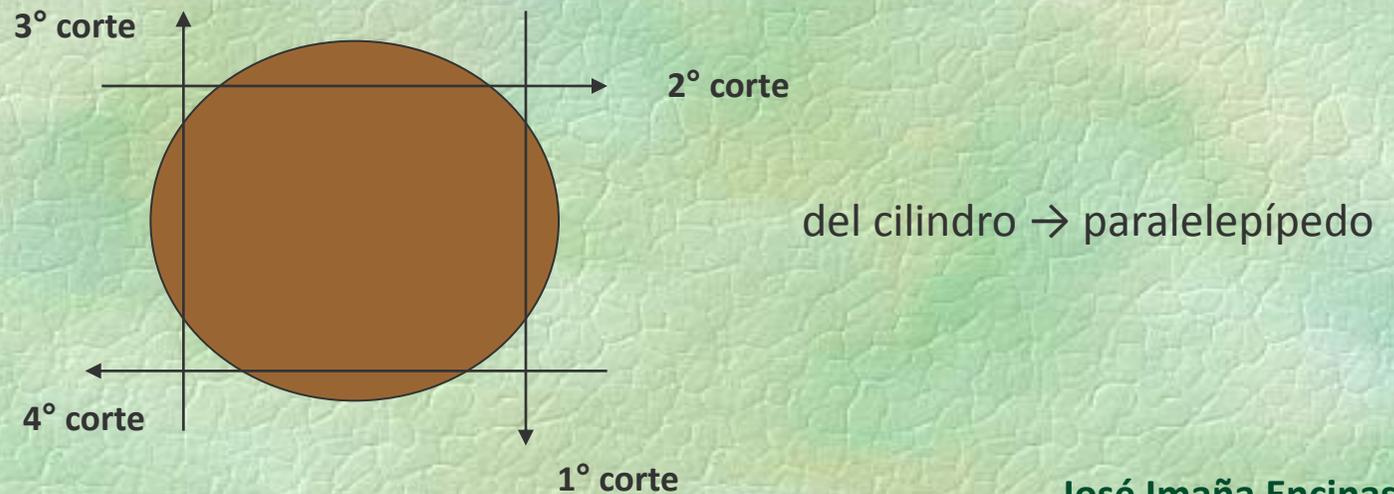
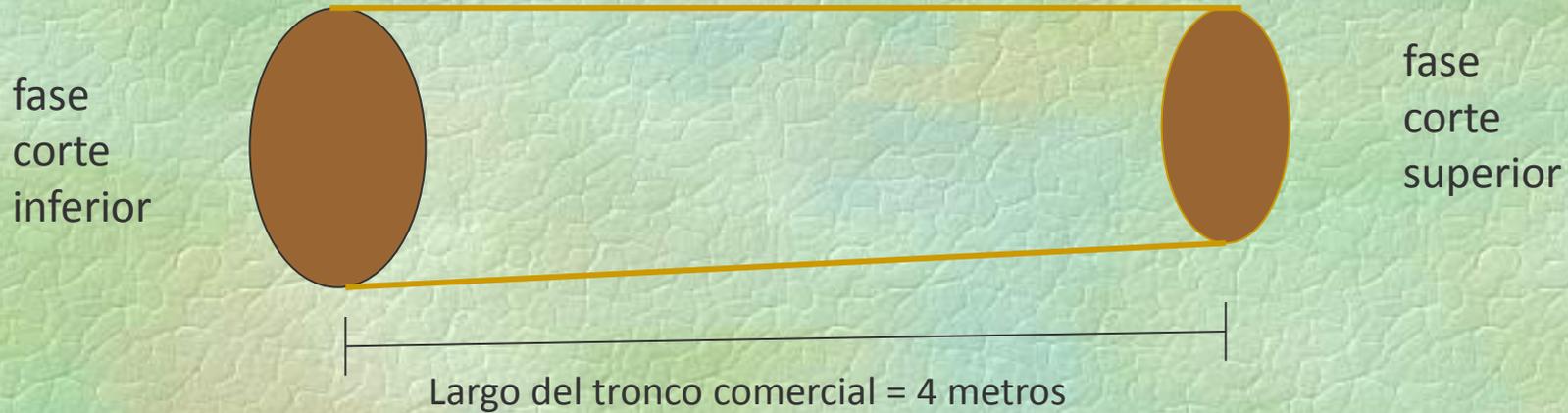


Cubado gráfico





Volumen comercial





Volumen de madera cortada en el local del abate





Volumen de madera cortada en patios de embarque





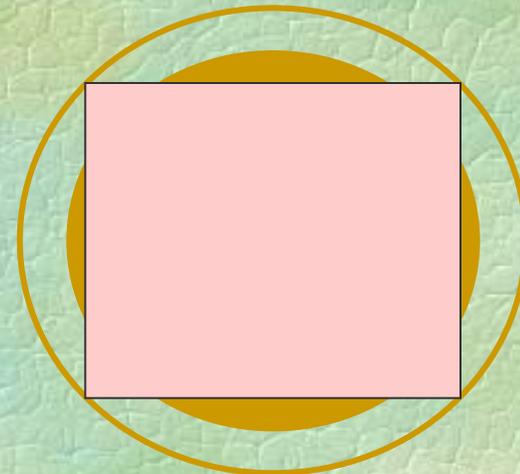
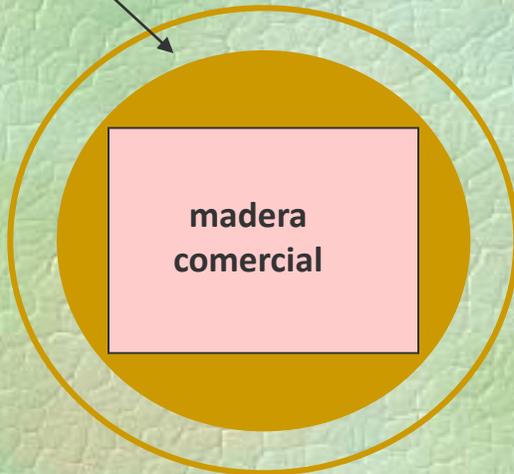
Volumen de madera cortada en el patio de serraría



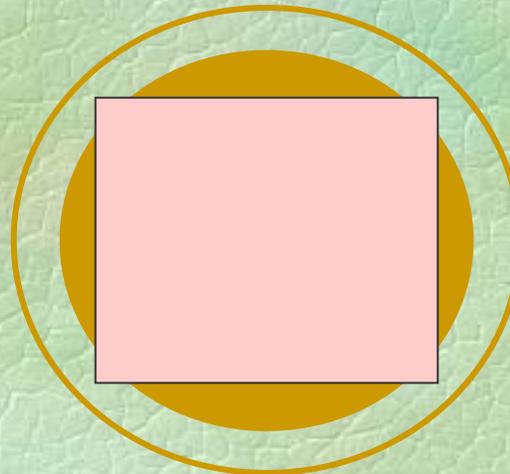


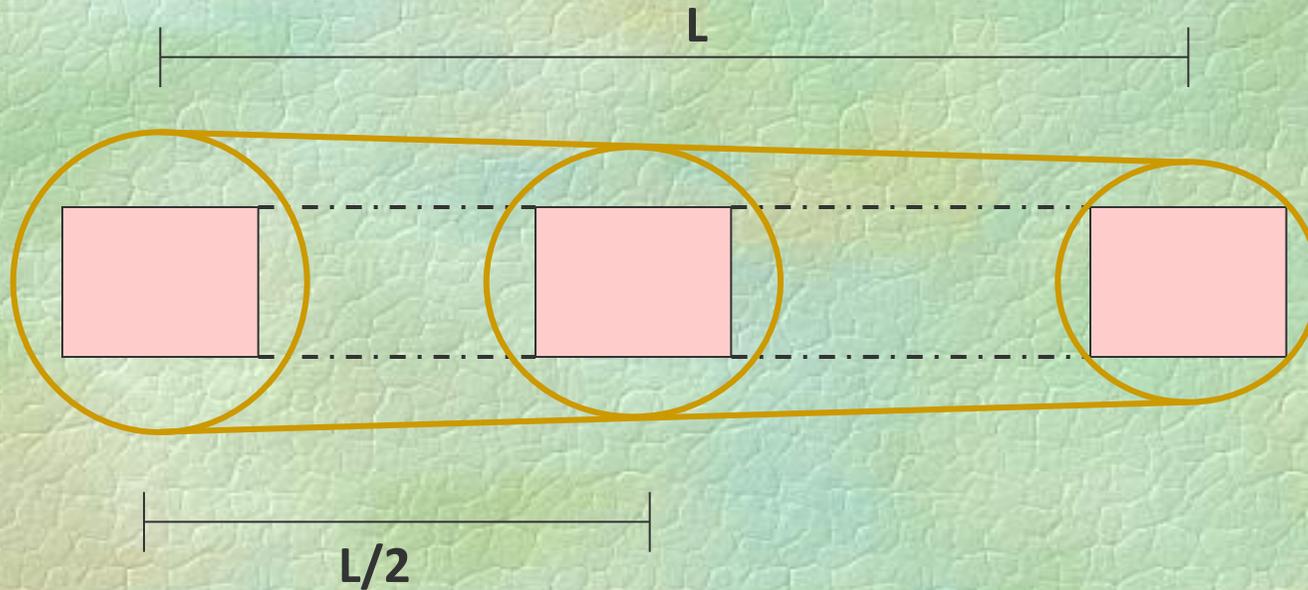
Volumen comercial corte por la fase superior (menor diámetro)

corteza



Volume Francon
o de Hoppus





Volumen Hoppus (Francon)



Cubado del volume deduzido

al 4º deduzido $V_F = 0,785$ del volumen del cilindro

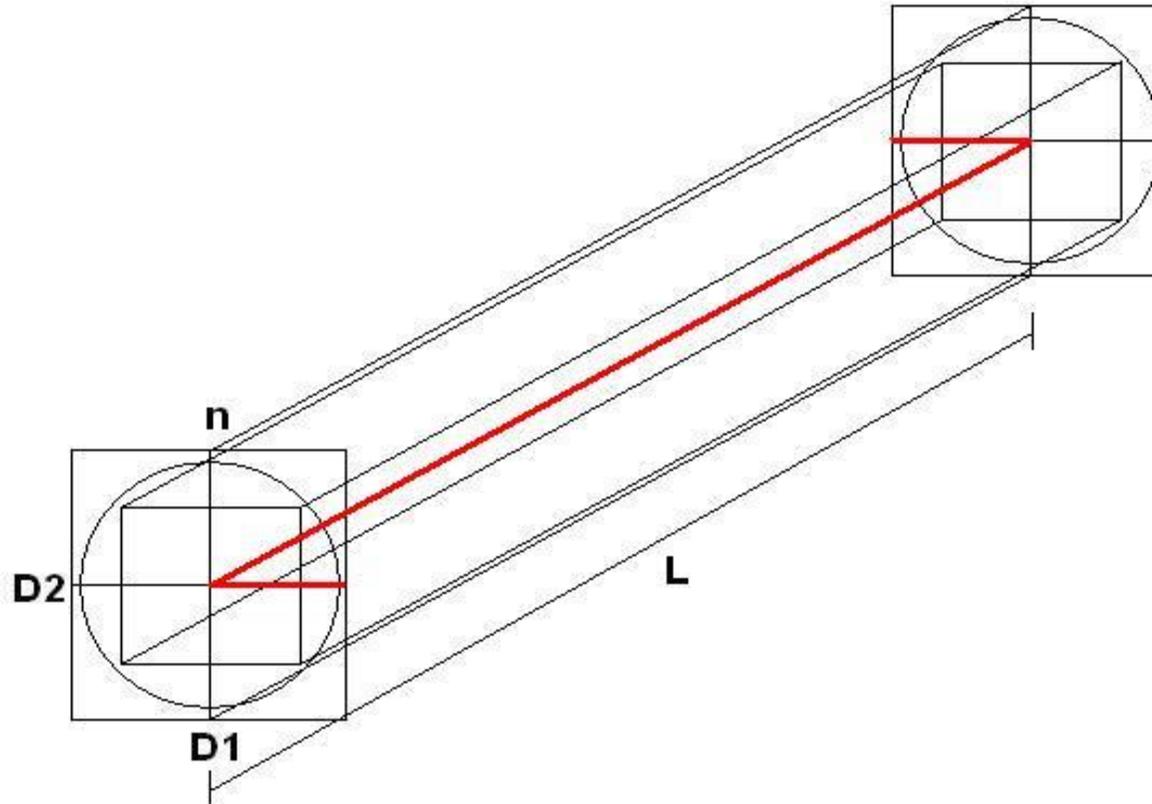
al 5º deduzido $V_F = 0,5026$ del volumen del cilindro

al 6º deduzido $V_F = 0,5454$ del volumen del cilindro

al 10º deduzido $V_F = 0,6366$ del volumen del cilindro

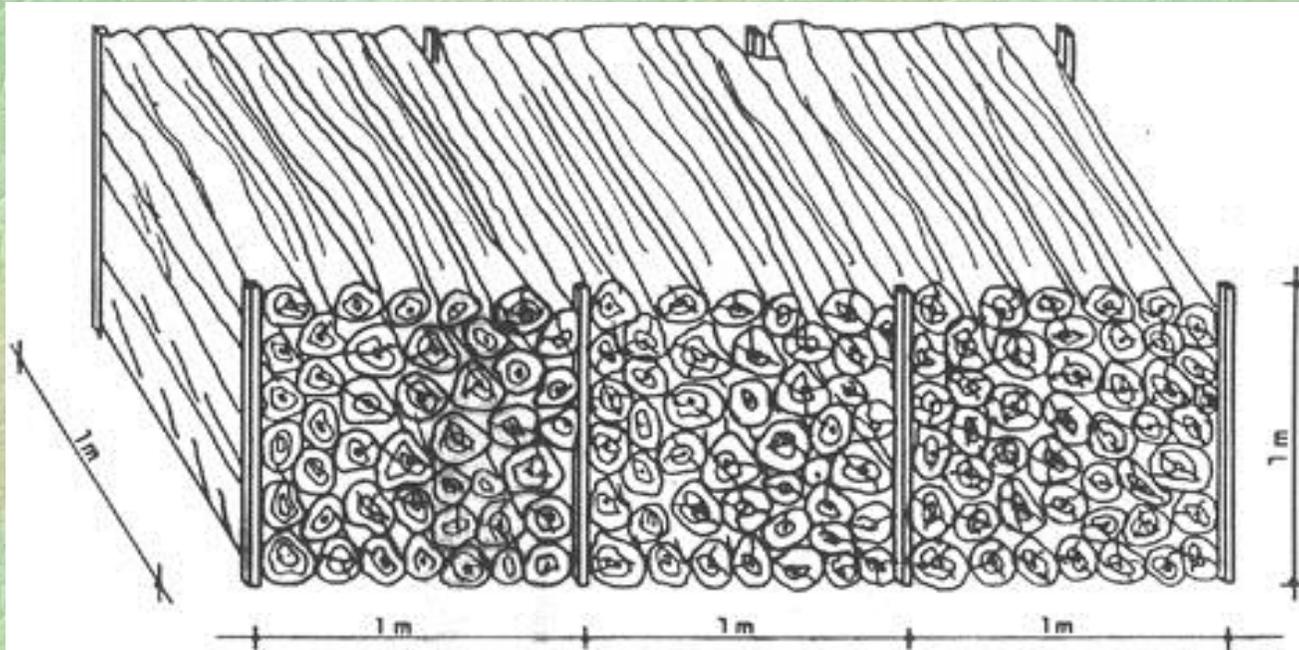


Cubado de descuento por fase





Volumen de madera apilada



Metro cúbico transformado en estéres

$$F_c = V \text{ sólido} / V \text{ apilado}$$



Volumen de madera cortada, apilada (moirones, durmientes)





Volumen de madera cortada en torettes de 2 metros





Volumen de madera cortada postes, serraría





Volumen de madera cortada serraría





Volumen de madera en tablas



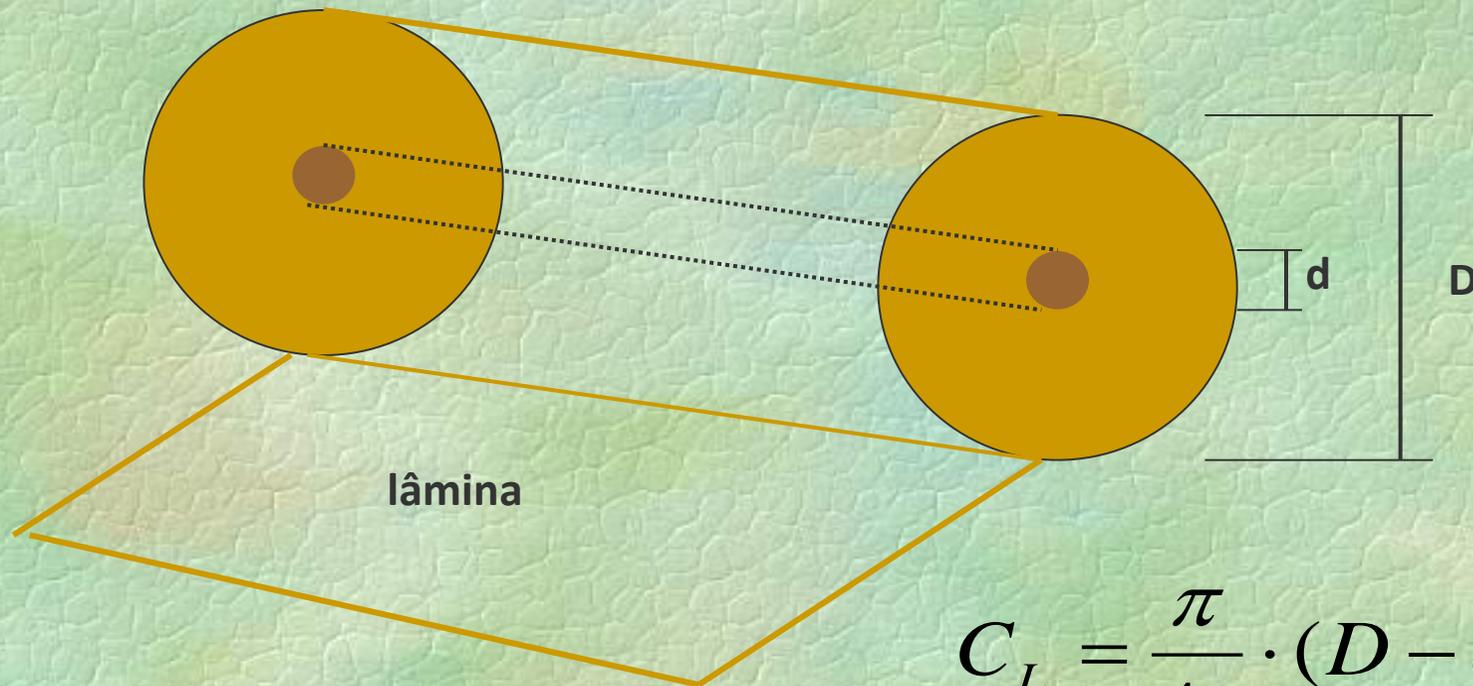


Volumen de madera en paneles





Volumen de madera laminada



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

C_L = largo de la lámina
 e = grosura de la lámina
 D = diámetro del tronco
 d = diámetro de la bobina



Volumen (V) de madera transportada

la masa efectiva (**m**) es calculada por la diferencia entre el peso del camión cargado y vacío, precisa la determinación de la densidad aparente (**da**) también conocido como peso específico de la madera:

$$V = m / da$$



Fórmulas clásicas del cálculo del volumen

árbol $V = AB \cdot H_{\text{total}} \cdot f$

tronco $V = AB \cdot H_{\text{tronco}} \cdot f$

corteza $V = 2 \text{ ec}_{\text{en la altura del DAP}} \cdot H_{\text{tronco}}$



parámetro dendrométrico

TABLAS DE VOLUMEN

conceptos

cálculo de regresión

tablas de una entrada

tablas de dos entradas

tablas de producción



Tablas de Volumen

son ecuaciones, relaciones gráficas o numéricas que estiman el volumen de la madera parcial o total de un árbol en función de determinadas variables dendrométricas independientes

estas tablas pueden ser construidas por procesos analíticos o gráficos

pueden ser clasificadas de acuerdo al volumen que trata de estimar:
volumen total, volumen comercial, volumen aprovechable, volumen sin corteza, volumen por segmentos, etc.

estiman el volumen de madera existente apenas para el bosque en cuestión

para a su construcción se hace necesario la medición real de volúmenes a través del cubado riguroso de un determinado número de individuos



Procedimiento matemático para la construcción de tablas de volumen

$\text{Vol} = \text{función del (DAP)}$

$\text{Vol} = f(\text{DAP}, \text{altura})$

$\text{Vol} = f(\text{DAP}, \text{altura}, \text{forma}, \text{sitio}, \text{etc.})$

el volumen real podrá ser determinado a través del cubado riguroso, considerando la semejanza del tronco o parte del árbol con un sólido geométrico

la aplicación de las técnicas de regresión permite que la suma de los cuadrados de los desvíos entre los volúmenes reales y estimados puedan ser minimizados, permitiendo eliminar los errores personales causados en el ajuste de las curvas

con el uso de métodos estadísticos, de la ciencia de la computación e informática, la técnica de regresión a través del método de los mínimos cuadrados superó toda posible incógnita de cálculo



El uso de tablas de volumen permite determinar el volumen total de la madera desde pocos árboles hasta el volumen aprovechable de un bosque de algunas centenas de hectáreas

las tablas de volumen pueden ser construidas para ser usadas por una simple variable dendrométrica o por la combinación de dos o más variables

consecuentemente la ecuación, curva o línea de regresión , expresa el valor medio que se puede esperar en los valores de la variable dependiente para cada valor que pueda tomar la variable independiente



Clasificación de las tablas de volumen

- ▶ ***tablas de volumen local, tablas de tarifas o tablas de una entrada:*** utilizan en su construcción apenas una variable, el DAP
- ▶ ***tablas de volumen estándar, tablas regionales o tablas de dos entradas:*** utilizan dos variables, normalmente el DAP y la altura
- ▶ ***tablas de volumen formal o de tres entradas:*** utilizan las variables DAP, altura y el factor de forma



Tabla de volumen local (una entrada)

DAP Classe (Cm)	Spruce	Abeto	Cedro	Pinheiro	Cicuta	Espécie Lariço	Bordo	Vidoeiro	Trêmulo	Cinzas	Faia
2											
4											
6											
8											
10	0.027	0.032	0.021	0.020	0.021	0.027	0.026	0.024	0.026	0.020	0.020
12	0.049	0.057	0.039	0.032	0.039	0.052	0.053	0.051	0.053	0.036	0.041
14	0.076	0.086	0.066	0.055	0.066	0.086	0.084	0.078	0.082	0.060	0.069
16	0.107	0.122	0.091	0.089	0.092	0.125	0.118	0.110	0.116	0.086	0.101
18	0.147	0.163	0.125	0.129	0.127	0.174	0.152	0.145	0.150	0.115	0.134
20	0.190	0.209	0.160	0.172	0.164	0.230	0.188	0.182	0.186	0.160	0.169
22	0.242	0.261	0.197	0.222	0.207	0.290	0.228	0.224	0.235	0.218	0.204
24	0.297	0.318	0.240	0.275	0.254	0.356	0.269	0.267	0.289	0.279	0.242
26	0.360	0.383	0.288	0.335	0.301	0.426	0.312	0.312	0.344	0.342	0.281
28	0.423	0.455	0.338	0.398	0.349	0.502	0.362	0.364	0.402	0.406	0.325
30	0.490	0.531	0.390	0.473	0.401	0.583	0.410	0.415	0.463	0.470	0.366
32	0.571	0.612	0.450	0.550	0.457	0.669	0.463	0.467	0.533	0.540	0.411
34	0.652	0.707	0.510	0.638	0.517	0.759	0.521	0.526	0.611	0.616	0.462
36	0.739	0.807	0.575	0.730	0.585	0.859	0.574	0.591	0.696	0.696	0.520
38	0.837	0.912	0.645	0.836	0.655	0.970	0.651	0.658	0.781	0.775	0.560
40	0.943	1.024	0.720	0.945	0.733	1.080	0.725	0.730	0.870	0.865	0.610
42	1.042	1.140	0.800	1.061	0.812	1.197			0.960		
44	1.156	1.260		1.180	0.886	1.320			1.055		
46	1.279	1.384		1.308	0.970	1.445			1.155		
48	1.411	1.520		1.451	1.055	1.585			1.265		
50	1.550	1.658		1.603	1.150	1.735			1.380		
52	1.695	1.805		1.750	1.240	1.885			1.495		
54	1.300	1.960		1.900	1.340	2.030			1.610		
56	1.980			2.050							
58	2.140			2.210							
60	2.300			2.450							
62	2.500			2.700							
64	2.750			2.900							
66	2.950			3.150							
68	3.200			3.400							



Tabla de volumen regional (dos entradas)

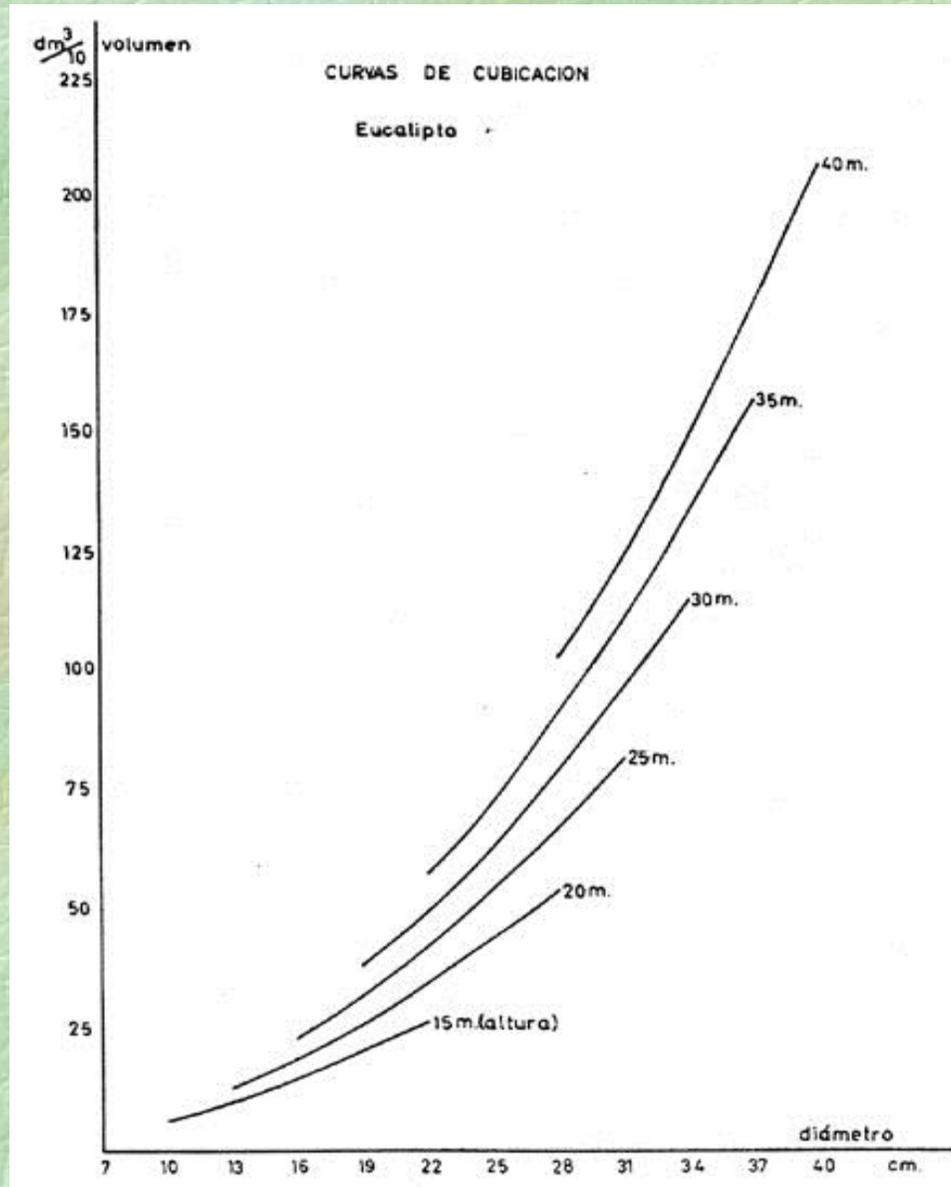
$$V = -8,28 + 9,37 \frac{D^2}{10^2} + 0,824H + 2,959 \frac{D^2 H}{10^2}$$

ESPECIE: Eucalyptus glóbulus

		A L T U R A S																																			
		6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50													
D	10	24	31	39	46	54	62	69	77	84															10	D											
	11	29	38	47	56	65	74	82	91	100	109															11											
	12	36	46	56	66	76	87	97	107	117	127															12											
I	13	43	54	66	77	89	101	112	124	136	147	159														13	I										
	14		63	76	90	103	116	129	143	156	169	182	196													14											
A	15		73	88	103	118	133	147	162	177	192	207	222	237												15	A										
	16			100	117	133	150	167	184	201	217	234	251	268	284											16											
M	17				113	131	150	169	188	206	225	244	263	281	300	319										17	M										
	18					147	168	189	209	230	251	272	293	314	334	355	376									18											
E	19						187	210	233	256	279	302	325	348	371	394	417									19	E										
	20							206	232	257	282	308	333	358	384	409	434	460	485							20											
T	21								227	255	283	311	338	366	394	422	449	477	505	533						21	T										
	22									249	279	310	340	370	401	431	461	491	522	552	582	613				22											
R	23										305	338	371	404	437	470	503	536	569	602	635	667				23	R										
	24											332	367	403	439	475	510	546	582	618	653	689	725			24											
O	25												398	437	475	514	553	591	630	669	707	746	784	823		25	O										
	26													430	472	513	555	597	638	680	722	763	805	847	888	26											
N	27														463	508	553	598	642	687	732	777	822	866	911	956	27	N									
	28															498	546	594	642	690	738	786	834	882	930	978	1026	28									
O	29																565	636	708	779	842	893	945	996	1048	1099	1150	29	O								
	30																	680	735	790	845	900	955	1010	1065	1119	1174	1229	30								
R	31																		784	843	901	960	1018	1077	1135	1194	1252	1311	31	R							
	32																			835	897	959	1021	1084	1146	1208	1271	1333	1395	32							
M	33																			887	953	1019	1085	1151	1217	1284	1350	1416	1482	1548	33	M					
	34																				1011	1081	1151	1221	1291	1361	1431	1501	1571	1642	34						
A	35																					1145	1219	1293	1367	1441	1515	1590	1664	1738	35	A					
	36																						1288	1367	1445	1524	1602	1680	1759	1837	36						
L	37																							1360	1443	1525	1608	1691	1773	1856	1939	2022	37	L			
	38																								1521	1608	1695	1782	1869	1956	2044	2131	38				
	39																									1601	1693	1784	1876	1968	2059	2151	2243	39			
	40																										1780	1876	1972	2069	2165	2261	2358	2454	40		
	41																											1970	2071	2172	2273	2374	2475	2577	41		
	42																											2066	2172	2278	2384	2490	2596	2702	2808	42	
	43																												2276	2387	2498	2609	2720	2831	2942	43	
	44																												2382	2498	2614	2730	2846	2963	3079	44	
	45																												2490	2611	2733	2854	2976	3097	3219	45	
	46																												2728	2855	2982	3108	3235	3362	46		
	47																												2847	2979	3111	3244	3376	3508	47		
	48																													3106	3244	3382	3520	3658	48		
	49																													3236	3379	3523	3667	3811	49		
	50																													3368	3518	3667	3817	3966	50		

UNIDADES:

Volumen en decímetros cúbicos.
Diámetro en centímetros.
Altura en metros.



**Tabla considerando
índice de sitio**



Precisión de las tablas

se debe comparar el volumen estimado (de la tabla) con el obtenido por el cubado riguroso

▶ ***Método de la diferencia agregada***

la diferencia agregada debe ser menor a 1%

▶ ***Método del valor porcentual del desvío medio***

la comparación de los volúmenes real y estimado debe ser menor a 10%



Métodos estadísticos para la estimación del volumen

Por medio de métodos estadísticos es posible estimar de manera indirecta y con mucha precisión el volumen de madera

El cálculo de regresión es el método más utilizado en el sector de la mensura forestal

Se hace necesaria la colecta de datos reales de un número mínimo que pueda representar la población en cuestión, identificando claramente cuales variables dependientes e independientes serán usadas

modelo matemático:
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X$$

modelo estadístico:
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon$$



	variável		produto	quadrados	
	independente	dependente		x^2	y^2
	x	y	xy		
1					
2					
3					
...					
n					
	Σx	Σy	Σxy	Σx^2	Σy^2

$$y = a_0 + b_1x + \text{error}$$

$$b_1 = \frac{\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}$$

$$a_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$R^2 = \frac{b_1(\sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n})}{\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}}$$

$$R^2 = \frac{\text{soma . dos . quadrados da . regressao}}{\text{soma . dos . quadrados totais}}$$

Cálculo de regresión

cálculo de los cuadrados
mínimos

uso de las sumatorias de
dos variables

$$Y = a_0 + b_1 \cdot X$$



Coeficientes de regresión

$$\beta_1 = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \cdot \sum y_i}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{[\sum x_i]^2}{n}}$$

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \cdot \bar{x}$$

Conocidos los coeficientes de regresión la fórmula matemática se transforma en fórmula de trabajo



Análisis de la variancia (ANOVA) de la regresión

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>
Regresión	p	$\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2$	SC reg / GL reg	CM reg/CM res
Residuo	$n-p-1$	$\sum (y_i - \hat{y})^2$	SC res / GL res	
Total	$n-1$	$\sum (y_i - \bar{y})^2$		



Criterios de selección:

- ▶ *coeficiente de correlación = R^2*
- ▶ *error padrón residual*
- ▶ *sumatoria de los desvíos absolutos*
- ▶ *teste de F*
- ▶ *índice de Furnival*



coeficiente de correlación R^2

$$R^2 = \frac{b_1 \left(\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \cdot \sum y_i}{n} \right)}{\sum y_i^2 - \frac{[\sum y_i]^2}{n}}$$

$$R^2 = \frac{\text{suma de los cuadrados de la regresión}}{\text{suma de los cuadrados totales}}$$

$$0 < R^2 \leq 100\%$$



error padrón de la estimativa

$$S_{xy} = \pm \sqrt{CM_{Residuo}}$$

error padrón relativo

$$S_{xy} (\%) = \pm \frac{S_{xy}}{\bar{y}} \cdot 100$$



Tabla de volumen de una entrada Tabla local → $V = \text{función del (DAP)}$

Kopezky-Gehrhardt	$v = b_0 + b_1 D^2$
Dissescu-Meyer	$v = b_1 D + b_2 D^2$
Hohenadl-Krenn	$v = b_0 + b_1 D + b_2 D^2$
Berkhout	$v = b_0 \cdot D^{b_1}$
Husch	$\log v = b_0 + b_1 \log D$
Brenac	$\log v = b_0 + b_1 \log D + b_2 \frac{1}{D}$

D = DAP



Tabla de volumen de dos entradas Tabla regional $\rightarrow V = f(DAP, H)$

Spurr	$v = b_1 D^2 H$
Spurr combinada	$v = b_0 + b_1 D^2 H$
Ogaya	$v = D^2 (b_0 + b_1 H)$
Stoate	$v = b_0 + b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 H$
Meyer	$v = b_0 + b_1 D + b_2 D^2 + b_3 DH + b_4 D^2 H + b_5 H$
Takata	$v = \frac{D^2 H}{b_0 + b_1 D}$
Schumacher-Hall	$\log v = b_0 + b_1 \log D + b_2 \log H$
Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log(D^2 H)$

D = DAP, H = altura



Tabla de volumen con más de dos entradas

Naeslund	$v = b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 DH^2 + b_4 H^2 + b_5 D^2 H_c$
Naeslund	$v = b_1 D^2 + b_2 D^2 H + b_3 DH^2 + b_4 D^2 H_c + b_5 DHC$
Spurr	$v = b_0 + b_1 f \cdot D^2 H$
Schiffel	$v = D^2 H \cdot (b_0 + b_1 f + b_2 \frac{1}{fH})$

D = DAP, H = altura, C = corteza, f = factor de forma



Resultados de modelos calculados

Tabela 4. Resultado da análise de regressão do ajustes das equações pelo método passo a passo.
Table 4. Results of the regression analysis of the adjusted equations by the step by step method.

Equação	Coeficientes						R ² _{aj}	S _{yy} (%)	EM	EMa	DG
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5					
Kopecky-Gehrhardt	0,98420	0,04598*	-	-	-	-	0,89	17,05	0,452	9,840	8,048
Dissescu-Meyer	0,05780*	1,26590	0,69870*	-	-	-	0,85	12,38	0,546	6,881	7,961
Hohenadl-Krenn	-0,08147	-0,00529*	0,00132*	-	-	-	0,93	13,95	0,334	11,597	7,205
Berkhout	0,02370	2,36540*	-	-	-	-	0,94	15,66	0,383	8,671	9,084
Hummel	0,56730	0,01250*	-	-	-	-	0,88	19,16	0,462	9,395	11,199
Brenac	0,01375*	0,00124*	1,24440*	-	-	-	0,88	18,20	0,517	10,569	8,667
Hummel	0,75300*	-	0,00080*	-	-	-	0,83	13,79	0,546	9,213	10,169
Spurr	0,04900	0,00004*	-	-	-	-	0,90	19,40	0,385	11,700	7,606
Schumacher-Hall	-9,85400*	1,25980*	1,36520*	-	-	-	0,93	16,61	0,657	8,330	10,329
Honner	3,12400*	0,10055*	-	-	-	-	0,85	25,68	0,549	8,543	6,750
Ogaya	0,00235	0,11190*	-	-	-	-	0,87	15,33	0,610	7,991	6,259
Stoate	-0,15170*	0,00002	0,00003*	0,01201	-	-	0,84	13,09	0,574	8,708	7,282
Näshund	-	0,00007*	0,00004	0,00001	0,00006*	-	0,84	20,71	0,585	7,633	7,842
Takata	0,07420	0,04990*	-	-	-	-	0,86	25,21	0,658	8,734	4,943
Spurr (log)	0,00011	0,00002*	-	-	-	-	0,87	13,11	0,548	10,230	7,921
Meyer	-0,03456*	-0,00200*	0,00001	0,00054*	0,00004	0,00195*	0,83	14,40	0,334	10,126	7,662
Scolforo e Silva (1993)	0,21450*	0,00025*	0,01590*	-	-	-	0,98	11,33	0,338	8,130	5,733
Rezende <i>et al.</i> (2006)	-	12,11400*	16,15700*	-	-	-	0,99	10,22	0,214	7,828	5,324

* Coeficientes significativos utilizados na equação.



Biomasa leñosa

biomasa: materia de origen vegetal, utilizada como fuente de energía

se hace necesario conocer el peso específico de la madera

el peso específico tiene una variación natural de la base al ápice del árbol y del cerne a la corteza

el volumen de madera multiplicado por el peso específico proporciona el valor de la biomasa leñosa



la biomasa normalmente se la expresa en términos de peso seco (kg)

para algunos procesos industriales del sector forestal es mas importante producir biomasa que la madera propiamente dicha

bosques energéticos

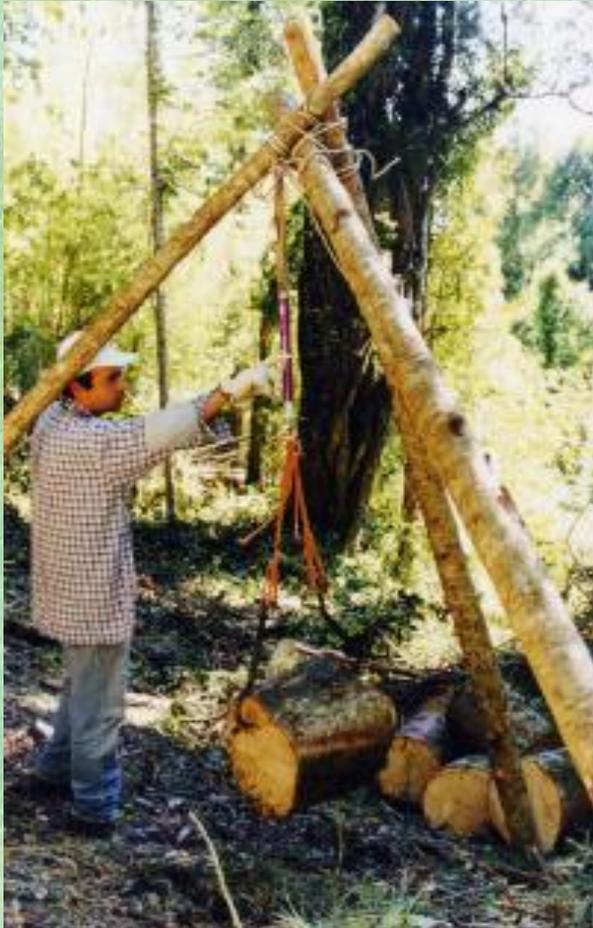
bosques de fijación del carbono



Medición de la biomasa

Después del apeo del árbol se lo debe pesar inmediatamente

- el tronco cortado en toretes, o
- las ramas, debidamente seleccionadas y clasificadas, o
- el conjunto total de todas las hojas a fin de obtener el correspondiente peso total húmedo





Biomasa del tronco

Cubicar rigurosamente el fuste a fin de obtener el volumen de madera con y sin corteza

Retirar discos de 2,5 cm de los toretes

(0, 25, 50, 75 y 100% de la altura comercial)

De cada disco retirar muestras (cuñas) de madera conteniendo la corteza. En esas cuñas será determinada la densidad básica de la madera (DBM)

$$\text{Peso Seco} = \text{volumen} \cdot \text{DBM}$$



Biomasa de las ramas y hojas

Se puede retirar correspondientes muestras

Las muestras en el laboratorio tendrán su peso seco (PS) determinado.

La unidad de medida de la biomasa se la expresa en kg



MÉTODO DIRECTO:
Ecuaciones alométricas

MÉTODO INDIRECTO:
Factores de expansión de la biomasa
indicado para plantaciones comerciales
(factores desarrollados a nivel local)



RELASCOPIA

Conceptos

Relascópio de Espejo

Relascópio de bandas anchas

Relascópio CP

Telerelascópio



Relascópio de Espejo escala métrica

Partes del Relascópio:

ocular

visor

visera

ventanas de iluminación

botón del péndulo

suporte p/ la cinta

tornillo p/ el tripe



Instrumento forestal pequeño y de fácil manejo, versátil y de múltiples utilidades dendro y dasométricas, proporcionando estimaciones aproximadas y medidas exactas

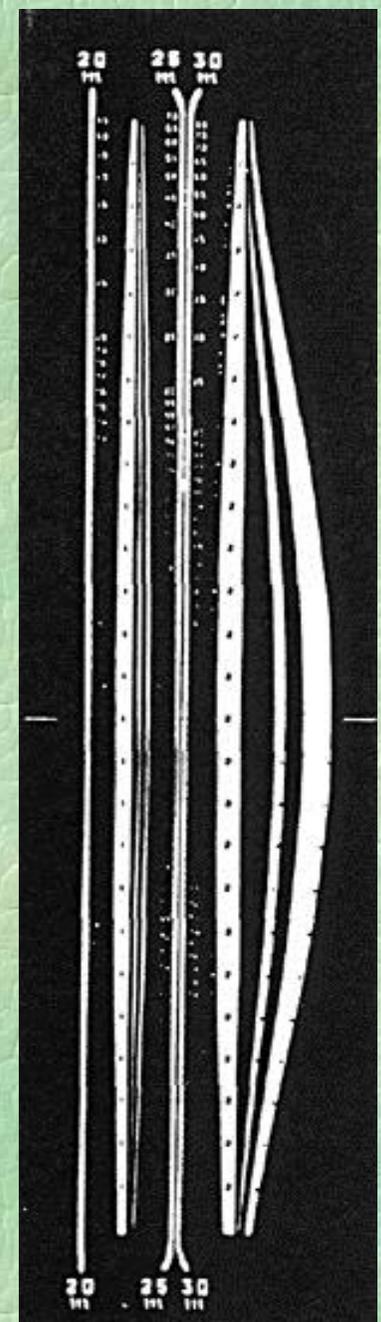
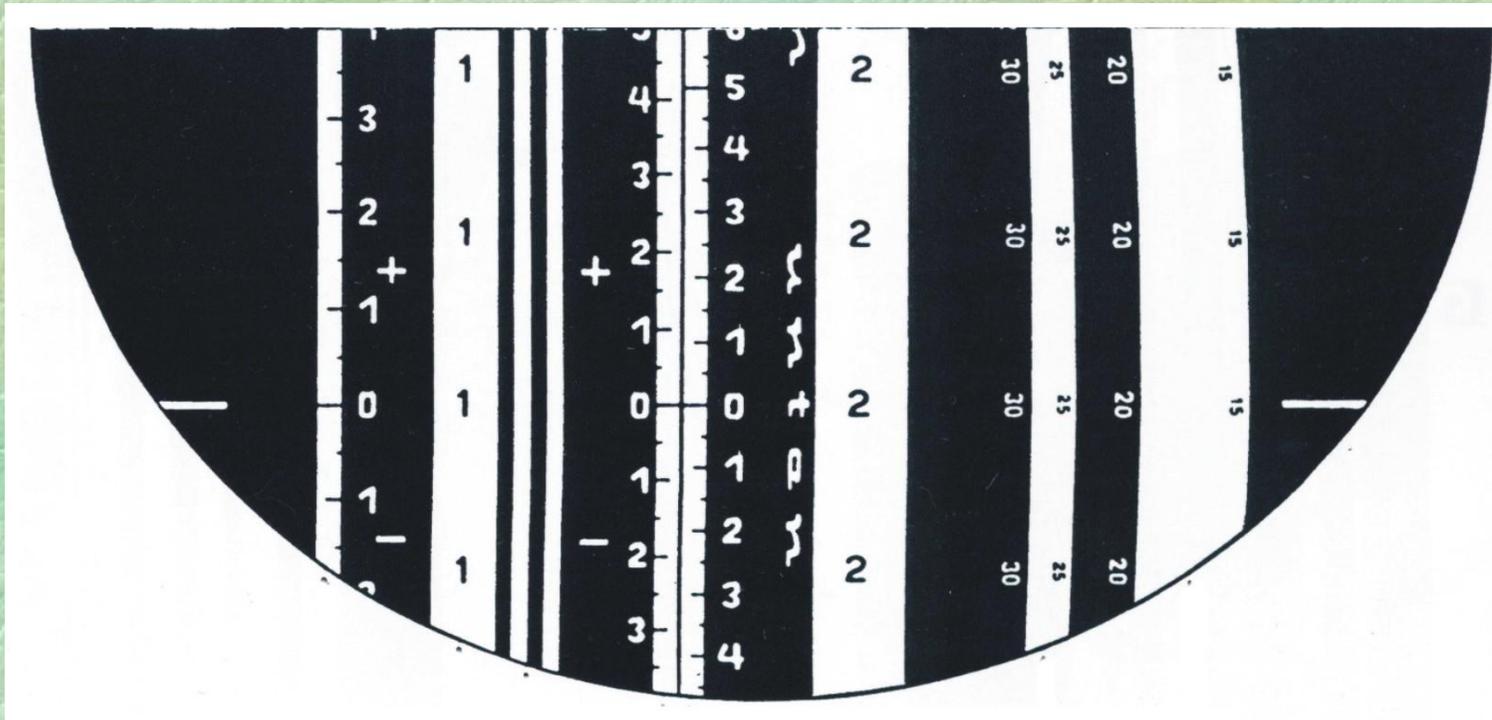


mediciones clásicas

- 1. Medición B:** determinación del área basal en metros cuadrados por hectárea \Rightarrow prueba de numeración angular o parcela de área variable
- 2. Medición A:** medición de la distancia
- 3. Medición h:** medición de la altura del árbol a partir de distancias fijas.
- 4. Medición b:** determinación de diámetros en alturas superiores al DAP
- 5. Medición h-d:** medición combinada de alturas y diámetros
- 6. Medición fh/d:** medición de la altura formal relativa
- 7. Medición en %:** medición de la declividad
- 8. Medición H:** determinación de la altura media según Hirata

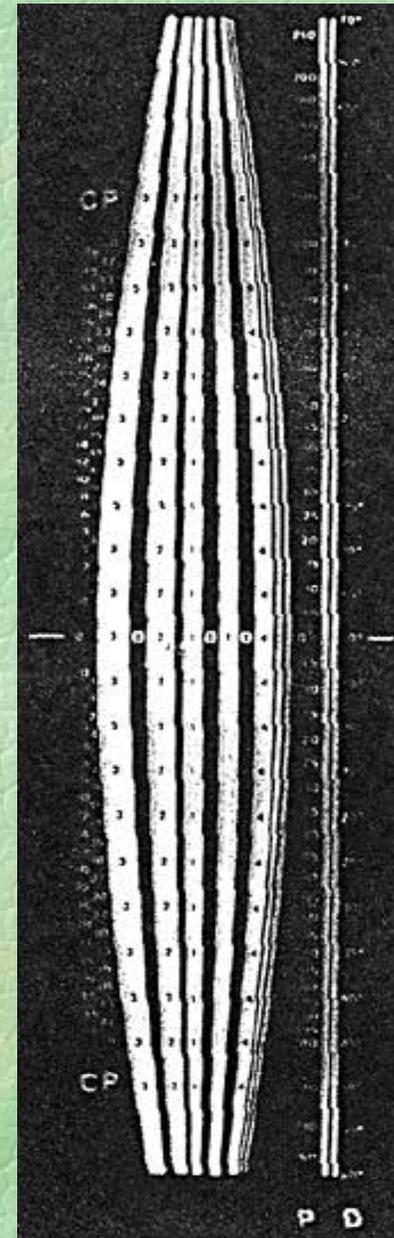
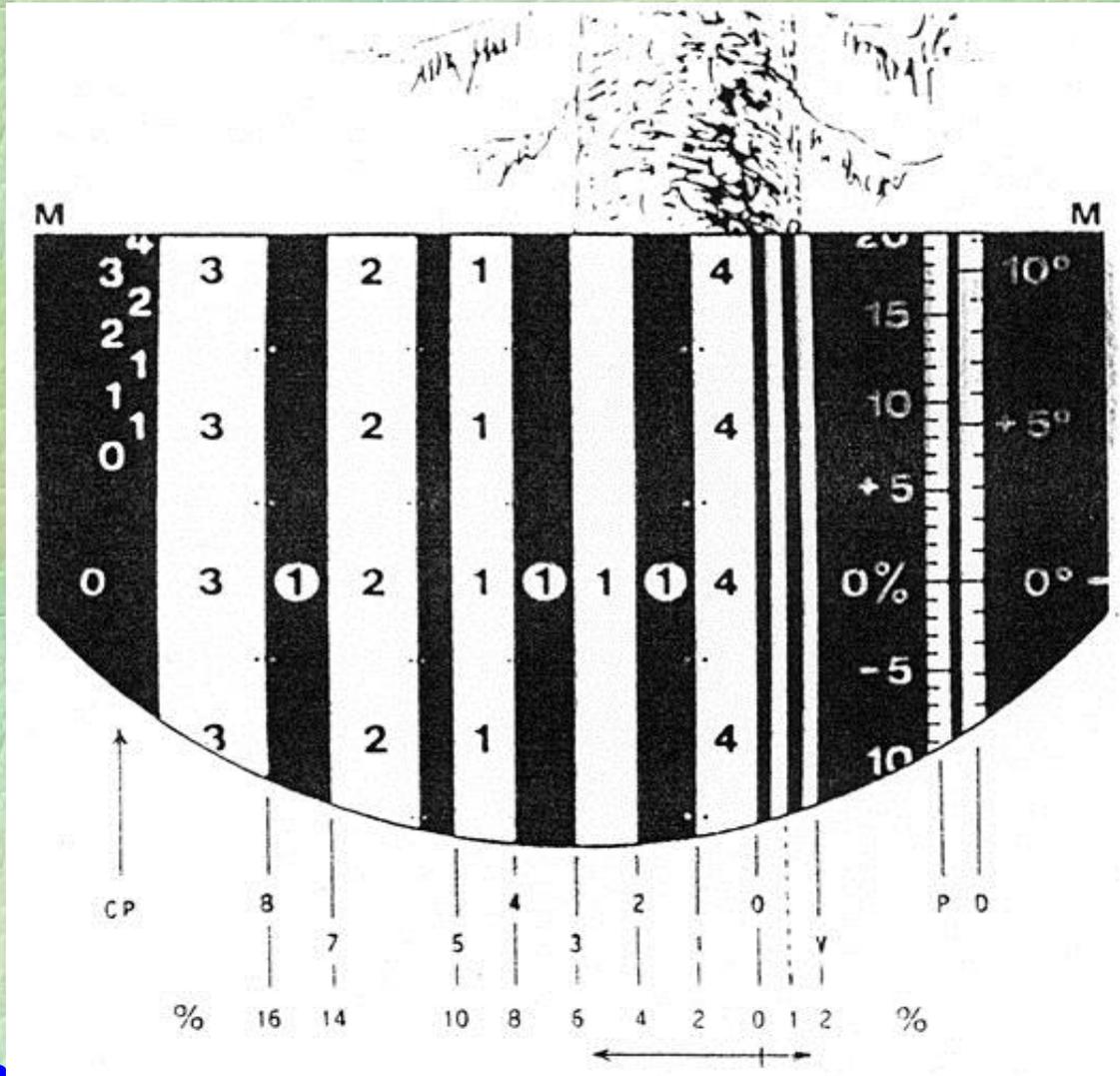


Bandas y escalas del Relascópio de Espejo





Bandas y escalas del Relascópio CP





mediciones clásicas

Medición B: determinación del área basal en metros cuadrados por hectárea \Rightarrow prueba de numeración angular (PNA) o parcela de área variable

El número de árboles contados en una PNA corresponde al área basal en metros cuadrados por hectárea

El ángulo de enfoque constante de la banda 1= ángulo crítico de la banda, que corresponde a la relación $R = 1:50$ para la banda 1, consecuentemente $1:50/\sqrt{2} = 1:35,35$ para la banda 2 y para la banda 4 será $1:50/\sqrt{4} = 1:25$

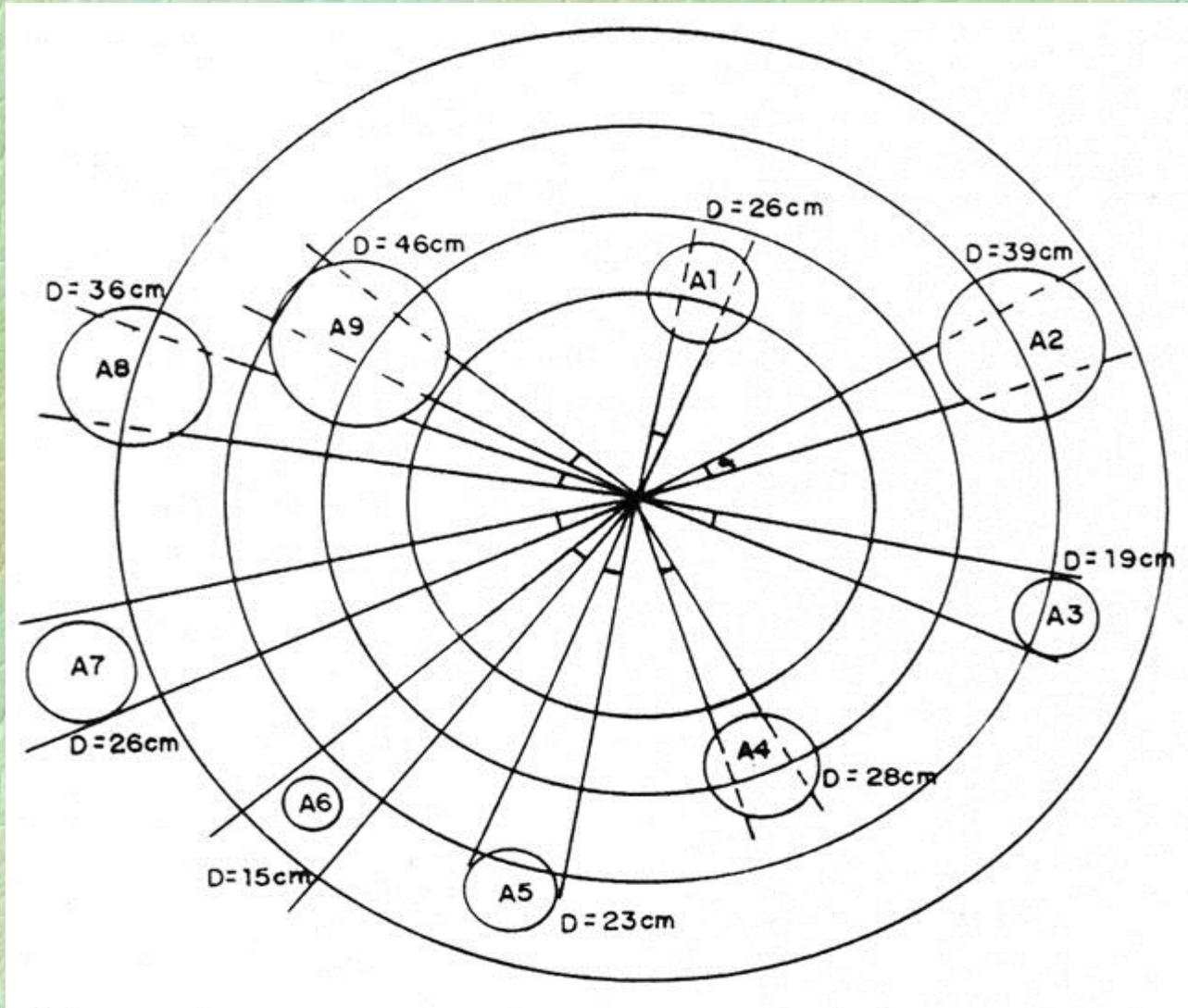


Número de puntos por estación (foresta) en la prueba de numeración angular (PNA)

área del bosque	puntos por ha
4	4,0
4 - 8	3,8
8 - 16	3,5
16 - 32	3,1
32 - 64	2,6
64	2,0

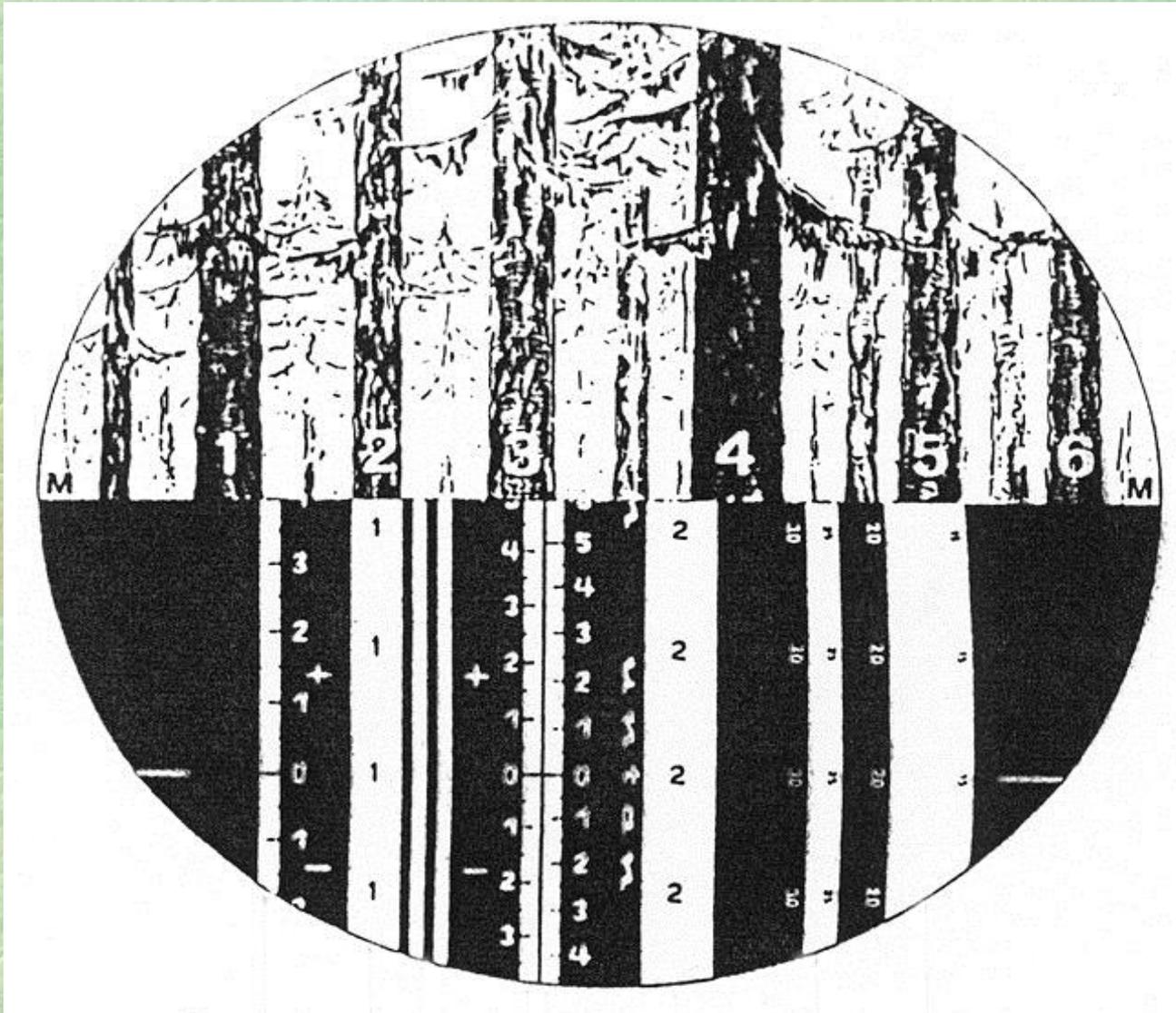


Parcela de área variable Parcela de numeración angular





Árboles en el proceso de medición





Número de árboles por hectárea

$$n_i = k / g_i$$

$$N / ha = k \left(\frac{1}{g_1} + \frac{1}{g_2} + \dots + \frac{1}{g_n} \right)$$



Determinación de áreas transversales en niveles superiores al DAP

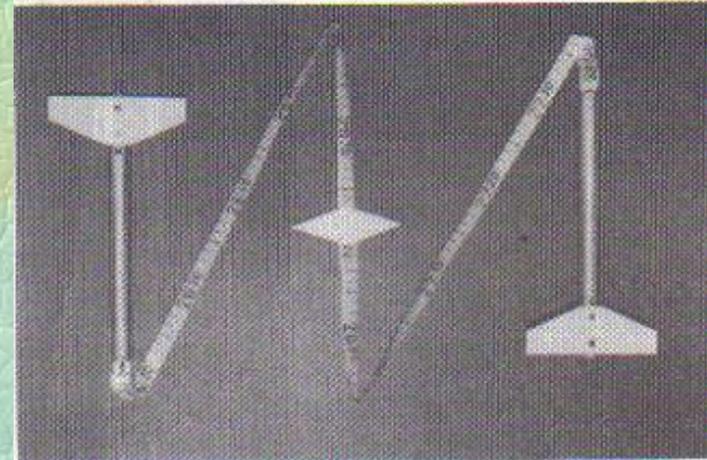
en la práctica generalmente es usada una regla graduada con una faja colorida en la altura que se pretende medir el área transversal. A ese punto de medida se lo denomina de **ponto de cobertura**

el ancho de la regla en la altura de 2,5 a 3 m debe ser igual al ancho de la banda 4

en el punto de cobertura el diámetro es igual al ancho de la banda 4



Medición de distancias



Utilizando la **base horizontal**: se debe usar la banda 4 donde existe una relación entre el ancho de la banda y la distancia radial. Cuando la banda 4 coincide exactamente con el objeto la distancia horizontal será 25 veces ese ancho.

Utilizando la **base vertical de 2 metros**: se debe fijar la base vertical en el árbol. En un punto próximo a la distancia procurada proceder con la fijación de la línea de visión. Girar el instrumento en 90° y hacer coincidir el extremo inferior de la base vertical con la palabra *untén*, el extremo superior de la base deberá coincidir con la distancia requerida.

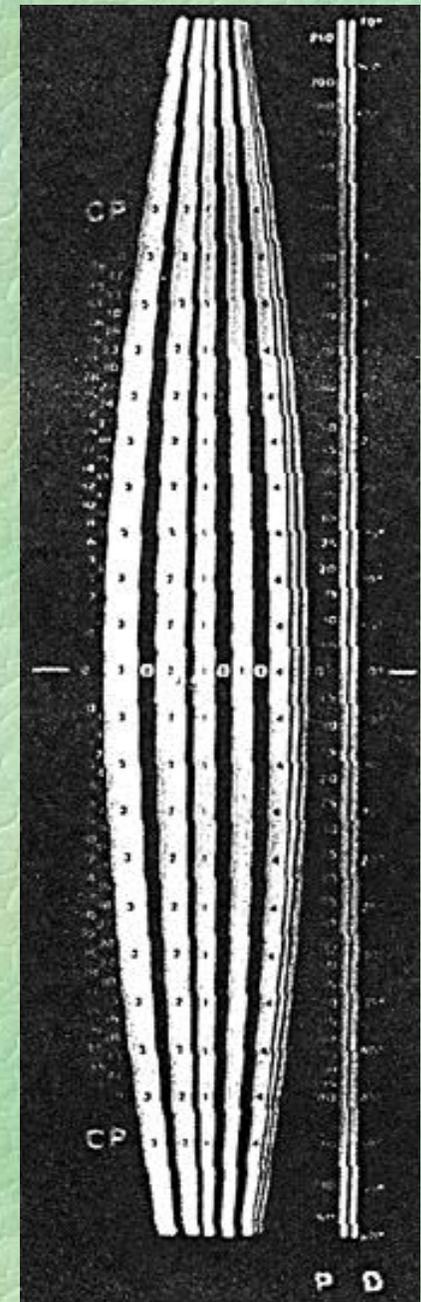
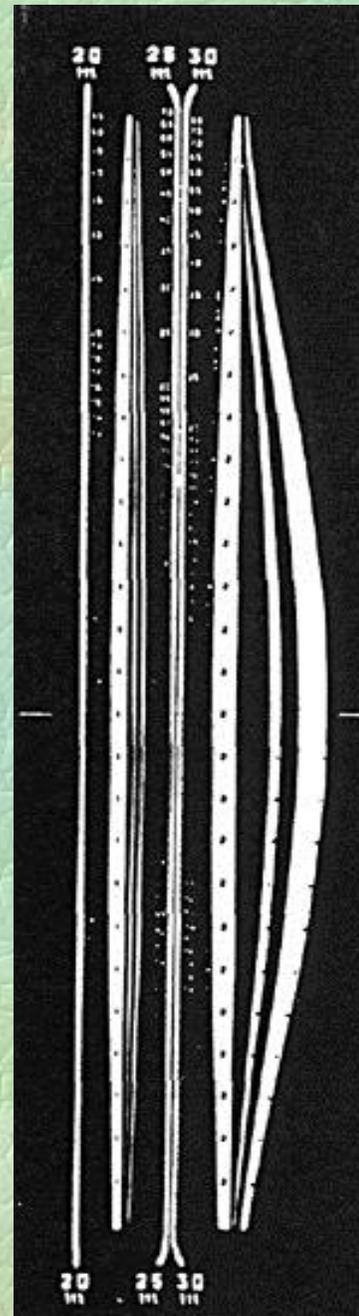


Medición de alturas a partir de distancias fijas

escalas de tangentes de 20, 25 y 30 metros

múltiplos de los valores de las escalas de tangentes

en el modelo CP a través de las escalas de porcentaje y de grados a partir de cualquier distancia horizontal



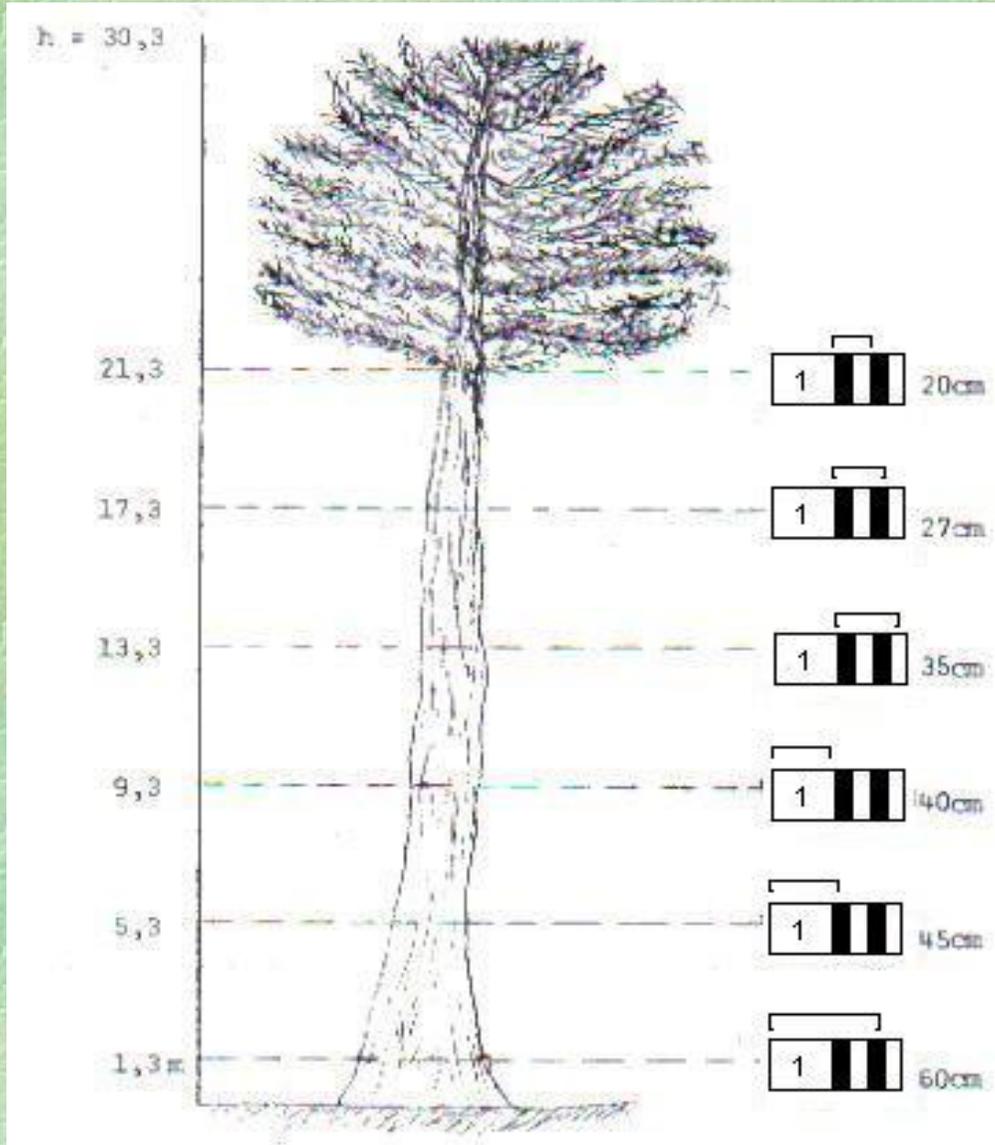


Medición de diámetros a niveles superiores al DAP

usando la banda 1 y las de
cuatro cuartos

dos bandas cuartas
corresponden a la proporción
de 1:1000

dos bandas cuartas representan
la distancia horizontal en cm





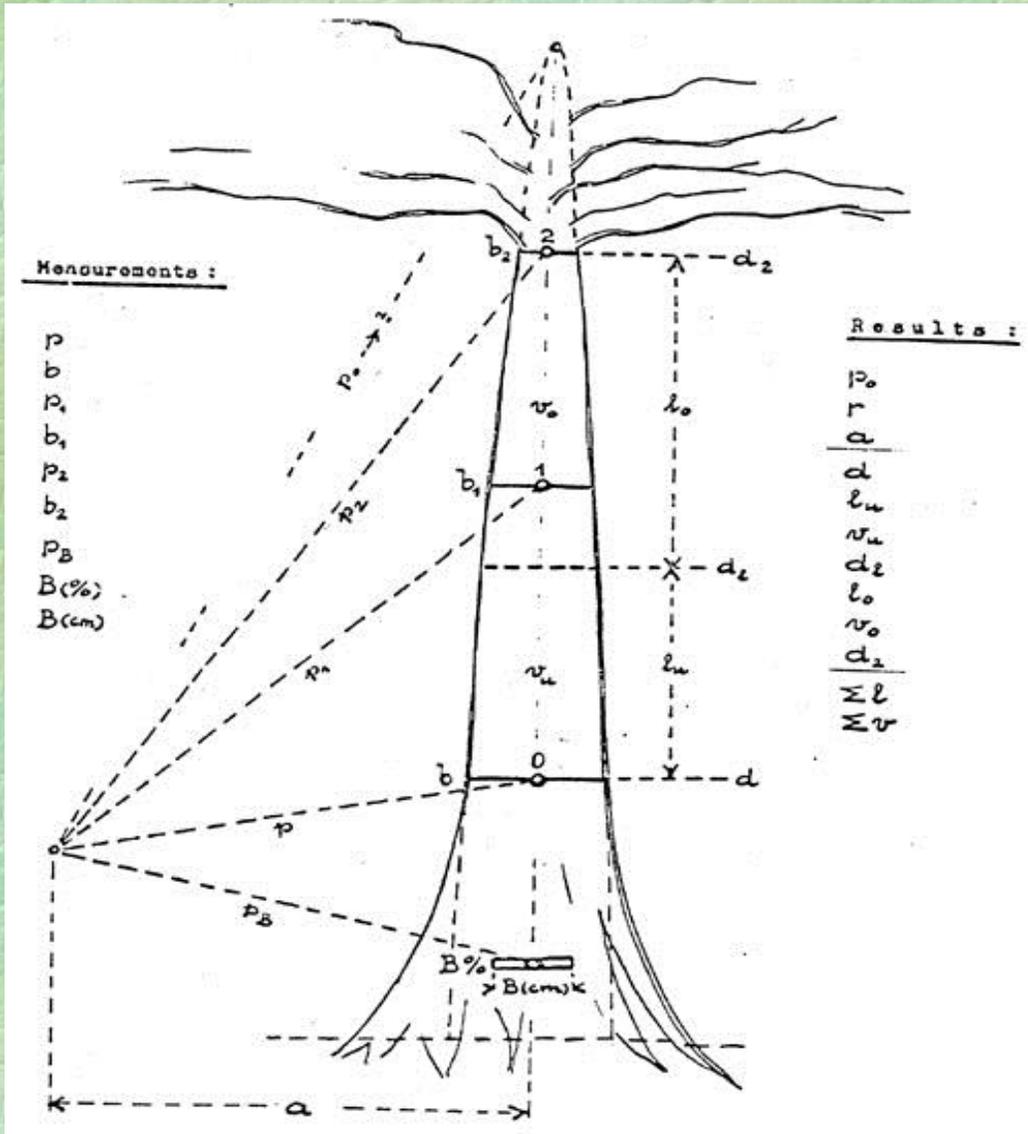
Medición de diámetros usando la banda 1 y las de los cuatro cuartos

dos bandas cuartas representan la distancia horizontal en cm

para una distancia horizontal de 20 metros el ancho total de la banda 1 será igual a 40 cm

la banda 1 + las 4 bandas cuartas = 80 cm; una banda cuarta será igual a 10 cm y mitad de una banda cuarta igual a 5 cm, y así sucesivamente

importante considerar que durante la realización de las lecturas el péndulo de las escalas siempre deberá estar suelto



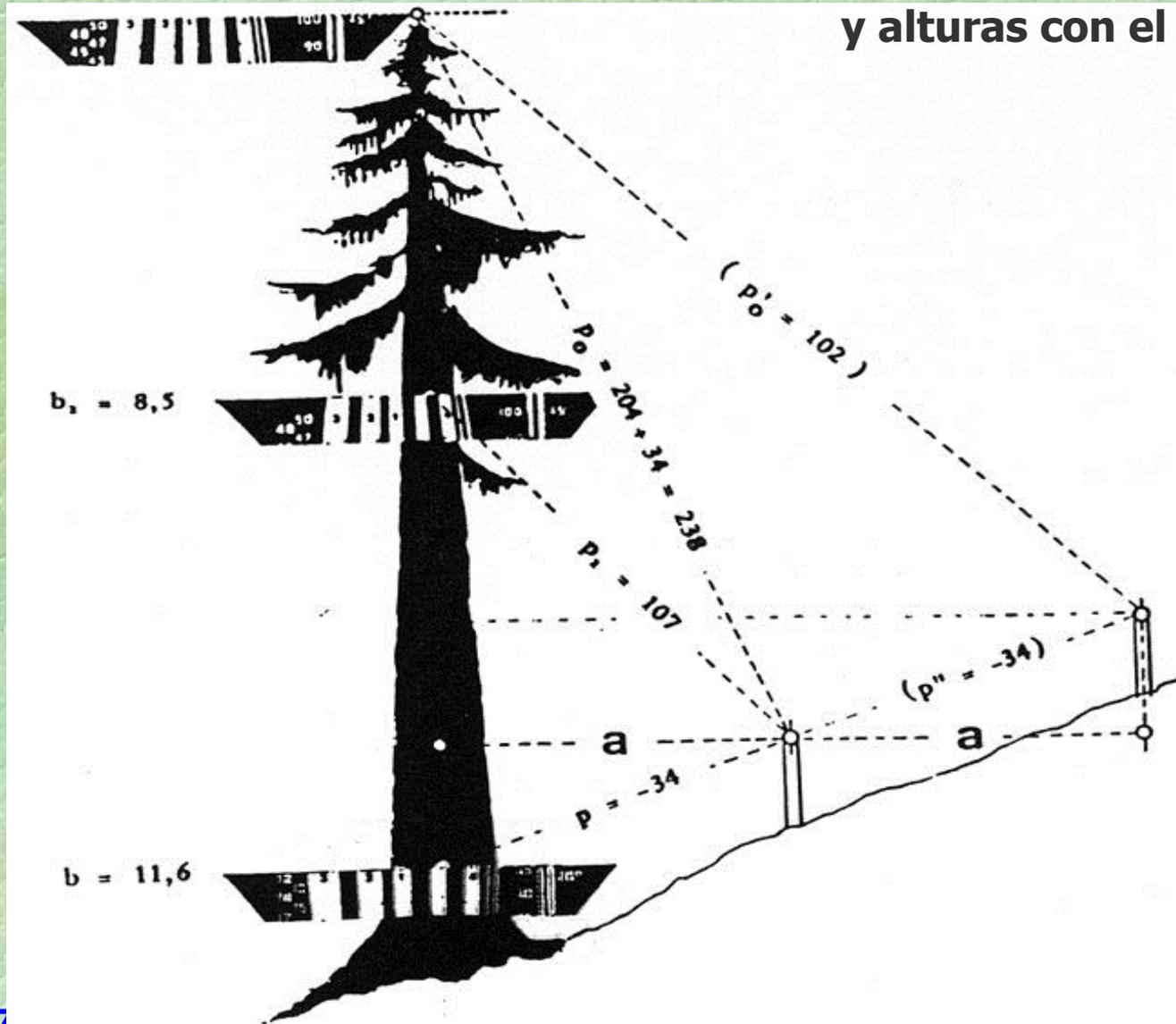
Medición combinada de diámetros y alturas

El seccionamiento del árbol es importante capítulo de la dendrometria y por ese motivo en el relascópio de espejo fue colocada la banda 1 + las dos de cuatro cuartos, entre las bandas de tangencia

es posible fraccionar el tronco en toretes de 1 metro de altura \Rightarrow cubado riguroso en pie



Medición de diámetros y alturas con el Relascópio CP





Medición de la altura formal relativa (fh/d)

Se debe utilizar la banda 1 + las cuatro bandas cuartas

Procedimiento: con el péndulo suelto enfocar el DAP de tal forma que quede cubierto exactamente por la banda 1 + las cuatro bandas cuartas. El punto de cobertura deberá ser leído en la escala de tangentes de 25 m

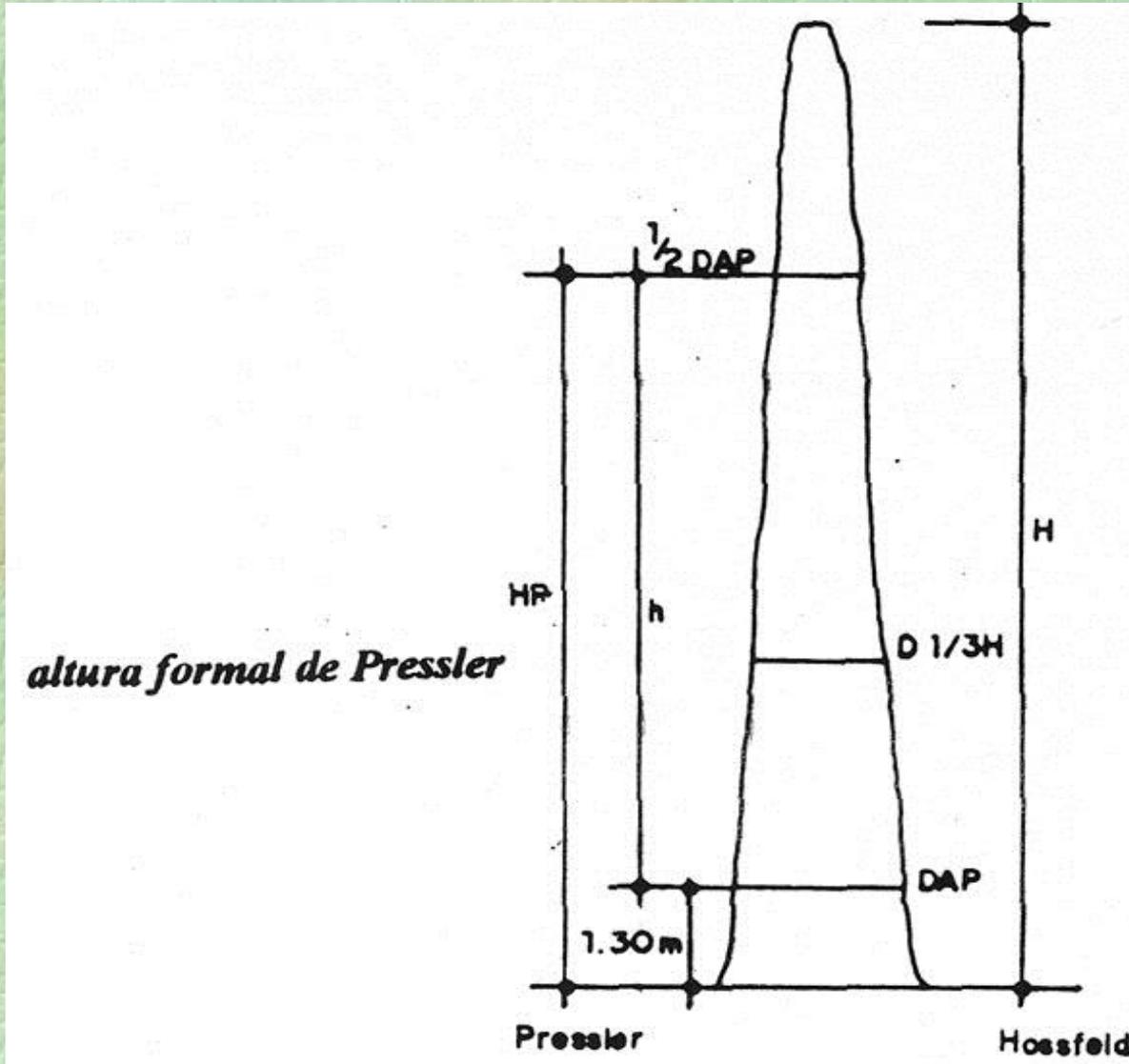
Seguidamente se levanta el instrumento con el péndulo suelto acompañando el tronco hasta que el diámetro sea igual a la banda 1 (mitad del valor del DAP). En ese punto se efectúa la lectura de la altura en la escala de 25 m

La suma de las lecturas de altura (altura medida) debe ser multiplicada por $2/3$ que proporcionará la altura formal relativa (fh/d) de Pressler

En el mismo procedimiento, si el DAP estuviese cubierto por la banda 1 + dos bandas cuartas, la altura medida deberá ser multiplicada por $8/9$. Si el DAP fuese cubierto apenas por la banda 1 la altura medida será multiplicada por $4/3$



Puntos de medida para determinar la altura de Pressler





Determinación de la altura formal absoluta (fh)

la altura formal absoluta es obtenida multiplicando la altura formal relativa (fh/d) por su diámetro correspondiente (d)

$$fh/d = 32 \quad \text{e} \quad d = 30 \text{ cm}$$

$$fh = 32 \times 30 = 960 \text{ cm} = 9,60 \text{ m}$$



Determinación del factor de forma (f)

se efectúa dividiendo la altura formal absoluta (fh) por la altura total (h) correspondiente, o

dividiendo la altura formal relativa (fh/d) por la altura relativa (f/d)

$$+29 - (-7) = 36; 36 \times 2/3 = 24 \text{ (fh/d)}$$

$$\text{lectura en el ápice} = +43; 43 - (-7) = 50 \text{ (f/d)}$$

$$\mathbf{f = 24 / 50 = 0,48}$$



Determinación del volumen en pie

$$v = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot fh = \frac{\pi \cdot d^3}{4} \cdot \frac{fh}{d}$$

ejemplo: DAP = 30 cm y fh/d = 36

$$v = 27.000 \times 0,785 \times 36 = 763,020 = 0,763 \text{ m}^3$$



Medición de la declividad (%)

se efectúa multiplicando la lectura de la escala de tangentes de 20 m por 5, para obtener la declividad en porcentaje

la lectura de la escala de tangentes de 25 m será multiplicada por 4, y de la escala de tangentes de 30 m por $10/3$



Aplicaciones relascópicas

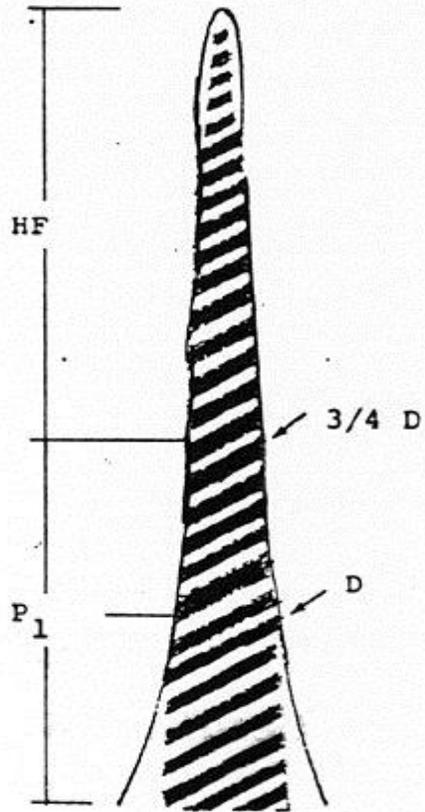


Figura 2 - Método do Diâmetro Reduzido (M.D.R.)

HF = Altura final

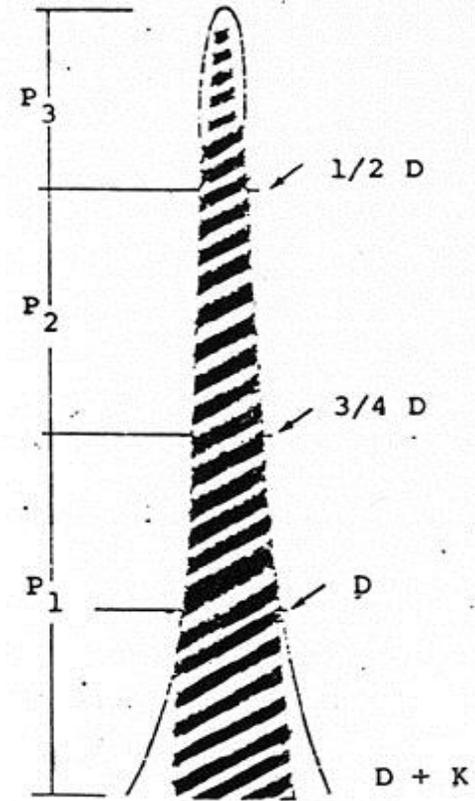
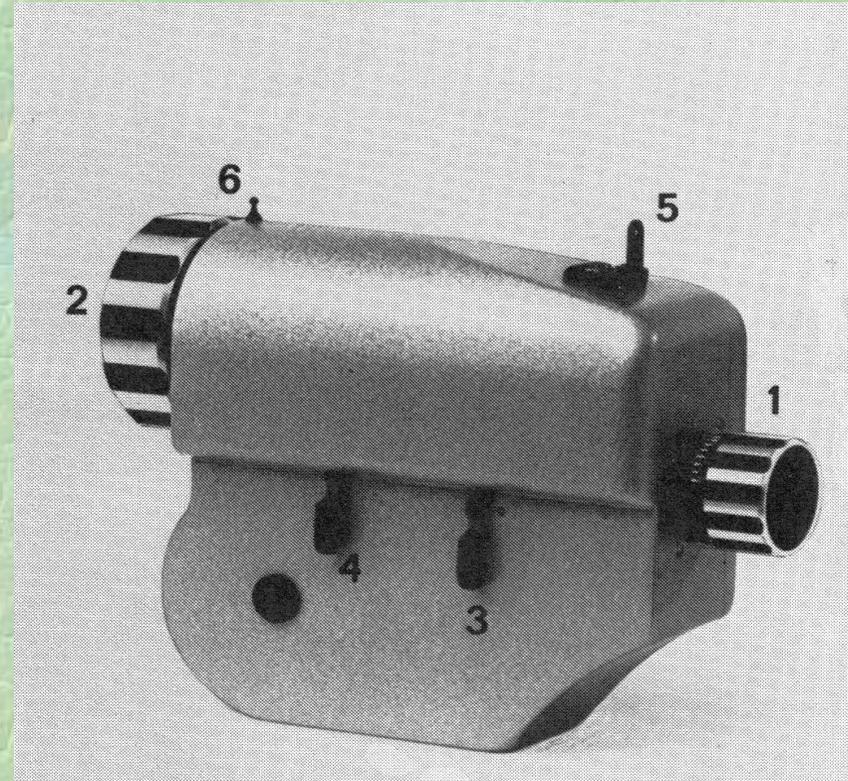
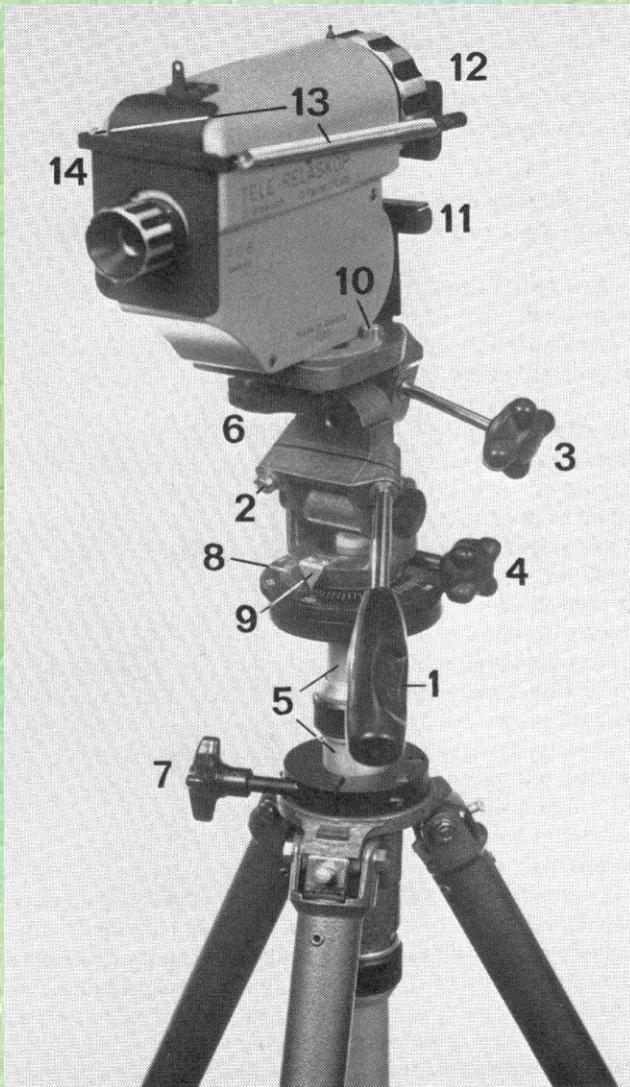


Figura 3 - Método dos Três Pontos

K = Dilatação da base.



Telerelascópio





Forcípulas digitales



Instrumentos dendrométricos de última generación



Dendrómetro electrónico Criterion RD 1000



Alcance de Medição:

- ✚ Diâmetro: 5 cm a 254 cm
- ✚ Factor área basal: 0.2 a 39.0 m² / ha
- ✚ Inclinação: Aproximadamente 90°

Precisão:

- ✚ Diâmetro: 6 mm até 24 m (Dependente da distância)
- ✚ Inclinação: Típica de aproximadamente +/- 0.1°

Modos de Operação:

- ✚ SYSTEM: Configura os parâmetros de operação
- ✚ BAF: Determina as árvores “dentro” e “fora” da parcela de amostragem
- ✚ IN/OUT: Determina se uma “árvore x” de bordadura será amostrada
- ✚ DIAMETER: Mede o diâmetro e a altura associada a qualquer nível do tronco
- ✚ HT/DIAM: Calcula a altura à qual um diâmetro específico é alcançado

Instrumentos dendrométricos de última geração



Hipsômetro Vertex



Instrumentos dendrométricos de última geração



Dendrómetro Vertex laser



Instrumentos dendrométricos de última generación



Hipsômetro TruPulse



Instrumentos dendrométricos de última geração