



Dasometría y Medición de Sombra

Rolando Cerda; Hernán J. Andrade

Dasometría

Definición: ciencia que se ocupa de la medición y estimación de las dimensiones de árboles y bosques, de su crecimiento y de sus productos.

Objetivo: medir y estimar variables, además de servir de instrumento para generar la información necesaria para el manejo del recurso de interés.

Se requiere conocimientos básicos de álgebra y trigonometría para su aplicación

Dasometría

Objeto de estudio

En la Agroforestería: las dimensiones y productos de las especies leñosas perennes, especialmente árboles, presentes en sistemas agroforestales.

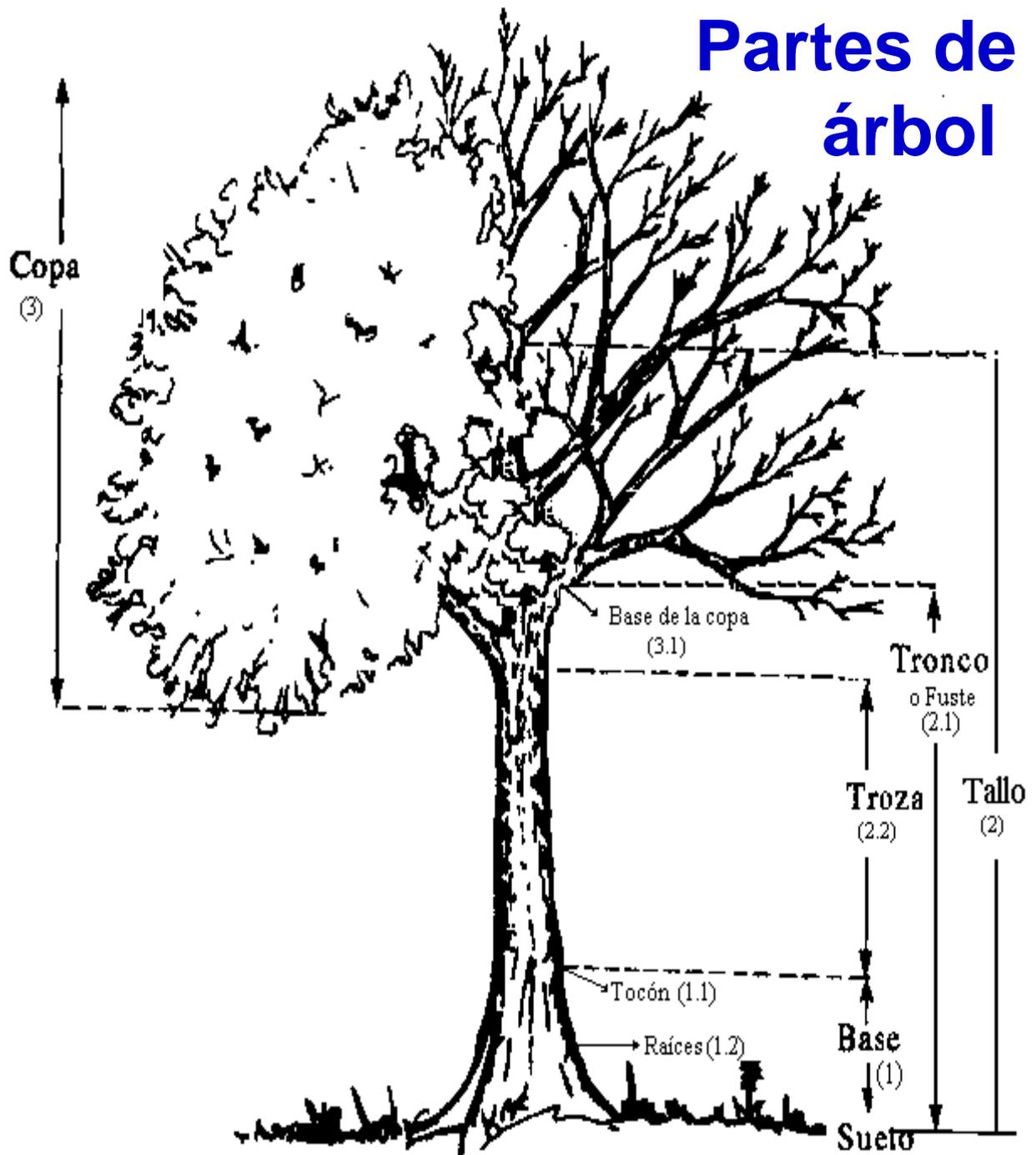
Es necesario conocer bien las partes de un árbol para la aplicación de procedimientos dasométricos.



Copa

Fuste = altura comercial

Partes de un árbol



¿Qué podríamos medir/estimar en árboles?

- Diámetro a la altura del pecho
- Área basal
- Altura total, comercial y de copa
- Volumen total y comercial de madera
- Biomasa arriba del suelo
- Biomasa de raíces
- Carbono en biomasa

Resumen de las principales variables dendrométricas

PARTE DEL ÁRBOL	ATRIBUTO	SIMBOLOGÍA (IUFRO ¹)	UNIDAD DE MEDIDA (sistema métrico decimal)	INSTRUMENTO / MÉTODO DE MEDICIÓN
Fuste	Diámetro	d	cm	Cinta diamétrica
	Circunferencia o perímetro	c	cm	Cinta métrica
	Altura	h	m	Clinómetro
	Volumen	v	m ³	Modelos, tablas, factor de forma
	Área transversal	g	m ²	$g = \pi / 4.DAP^2$
	Área Basal	G	m ² árbol ⁻¹ ó m ² ha ⁻¹	$G = \sum g$
Copa	Biomasa	B	t o Mg	Modelos, tablas, factor de forma
	Diámetro	d	cm	Métodos Indirectos
	Altura	h	m	Clinómetro
	Biomasa	B	t o Mg	Modelos, tablas, factor de forma

IUFRO (UNIÓN INTERNACIONAL DE ORGANIZACIONES DE INVESTIGACIÓN FORESTAL). 1969. La normalización de los símbolos en Dasonometría. Doc.

Diámetro a la altura del pecho

- Diámetro o circunferencia – es una medida básica de cualquier árbol
- En árboles en pie, la altura de medición del diámetro es 1,3 m desde el nivel del suelo, denominada “diámetro a la altura del pecho” = *DAP*, o “circunferencia a la altura del pecho” = *CAP*
- Existe una relación matemática entre estas dos variables.

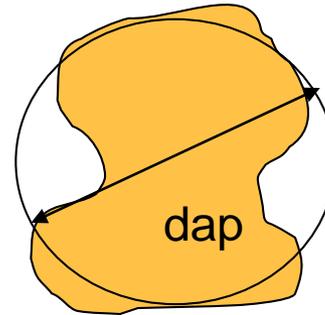
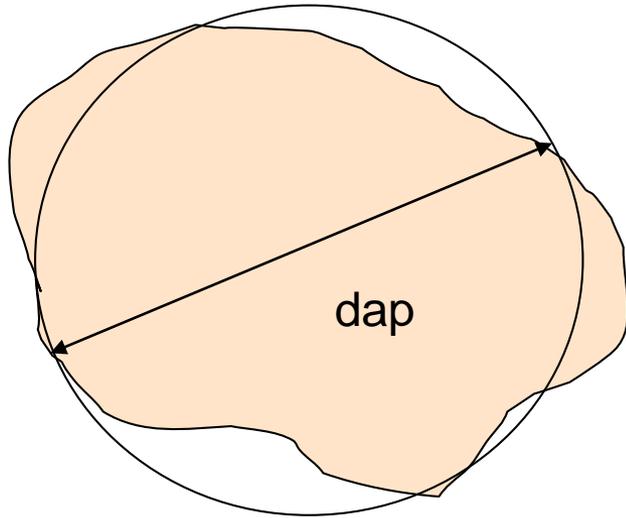


Cinta métrica



Cinta diamétrica

Estimación del dap



Uso de cinta
métrica o
diamétrica

El dap es el diámetro del círculo que se aproxima a la forma de la figura transversal del tronco de un árbol

$$dap = \frac{C}{\pi}$$

dap: Diámetro a la altura del pecho (cm)

C: Circunferencia (cm)

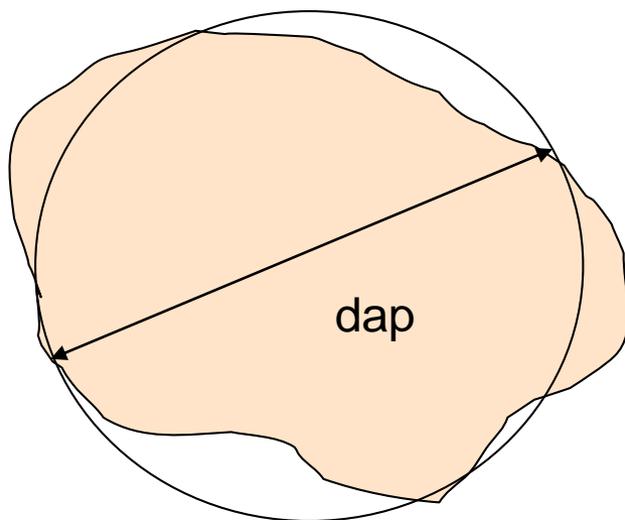
Uso de forcípula



$$dap = \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right)$$

- Se deben realizar al menos dos mediciones de diámetros
- Cuando se hacen dos se recomienda que las mediciones sean transversales

Estimación del área basal



Área basal es una aproximación del área de la sección transversal de un árbol. Se deduce de la ecuación del círculo.

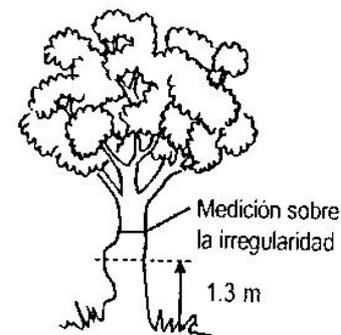
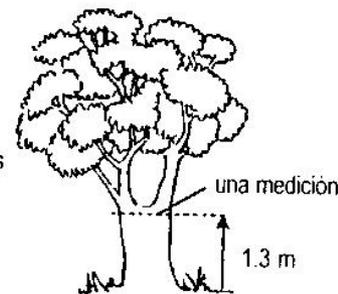
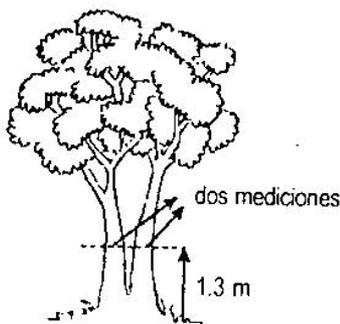
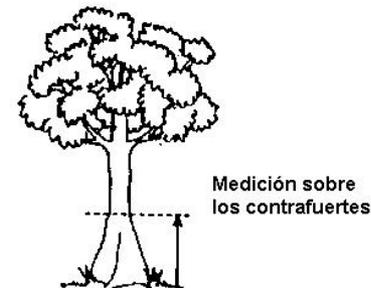
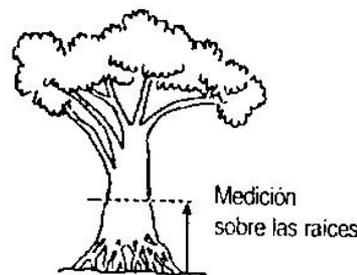
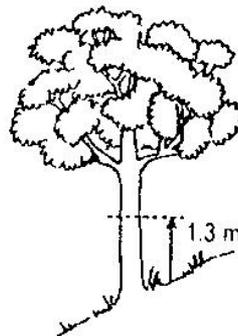
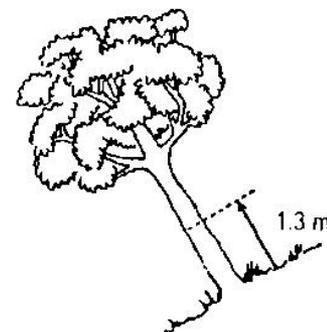
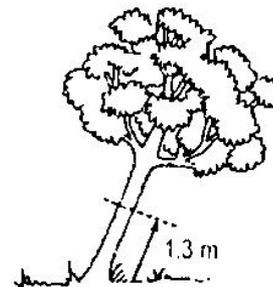
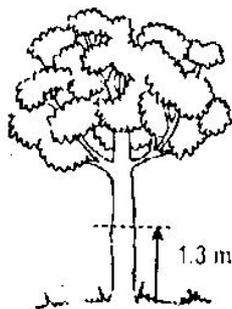
$$g = \frac{\pi}{4} \times dap^2$$

g: Área basal (m² árbol⁻¹)
dap: Diámetro a la altura del pecho (m)
G: Área basal de un rodal (m² ha⁻¹)

$$G = \sum g$$

Algunos casos especiales:

Medición del dap en árboles atípicos



Un caso especial: árbol bifurcado abajo del dap



- ¿Y ahora qué hacemos con estos dos datos?
- ¿Cómo medimos el dap y área basal?
¡Sugerencias!?

Diámetro cuadrático medio (DCM)

DCM: es el dap que correspondería a un área resultante de la suma del área de los troncos medidos

$$DCM = \sqrt{\sum_{i=1}^n dap_i^2}$$

DCM: Diámetro cuadrático medio (m)

dap_i: Dap de cada uno de los troncos medidos (m)

Estimación de alturas

- Vara graduada
- Métodos trigonométricos (clinómetro e hipsómetro)
- Métodos geométricos (relación de triángulos)

Uso de vara telescópica

Pasos

1. Ubicar el árbol a medir
2. Ir sacando las partes de la vara graduada, iniciando desde la más interna (más delgada) a la más externa
3. Desplegar la vara hasta que llegue a la altura deseada
4. Leer directamente la altura en la vara
5. Anotar



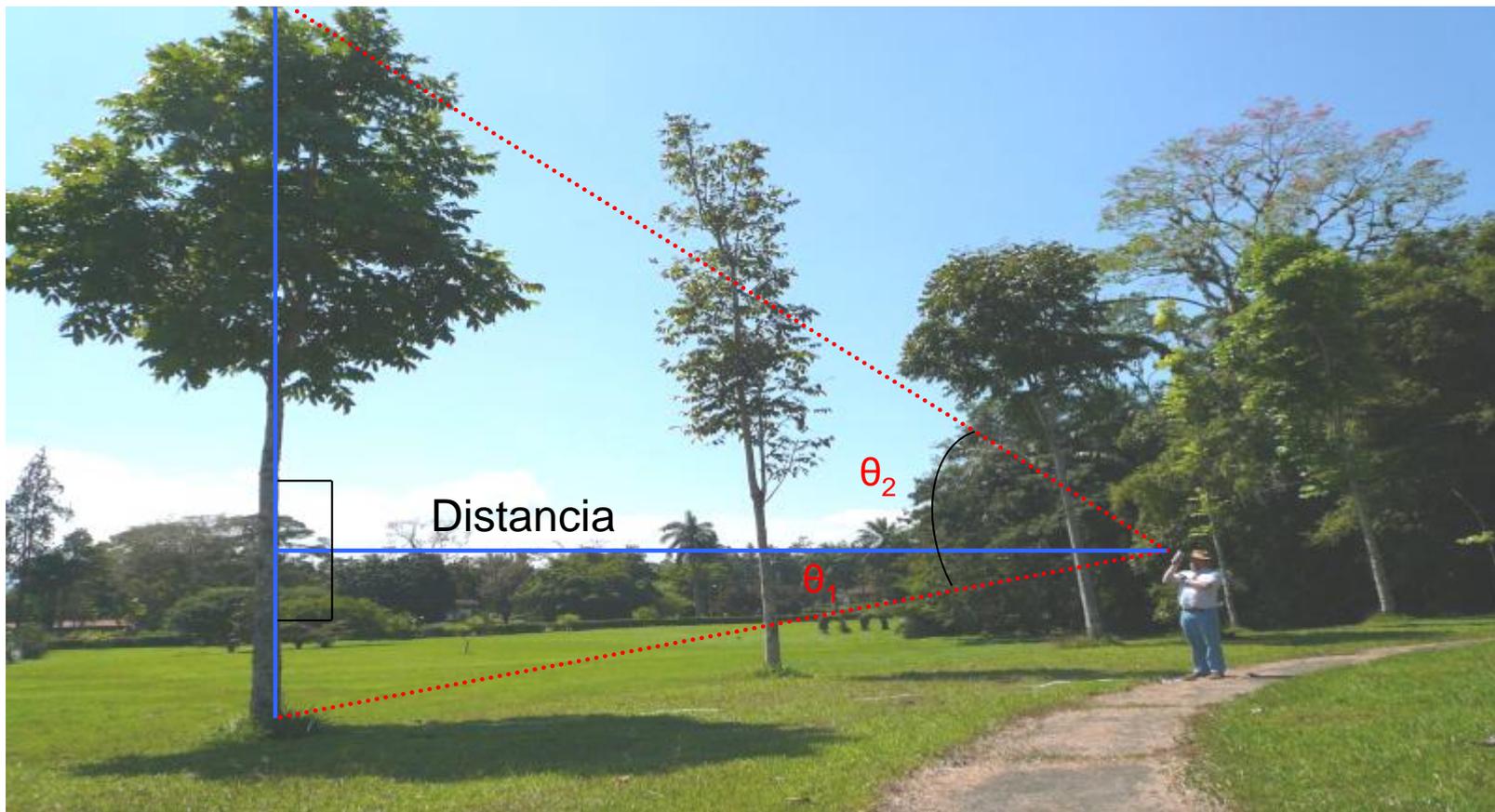
Clinómetro

- Instrumento para medir inclinaciones (pendientes)
- Usualmente mide % y ángulos



Estimación de alturas de leñosas perennes

Altura total: uso de clinómetro y cinta métrica

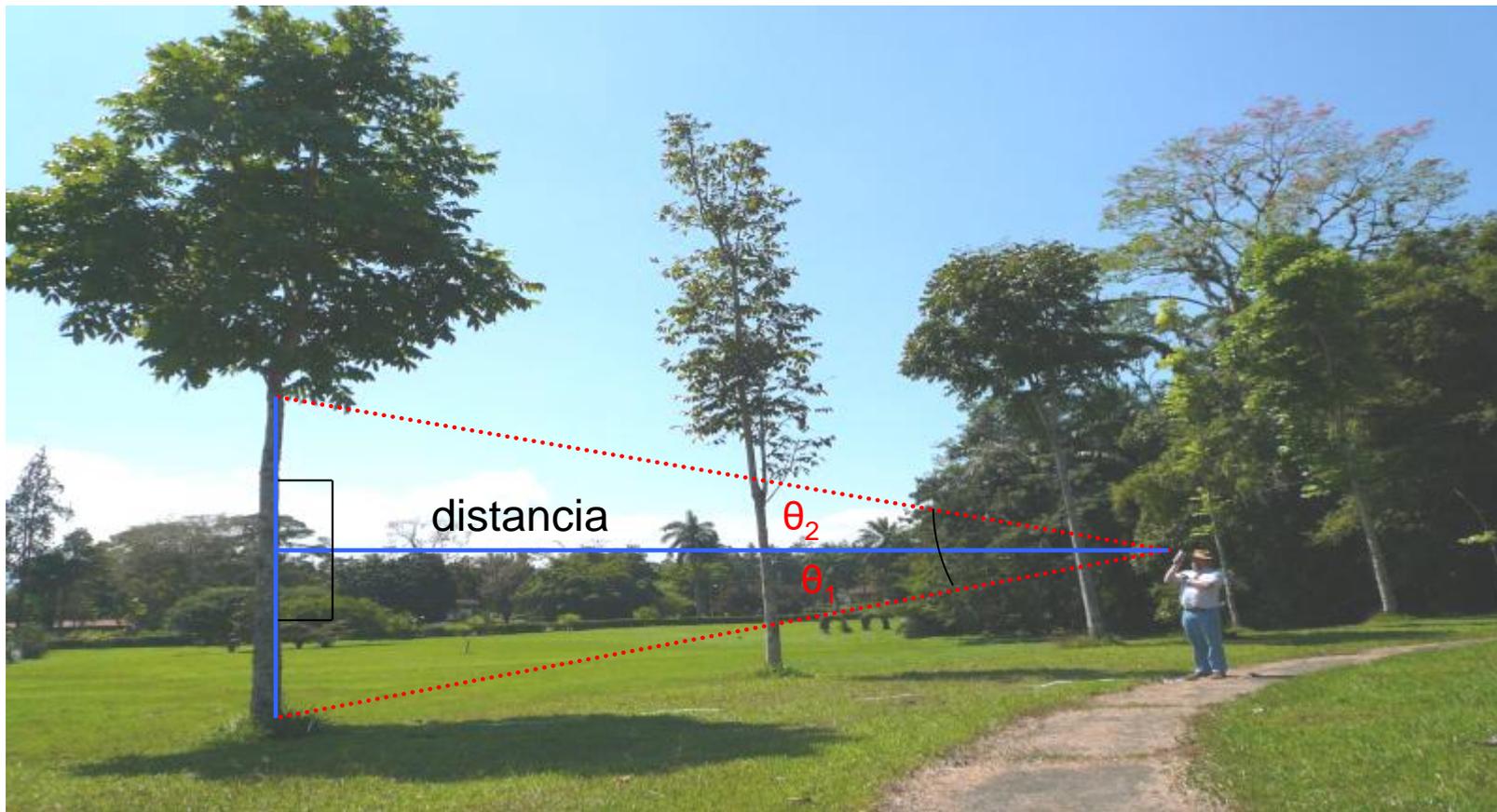


$$h = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{100} \times D$$

- h: Altura total (m)
- θ_1 : Pendiente a la base (%)
- θ_2 : Pendiente total (al ápice) (%)
- D: Distancia al árbol (m)

Estimación de alturas de leñosas perennes

Altura comercial: uso de clinómetro y cinta métrica



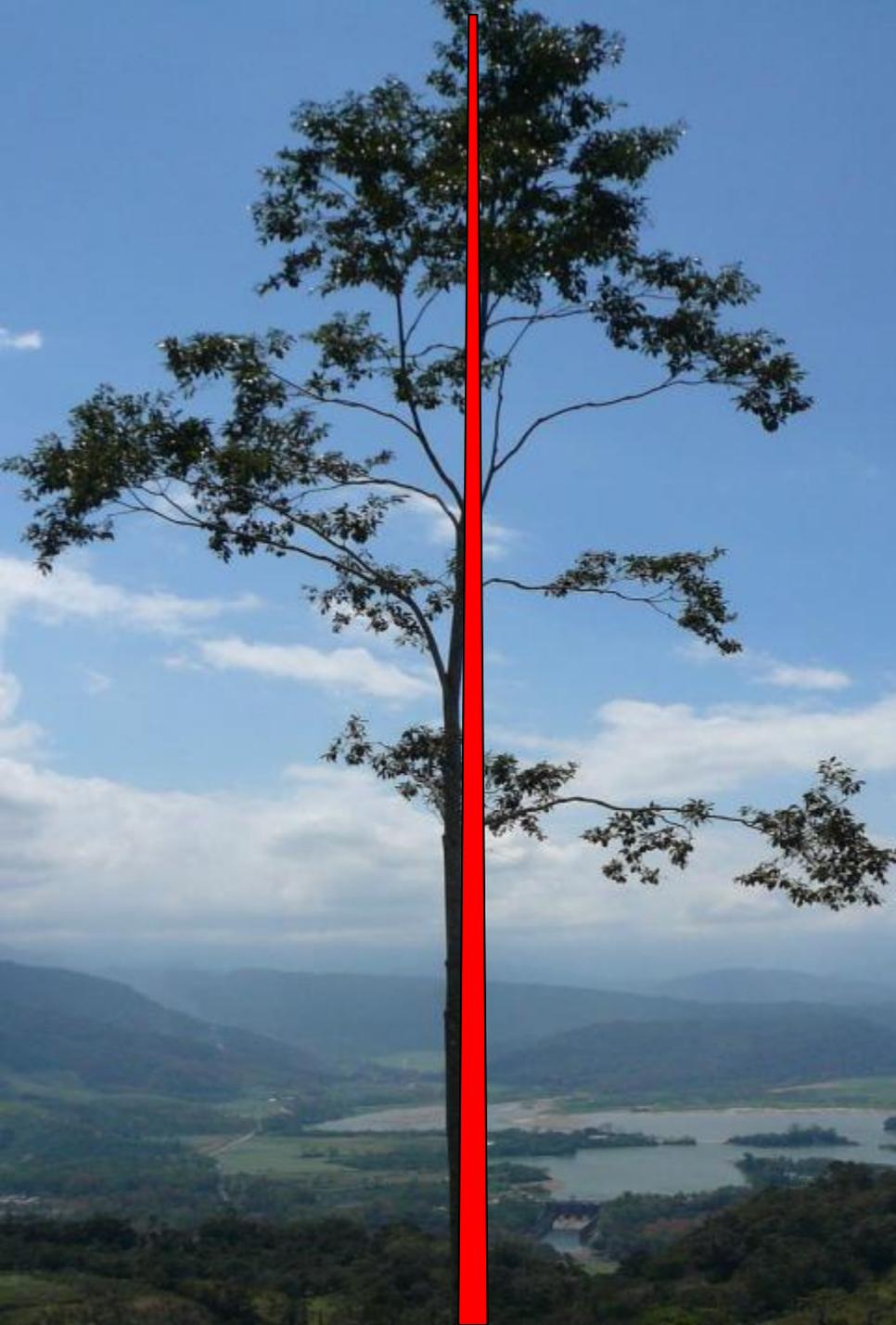
$$h = \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{100} x D$$

- h: Altura comercial (m)
 θ_1 : Pendiente a la base (%)
 θ_2 : Pendiente a la altura comercial (%)
D: Distancia (m)

¿Cómo estimar alturas en terrenos con alta pendiente?



¿ Propuestas de otro método?
Sugerencias!



Estimación del volumen de madera: uso de factores de forma

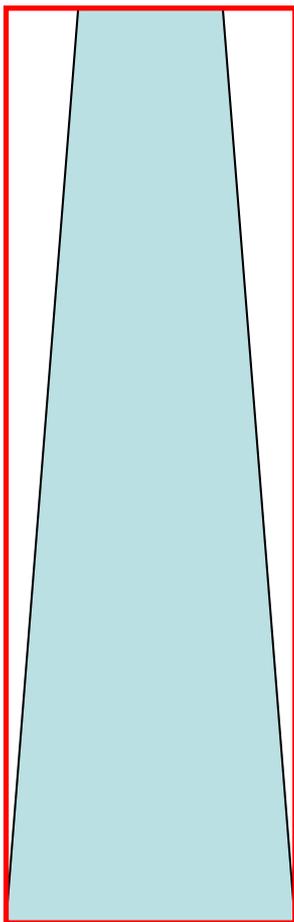
$$Vol = \frac{\Pi}{4} x dap^2 x h x f$$

Donde:

- f: factor de forma del árbol
- Vol: Volumen (m³)
- h: Altura (m)
- dap: Diámetro (m)

Se puede estimar el volumen total, volumen comercial ó el volumen hasta la altura deseada

Factor de forma



$$f = \frac{V_{madera(cono)}}{V_{cilindro}}$$

$$f = \frac{Vol}{\pi / 4 * dap^2 * h}$$

Donde;

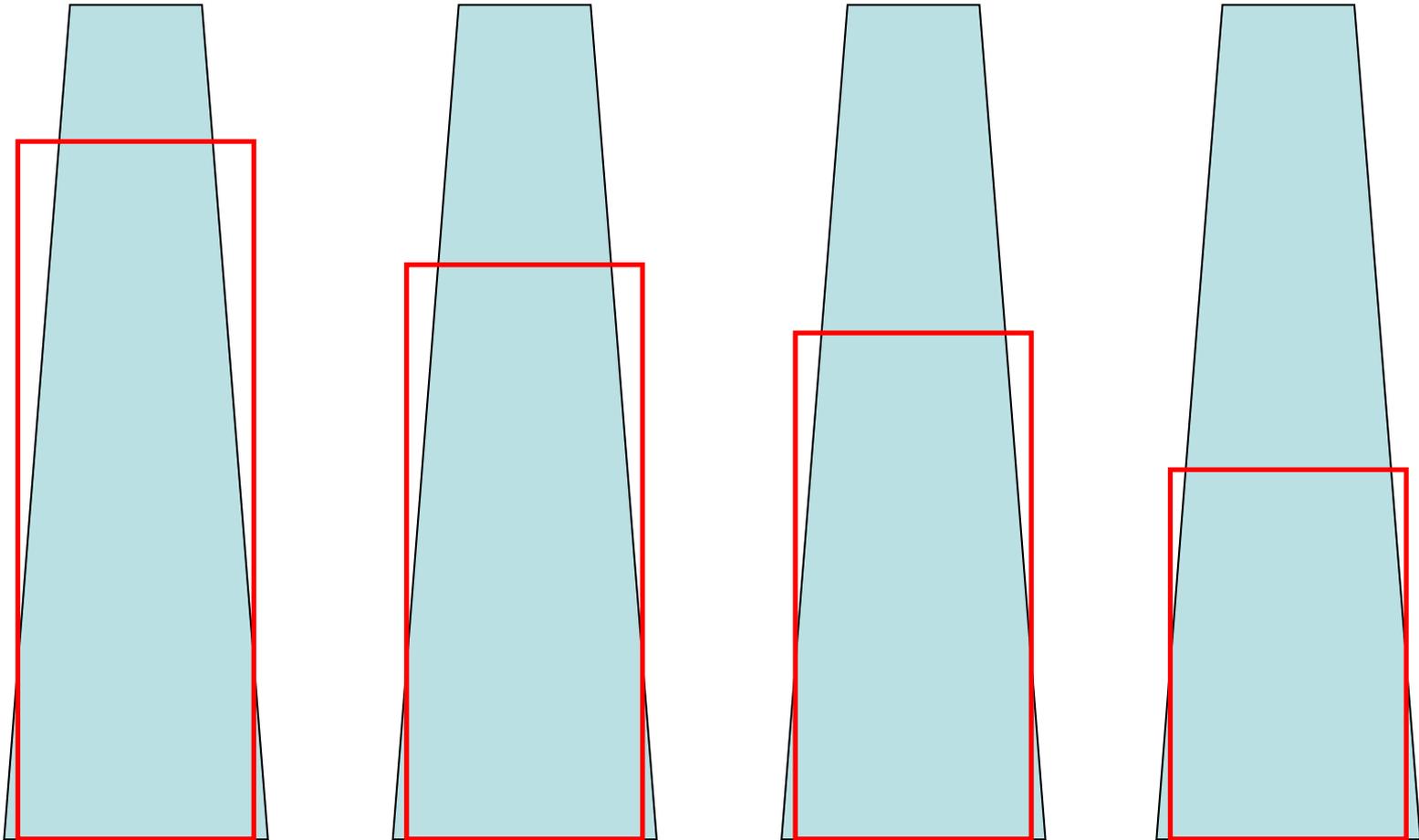
f: Factor de forma del árbol

Vol: Volumen de la troza (m³)

h: Altura total (m)

¿Los factores de forma para volumen total y volumen comercial serán iguales?

Factor de forma



¿Cambia el factor de forma al variar la altura comercial?, Cómo?

Ejemplo de tabla de volumen. Tabla de volumen total para *Cordia alliodora* con corteza ($m^3 \text{ árbol}^{-1}$)

Se busca las dimensiones del árbol a estimar en cada entrada (fila o columna) y el valor de la celda donde interceptan es el volumen total

Ejemplo:

Un árbol de 26 cm de dap y 20 m de altura tiene 0,451 m^3 de madera

Fuente: Somarriba y Beer (1987)

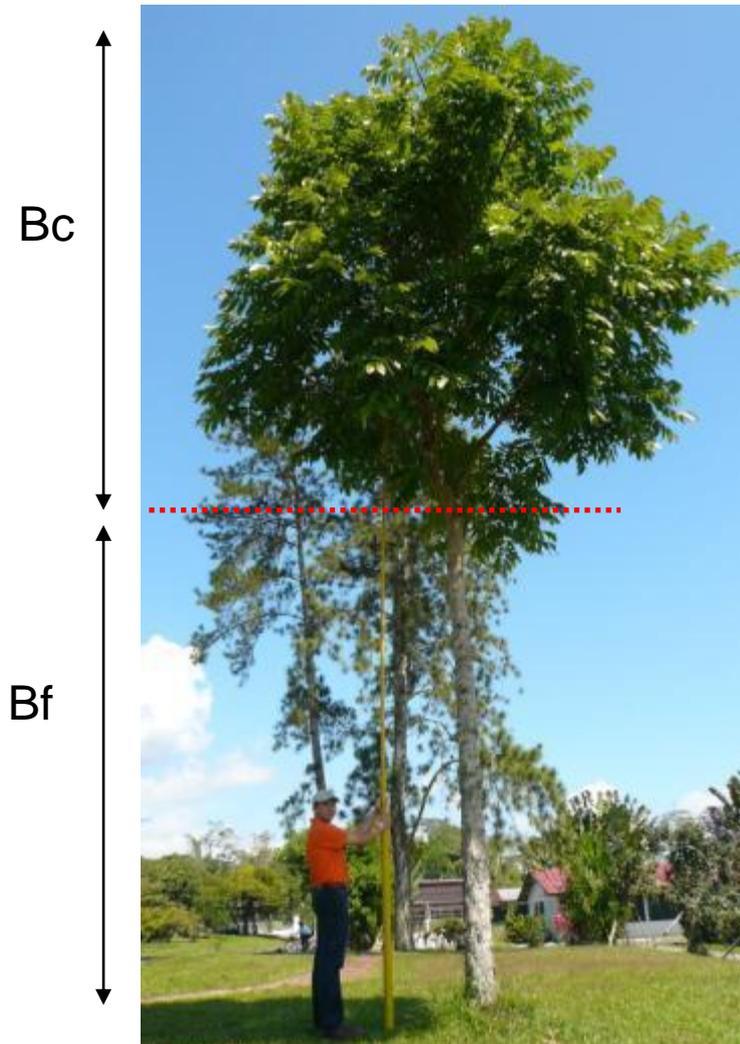
Altura (m)													
dap (cm)	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
10	0,041	0,055											
12	0,053	0,069	0,086										
14	0,066	0,086	0,106	0,126									
16	0,081	0,105	0,129	0,153	0,177	0,202							
18		0,127	0,156	0,185	0,213	0,242	0,271						
20			0,185	0,219	0,253	0,287	0,321	0,355					
22			0,218	0,258	0,297	0,337	0,377	0,416	0,456	496			
24				0,300	0,346	0,392	0,438	0,483	0,529	0,575	0,621	0,667	
26				0,346	0,398	0,451	0,504	0,556	0,609	0,662	0,715	0,767	0,820
28					0,455	0,515	0,575	0,635	0,695	0,755	0,815	0,875	0,935
30					0,516	0,584	0,652	0,720	0,788	0,856	0,924	0,992	1,060
32						0,658	0,734	0,810	0,887	0,963	1,040	1,116	1,192
34							0,822	0,907	0,992	1,078	1,163	1,248	1,333
36								1,009	1,104	1,199	1,294	1,388	1,483
38									1,122	1,327	1,432	1,537	1,642
40										1,462	1,578	1,693	1,809
42										1,604	1,731	1,857	1,984
44											1,891	2,030	2,168
46											2,059	2,210	2,361
48												2,398	2,562
50													2,772

$$\text{Volumen total (m}^3\text{)} = - 0,017615 + 0,000034 (d^2h) - 0,000086 (d^2) + 0,003358 (h)$$

Donde: d = dap (cm); h = altura (m)

Estimación de biomasa:

uso de factor de expansión de biomasa (FEB)



$$B_t = V_f \times DM \times FEB$$

$$FEB = \frac{B_t}{B_f}$$

$$B_t = B_f + B_c$$

Donde;

Bt: Biomasa total arriba del suelo (t)

Vf: Volumen del fuste (m³)

DM: Densidad de la madera (t m⁻³)

FEB: Factor de expansión de biomasa

Bf: Biomasa de fuste

Bc: Biomasa de copa

Modelos de biomasa: ejemplos de modelos alométricos

País	Especie	Modelo	R ² - ajustado	Fuente
Sistemas silvopastoriles				
Costa Rica				
	<i>Acacia mangium</i>	$B = 3,4 + 0,064*dap^2 + 1,0*h$	0,99	Andrade 1999
	<i>Eucalyptus deglupta</i>	$B = 4,2 + 0,052*dap^2 + 1,1*h$	0,99	Andrade 1999
	<i>Pithecellobium saman</i> , <i>Dalbergia retusa</i> y <i>Diphysa robinoides</i>	$B = 10^{-1,54 + 2,05 \text{ Log (dcm)} + 1,18 \text{ Log (h)}}$	0,92	Andrade 2007
Plantación pura				
Costa Rica				
	<i>Tectona grandis</i>	$B = 10^{-0,82 + 2,38*\text{Log}(dap)}$	0,97	Pérez y Kanninen 2003
Sistemas agroforestales				
Costa Rica				
	Frutales	$B = 10^{-1,11 + 2,64*\text{Log}(dap)}$	0,95	Andrade <i>et al.</i> en preparación.
	<i>Theobroma cacao</i>	$B = 10^{-1,625 + 2,63*\text{Log}(d_{30})}$	0,98	
	<i>Cordia alliodora</i>	$B = 10^{-0,51 + 2,08*\text{Log}(dap)}$	0,92	
	Latizales (dap < 10 cm)	$B = 10^{-1,27 + 2,20*\text{Log}(dap)}$	0,88	
Nicaragua				
	<i>Coffea arabica</i>	$B = 10^{-1,0 + 2*\text{Log}(d_{15}) + 0,54*\text{Log}(h)}$	0,95	Segura et al. 2006
	<i>Inga punctata</i> , <i>I.</i> <i>tonduzzi</i> , <i>Cordia</i> <i>alliodora</i> , <i>Juglans</i> <i>olanchana</i>	$B = 10^{-1,2 + 2,1*\text{Log}(d_{15})}$	0,94	
		$B = 10^{-1,0 + 2,3*\text{Log}(dap)}$	0,94	
Bosque				
Costa Rica				
	Siete especies	$B = e^{-7,3 + 2,1*\text{Ln}(dap)} * 1000$	0,71	Segura y Kanninen 2005

Áreas de copas

1. Medición de áreas de copa:

A mayor número de diámetros medidos menor el error de la estimación

$$D_c = \frac{\sum_{i=1}^n D_{ci}}{n}$$

$$A_c = \frac{\pi}{4} D_c^2$$

- D_c: Diámetro de copa promedio (m)
 D_{ci}: Diámetros de copa medidos (m)
 A_c: Área de copa (m²)

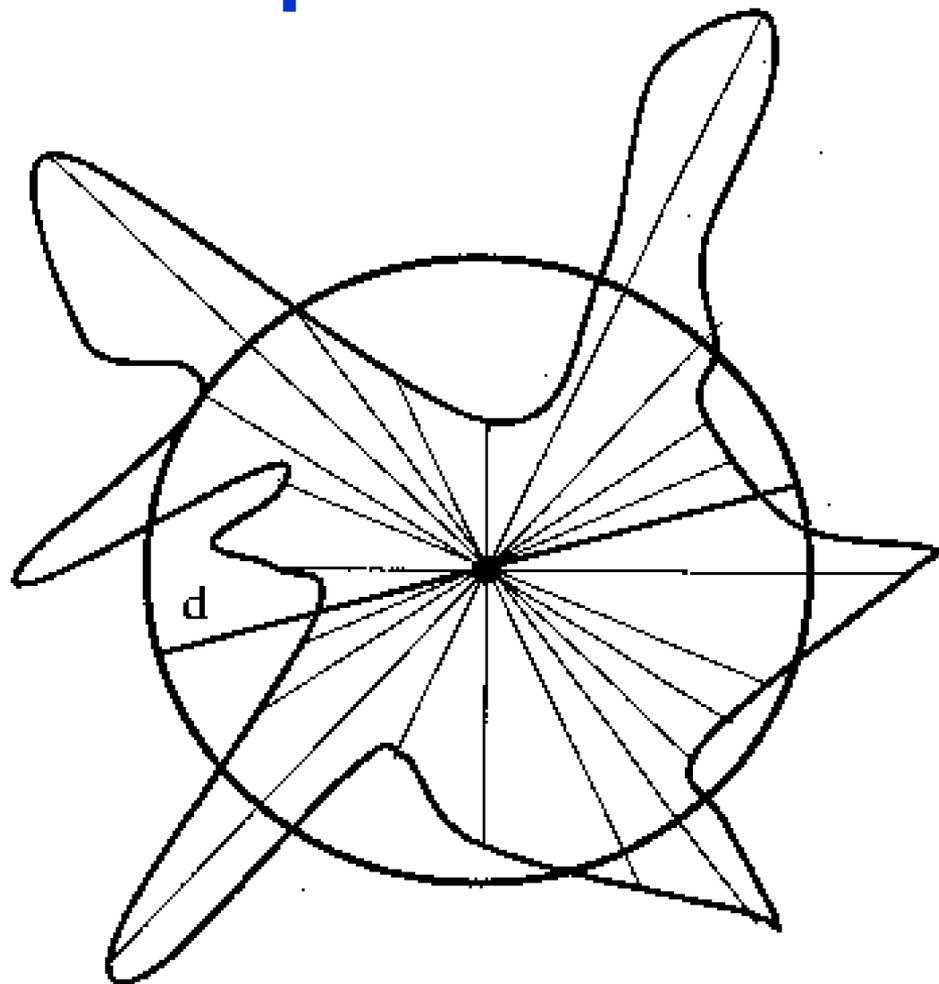


Figura 2. Error de estimación del área de copa usando un número variable de ejes de medición para estimar diámetro promedio de la copa (d)

Área de copa

- ¿Cómo estimar el área de copa de este árbol?



Estimación de biomasa de raíces

Cuadro 3. Modelos alométricos para la estimación de biomasa de raíces.

Tipo de especie	Variable a estimar	Modelo
De madera suave	Biomasa de raíces	$BR = 0.231 (BA)$
De madera dura	Biomasa de raíces	$BR = e^{0.359} BA^{0.639}$
Todas	Proporción de raíces finas	$Pf = e^{1.007} BR^{-0.841} *$

BR: Biomasa de raíces ($Mg\ ha^{-1}$); BA: Biomasa sobre el suelo ($Mg\ ha^{-1}$); Pf: Proporción de raíces finas (máximo 0.9); y FRB es la biomasa de raíces finas ($Mg\ ha^{-1}$). Fuente: Kurz *et al.* 1996.

¿Preguntas?

Ejercicios!!!

ESTIMACIÓN DE SOMBRA

Veremos tres métodos:

- Densiómetro de punto
- Densiómetro esférico
- Estimación visual

Importante: estos tres métodos miden el % de cobertura que es igual al % de sombra si el sol estuviese directamente encima de la parcela, es decir, es un estimado del % de sombra que recibe.

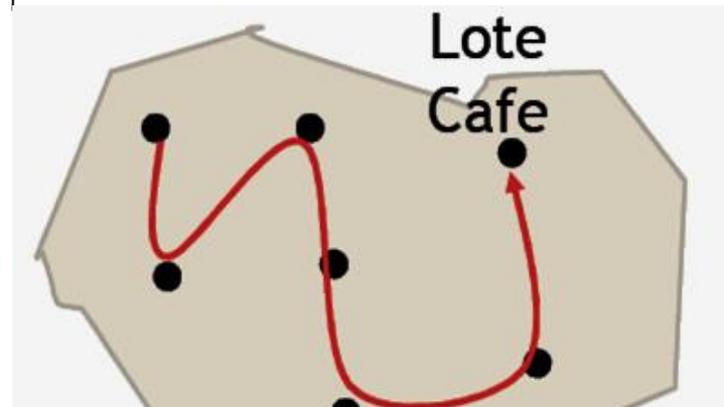
Para un análisis más profundo de cuánta sombra recibe o necesita un determinado sistema es necesario considerar otros factores: medidas de las copas (altura, forma, diámetro, opacidad) pendientes, movimiento solar a lo largo del año, etc. Esto se puede hacer con softwares como **SHADEMOTION**

Densiómetro de punto



Se hace las lecturas en varios puntos, mientras más puntos mejor

Se puede hacer recorrido en zig-zag



Se toma el instrumento en esa posición y se ve si el punto está cubierto por alguna parte de la copa (ramas u hojas)



Si está cubierto se pone SI



Si no está cubierto se pone NO

Cálculos con el densiómetro de punto

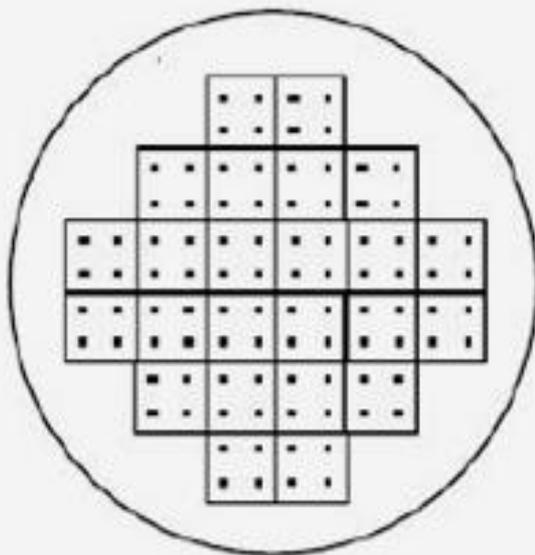
$$\% \text{ COBERTURA} = \frac{\# \text{ Puntos con SI}}{\text{Total Puntos}} \times 100\%$$

$$\% \text{ COBERTURA} = \frac{12}{20} \times 100\%$$

$$\% \text{ COBERTURA} = 60\%$$

Puntos	Cubierto (SI ó NO)
1	SI
2	NO
3	NO
4	NO
5	SI
6	SI
7	SI
8	NO
9	SI
10	SI
11	NO
12	SI
13	SI
14	NO
15	NO
16	NO
17	SI
18	SI
19	SI
20	SI

Densiómetro esférico



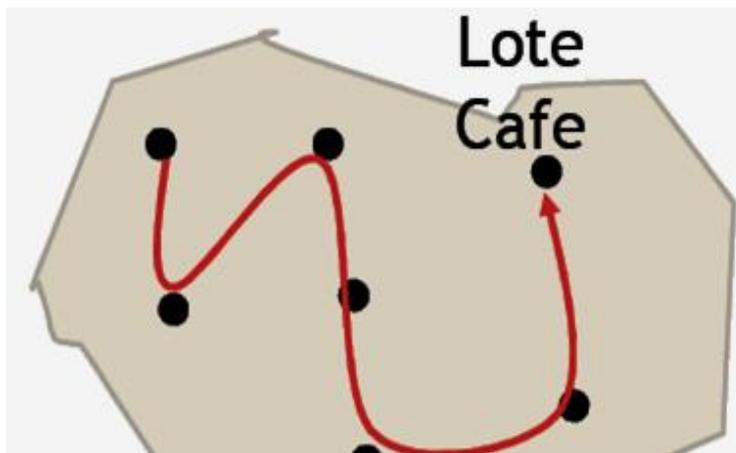
Son 24 cuadros en total

-Puede contarse solo 24 cuadros

ó

-Subdividir cada cuadro en cuatro partes = 96 cuadros

Se cuentan los cuadros que están cubiertos con partes de la copa del árbol (ramas u hojas)



Se miden varias estaciones haciendo recorrido en zig-zag

En cada estación se toman cuatro lecturas siguiendo los puntos cardinales (N, S, E, O)

Cálculos con el densiómetro esférico

Estación	Puntos por estación				Promedio
	1	2	3	4	
1	15	13	12	16	14
2	14	10	7	3	8,5
3	22	15	13	16	16,5
4	13	12	11	7	10,75
5					
6					
7					
8					
Promedio general (PG) = 12,4					

$$\% \text{ COBERTURA} = \frac{\text{PG}}{\text{Número cuadros contados}} \times 100\%$$

$$\% \text{ COBERTURA} = \frac{12,4}{24} \times 100\%$$

$$\% \text{ COBERTURA} = 51,6 \%$$

Estimación visual de la sombra

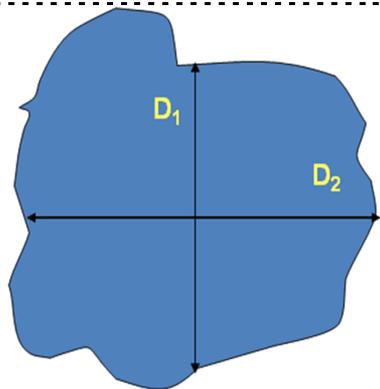
Somarriba, E. 2002. ¿Cómo hacerlo? Estimación visual de la sombra en cacaotales y cafetales. Agroforestería en las Américas 9(35-36):86-94

Datos necesarios:

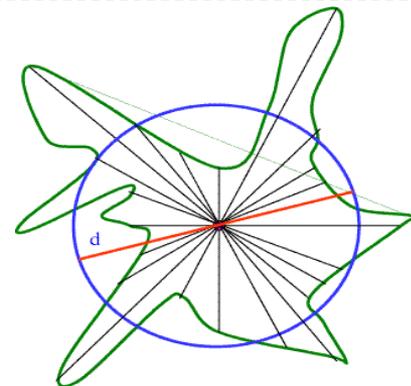
- Área total de la plantación o de la parcela de muestreo (**at**)
- Número de árboles (**n**) en **at**
- Diámetro promedio de copa (**d**) o diámetros de copa promedio de cada árbol
- La oclusión de una copa (**o**) o la oclusión promedio de las copas de los árboles

Paso 1: Delinee el perímetro de la copa del árbol sobre el suelo, mida ejes (diámetros) y calcule el diámetro promedio (**d**)

Situación 1: Si la copa es “regular” se toma uno o dos ejes de medición

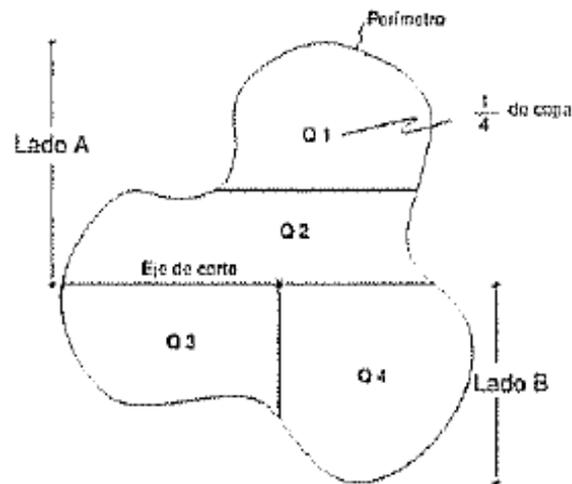


Situación 2: Si la copa es “irregular” se toman varios ejes de medición



Paso 2: Párese en la base del árbol, mire hacia arriba y seleccione un eje de corte que divida la copa en dos mitades iguales (lados A y B).

Las mitades se dividen en cuartos o en octavos según la dificultad de medición de la oclusión

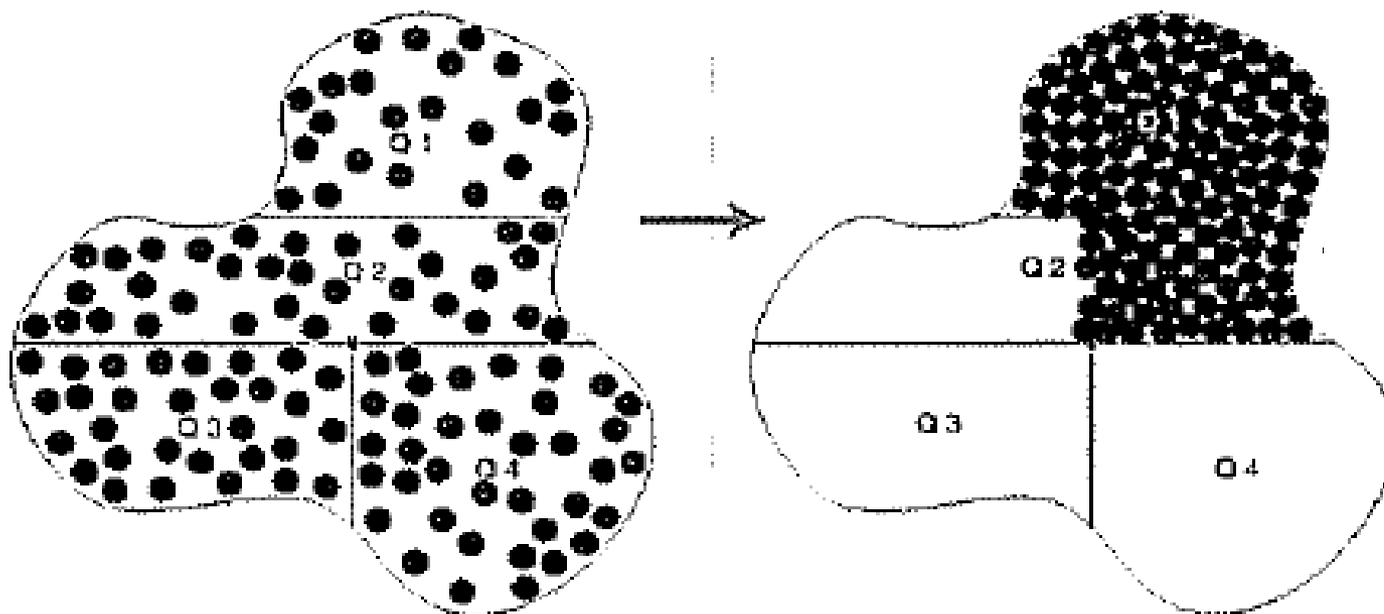


Paso 3: Observe bien las masas de follaje y los “huecos” abiertos en cada mitad de copa.

“Mueva mentalmente” los espacios tapados por follaje de una mitad a la otra y calcule el factor de a oclusión (**o**)

- 1) Si se tapa exactamente uno de los lados entonces la oclusión es de 0,5 (50%)
- 2) Si uno de los lados NO se tapa totalmente entonces sabrá que la oclusión es menor a 50% y deberá estimar cuánto menos es
- 3) Si uno de los lados SI se tapa totalmente entonces sabrá que la oclusión es mayor a 50% y deberá estimar cuánto más es

En los casos 2 y 3 ya es mejor trabajar con octavos



¿Cuál es la oclusión de esta copa?



¿Cuál es la
oclusión de
esta copa?



Ya tenemos el diámetro y oclusión, ahora:

Paso 4: con el diámetro promedio calcule el área de proyección vertical de la copa (**a**), suponiendo que tiene una forma circular:

$$a = (\pi/4) * d^2$$

Paso 5: ajuste el área que tapa el árbol (**ao**) usando el factor de oclusión (**o**):

$$ao = a * o$$

Paso 6: calcule el área tapada en toda la plantación (**b**) expandiendo el área tapada por árbol a toda la población arbórea:

$$b = ao * n \quad \text{ó} \quad b = a * o * n$$

Paso 7: finalmente, para calcular el porcentaje de cobertura (sombra) divida el área tapada (**b**) entre el área total (**at**)

$$\% \text{COBERTURA} = (b/at) * 100$$

ESTIMAR EL PORCENTAJE DE SOMBRA/COBERTURA (at = 1000 m²)

#	Nombre árbol	n	d1	d2	d3	d4	d (prom)	o	a	ao	b	%COBERTURA
1	Laurel	9	6	4	-	-		0.45				
2	Cedro	5	7	5	-	-		0.60				
3	Cedro	2	3	4	-	-		0.50				
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
% COBERTURA DE LA PLANTACIÓN												

d: diámetro de copa (m); n: número de individuos; o: oclusión; a: área de copa

ao: área que tapa el árbol; b: área tapada en toda la plantación

ESTIMAR EL PORCENTAJE DE SOMBRA/COBERTURA (at = 1000 m²)

#	Nombre árbol	n	d1	d2	d3	d4	d (prom)	o	a	ao	b	%COBERTURA
1	Laurel	9	6	4	-	-	5	0.45	19.64	8.84	79.52	7.95
2	Cedro	5	7	5	-	-	6	0.60	28.27	16.96	84.82	8.48
3	Cedro	2	3	4	-	-	3.5	0.50	9.62	4.81	9.62	0.96
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
% COBERTURA DE LA PLANTACIÓN												17.40

d: diámetro de copa (m); n: número de individuos; o: oclusión; a: área de copa

ao: área que tapa el árbol; b: área tapada en toda la plantación

GRACIAS

Rolando Cerda. M.Sc.
rcerda@catie.ac.cr

Para ver en shademotion

- Plantar árboles con diferentes características
- Explicar latitud, orientación, etc
- Simulación en un momento exacto; ver cómo se mueve la sombra, simple y acumulada
- Simular sombra en un mes; mostrar terreno: árboles, cobertura, sombra
- Exportar a Excel
- Cálculo % de cobertura de sombra
- Cargar simulación (Formato y Cargar csv)

- Si va a calcular el % de cobertura con el ShadeMotion recuerde cómo es el movimiento solar y cuándo el sol pasa verticalmente sobre el lugar donde usted está

