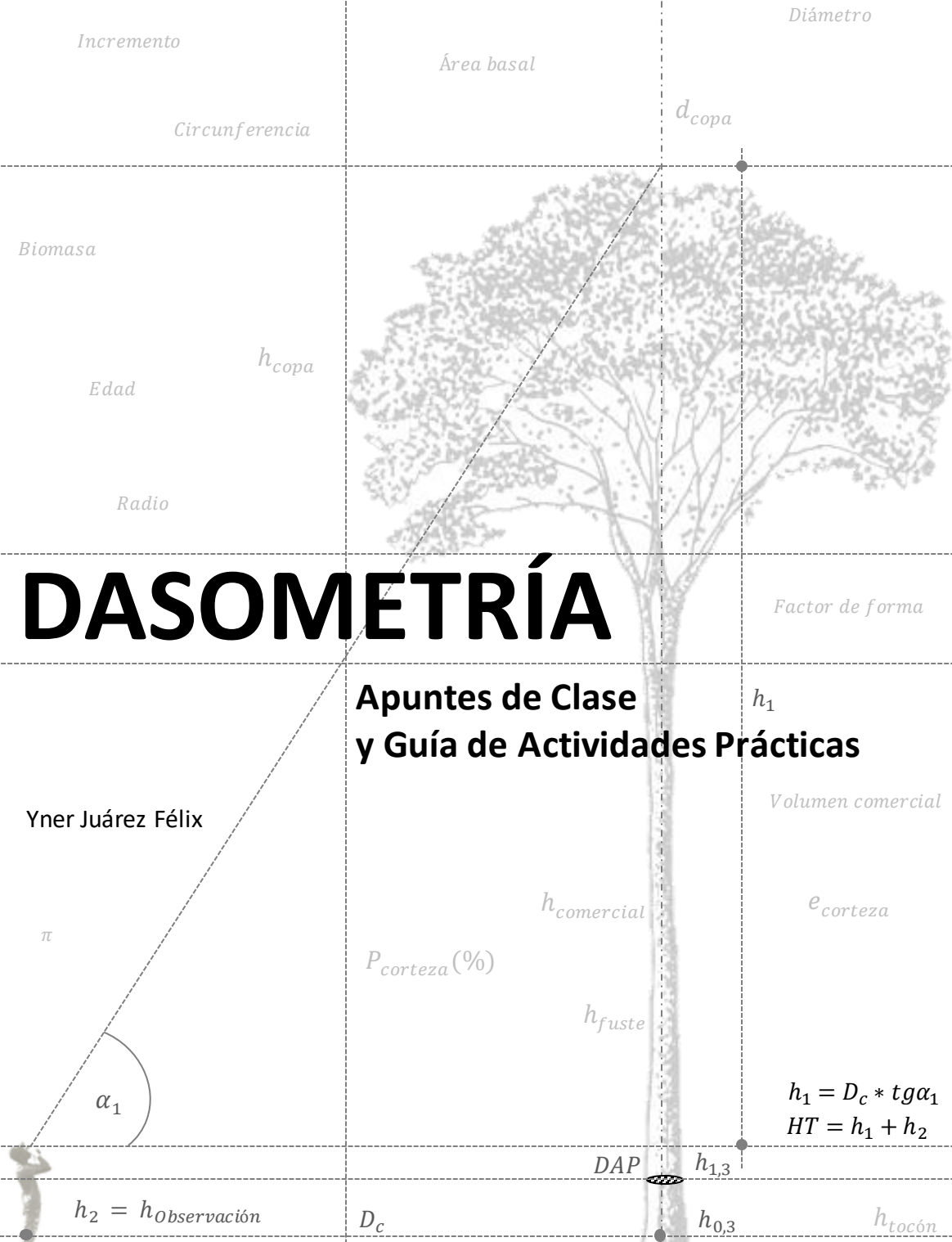


DASOMETRÍA

Apuntes de Clase y Guía de Actividades Prácticas

Yner Juárez Félix



Incremento

Área basal

Diámetro

Circunferencia

d_{copia}

Biomasa

Edad

h_{copia}

Radio

Factor de forma

DASOMETRÍA

Apuntes de Clase y Guía de Actividades Prácticas

Yner Juárez Félix

h_1

Volumen comercial

π

$h_{comercial}$

$e_{corteza}$

$P_{corteza}(\%)$

h_{fuste}

α_1

$h_1 = D_c * tg\alpha_1$

$HT = h_1 + h_2$

$h_2 = h_{Observación}$

D_c

DAP

$h_{1,3}$

$h_{0,3}$

$h_{tocón}$

DASOMETRÍA
Apuntes de Clase
y Guía de Actividades Prácticas

Copyright ©2014
Yner Juárez Félix
1ra Edición
103 p.; 17,5 x 21 cm

Reservados todos los derechos.

El contenido de esta obra puede ser reproducida
siempre que sea citada correspondientemente.

Diseño y dibujos
Yner Juárez Félix

Cochabamba, Bolivia
Enero, 2014.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Conceptos utilizados en Dasonetría	2
1.2. Normalización de símbolos.....	2
1.3. Unidades recomendadas para cuantificar productos forestales	3
1.4. Evaluación directa e indirecta	4
1.5. Evaluación cuantitativa y cualitativa.....	4
1.6. Errores	4
1.7. Tipos de errores en la medición Forestal	4
1.8. Cálculo de errores	6
1.9. Precisión, sesgo y exactitud de los datos.....	7
1.10. Variables que interesa medir en un árbol.....	8
1.11. Componentes de un árbol.....	10
1.12. La forma del árbol.....	11
2. Medición de diámetros	12
2.1. Variables de la sección transversal de un árbol.....	12
2.1.1. Diámetro	13
2.1.2. Radio.....	13
2.1.3. Circunferencia.....	13
2.1.4. Área de la sección (área basal).....	14
2.2. Cómo localizar la altura normal y medir el diámetro.	15
2.3. Instrumentos para la medición de diámetros.	17
2.3.1. Forcípula.....	17
2.3.2. Cinta diamétrica.....	17
2.3.3. Regla de Biltmore.	18
2.3.4. Forcípula Finlandesa.....	19
2.3.5. Forcípula angular de Bitterlich.....	20
2.3.6. Forcípula digital.	20
2.4. Clases diamétricas.....	20
2.5. Diámetro de Copa.	21
3. Medición de alturas	22
3.1. Definición de altura total del árbol.....	22
3.2. Variables de la altura de un árbol.....	23
3.3. Métodos para la medición de alturas.....	24
3.4. Instrumentos basados en principios geométricos.....	24

3.4.1.	Hipsómetro de Merrit.....	25
3.4.2.	Hipsómetro de Christen.....	26
3.5.	Instrumentos basados en principios trigonométricos.....	27
3.5.1.	Hipsómetro Haga.....	30
3.5.2.	Hipsómetro Blume Leiss.....	30
3.5.3.	Nivel de Abney.....	31
3.5.4.	Clinómetro Suunto.....	31
3.5.5.	Hipsómetro láser.....	32
3.6.	Errores en la medición de alturas.....	33
3.7.	Recomendaciones para la medición de alturas.....	33
3.8.	Medición de pendientes.....	34
4.	Otras características dendrométricas	35
4.1.	Edad.....	35
4.2.	Espesor de la corteza.....	35
4.2.1.	Calibrador de corteza.....	36
4.2.2.	Martillo de sondeo.....	36
4.3.	Copa.....	38
4.3.1.	Diámetro y altura de la copa.....	38
4.3.2.	Superficie y volumen de la copa.....	39
4.4.	Biomasa.....	39
4.4.1.	Componentes de la biomasa.....	40
4.4.2.	Determinación de la biomasa total de un árbol.....	40
4.4.3.	Métodos para la estimación de la biomasa de un árbol.....	41
5.	Estudio de la forma del fuste	44
5.1.	Estudio de la forma mediante factores y cocientes.....	44
5.1.1.	Factores de forma.....	44
5.1.2.	Cocientes de forma.....	46
5.1.3.	Punto de forma.....	47
5.2.	Estudio de la forma mediante funciones de perfil de fuste.....	47
5.2.1.	Sólidos de revolución.....	47
5.2.2.	Funciones de ahusamiento.....	48
5.3.	Coefficiente de decrecimiento.....	49
5.4.	Coefficiente de esbeltez.....	49
6.	Estimación y medición del volumen	50
6.1.	Tipos dendrométricos.....	50
6.2.	Determinación del volumen de árboles apeados.....	52
6.2.1.	Modelos teóricos.....	52
6.2.2.	Cubicación.....	53

6.3.	Determinación del volumen de árboles en pie.....	55
6.3.1.	Determinación rápida del volumen por estimación ocular.....	55
6.3.2.	Determinación del volumen por característica de forma.....	55
6.4.	Determinación del volumen de ramas y de pies apilados.....	56
6.4.1.	Determinación del volumen de ramas.....	56
6.4.2.	Determinación del volumen de pies apilados.....	57
6.5.	Determinación del volumen de madera aserrada.....	59
6.6.	Determinación del volumen de un bloque de madera.....	59
6.7.	Tablas de volumen.....	60
7.	Estructura y densidad de masas forestales	61
7.1.	Estructura de una masa.....	61
7.2.	Densidad.....	62
8.	Epidometría.....	63
8.1.	Edad.....	63
8.2.	Estimación de la edad.....	64
8.2.1.	Por observación.....	64
8.2.2.	Conteo de verticilos.....	65
8.2.3.	Conteo de anillos de crecimiento.....	66
8.3.	Análisis del tronco de un árbol.....	70
8.3.1.	Análisis parcial del tronco (árbol en pie).....	71
8.3.2.	Análisis completo del tronco (árbol cortado).....	72
8.4.	Crecimiento de los árboles.....	75
8.5.	Crecimiento en altura.....	79
8.6.	Crecimiento en diámetro.....	80
8.7.	Crecimiento en volumen.....	81
8.8.	Crecimiento de rodales.....	81
8.9.	Incremento.....	82
8.9.1.	Incremento Corriente Anual (ICA).....	83
8.9.2.	Incremento Periódico (IP).....	84
8.9.3.	Incremento Medio Anual (IMA).....	84
8.9.4.	Incremento Periódico Anual (IPA).....	84
9.	Bibliografía.....	87
10.	Guía de actividades prácticas	89

Notas del autor

El objetivo de este trabajo, es recopilar muchos de los conceptos manejados a diario por ingenieros forestales, al momento de realizar mediciones de árboles, masas forestales y trozas. Los conocimientos expresados, no pretenden tener un carácter científico, sino más bien académico por lo que para su construcción se han recurrido a diferentes fuentes bibliográficas específicas. Si es interés del lector el profundizar algunos aspectos del texto será necesario remitirse a mencionadas referencias, donde se exponen de manera más completa muchos de los aspectos presentados.

Asimismo, se incluye una guía de actividades prácticas cuyo propósito es fortalecer cada uno de los puntos teóricos desarrollados.

1. Introducción

La dasonomía es el estudio de la conservación, cultivo y aprovechamiento de los bosques y suele generalizarse como la ciencia forestal por excelencia: considera da actualmente como una de las bases fundamentales de la Silvicultura y la Economía Forestal.

La dasonomía da origen a variadas ramas técnicas relacionadas con sus propósitos. Así la dasometría es parte de la dasonomía que se encarga de la medición de los árboles, determinación del volumen de los bosques y crecimiento de sus componentes (*dasos* = bosque; *metros* = medida).

La dasometría, tiene tres propósitos esenciales relacionados entre sí: La *dendrometría*, que trata de la medición de las dimensiones de los árboles y estudia su forma y determinación de volumen: La *dasometría* propiamente dicha que se encarga de los aspectos relacionados con la estimación métrica y cubicación de la masa forestal, la cual debe entenderse como el conjunto de árboles que conviven en un espacio común. Finalmente, la *epidometría*, que estudia las técnicas de medición y las leyes que regulan el crecimiento e incremento de los árboles individuales y la producción de las poblaciones forestales.

Corresponde a la dendrometría la determinación de la composición morfológica del árbol, resolviendo las variables básicas medidas en los árboles: diámetro normal, altura de fuste, espesor de corte y la cubicación teórica del árbol. Corresponde también a la dendrometría el estudio de la forma del tronco y de los factores de los que depende, así como los variados tipos dendrométricos, conjuntamente el estudio de la forma de la copa y la arquitectura de la misma.

La dasometría por su parte se ocupa de la cubicación o determinación de la biomasa leñosa y foliar de las formaciones forestales; estudia la estereometría de la masa forestal relacionando variables identificables en la biomasa forestal. Considera también la cuantificación del volumen de la masa forestal mediante tarifas o tablas de cubicación, considerando evaluaciones relascópicas de las masas forestales.

Así la epidometría se ocupa del cálculo y crecimiento del árbol, partiendo de consideraciones como la edad, forma de crecimiento en diámetro, altura o en volumen. Logra estimaciones de la edad del árbol y puede llegar a predecir el crecimiento mediante modelos de predicción para la producción y crecimiento de las masas forestales.

En los capítulos siguientes se desarrollarán conceptos básicos e imprescindibles sobre estos temas, que fortalecerán el conocimiento de los estudiantes de Ingeniería Forestal en esta importante rama de la dasonomía.



1.1. Conceptos utilizados en Dasometría

Dasonomía. Es el estudio de la conservación, cultivo y aprovechamiento de los bosques. Etimológicamente procede del griego *dasos* = bosque, *nomía* = conjunto de leyes o normas. Es una parte de la Ciencia Forestal que trata de la gestión de las masas forestales, basada en principios científicos que resultan de la comprensión de la biología del árbol y de la dinámica de las masas forestales. Se divide fundamentalmente en tres disciplinas: Silvicultura, Ordenación Forestal y Dasometría.

Silvicultura. Teoría y práctica sobre el establecimiento, desarrollo, composición, sanidad, calidad, aprovechamiento y regeneración de las masas forestales, para satisfacer las diversas necesidades de la sociedad, de forma sostenible.

Ordenación Forestal. Se ocupa de la planificación y gestión forestal, de modo que se pueda obtener de ellos los mayores beneficios, tanto económicos como ecológicos, sociales y culturales, de forma permanente.

Dasometría. Estudia la medición de árboles y masas forestales, así como el estudio de las leyes métricas que rigen su evolución (crecimiento). Se divide en tres partes: Dendrometría, Estereometría y Epidometría.

Dendrometría. Estudia la medición del árbol desde el punto de vista estático, incluyendo las técnicas de medición de los distintos componentes del árbol (diámetro, altura, corteza, copa, ramas, etc.), ya sea en pie o apeado.

Estereometría. Estudia la medición de las masas forestales desde un punto de vista estático, asimilándolas a poblaciones que conviven en un espacio común.

Epidometría. Estudia la medición de las masas forestales desde un punto de vista dinámico, es decir, su crecimiento. Incluye la definición y cálculo de los distintos conceptos de crecimiento y producción.

Inventario Forestal. Procedimiento para obtener, organizar y presentar información descriptiva, cuantitativa y cualitativa de una masa o área forestal.

1.2. Normalización de símbolos.

La "Normalización de símbolos de Dasometría", de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), recomienda la utilización de letras minúsculas cuando se trata de variables relacionadas con el árbol individual y reservar las letras mayúsculas para indicar variables por unidad de superficie (Ejemplo: Volumen por hectárea) o valores totales de la población.



Los símbolos dasométricos recomendados por la IUFRO, 1956 son:

- c** Circunferencia.
- d** Diámetro. Se mide a una altura de 1,30 m.
- r** Radio
- g** Área basal (Sección del tronco a 1,30 m del suelo).
- h** Altura.
- i** Incremento.
- t** Edad del árbol, normalmente expresado en años.
- n** Número de árboles.
- v** Volumen de un árbol.
- p** Porcentaje de incremento.
- f** Factor de forma
- Cf** Cociente de forma.
- s** Superficie o área.
- G** Área basimétrica de una masa (m^2/ha).
- N** Número total de árboles por unidad de superficie.
- V** Volumen total por unidad de superficie (m^3/ha).

1.3. Unidades recomendadas para cuantificar productos forestales.

El número de productos forestales que se pueden cuantificar es muy grande, y cada producto tiene su unidad específica, la cual regularmente varía entre países. En el cuadro siguiente, se resume los principales productos forestales y la unidad recomendada para expresar el producto.

Producto	Unidad de cuantificación
Madera en troza	m^3
Madera aserrada	Pies tablares
Contrachapado, aglomerado	Unidad, m^2
Leña	Estereos o peso seco (kg, tn)
Carbón	Peso (Kg, tn)
Extractivos (químicos)	Volumen (m^3 , litros)
Forraje	Peso (Kg, tn)
Aserrín	Peso, volumen (kg, tn o m^3)
Pasta para papel	Peso (Kg, tn)
Postes, estacas	Unidad (dimensiones)
Frutos	Peso (kg)
Semillas	Peso (kg)

1.4. Evaluación directa e indirecta.

La evaluación **directa** está basada en mediciones que se obtienen de forma inmediata. Por ejemplo, cuando se emplea la forcípula para determinar el diámetro de un árbol, estamos haciendo una evaluación directa porque el dato obtenido expresa inmediatamente el diámetro del árbol.

La evaluación **indirecta** se basa en mediciones que nos permiten inferir los datos de una manera menos inmediata. Por ejemplo, cuando empleamos una fotografía aérea o una imagen de satélite para evaluar la estructura de un área forestal.

1.5. Evaluación cuantitativa y cualitativa.

Las variables **cuantitativas** son aquellas que podemos expresar numéricamente: altura, diámetro, superficie, edad, número de árboles, peso, etc. Estas a su vez se dividen en variables continuas (altura, diámetro, superficie) y discretas (número de árboles).

Las variables **cualitativas** son aquellas que expresan un atributo o característica, por ejemplo: afección de una plaga, copa redonda, fuste recto, etc.

El uso de ambos tipos de variables es necesario para la caracterización o evaluación forestal, siempre y cuando estos se complementen y se elimine al máximo la carga de subjetividad.

1.6. Errores.

Todos los procesos de medida llevan asociados una cierta imprecisión, esta se denomina **error**, que se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Afectan a cualquier instrumento de medición y pueden deberse a distintas causas. Las que se pueden de alguna manera prever, calcular, eliminar mediante calibraciones y compensaciones.

1.7. Tipos de errores en la medición Forestal.

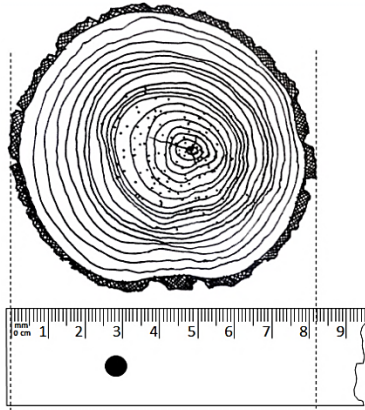
Los errores se pueden clasificar en cuatro grupos:

- Equivocaciones
- Errores aleatorios
- Errores sistemáticos
- Errores de muestreo

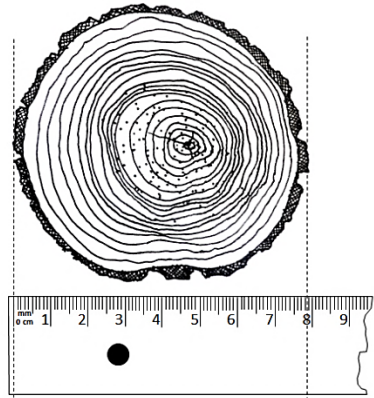


Las **equivocaciones**, son errores causados directamente por el factor humano, por ejemplo, al realizar una lectura incorrecta, emplear un instrumento inadecuado, anotar una cantidad diferente a la medida o cometer un error en los cálculos aritméticos. Son errores que se pueden y deben evitar, algunos de ellos de una forma tan sencilla como realizando la misma lectura más de una vez. Controlar este factor supone una mejora en la precisión del resultado final.

Los **errores aleatorios**, también denominados “accidentales”, son inevitables y se deben a numerosas causas imprevisibles que dan lugar a diferentes resultados cuando se repite la medida en condiciones idénticas. También se pueden considerar como tales las diferencias observadas al medir la misma magnitud por diferentes métodos o con diversos instrumentos de medida. Son errores fruto del azar y se pueden deber a condiciones ambientales no constantes. Responden a distribuciones probabilísticas y pueden analizarse por métodos estadísticos (teoría de errores). Por tanto, son errores que se cometen en las dos direcciones con respecto a la medida real, es decir, unas veces por exceso (el valor medido es mayor que el real) y otras por defecto (El valor medido es menor que el real). Este tipo de errores se pueden minimizar con la repetición de las mediciones, pues se van compensando los cometidos por exces o con los cometidos por defecto.



Lectura: 8 cm. Valor inferior al real



Lectura: 8 cm. Valor superior al real

Los **errores sistemáticos**, son errores que se cometen siempre por exceso o siempre por defecto respecto a la medida real, por lo que suponen la existencia de un sesgo en las mediciones. Se trata de errores que no se compensan entre sí, aunque se aumente el número de repeticiones de una medición.



Se deben a causas fijas que provocan una desviación de la interpretación correcta de una magnitud medida. Las causas más comunes de errores sistemáticos son:

- Instrumentos de medida mal calibrados. Por ejemplo, una forcípula con el origen o el intervalo de medida equivocados, o una cinta métrica 5 cm. más corta de lo normal.
- Instrumentos sensibles a las condiciones meteorológicas. Un ejemplo de este tipo de errores es el que se cometería con la cinta métrica que se dilata por efecto del calor, por lo que todas las mediciones realizadas con ella llevarían asociado un error por defecto.
- Imprecisiones en el método de selección de muestras. Por ejemplo, si en algunas parcelas se incluyen los árboles del borde y en otras no.

En la práctica, la única forma de minimizar los errores sistemáticos, es realizar revisiones continuadas de los instrumentos a emplear y de las hipótesis asumidas. Estas revisiones deben ser previas a iniciar las mediciones y periódicas durante el desarrollo de las mismas.

El **error de muestreo**, está asociado al método empleado para la selección de muestras. La magnitud de este error se puede estimar a partir de la varianza de la población y del tamaño de la muestra. La forma de minimizarlo es objeto de otra disciplina como es el Inventario Forestal.

1.8. Cálculo de errores.

Bien sea una medida directa (utilizando un instrumento de medición) o indirecta (utilizando una fórmula), existe un tratamiento de los errores de medida. Podemos distinguir dos tipos de errores:

- **Error absoluto.** Es la diferencia entre el valor de la medida y el valor tomado como exacto. Puede ser positivo o negativo, según si la medida es superior al valor real o inferior. Tiene las mismas unidades de la medida.
- **Error relativo.** Es el cociente (división) entre el error absoluto y el valor exacto. Si se multiplica por 100, se obtiene el tanto por ciento (%) de error. Al igual que el error absoluto puede ser positivo o negativo (según lo sea el error absoluto). No tiene unidades.



Ejemplo. Si la medición de la altura de un árbol efectuada con diferentes instrumentos de medición es, 23,40 m (Clinómetro); 21,00 m (Regla de Christen); 25,20 m (Método 1:10) y 25 m (Observación). El valor que se considera exacto es la media aritmética \bar{x} de las mediciones, según la fórmula siguiente:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Dónde, $\sum x$ es la sumatoria de las mediciones realizadas y n el número de mediciones realizadas

Reemplazando valores se obtendrá el valor exacto:

$$\bar{x} = \frac{23,40m + 21,00m + 25,20m + 25m}{4} = 23,65m$$

Con este valor se podrá calcular el error absoluto y relativo de cada una de las medidas.

Instrumento de Medición	Medidas	Errores absolutos	Errores relativos
Clinómetro	23,40 m	23,40 - 23,65 = -0,25	-0,25 / 23,65 = -0,01 (-1,06 %)
Regla de Christen	21,00 m	21,00 - 23,65 = -2,65	-2,65 / 23,65 = -0,11 (-11,21 %)
Método 1:10	25,20 m	25,20 - 23,65 = 1,55	1,55 / 23,65 = 0,07 (+6,55 %)
Observación	25 m	25 - 23,65 = 1,35	1,35 / 23,65 = 0,06 (+5,71 %)

1.9. Precisión, sesgo y exactitud de los datos.

La **precisión**, es un concepto que tiene diferente significado según se defina para una única medición o para un conjunto de mediciones de un mismo objeto. En el caso de una única medida, la precisión está relacionada con la unidad más pequeña que se puede distinguir en la medición, y generalmente se indica con el número de decimales de la medida. Por ejemplo, si una cinta métrica esta graduada en centímetros, la precisión cuando se mide con esta cinta es de un centímetro.

En el caso de una serie de medidas, la precisión es el grado de dispersión de las mismas, es decir, evalúa hasta qué punto dichas medidas se aproximan a su medida. Para cuantificar la precisión se suele emplear lo que se denomina error estándar; cuando menor es el error estándar de una estimación, más precisa resulta.

La expresión matemática del error estándar S es la siguiente:

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

Dónde, s es la desviación típica de las mediciones y n es el número de mediciones.



El **sesgo**, es el valor medio de los errores cometidos en las mediciones de una magnitud. Cuando se realizan varias mediciones de un objeto, esas mediciones son insesgadas si su media coincide con el valor real. Esto ocurre siempre y cuando no se cometan errores sistemáticos resultantes de un método inadecuado de medida.

La **exactitud** de una serie de mediciones aúna los conceptos de precisión y sesgo. Una serie de mediciones que sean precisas e insesgadas, dan lugar a un valor medio exacto. La exactitud de la medición se puede estimar a partir de la siguiente expresión:

$$Exactitud = \sqrt{Sesgo^2 + Precisión^2}$$

Una medida exacta es aquella en la que los errores sistemáticos y aleatorios son pequeños, mientras que en una medida precisa solo es pequeño el error aleatorio. Las medidas precisas pueden no resultar exactas debido al sesgo. Por ejemplo, supóngase que se realizan tres mediciones del diámetro de un árbol con los siguientes resultados: 35 cm, 35 cm y 35 cm. Si el diámetro real es de 30 cm, las mediciones hechas son precisas (no existe diferencia entre cada una de las mediciones y la media de las mismas, 35 cm), pero no exactas, pues el valor medido de 35 cm, difiere del valor real que es 30 cm. Esto indica que las mediciones están sesgadas. Por otra parte, la ecuación anterior se deduce que, si el sesgo es nulo, la precisión será sinónimo de exactitud.

1.10. Variables que interesa medir en un árbol.

Generalmente, la medición de variables de un árbol se realiza con el objetivo final de estimar el volumen y el crecimiento de la masa forestal (por agregación de los volúmenes y crecimientos de los árboles individuales), para la asignación de calidades de estación, para la realización de modelos de simulación del estado de la masa, etc.

Dentro de las variables que presentan un mayor interés para conseguir estos propósitos se encuentran: El diámetro, altura, espesor de corteza, crecimiento, dimensiones de copa y edad.

Las dimensiones del fuste o del tronco, fundamentalmente su sección a distintas alturas y su altura total, son de gran interés para cuantificar el volumen de la madera o la biomasa de un árbol. La manera más sencilla de conocer la forma y el tamaño de la sección del fuste o del tronco a una cierta altura es mediante la medición de su diámetro, por lo que este se considera una medición básica en cualquier estudio dendrométrico.



Sin embargo, la estimación del volumen de madera de un árbol basada en mediciones de diámetro y en la altura del fuste o del tronco proporciona resultados por exceso, ya que una parte de aquel volumen corresponde a la corteza. Para evitar este inconveniente se mide el espesor de la corteza y, a partir de él, se estiman los diámetros sin corteza y el volumen real de madera.

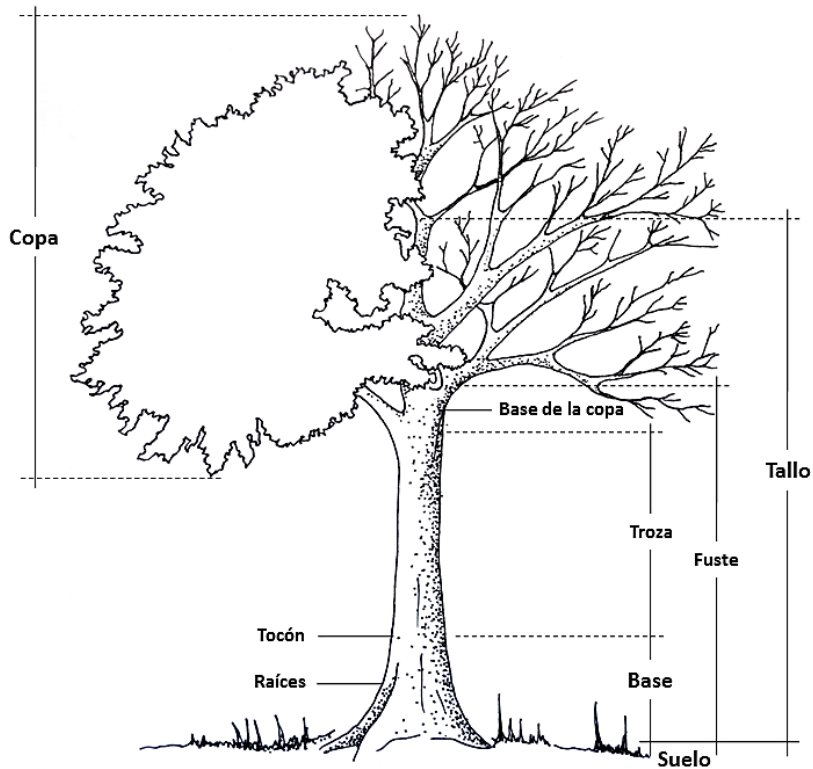
Por otra parte, cada año se produce un incremento en el volumen del árbol debido a la actividad del tejido meristemático del cambio y al crecimiento en altura. Como sucede con el diámetro, que está fuertemente relacionado con el volumen del árbol, el crecimiento diametral tiene igualmente una estrecha relación con el crecimiento en volumen, por lo que dicho crecimiento diametral es también una importante variable dentro de estudios dasométricos.

Otra variable de interés en determinados estudios forestales es el tamaño de la copa de un árbol, que está muy relacionado con el volumen y el crecimiento del mismo. Al ser la copa la parte que capta la energía luminosa necesaria para la realización de fotosíntesis, su medición se utiliza para la posterior cuantificación y modelización del crecimiento del árbol. Las variables de copa a medir dependen de la especie, el propio árbol seleccionado y del posterior empleo que se les vaya a dar, y permiten estimar la influencia en el crecimiento de la competencia por los recursos del medio.

Por último, la variable tiempo influye de manera determinante en el desarrollo de un árbol o masa forestal, por lo que la edad es otra variable de interés incuestionable en el campo forestal.

Todas estas variables se utilizan porque son sencillas y económicas de medir, y están muy relacionadas con el volumen, el crecimiento y otros parámetros de la masa forestal, por lo que a partir de ellas se puede estimar estas últimas de forma más o menos sencilla.

1.11. Componentes de un árbol.



Base: Parte baja del tallo.

Tocón, Parte de la base donde normalmente se realiza el corte o a aprovechamiento del árbol

Raíces, Parte de sustentación del árbol.

Tallo: Eje principal del árbol.

Fuste, parte del árbol situada entre el tocón y la base de la copa.

Troza, parte del tallo apta para la producción de madera aserrada.

Copa: Parte superior del árbol.

Base de la copa, parte del tallo donde se inicia la ramificación del árbol.

1.12. La forma del árbol.

El diámetro del fuste de un árbol generalmente decrece o estrecha desde la base al ápice. La manera en la que este decrecimiento tiene lugar, en cuanto a la rapidez o las siluetas que define, establece la forma del tronco.

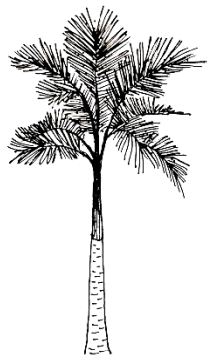
Comprender la forma de los árboles induce a:

- Mejorar la estimación del volumen del fuste o la biomasa de los árboles.
- Mejorar la estimación de la cantidad de productos que se obtendrán del árbol.
- Mejorar la comprensión sobre los fenómenos de competencia y condiciones de crecimiento del árbol.

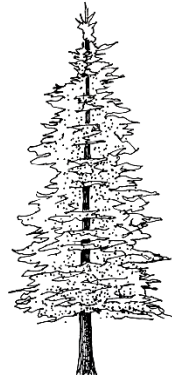
La forma de los árboles es muy compleja. Algunas formas geométricas pueden aproximarse a distintas partes del fuste de un árbol, pero hay muchas inflexiones e irregularidades. Las especies y el genotipo predisponen al tronco para adquirir determinadas formas, pero existen un importante rango de factores medioambientales que pueden influenciar esta forma.

Existe una compleja relación entre la forma del fuste y la copa del árbol. Por esto cualquier factor que influya en la copa influenciará la forma del fuste.

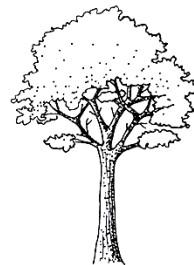
Si la altura de la copa es pequeña con relación a la altura del árbol, se tendrán árboles de forma muy regular (cilindro, paraboloides). Por el contrario, si la copa está muy desarrollada como en los árboles aislados, se tendrán formas de fuste tendiendo hacia el cono. Diferentes partes del tronco crecen con distinta velocidad en función de la influencia de los factores medioambientales y la distribución de la actividad fotosintética.



Palmeras



Coníferas



Latifoliadas

2. Medición de diámetros

El conocimiento de las dimensiones longitudinal y transversal del fuste, resulta imprescindible para cuantificar el volumen de madera o la biomasa de un árbol. Esas dimensiones son la altura y la superficie de las secciones transversales en determinados puntos del tronco. La forma más sencilla de conocer el tamaño de la sección de un tronco es mediante la medición de su diámetro, que es la variable dendrométrica más sencilla de medir. El diámetro está directamente relacionado con el volumen y otros parámetros fundamentales del árbol, por lo que se considera una medición básica en cualquier estudio dendrométrico.

2.1. Variables de la sección transversal de un árbol.

El fuste o, de forma más general, el tronco de un árbol, es un objeto tridimensional cuya sección transversal no tiene un valor constante, sino decrece progresivamente con la altura del árbol. Además, esa sección no se corresponde en general, con ninguna figura geométrica regular; por el contrario, los defectos y las anomalías estructurales provocan la aparición de abultamientos y hendiduras que deforman el fuste y dificultan el proceso de medición.

La medición de la sección transversal de un fuste a una determinada altura sería sencilla si se correspondiese con una forma geométrica básica. Por ejemplo, si se pudiese asimilar a un círculo se podría medir su radio r , su diámetro d o la longitud o perímetro de su circunferencia c y estimar, a partir de ellas, otras variables, como por ejemplo el área de su sección s .

$$c = \pi * d = \pi * 2 * r$$

$$d = \frac{c}{\pi} = 2 * r$$

$$s = \pi * r^2 = \frac{\pi}{4} * d^2 = \frac{c^2}{4 * \pi}$$

Sin embargo, en la realidad las secciones transversales se caracterizan por ser bastante irregulares, e incluso cuando tienden a la irregularidad se asemejan más a una elipse que a un círculo. A pesar de esto, para facilitar la medición y los cálculos posteriores, se establece el supuesto de que las secciones del fuste perpendiculares a su eje longitudinal son circulares, por lo que se pueden emplear las ecuaciones anteriores, aunque sus resultados sólo son estimaciones de los valores reales.



El error cometido en estas estimaciones será tanto mayor cuanto menos se asemejen dichas secciones a un círculo. En una sección transversal se pueden realizar, entonces, las siguientes mediciones: diámetro d , radio r y perímetro de la circunferencia c , y a partir de ellas estimar el área de la sección s .

2.1.1. Diámetro.

El diámetro d , es la variable más habitualmente medida en los inventarios forestales y se suele expresar en centímetros o milímetros. A lo largo del fuste de un árbol, y considerando que las secciones fuesen circulares, se podría medir un diámetro en cada uno de sus puntos. De todos ellos, el denominado diámetro normal o diámetro a la altura del pecho (medido a la llamada altura normal, que se fija a 1,30 m sobre el nivel del suelo) es, probablemente, la medición más común en árboles en pie.

Puesto que en la práctica la mayor parte de las veces la sección del fuste no es circular, se pueden obtener medidas diferentes para el diámetro dependiendo de la dirección en la que se realicen. Debido a esto y para minimizar el error, la medición del diámetro se suele realizar en dos ejes diferentes. Cuando las secciones fuesen claramente elípticas esos dos ejes deberían ser el mayor y el menor de la sección. En otros casos se deberían medir el diámetro del eje mayor y el perpendicular a este, o bien los diámetros de cualquier par de ejes perpendiculares, aunque lo habitual es establecer a priori un punto o dirección de medición del diámetro en el árbol y luego medir el diámetro perpendicular.

2.1.2. Radio.

El radio r , es una medida poco habitual en el campo forestal. Se suele expresar en centímetros o milímetros.

No se puede medir en árboles en pie, ya que es necesario localizar el centro geométrico de la sección con exactitud, lo que no es posible a no ser que se emplee un barrenador de Pressler (8.2.3.). Por otra parte, y debido a que la sección no es perfectamente circular, se pueden obtener diferentes valores del radio en una misma sección.

2.1.3. Circunferencia.

La circunferencia c , es la longitud del perímetro de la sección considerada, que al igual que en la medición de radios o diámetros debe ser perpendicular al eje del tronco. Se suele expresar en centímetros o en milímetros.

De todas las posibles circunferencias que se pueden definir a lo largo del tronco, la que se emplea con más frecuencia es la circunferencia normal, la que se obtiene al medir el perímetro de la sección perpendicular al eje del tronco a la altura de 1,30 m sobre el nivel del suelo.

2.1.4. Área de la sección (área basal).

El área de la sección s , es la superficie de la intersección del fuste con un plano perpendicular a su eje longitudinal a la altura considerada. El área de la sección a la altura normal o altura del pecho se denomina sección normal o área basal (g) y es una variable muy importante debido, sobre todo, a su relación con el volumen del árbol. La suma de las secciones normales de los árboles que hay en una hectárea de terreno se denomina área basimétrica (G), y es un parámetro directamente relacionado con el volumen de la masa.

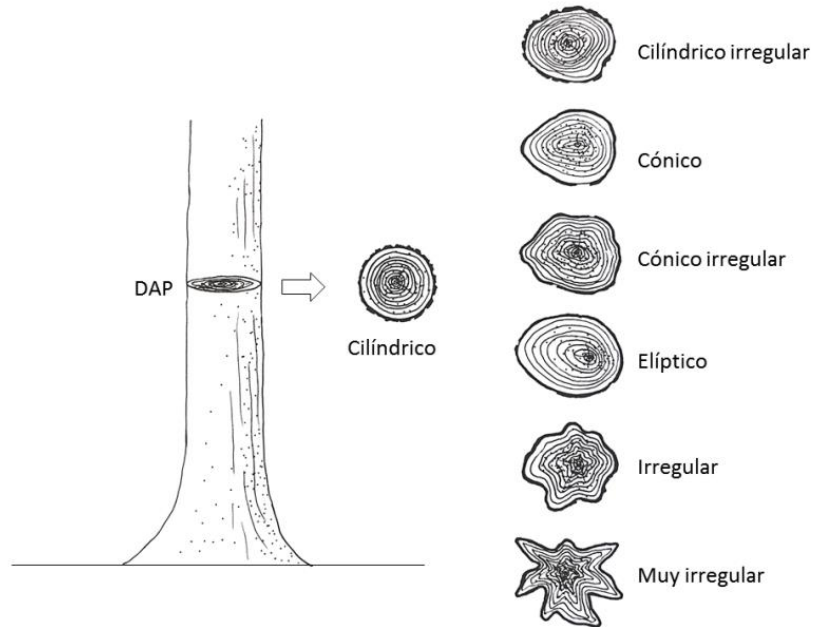
La sección normal se expresa generalmente en cm^2 , y el área basimétrica en m^2/ha . En ocasiones se emplea también el término área basimétrica para hacer referencia a la sección normal de un árbol individual.

La sección normal se suele estimar a partir del diámetro, suponiendo que se corresponde con el área de un círculo. Las secciones suelen tener formas excéntricas debidas al desigual desarrollo del leño y de la corteza, por lo que tienen un diámetro máximo, en una determinada dirección, y otro mínimo, situado generalmente en una dirección perpendicular al anterior. Entre ambos valores se encuentra el diámetro que corresponde a una sección circular cuya área es exactamente igual a la superficie real de la sección considerada. Como las secciones se consideran circulares, su área se estima a partir del diámetro d empleando la siguiente fórmula:

$$s = \frac{\pi}{4} * d^2$$

La subestimación o sobreestimación de la sección depende del error cometido en la medición o estimación del diámetro. Para estimar secciones resulta más preciso realizar mediciones de la circunferencia c y obtener a partir de ellas el diámetro que medir directamente este último. Sin embargo, en Inventarios Forestales, en los que se suele medir un gran número de árboles, resulta más económico y recomendable medir diámetros, debido al mayor rendimiento que se obtiene con los instrumentos que miden esta variable.

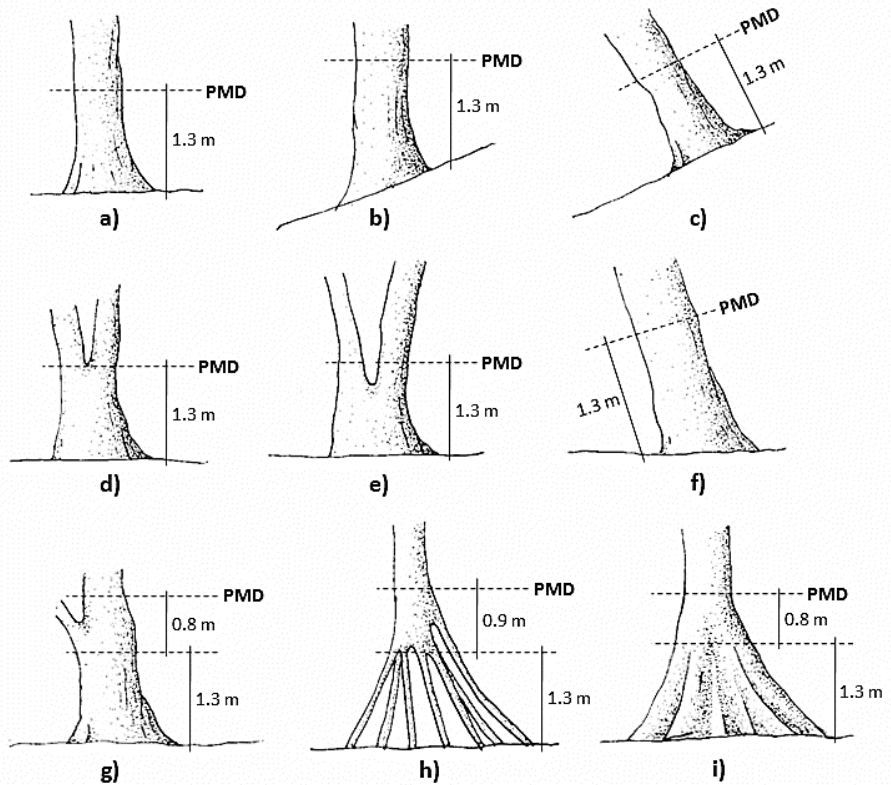
En la práctica, el área de la sección de los árboles no siempre representará círculos casi perfectos, sino se podrán encontrar secciones irregulares, elípticas, cónicas, etc. Como se puede observar en la siguiente figura.



2.2. Cómo localizar la altura normal y medir el diámetro.

Para poder establecer comparaciones entre las mediciones efectuadas en los fustes, es preciso definir un punto (una altura) estándar donde realizarlas. Es importante que este punto se encuentre a una altura próxima al suelo que facilite su medición, pero suficientemente alejada de la base para que haya desaparecido la influencia de las posibles alteraciones o distorsiones que aparecen en la parte baja del tronco por su contacto con el suelo.

Es así que, en árboles en pie, rectos y en terreno plano, el DAP se mide a 1,3 m del suelo. La altura de medición, puede variar por la presencia de anomalías, como bifurcaciones, contrafuertes basales y otros defectos en el fuste, o por la misma inclinación o la pendiente del terreno.

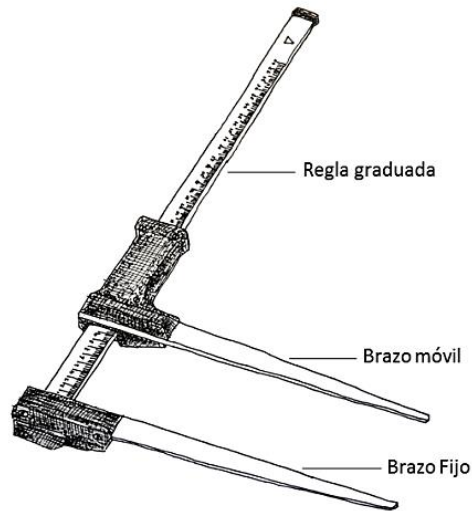


Punto de Medición del Diámetro **PMD**. **a)** Diámetro normal. **b)** Árbol ubicado sobre pendiente. **c)** Árbol inclinado sobre pendiente. **d)** Árbol bifurcado por encima de los 1,3 m. **e)** Árbol bifurcado por debajo de los 1,3 m. **f)** Árbol inclinado sobre terreno plano. **g)** Árbol con presencia de nudos o ramificaciones. **h)** Árbol con raíces aéreas. **i)** Árbol con contrafuertes basales.

2.3. Instrumentos para la medición de diámetros.

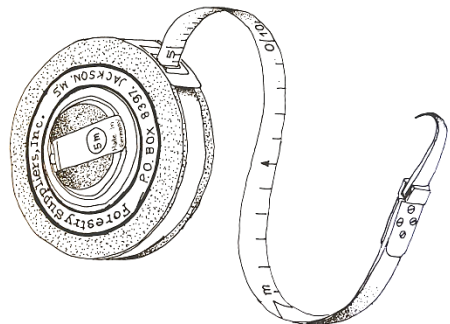
2.3.1. Forcípula.

Es un instrumento para medir principalmente árboles en pie, se compone de tres piezas: una regla graduada de sección rectangular conectada a dos piezas perpendiculares denominadas brazos. Uno de los brazos está unido fijamente a un extremo de la pieza principal, de modo que su borde interior coincide con el cero de la escala. El otro brazo es móvil y se puede deslizar a lo largo de la pieza que contiene la escala graduada para efectuar las lecturas de las mediciones efectuadas.



2.3.2. Cinta diamétrica.

Es de acero, material plástico o fibra de vidrio altamente estable y está graduada en mm y cm en una cara y en otra cara en unidades π . Esta última, permite medir directamente el diámetro, al rodear el tronco a la altura deseada, cuidando que ella se ubique en un plano exactamente perpendicular al eje longitudinal del fuste.



Generalmente las cintas diamétricas vienen provistas de un gancho o un pequeño clavo en su extremo, de forma que sea posible fijar el extremo en árboles de gran diámetro mientras se rodea el mismo.

A partir de la fórmula de la circunferencia.

$$c = \pi * d$$

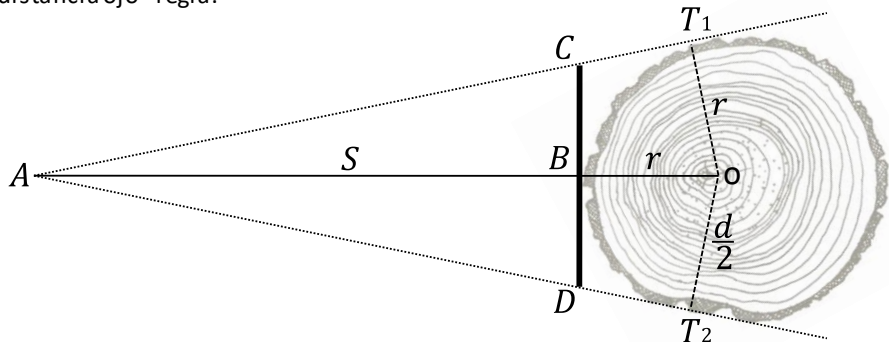
Se lee directamente el diámetro.

$$d = \frac{c}{\pi}$$

Dónde: d = Diámetro
 c = Circunferencia
 $\pi = 3.1416$

2.3.3. Regla de Biltmore.

Es un instrumento construido en madera o metal ligero, graduada para realizar la medición directa del diámetro normal (DAP a 1,3 m) de árboles en pie. La graduación de la regla de Biltmore, se basa en la semejanza de triángulos. La regla debe ser mantenida en forma perpendicular al eje del fuste, a una distancia fija desde el ojo del observador, esto determina una escala no lineal de graduación dependiendo de la distancia ojo - regla.



Derivación geométrica de la Regla de Biltmore



La graduación de la regla se realiza a través de la siguiente fórmula.

$$CD = \frac{d}{\sqrt{1 + \frac{d}{S}}}$$

Dónde: CD = Diámetro graduado en cm en la regla de Biltmore.

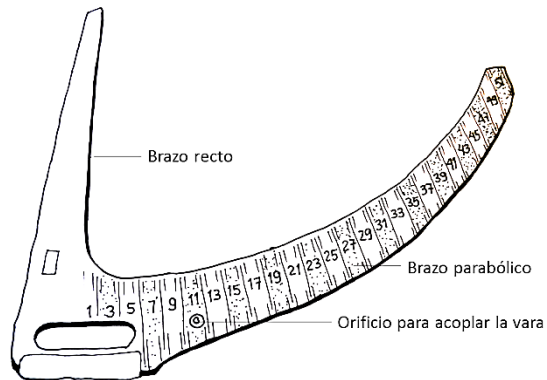
d = Diámetro del fuste a 1,3m.

S = Distancia del ojo del operador a la regla.

La precisión de la medición depende en gran medida de la habilidad del operador al igual que del tamaño y forma de la sección transversal del fuste. Para una medición más precisa se recomienda en todo caso la forcípula y la cinta diamétrica.

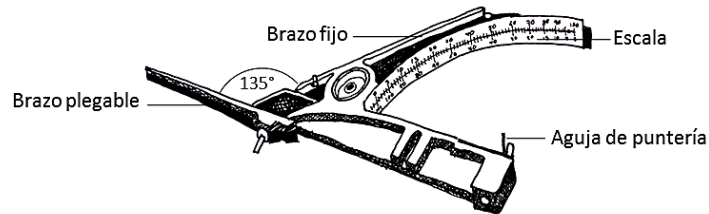
2.3.4. Forcípula Finlandesa.

Consiste en un brazo recto y otro parabólico, graduado de forma tal que el diámetro se puede leer directamente en el punto de contacto con el árbol. Se usa especialmente para la medición directa de diámetros superiores, para la cual se monta en varas de hasta 8 metros de longitud.



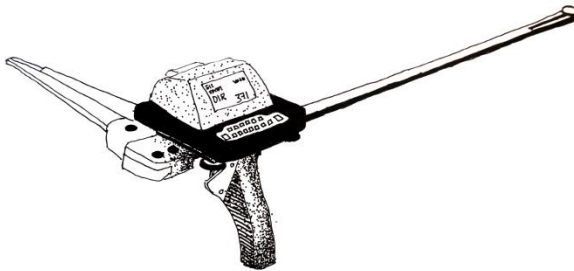
2.3.5. Forcípula angular de Bitterlich.

Es un instrumento de mensura forestal que consta básicamente de dos brazos, metálicos o de madera, uno de los cuales se puede plegar por la mitad, y que están unidos formando un ángulo de 135°. El brazo fijo tiene dos escalas angulares, una para la medición de diámetros y otra para la medición de secciones.

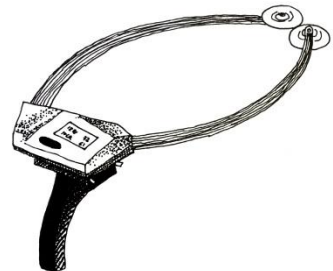


2.3.6. Forcípula digital.

Instrumento similar a la forcípula de brazo móvil, incluye pequeños ordenadores que almacena, procesa información del diámetro medido. Presentan la gran ventaja de que toda la información almacenada en ellos, se puede descargar en el ordenador para procesarla. Pueden recibir y transmitir información por distintos procedimientos (teléfonos móviles, GPS, dendrómetros vértex, ordenadores).



Forcípula Electrónica de Brazo móvil



Forcípula Electrónica tipo "Abrazadera"

2.4. Clases diamétricas.

En bosques heterogéneos, el DAP se agrupa generalmente en clases diamétricas, que son intervalos definidos por un límite inferior y un límite superior, su diferencia define la amplitud de la Clase diamétrica a la que pertenecerá un árbol dentro de un bosque. Los intervalos de clase deben quedar claramente definidos, puesto que esta información es útil para la inferencia estadística, principalmente de un Inventario Forestal con fines de investigación y/o Manejo forestal.

Un ejemplo de la agrupación y distribución de diámetros en clases diamétricas, se muestra en el cuadro siguiente:

Clase Diamétrica	PMC (cm)	Frecuencia		
		Absoluta	Relativa	Acumulativa
20 - 30	25	1106	31,19	31,19
30 - 40	35	851	24,00	55,19
40 - 50	45	591	16,67	71,86
50 - 60	55	364	10,27	82,12
60 - 70	65	267	7,53	89,65
70 - 80	75	156	4,40	94,05
80 - 90	85	97	2,74	96,79
90 - 100	95	52	1,47	98,25
100 - 110	105	31	0,87	99,13
110 - 120	115	15	0,42	99,55
120 - 130	125	6	0,17	99,72
130 - 140	135	1	0,03	99,75
140 - 150	145	3	0,08	99,83
150 - 160	155	2	0,06	99,89
160 - 170	165	1	0,03	99,92
170 - 180	175	1	0,03	99,94
180 - 190	185	1	0,03	99,97
190 - 200	195	1	0,03	100,00
Total		3546	100	

2.5. Diámetro de Copa.

La proyección vertical de la copa de los árboles es relativamente compleja, por la irregularidad de las mismas y las ramas adyacentes de árboles circundantes. Así como el fuste de los árboles, el área de la copa puede ser estimada asumiendo que es equivalente al área de una circunferencia, definido por el promedio del diámetro de copa. Este promedio puede ser calculado de diferentes maneras, entre estas:

- Promedio entre diámetro máximo y mínimo.
- Promedio entre el doble del radio máximo y mínimo, desde el centro del fuste a la periferia de la copa.
- Diámetro medido al azar o sistemáticamente con referencia a un compás.

También se pueden realizar mediciones a partir de fotografías aéreas, sin embargo, las proyecciones observadas en la fotografía y desde el suelo pueden no ser iguales debido al enmascaramiento por parte de las copas sobrepuestas.

3. Medición de alturas

La importancia de la medición de la altura de los árboles, radica en el hecho de que, con esta variable, junto con el diámetro normal, es posible estimar otras importantes variables del árbol individual y, por extensión, también de la masa, como el volumen de madera, el volumen de leña o biomasa. Además, la altura de cada individuo constituye el estrato dominante de una masa.

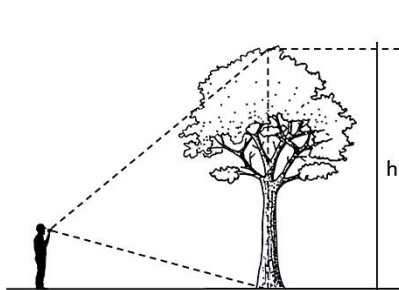
La altura de los árboles también se emplea, entre otras cosas, para:

- Obtener la curva de alturas de la masa, que relaciona la altura de un árbol con su diámetro normal ($h = f(d)$).
- Calcular diversos parámetros de forma que son indicadores de la estabilidad mecánica del árbol (Coeficiente de esbeltez).
- Determinar la calidad de sitio.
- Clasificar una masa forestal por su jerarquía o status sociológico.

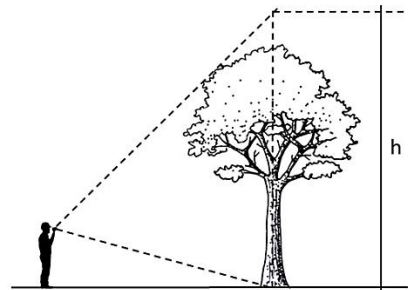
3.1. Definición de altura total del árbol.

Definimos como altura del árbol en pie (h) a la distancia entre su "cima" y la zona de la base del árbol en contacto con el suelo. Se entiende por cima o ápice del árbol a la parte más alta de la "copa" del mismo que sea la prolongación del eje del tronco.

Todos los instrumentos de medición indirecta de la altura de un árbol en pie, están basados en el lanzamiento de visuales al ápice y a la base del árbol desde una determinada distancia; por lo tanto, es necesario tener estos puntos claramente localizados.



Medición correcta de la altura de un árbol



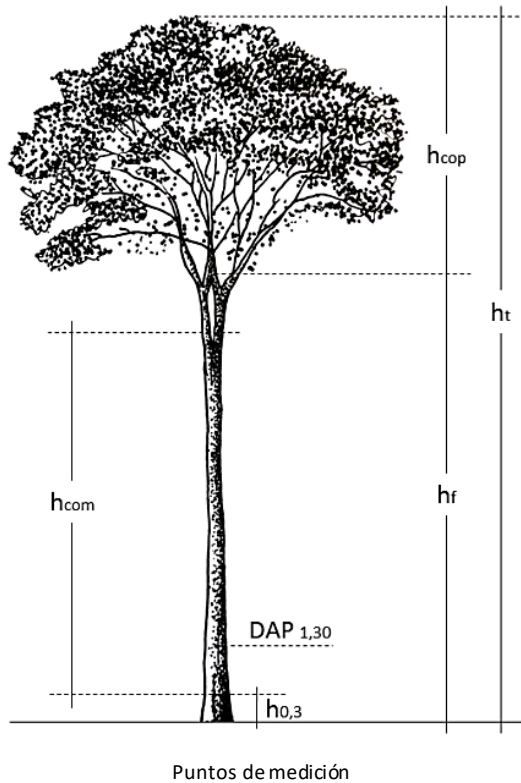
Medición incorrecta de la altura de un árbol

En árboles con el ápice o cima bien definida, generalmente todas las coníferas de porte piramidal, la determinación de la altura no presenta ninguna dificultad, sin embargo, existen gran número de especies en los que el ápice del árbol no está tan claramente definida (latifoliadas), lo que dificulta la medición de su altura

3.2. Variables de la altura de un árbol.

Las alturas de referencia que se miden con mayor frecuencia en árboles son las siguientes:

- a) **Altura total** (h_t). Altura correspondiente a la distancia vertical entre el suelo y el ápice del árbol.
- b) **Altura de fuste** (h_f). Altura correspondiente a la distancia vertical entre el suelo y la base de la copa.
- c) **Altura de copa** (h_{cop}). La diferencia de altura entre la altura total y la altura de fuste.
- d) **Altura comercial** (h_{com}). Parte del fuste económicamente aprovechable que corresponde a la sección entre la altura de corte y el diámetro mínimo comercial.
- e) **Altura del tocón** ($h_{0,3}$). Distancia entre la superficie del suelo y el corte de aprovechamiento, realizada sobre el tronco de un árbol.



3.3. Métodos para la medición de alturas.

Los métodos de medición de la altura de los árboles, se pueden clasificar de la siguiente manera.

- **Métodos directos.** La medición no puede realizarse a distancia. Los procedimientos más habituales son la escalada del árbol y el empleo de jalones y pértigas telescópicas.
- **Métodos indirectos.** La medición se efectúa a distancia, a través de instrumentos llamados *hipsómetros*, que pueden ser construidos por semejanza de triángulos (Principios geométricos) o relaciones angulares de triángulos rectángulos (Principios trigonométricos).

Los instrumentos construidos por principios geométricos producen errores de estimación de hasta el 5 % del valor real.

Los construidos por principios trigonométricos, son normalmente instrumentos ópticos basados en la relación de ángulos y de un lado de un triángulo.

3.4. Instrumentos basados en principios geométricos.

Utilizan en su construcción, la semejanza de triángulos (conocer un lado y un ángulo en triángulos rectángulos). Todos ellos corrigen la inclinación del terreno y precisan determinar la distancia horizontal (entre el observador y el árbol) usando una cinta métrica.

Los métodos más comunes basados en el principio geométrico son:

- Método del leñador
- Método de unidades
- Método 1:10
- Método de sombras.

Entre los instrumentos más conocidos que miden la altura basados en el principio geométrico, se tienen: Hipsómetro de Merrit, Hipsómetro de Christen.



3.4.1. Hipsómetro de Merrit.

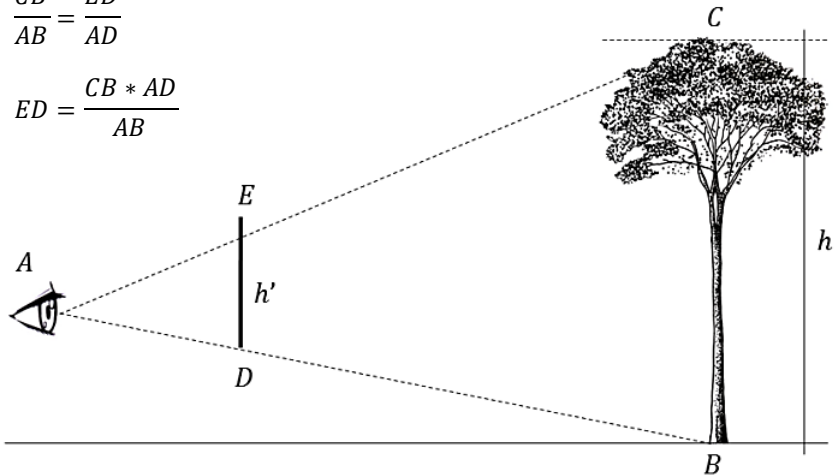
Instrumento simple en su construcción, estando su graduación de acuerdo a las exigencias del observador. El lado opuesto de la Regla de Biltmore (2.3.3.) puede ser utilizado como hipsómetro de Merrit.

Consiste de una vara graduada, la cual se mantiene vertical a una distancia fija del ojo del observador y paralela al eje del árbol. Su graduación, habitualmente en términos de número de trozas de un tamaño determinado, está relacionada con el largo del brazo y la distancia al árbol.

Para la construcción del hipsómetro se podrá emplear la relación de triángulos, de tal manera que la fórmula que permite graduar la regla está definida por simple relación de triángulos semejantes.

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

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



Dónde: ED = Altura de graduación en la regla
 CB = Altura del árbol (Valor relativo)
 AD = Largo del brazo del operador
 AB = Distancia al árbol.

3.4.2. Hipsómetro de Christen.

Instrumento construido en metal liviano o en madera. El empleo de este hipsómetro requiere de una vara (regla) de altura conocida, que la apoya al tronco del árbol a medir. Las alturas de estas varas normalmente son de 3 - 5 metros, la graduación del hipsómetro está en función del tamaño de la vara. Cuanto mayor fuese la altura de la vara existirá mayor precisión en las mediciones. El uso de las varas en bosques densos se torna más difícil e incómodo.

El hipsómetro tiene normalmente una altura de 30 cm y su graduación se realiza de arriba para abajo. La lectura puede ser determinada de cualquier distancia, siempre que el árbol esté encuadrado en el hipsómetro. El punto de lectura en el hipsómetro debe coincidir en su visión con el extremo de la vara.

La altura de árboles bastante altos, serán determinados con menor precisión debido a la concentración de unidades en la parte inferior de la regla del hipsómetro.

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{AC}{A'C'}$$

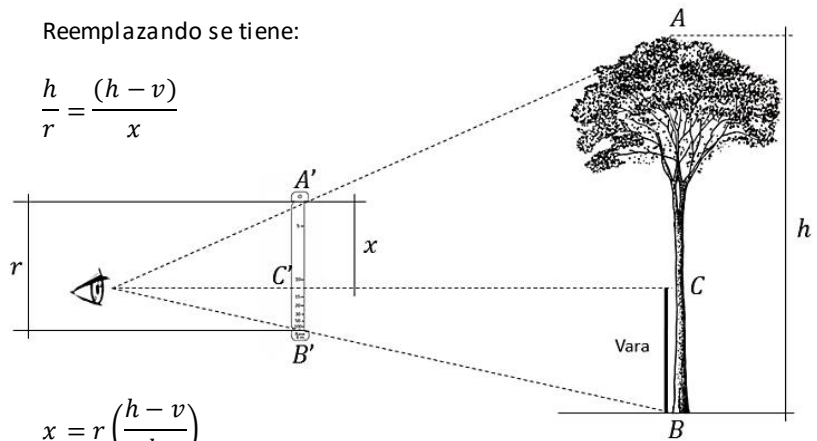
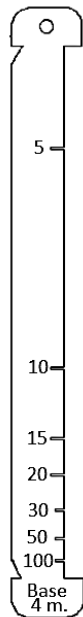
Reemplazando se tiene:

$$\frac{h}{r} = \frac{(h - v)}{x}$$

$$x = r \left(\frac{h - v}{h} \right)$$

O También.

$$x = r \left(1 - \frac{v}{h} \right)$$



Dónde: x = Altura de graduación en la regla
 r = 30 cm
 h = Altura del árbol (valor relativo)
 v = Vara de altura definida.

3.5. Instrumentos basados en principios trigonométricos.

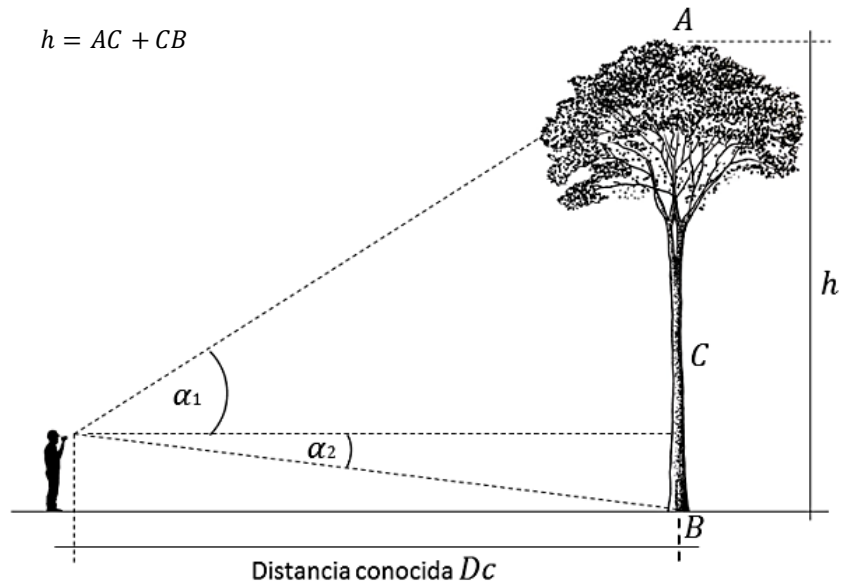
Los instrumentos contruidos en principios trigonométricos se fundamentan en las relaciones angulares de triángulos rectángulos.

Para la determinación de la altura a través de estos instrumentos se requerirá de dos lecturas, una hacia la base del árbol y otra hacia el ápice de la copa, a una distancia horizontal conocida. Si Dc es la distancia conocida del observador al árbol y AC la altura del árbol a partir del horizonte, su cálculo será:

$$tg\alpha_1 = \frac{AC}{Dc} \quad AC = Dc * tg\alpha_1$$

$$tg\alpha_2 = \frac{CB}{Dc} \quad CB = Dc * tg\alpha_2$$

$$h = AC + CB$$



Dependiendo de la inclinación del terreno y la posición del observador al árbol, existirán otros posibles casos de medición, cuando:

a) El punto de medición se ubique entre el ápice y la base del árbol

$$tg\alpha_1 = \frac{AC}{Dc}$$

$$AC = Dc * tg\alpha_1$$

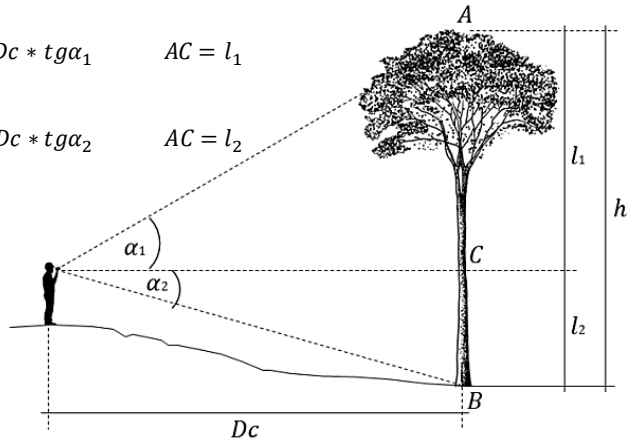
$$AC = l_1$$

$$tg\alpha_2 = \frac{CB}{Dc}$$

$$CB = Dc * tg\alpha_2$$

$$CB = l_2$$

$$h = l_1 + l_2$$



b) El punto de medición se ubique por encima del ápice del árbol

$$tg\alpha_1 = \frac{CB}{Dc}$$

$$BC = Dc * tg\alpha_1$$

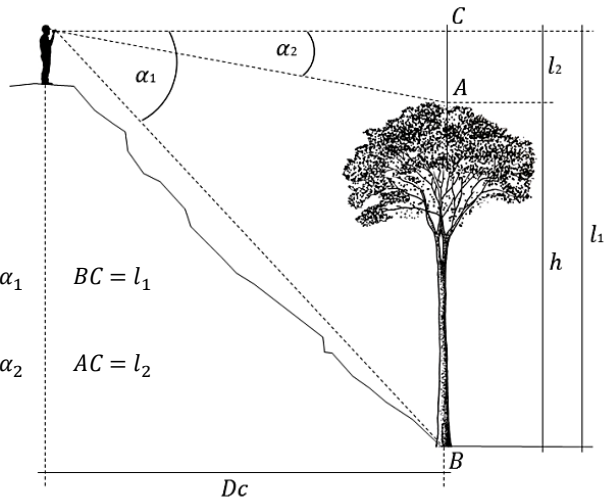
$$BC = l_1$$

$$tg\alpha_2 = \frac{AC}{Dc}$$

$$AC = Dc * tg\alpha_2$$

$$AC = l_2$$

$$h = l_1 - l_2$$



c) El punto de medición se ubique por debajo de la base del árbol

$$tg\alpha_1 = \frac{AC}{Dc}$$

$$AC = Dc * tg\alpha_1$$

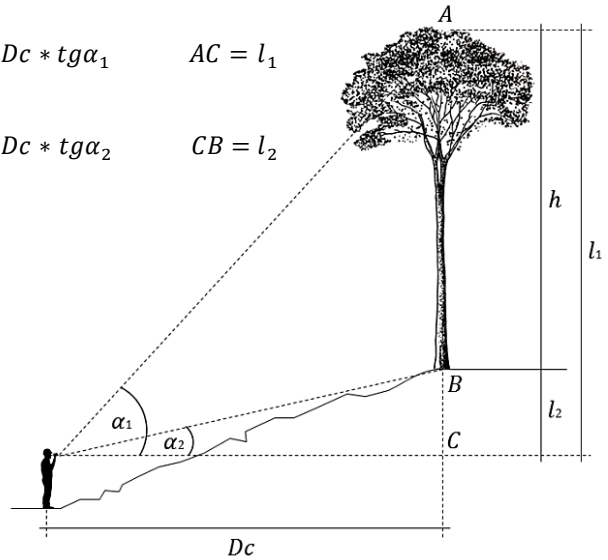
$$AC = l_1$$

$$tg\alpha_2 = \frac{CB}{Dc}$$

$$CB = Dc * tg\alpha_2$$

$$CB = l_2$$

$$h = l_1 - l_2$$

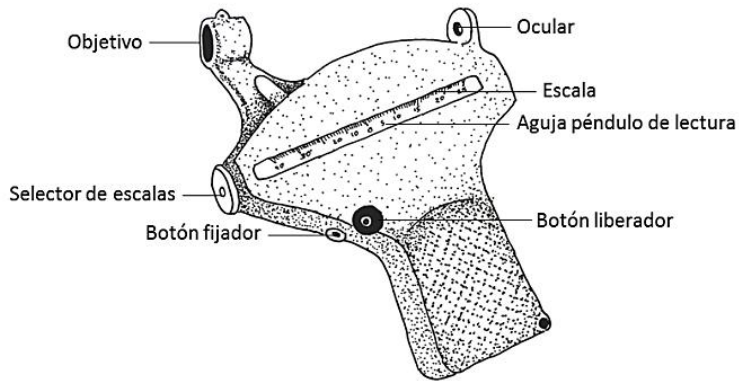


Cuando las mediciones son cuidadosamente realizadas, los resultados obtenidos a través del principio trigonométrico son más precisos de aquellos resultantes por principios geométricos.

Entre los instrumentos más conocidos, basados en principios trigonométricos se tienen: Hipsómetro Haga, Hipsómetro Blume Leiss, Nivel de Abney, Clinómetro Suunto.

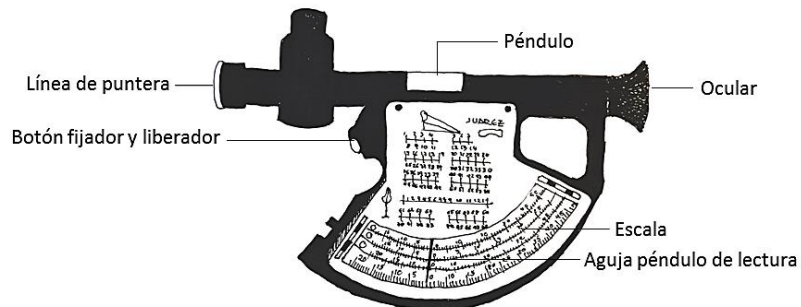
3.5.1. Hipsómetro Haga.

Instrumento que utiliza un péndulo que por su efecto de gravedad estabiliza la lectura directa correspondiente. Posee escalas graduadas para distancias de 15, 20, 25 y 30 metros, así como una escala porcentual (%).



3.5.2. Hipsómetro Blume Leiss.

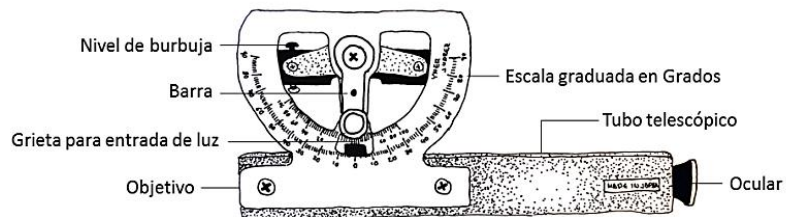
Instrumento similar al Haga siendo que su diferencia está en la presentación de escalas de medición de altura. Su manejo corresponde a la forma similar del Haga. El telémetro que muchas veces está acoplado contiene un filtro que permite una mejor visualización. Tómese atención que las escalas verticales del Haga y del Blume Leiss no son iguales.



3.5.3. Nivel de Abney.

Instrumento utilizado en trabajo de topografía, destinado a medir ángulos verticales, conocido también como Clinómetro de Abney, está compuesto de dos semicírculos graduados; una en grados y otra en porcentaje.

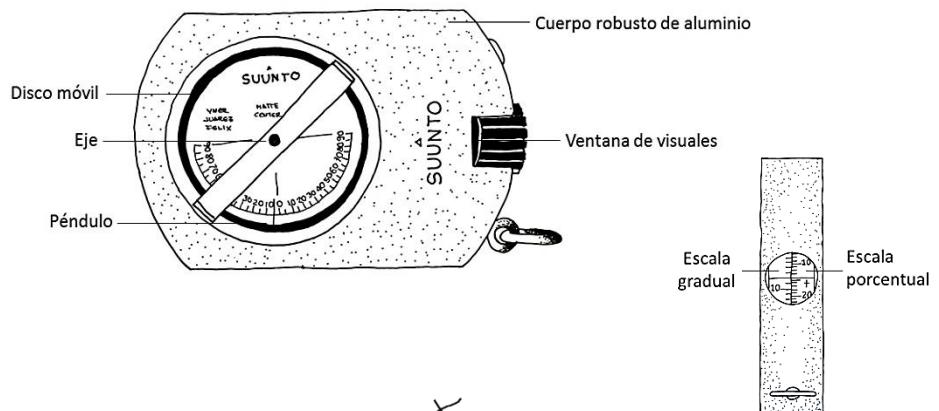
El Nivel de Abney está constituido de un tubo telescópico que puede ser de sección cuadrangular o cilíndrica, de un aro graduado en tangentes multiplicados por 100 (%), como también en grados de 0° a 90°. Presenta un nivel de burbuja desplazable por una barra que tiene como base de referencia para realizar las lecturas.



3.5.4. Clinómetro Suunto.

Este instrumento está diseñado casi exclusivamente para medir la altura de los árboles. En él se ha sustituido el nivel de burbuja por un péndulo fijo a 90° de la línea índice de la horizontal. Consiste en una caja metálica que tiene en su interior un disco móvil suspendido por un eje central. La caja tiene un orificio por el que se puede observar la periferia del disco.

A través de su ocular se puede leer en su interior dos escalas, una graduada en grados (0 - 90) situada a la derecha y otra en porcentaje (0 - 150) a lado izquierdo.



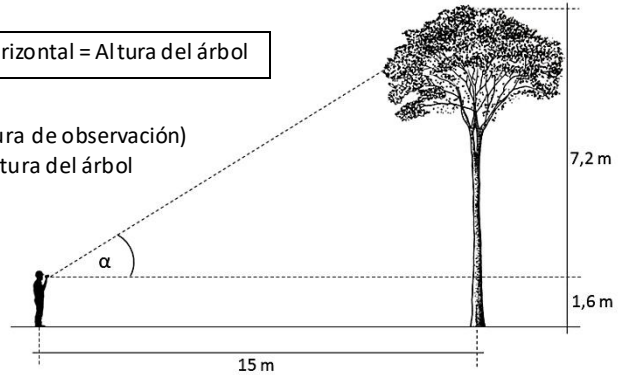
Lectura $\alpha = 48\%$ ó $25,5^\circ$

$$\text{(Lectura/100)} * \text{Distancia horizontal} = \text{Altura del árbol}$$

$$(48/100) * 15 \text{ m} = 7,2 \text{ m}$$

$$+ 1,6 \text{ (Altura de observación)}$$

$$= 8,8 \text{ m altura del árbol}$$



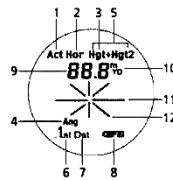
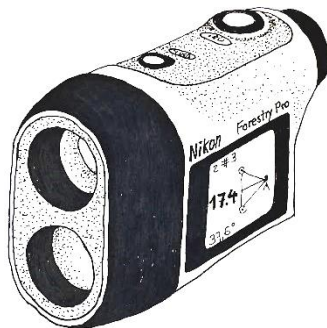
Determinación de la altura de un árbol con el clinómetro SUUNTO

Según Finger (1992), existe un gran número de instrumentos disponibles, ninguno reúne las características ideales: fácil manejo, buena precisión, bajo costo, larga durabilidad.

3.5.5. Hipsómetro láser.

Este instrumento mide la altura de los árboles a partir de 3 puntos: la distancia horizontal, el ángulo con la copa y el ángulo con la base. Los resultados de las mediciones se muestran tanto en la pantalla LCD interna como en la externa. La pantalla externa muestra todas las mediciones de manera simultánea.

Es capaz de medir la distancia de diferentes objetivos sucesivos, resistente al agua (hasta 1 metro durante 10 minutos). Con un rango de medición de 10 a 50 m. es impermeable (resistente a la humedad), cuerpo rallado y relleno de nitrógeno.



Pantalla INTERNA

1. Distancia real (lineal)
2. Distancia horizontal
3. Altura
4. Ángulo
5. Altura entre dos puntos
6. Primer objetivo prioritario
7. Objetivo de prioridad a distancia
8. Condición de la batería
9. Distancia
10. Unidad de medida (m/m).
11. Marca de destino
12. La irradiación con láser



3.6. Errores en la medición de alturas.

Cuando se mide la altura de un árbol su precisión no es absoluta. Dependiendo de su finalidad podrá variar más o menos entre un metro y 10 cm de aproximación. Para alcanzar mayor precisión será necesario considerar el factor tiempo y la experiencia de uso del instrumento específico

Al medir la altura de un árbol en pie se supone que el mismo está perpendicular al suelo, pero esta característica no siempre se presenta y dependiendo del ángulo de visión la altura podrá estar sub o sobreestimada.

Otra fuente de error es la falta de visibilidad del ápice del árbol especialmente en bosques tropicales o densos. Errores provenientes del propio instrumento, de la distancia del observador al árbol, del balanceo de las copas y de la inclinación de crecimiento acarrear errores sistemáticos (acumulativos) en los cálculos correspondientes. En la práctica común dasométrica errores hasta de más o menos 10 % del valor real de la altura son plenamente aceptables.

3.7. Recomendaciones para la medición de alturas.

La medición de altura de los árboles, se efectuará con mucho cuidado con el fin de evitar posibles fuentes de error.

- Emplear, preferentemente instrumentos basados en principios trigonométricos.
- Reconocer el árbol visualmente antes de medir. Reducir así errores de apreciación con árboles inclinados o por identificación correcta del ápice y/o de la base.
- Para ubicarse a una distancia determinada para el uso de la escala correspondiente en el instrumento de medición, usar preferentemente una cinta métrica sobre el terreno siguiendo una curva de nivel.
- Desde el punto de medición se deben hacer dos o tres lecturas y obtener luego el promedio de las mismas. Si la variación entre las lecturas es mayor de 2,5 % del valor promedio, se deberán repetir las mediciones.
- En masas muy densas, donde habitualmente existen dificultades para apreciar el ápice del árbol a medir, se puede tratar de mover ligeramente el tronco apoyándose en él para que la persona que realiza la medición pueda distinguir su ápice.

- Donde existe mucho matorral que impida ver la base del árbol, colocar un jalón de altura conocida (o una persona) y apuntar en lugar de a la base a su punto más alto del jalón. Sumar después la altura del mismo a la medición obtenida.
- La distancia horizontal al árbol deberá ser parecida a su verdadera altura. Como norma general, habrá que ponerse en el punto desde el que mejor visión de la base y la copa del árbol se obtenga y si es posible, a un nivel más alto que la base. Siempre y cuando la visibilidad lo permita.

3.8. Medición de pendientes.

Un parámetro de uso frecuente en el campo forestal es la "Pendiente del terreno". Convencionalmente la pendiente se suele considerar positiva, cuando el sentido del ángulo que forma con la horizontal es ascendente, considerando como referencia uno de los puntos, y negativa en caso contrario.

Existen 2 formas de expresar la pendiente:

- En grados**, (sexagesimales o centesimales) del ángulo respecto a la horizontal. $\alpha = 20^\circ$
- En porcentaje**, (%) equivalente a la expresión en % de la tangente del ángulo α respecto a la horizontal.

$$p\% = \operatorname{tg} \alpha * 100$$

$$\text{Ejemplo: } \alpha = 20^\circ; p\% = \operatorname{tg} 20^\circ * 100 = 36,4 \%$$

Este concepto es elemental por ser clave en la utilización de los principales hipsómetros (instrumentos para medir alturas), así como para la estimación de superficies, distancias y otros parámetros influenciados por la pendiente del terreno.

4. Otras características dendrométricas

Con frecuencia, ciertas características dendrométricas específicas de los árboles son menos analizadas que otras, lo que no significa por eso que algunas de ellas no revistan cierta importancia. Pensemos concretamente en la edad de un árbol que es una característica fundamental en el plano de estudios de producción, pero que raramente justifica una determinación individual árbol por árbol, al contrario de lo que sucede con el diámetro o la altura. Otras características dendrométricas son el espesor de la corteza, la copa de un árbol y biomasa.

4.1. Edad.

Se entiende por edad de un árbol, el número de años contados a partir de la germinación de la semilla o a partir del brote. Sin embargo, convencionalmente se considera con frecuencia la edad de un árbol plantado a partir de su introducción en el bosque, excluyendo el tiempo que ha pasado en el vivero.

El método más conocido para determinar la edad de los árboles consiste en contar el número de anillos anuales de crecimiento en la base del tronco. Esto sólo es posible en los árboles que tienen tales anillos, pero en estos casos se encuentran algunas dificultades debidas a la existencia de falsos anillos, poca demarcación para distinguirlos, discontinuidad, etc. Este punto será más ampliamente tratado en el capítulo 7 (Epidometría).

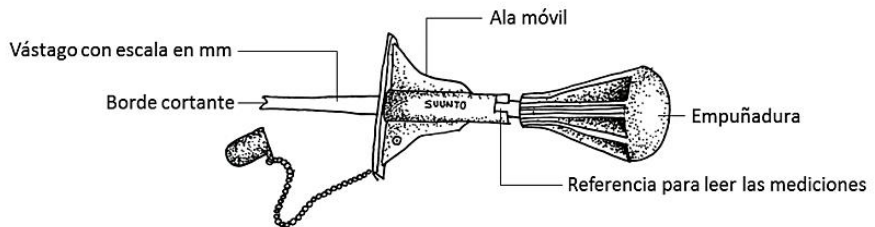
4.2. Espesor de la corteza.

Generalmente el espesor de la corteza de un árbol se considera una característica de interés secundario en el conjunto de datos dendrométricos que pueden recogerse o analizarse. Sin embargo, no hay que olvidar que todavía, y con frecuencia, se efectúa la comercialización de los productos leñosos considerando el volumen con corteza; además, actualmente es necesario apreciar la importancia de dicho desecho en el marco de utilización de subproductos del bosque con fines químicos, energéticos y forestales, por ejemplo.

En la práctica, la medición del espesor de la corteza se efectúa a la altura normal; pero con rigor, lo ideal sería poder disponer de mediciones o de estimaciones a distintas alturas, con el fin de realizar estimaciones más rigurosas de volúmenes de corteza por aplicación de funciones de decrecimiento métrico o recurriendo a ecuaciones de perfiles de fustes.

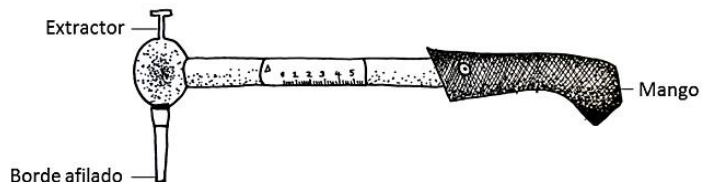
4.2.1. Calibrador de corteza.

También llamado taladrador de corteza, está especialmente concebido para efectuar mediciones de espesor de corteza. Está constituido por un vástago de acero ahuecado con sección transversal de semicírculo, que tiene un extremo cortante y que lleva graduaciones milimétricas en el otro extremo. Esta varilla se desliza en un tubo terminado por una placa metálica perpendicular al eje de penetración, cuyo desplazamiento es solidario con la penetración del instrumento en la corteza. Este se mantiene perpendicular al eje del árbol y se hace penetrar la varilla a través de toda la corteza; evidentemente se tiene que cuidar de no dañar o afectar la parte de la albura.



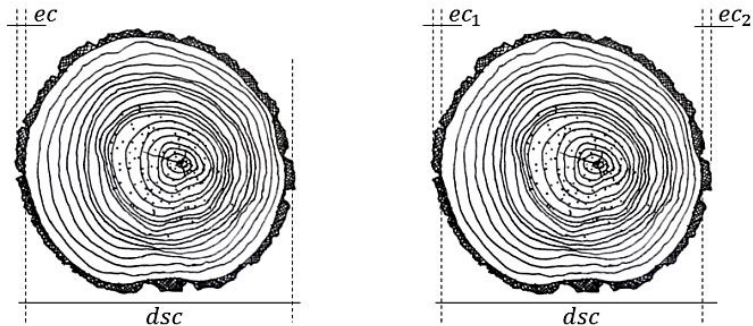
4.2.2. Martillo de sondeo.

Como su nombre indica, este instrumento tiene el aspecto de un martillo; la pieza metálica del mismo lleva un tubo cortante en una de las extremidades y un mecanismo en la otra extremidad que sirve para extraer la muestra tomada. Está destinado ante todo a la toma de pequeñas muestras de madera, no es aconsejable para efectuar mediciones de corteza si se requiere mayor precisión.



Para determinar la cantidad de corteza de un tronco o fuste es necesario diferenciar el volumen con corteza del volumen sin corteza

Si se divide el tronco en trozas, en cada sección se puede medir el espesor de corteza (ec), que se define como la media aritmética de dos medidas opuestas en la sección normal del árbol.



$$ec = 2 * ec$$

$$ec = ec_1 + ec_2$$

Conocido el diámetro con corteza, se puede determinar el diámetro sin corteza:

$$dsc = dcc - ec$$

Dónde: dsc = Diámetro sin corteza
 dcc = Diámetro con corteza
 ec = Espesor de la corteza

Aplicando cualquier fórmula de cubicación conocida (6.2.2.), con el diámetro sin corteza en las secciones consideradas, se podrá estimar el volumen sin corteza.

Por diferencia entre el volumen obtenido con corteza y el volumen sin corteza, se obtendrá el volumen de corteza del tronco.

$$v_{corteza} = v_{cc} - v_{sc}$$

La forma habitual de expresar la cantidad de corteza de los árboles es a través del Porcentaje de corteza

$$P_{corteza} (\%) = \frac{v_{cc} - v_{sc}}{v_{cc}} * 100$$

Los principales factores que influyen en el Porcentaje de corteza de los árboles son:

- **La especie.** Por lo general y salvo excepciones puntuales, las coníferas tienen mayor % de corteza que las latifoliadas.
- **La edad.** El porcentaje de corteza disminuye con la edad (cuanto más joven, mayor % de corteza).
- **La calidad de estación.** A mejor calidad de sitio menor porcentaje de corteza, (la corteza cumple entre otras una función de protección ante situaciones adversas).

4.3. Copa.

La copa de un árbol representa el conjunto de ramas vivas y ramificaciones que envuelven la parte superior del tronco. Los parámetros que definen la copa de un árbol son muy importantes en la práctica forestal y en las tareas de investigación ya que dan información sobre el crecimiento del árbol, el espaciamiento, la susceptibilidad al ataque de plagas y peligros atmosféricos.

4.3.1. Diámetro y altura de la copa.

El *diámetro* de la copa de un árbol constituye una interesante característica dendrométrica, especialmente bajo dos puntos de vista:

- En la cuantificación de los efectos del tratamiento silvicultural; una copa se desarrolla tanto más cuanto de más espacio dispone el árbol.
- En la utilización de fotografía aérea con fines de inventario y de análisis de la vegetación.

La configuración de las copas, unida a la especie y a la competencia entre árboles, hace algunas veces difícil la estimación de su diámetro teniendo en cuenta, entre otros aspectos, que tienen que realizarse las mediciones en árboles en pie. En la práctica, el diámetro será medido con la cinta métrica, considerando la proyección horizontal de la copa. Habitualmente se hacen dos medidas en cruz y se halla la media aritmética.

$$d_{copa} = \frac{dc_1 + dc_2}{2}$$

En lo que concierne a la *altura* de la copa, hay que tener en cuenta varios convenios en cuanto a la determinación de la base de la misma: primera rama grande con vida, nivel inferior del follaje, etc. En el caso de coníferas, un criterio interesante que se puede utilizar es, por ejemplo, que el primer verticilo que se encuentre tendría que comprender al menos el 75 % de las ramas vivas. Las relaciones entre la altura o la longitud de la copa, por una parte y su diámetro o la altura total del árbol, por otra, son criterios utilizados con bastante frecuencia en los estudios de competencia entre individuos de un bosque o una masa.

4.3.2. Superficie y volumen de la copa.

En principio, es imposible calcular exactamente la superficie exterior y el volumen de la copa de un árbol. Conviene, en estas condiciones, proceder por aproximaciones aprovechando las mediciones que se puedan realizar directamente como son altura y diámetro de copa.

La estimación de la *superficie* que proyecta la copa regular de un árbol sobre el terreno será calculada a través de las siguientes expresiones:

$$d_{copa} = \frac{dc_1 + dc_2}{2}$$

$$S_{copa} = \frac{\pi}{4} * d_{copa}^2$$

Si la copa de los árboles a medir es muy irregular, se realizarán 4 mediciones de diámetro y 8 radios medidos desde el centro del árbol y el borde exterior de la copa.

El *volumen* de copa será calculado tomando en cuenta la forma de la copa (redonda, piramidal, cilíndrica, etc.).

4.4. Biomasa.

La *biomasa* forestal, es la cantidad total de materia viva existente en un ecosistema forestal. Incluye todos los componentes que forman el ecosistema, como árboles, arbustos y otros vegetales. Normalmente es expresada en toneladas de materia seca/hectárea, razón por la cual también se suele usar el concepto de *densidad de biomasa* para referirse a esta variable. El uso del peso seco no solo permite eliminar la variabilidad de la humedad en los diferentes componentes de la biomasa, sino que la cantidad de materia seca está más estrechamente relacionada con el rendimiento en diferentes procesos.

Desde el punto de vista de la productividad de sitio, la biomasa es una medida más completa que el volumen, pero su determinación es considerablemente más compleja. Aun así, es de gran interés, especialmente en aquellos rodales manejados para la producción de pulpa o cuando la corteza es un producto importante (producción de taninos). También es relevante cuando se manejan bosques para la producción energética, dado que la masa se relaciona mejor que el volumen con la producción de energía. Naturalmente, es de gran relevancia por la participación vegetal en el ciclo del carbono, en que la captura de CO₂ atmosférico y su almacenamiento en la biomasa, representa un efecto claramente benéfico para el ambiente; por otro lado, también incorpora nutrientes en el suelo, lo que puede conducir al empobrecimiento del suelo y a la disminución de la productividad de sitio, tópicos estrechamente relacionados con la conservación de suelos. También juega un rol importante en la protección forestal, ya sea relacionado con plagas o con incendios forestales.

4.4.1. Componentes de la biomasa.

La biomasa forestal está conformada por componentes de variada complejidad y accesibilidad. Por ello, su estimación requiere la identificación inicial de estos componentes y el diseño de la estrategia adecuada de medición o estimación. Desde el punto de vista de una comunidad forestal, y dependiendo de los objetivos específicos del estudio, la biomasa puede dividirse espacialmente en **biomasa aérea**, la que incluye toda la biomasa viva sobre el suelo (biomasa del dosel principal, biomasa de sotobosque) y desechos leñosos (biomasa de residuos en pie, colgantes y sobre la superficie del suelo), y **biomasa subterránea**, incluyendo los componentes leñosos vivos y muertos de los sistemas radiculares. En el caso específico de árboles, los componentes habituales para la separación de biomasa son raíces, ramas, follaje, madera de fuste y corteza.

4.4.2. Determinación de la biomasa total de un árbol.

La determinación de la biomasa puede realizarse de varias maneras, dependiendo del componente involucrado y de la cantidad de información disponible. En aquellos casos en que no se dispone de información, el único camino disponible es el de la determinación directa de la biomasa, a partir del peso en verde y razones de peso seco o a partir del volumen y densidad del material. La estimación basada en el volumen es apta para componentes leñosos (fuste, ramas gruesas); el volumen puede determinarse mediante fórmulas a partir de mediciones de diámetro o estimarse a través de funciones de biomasa.

Se han experimentado varios métodos de trabajo. Uno de los más concretos trata de operaciones de campo y de laboratorio. Generalmente, estas operaciones tienen la siguiente secuencia:

- Seleccionar el árbol
- Realizar las diferentes mediciones dendrométricas (DAP, Altura, espesor de corteza, etc.).
- Proceder al apeo y troceo por categorías de diámetro
- Separar los diversos componentes (tronco, ramas, hojas, etc.)
- Tomar datos sobre las dimensiones (longitud, diámetro, etc.)
- Pesar los componentes verdes (antes de la deshidratación en la estufa)
- Tomar muestras (discos, rodajas, para madera de fuste y de ramas)
- Pesar las muestras verdes
- Secar estas muestras en estufa y pesarlas.

Durante la fase de campo se tiene que llenar la ficha de “descripción” del árbol por medio de observaciones o de mediciones concernientes a edad, altura media o dominante de la masa de la cual es obtenida, área basimétrica de esta masa y otros de importancia e interés.

4.4.3. Métodos para la estimación de la biomasa de un árbol.

El cálculo de la biomasa, es el primer paso para evaluar la productividad de los ecosistemas y la contribución de los bosques en el ciclo global del carbono. Para ellos existen tres métodos, los cuales se resumen a continuación.

a) Método tradicional.

Este método, se basa en los datos del volumen comercial (a partir de información básica de inventarios), la densidad básica de la madera y el factor de expansión de la biomasa (*FEB*). Puede aplicarse en los bosques densos, secundarios o maduros. La biomasa se estima a través de la siguiente ecuación general:

$$BA = VC * D * FEB$$

Dónde: *BA* = Biomasa aérea (t/ha.)
VC = Volumen comercial (m³)
D = Densidad básica de la madera (t/m³)
FEB = Factor de expansión de la biomasa

FEB, es el factor de multiplicación que aumenta la madera en pie o el volumen comercial, para tener en cuenta componentes de biomasa no medidos, como ramas, follajes y árboles no comerciales.

El factor de expansión de biomasa se define como el cociente entre la biomasa aérea total y la biomasa de fustes, y se expresa de la siguiente manera:

$$FEB = \frac{BT}{BF}$$

Dónde: BT = Biomasa total (kg.)
 BF = Biomasa de fuste (kg.)

b) Método destructivo.

La medición de la cantidad de biomasa aérea en cualquier componente de un ecosistema requiere la aplicación del método destructivo. Este método proporciona un valor exacto de la biomasa ya que consiste en destruir los árboles para calcular su peso seco o biomasa. Adicionalmente, el método permite formular relaciones funcionales entre la biomasa y las variables del rodal de fácil medición como el DAP, altura comercial, altura total y otras. El inconveniente que presenta es su alto costo en términos de tiempo y recurso económico. Además de la propia destrucción de los árboles empleados en la medición. El método destructivo es el más preciso para estimar la cantidad de biomasa aérea.

c) Estimación de la biomasa a través de sensores remotos.

Las imágenes satelitales registran el comportamiento de la superficie terrestre a través de diferentes regiones del espectro electromagnético, proporcionando una gran cantidad de datos espacialmente contiguos entre sí y distribuidos a lo largo de extensas áreas geográficas.

Estas propiedades les confieren la capacidad de detectar, reconocer e identificar coberturas de suelo, así como medir numerosas propiedades biofísicas o bioquímicas asociadas a ellas, ofreciendo ventajas en comparación con métodos *in situ*, que muchas veces requieren de mediciones en terreno que pueden resultar prohibitivas a amplias escalas, debido a limitantes de accesibilidad, tiempo y recursos.

A escala mundial, esta información sirve para conocer el estado y dinámica de los ecosistemas forestales y su interacción con los ciclos globales y el clima. A escala regional o nacional, el conocimiento de la cantidad de biomasa puede servir para realizar mapas o para detectar cambios en las masas forestales, al igual que para la realización de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero que deben ser realizados en el marco del Protocolo de Kioto por los países que lo ratificaron.

Los sensores remotos pueden proveer de datos que permitan responder a las interrogantes e incertidumbres respecto al ciclo dinámico de la biomasa, ya que posibilitan la evaluación frecuente de cambios de cobertura boscosa en grandes extensiones. Mediante el uso de sensores remotos es posible obtener información de las propiedades del bosque y hasta cierto nivel es posible separar bosque en generación de bosques maduros.

5. Estudio de la forma del fuste

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

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

5.1. Estudio de la forma mediante factores y cocientes.

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

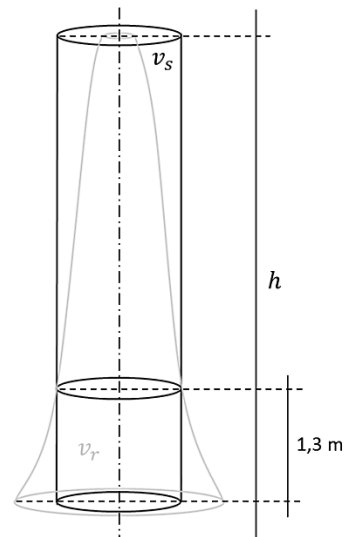
5.1.1. Factores de forma.

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

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

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

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



Fundamento de factor de forma

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

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

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

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

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

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

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

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

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



5.1.2. Cocientes de forma.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.1.3. Punto de forma.

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

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

Dónde: Pf = Punto de forma

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

h = Altura total del árbol

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

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

5.2.1. Sólidos de revolución.

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

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

Dónde: y = Radio del sólido en la posición x

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

x = Distancia medida desde el extremo menor del sólido

n = Exponente que define la forma del sólido

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

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

5.2.2. Funciones de ahusamiento.

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

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

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

5.3. Coeficiente de decrecimiento.

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

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

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

5.4. Coeficiente de esbeltez.

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

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

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

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

6. Estimación y medición del volumen

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

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

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

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

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

6.1. Tipos dendrométricos.

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



Asimilamos los troncos de los árboles o sólidos de revolución a los que llamamos “tipos dendrométricos”, engendrados por curvas de perfil que pertenecen a la familia de curvas de funciones del tipo:

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

Dónde: y = Radio del sólido en la posición x

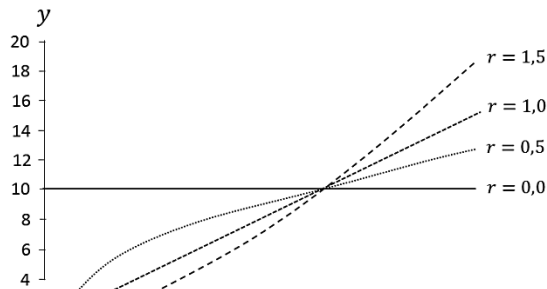
p = Constante que define el aumento del radio del sólido por cada unidad de aumento en la longitud

x = Distancia medida desde el extremo menor del sólido

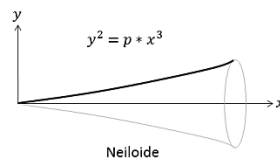
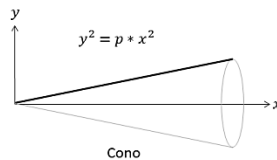
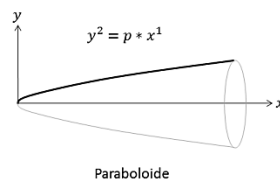
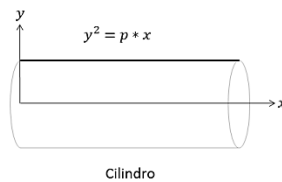
n = Exponente que define la forma del sólido

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

Según los distintos valores que toma n se generan los distintos tipos dendrométricos que son los siguientes:



Perfil de sólidos geométricos básicos



Sólidos obtenidos de la rotación de la curva de perfil en torno al eje longitudinal x .

Es indudable que la forma de un árbol está relacionada con el desarrollo de la copa. Si la altura de la copa es pequeña con relación a la altura total del árbol, se tendrá árboles de forma muy regular (cilindro, paraboloides). Por el contrario, si la copa está muy desarrollada como en los árboles aislados, se tendrán formas de fuste tendiendo hacia el cono.

En general:

- A la forma **cilíndrica** se asemejan aquellos árboles de fuste corto, por lo general, fustes de latifoliadas en masas densas.
- Al **paraboloides** se aproximan los pies de masa regulares de resinosas (coníferas que crecen en masa regular *P. sylvestris*).
- La forma **cónica** es típica en árboles que pertenecen a masas claras, tanto de coníferas como de latifoliadas.
- El **neiloide** es propio de árboles aislados, árboles tropicales.

6.2. Determinación del volumen de árboles apeados.

Los diversos métodos de cubicación que se examinarán a continuación conciernen únicamente al árbol tanto como fuste como a madera en troza.

6.2.1. Modelos teóricos.

Teniendo en cuenta la forma general de un árbol, el volumen de éste se aproxima a diferentes tipos dendrométricos o de sólidos de revolución, pero evidentemente el atribuirle una forma geométrica pura no es el reflejo de la realidad.

Con el fin de simplificar, consideraremos que un árbol puede descomponerse según las siguientes formas geométricas:

Cilindro	$v = \frac{\pi}{4} * d^2 * l$	$v = g * l$
Paraboloides	$v = \frac{\pi}{8} * d^2 * l$	$v = \frac{g * l}{2}$
Cono	$v = \frac{\pi}{12} * d^2 * l$	$v = \frac{g * l}{3}$
Neiloide	$v = \frac{\pi}{16} * d^2 * l$	$v = \frac{g * l}{4}$

Dónde: v = Volumen

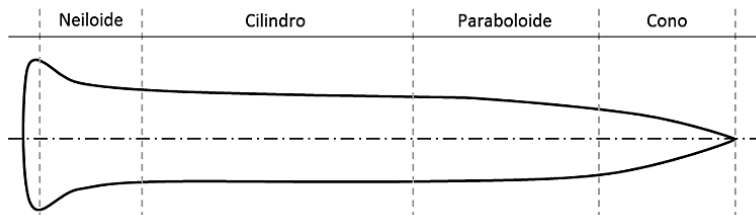
π = Constante igual a 3.1416

d = Diámetro

l = Longitud de troza o tronco

Si se quiere cubicar un árbol como si se tratase de un sólido perfecto se comenten errores debido a que en ningún caso el árbol se ajusta en su forma a un sólido perfecto y, sobre todo, a que es difícil tomar los valores de diámetro en ápice delgado y altura de fuste.

La mejor aproximación a la forma real del árbol, se hace descomponiendo este en trozas y aplicando a cada una de ellas el tipo geométrico más apropiado. Así, por lo general, la parte inferior del árbol se ajusta a un *neiloide*, el tramo medio inferior a un *cilindro* o a un *paraboloide*, el tramo medio superior a un *paraboloide* y el extremo superior a un *cono* o a un *paraboloide*. No obstante, los puntos de inflexión entre estas formas no presentan un patrón definido.

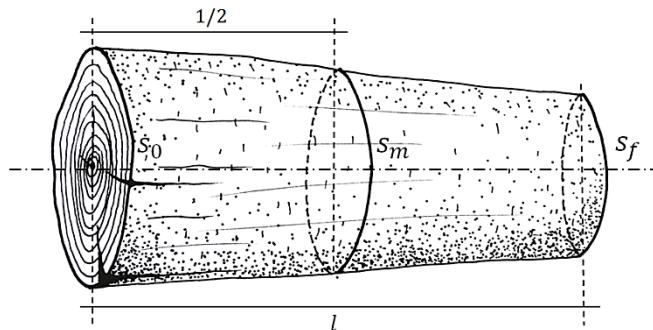


Descomposición de un árbol en trozas.

6.2.2. Cubicación.

Considerando la determinación del volumen del fuste en cuestión como un todo, por medio de fórmulas basadas en:

- Una medición de diámetro: Fórmula de HUBER
- Dos mediciones de diámetro: Fórmula de SMALIAN
- Tres mediciones de diámetro: Fórmula de NEWTON



a) Cubicación por la fórmula de HUBER.

La utilización de esta fórmula empírica se basa en la hipótesis de que el fuste, o el tronco de un árbol, está asimilado a un cilindro cuya base y altura corresponden respectivamente a la sección mediana y a la longitud de dicho tronco. El volumen se expresa de la siguiente manera:

$$v = \frac{\pi}{4} * d_m^2 * l \qquad v = 0,7854 * d_m^2 * l \qquad v = s_m * l$$

Dónde: v = Volumen del tronco

π = Constante igual a 3,1416

d_m = Diámetro a la mitad de la longitud

l = Longitud del tronco

s_m = Sección a la mitad de la longitud

La fórmula de Huber, generalmente requiere medir el diámetro a la mitad de la longitud de una tronca. En muchos casos no es fácilmente accesible como cuando las troncas se encuentran apiladas.

b) Cubicación por la fórmula de SMALIAN.

La fórmula de SMALIAN parte de la hipótesis de que el árbol a cubicar se asemeja a un tronco de paraboloides, de lo que resulta:

$$v = \frac{\frac{\pi}{4} * d_0^2 + \frac{\pi}{4} * d_f^2}{2} * l \qquad v = \frac{s_0 + s_f}{2} * l \qquad v = \frac{\pi}{8} (d_0^2 + d_f^2) * l$$

Dónde: d_0 = Diámetro de la sección en la base

d_f = Diámetro de la sección superior

s_0 = Sección en la base

s_f = Sección superior

c) Cubicación por la fórmula de NEWTON.

Esta fórmula es válida para todos los cuerpos de revolución cuya superficie "s" de la sección es función a una sección cuyo centro se encuentre referenciado en el origen del eje de coordenadas. El volumen se expresa a través de la siguiente fórmula

$$v = \frac{l}{6} * (s_0 + s_f + 4s_m)$$

Dónde: s_0 = Sección en la base

s_f = Sección superior

s_m = Sección media del tronco

6.3. Determinación del volumen de árboles en pie.

La cubicación de árboles en pie es mucho más delicada de realizar que la de los árboles apeados, pues supone el conocimiento previo, o la estimación, de ciertas características dendrométricas.

6.3.1. Determinación rápida del volumen por estimación ocular.

Evidentemente, la estimación "a ojo" del volumen de un árbol es una cuestión de experiencia y solo se toma en consideración si la precisión no es un factor fundamental. Un forestal experimentado puede estimar el volumen de un árbol con un error que no supere el 10 a 20 %. Una fórmula aproximada muy sencilla permite, sin embargo, "contrastar" las estimaciones oculares:

$$v = d^2 / 1.000$$

Dónde: v = Volumen maderable (en m³)
 d = Diámetro a 1,3 m (en cm)

Si por otra parte, se admite que el volumen de un árbol es igual al de un cilindro corregido por un factor de reducción f ; es decir por un coeficiente mórfico o factor de forma, que exprese la forma de este árbol, se puede escribir:

$$v = g * h * f$$

Dónde: v = Volumen maderable (en m³)
 g = Área basal
 h = Altura
 f = factor de forma

Cada especie tiene un factor de forma característico, que también varía durante el tiempo de crecimiento. En general en nuestro medio el factor de forma utilizado es de 0,65.

6.3.2. Determinación del volumen por característica de forma.

a) Por el coeficiente de decrecimiento.

Si se llega a estimar el decrecimiento de un árbol a cubicar con suficiente precisión, y se deduce de ello el grosor a la altura media, basta entonces con aplicar la fórmula de HUBER. Un procedimiento directo y más riguroso consiste en estimar este mismo grosor con la ayuda de instrumentos de medición apropiados.

Ejemplo: Sea un árbol de 28 m de altura total y de 1,50 m de circunferencia a 1,5 m del suelo. Su coeficiente de decrecimiento está estimado en el 85% y su decrecimiento métrico en 2 cm/m.

El volumen calculado por medio del coeficiente de decrecimiento se deduce de la siguiente relación:

$$\frac{(1,28m)^2}{4 * \pi} * 28 = 3,65m^3$$

Siendo, en efecto, la circunferencia a la mitad de la altura igual a $1,5 * 0,85 = 1,28m$.

La utilización del decrecimiento métrico proporciona como estimación de la circunferencia a la altura media:

$$1,50 - \left[\left(\frac{28}{2} \right) - 1,50 \right] * 0,02m = 1,25m$$

Y, en estas condiciones, el volumen es igual a:

$$\frac{(1,25m)^2}{4 * \pi} * 28 = 3,48m^3$$

b) Por el coeficiente mórfico.

De la misma manera que para el coeficiente de decrecimiento, el coeficiente mórfico permite, a partir del grosor a la altura normal, calcular directamente el volumen. En efecto, se puede escribir que:

$$v = \left(\frac{\pi}{4} * d^2 * h \right) * f = \left(\frac{c^2}{4 * \pi} * h \right) * f$$

6.4. Determinación del volumen de ramas y de pies apilados.

6.4.1. Determinación del volumen de ramas.

Generalmente, la determinación del volumen de ramas se apoya en principios comparables a los expuestos en la cubicación de fustes de árboles apeados, pudiéndose siempre aplicar las fórmulas de cubicación trozas sucesivas. Sin embargo, si se atribuye más importancia a la eficacia que a la precisión, se pueden imaginar diversas técnicas sustitutivas.

Grayet (1977), considera dos métodos simplificados: el primero consiste en buscar una relación entre el volumen de las ramas y la longitud total de las trozas, con el fin de estimar el volumen de ramas de las que no conocemos la longitud total. El segundo, más preciso, tiene en cuenta la longitud de las ramas, así como su grosor en la base, asimilándolas a troncos de cono.

6.4.2. Determinación del volumen de pies apilados.

Además de la determinación de volúmenes relativa a la madera sin ramas o a madera de construcción, resulta útil igualmente disponer de un medio de estimación del volumen de pequeños fustes o de ramas apiladas.

a) Factores de medida utilizados.

La unidad de medida de la madera apilada es el “estéreo”, que corresponde al volumen acumulado ocupado por las maderas de un metro de largo, apiladas en un metro de ancho y un metro de alto. El volumen es aparente porque concierne no solamente a la masa leñosa, sino también a los huecos, cuya importancia puede estar en relación con la forma de la madera. El volumen real depende, entre otras causas, de elementos tales como: Naturaleza de la madera, variación en grosor y cuidados en el apilado.

Para distinguir el volumen real y el volumen aparente, se utiliza la noción de coeficiente de apilados, que corresponde al volumen real de madera, expresado en m^3 , contenido en un estéreo. La inversa de esta relación se llama “factor de apilado”. En otros términos, el coeficiente de apilado CA tiene la expresión:

$$CA = \frac{\text{Volumen real (m}^3\text{)}}{\text{Volumen apilado (estéreos)}}$$

Y el factor de apilado FA corresponde a:

$$FA = \frac{\text{Volumen apilado (estéreos)}}{\text{Volumen real (m}^3\text{)}}$$

b) Estimación del coeficiente de apilado por fórmulas de cubicación

No es fácil estimar el coeficiente de apilado. Para fijar ideas, con vistas a estimar el volumen de madera contenido en una pila que forma un paralelepípedo, se puede aplicar las modalidades siguientes:

- En el caso de pies de *muy pequeño grosor*, la pesada es el único método aceptable; sin embargo, si queremos expresar montones apilados en volumen (m^3), prácticamente es necesario sumergir la madera en agua y medir el volumen desplazado.

- En el caso de pies de *calibre más grueso*, se recomienda, por ejemplo, por razones de facilidad y rapidez, medir en cada plano vertical los diámetros de todos los pies y aplicarles la fórmula de cubicación de SMALIAN; para ello, no se necesita más que el conocimiento de los diámetros extremos; o más sencillo, los diámetros de todos los pies en cada cara de la pila. El volumen real (V_t) resulta entonces de la expresión.

$$V_t = \frac{\pi}{8} \left[\sum_{i=1}^n d_{i1}^2 + \sum_{i=1}^n d_{i2}^2 \right] * l$$

Dónde: π = Constante igual a 3,1416

d_{i1} = Diámetro del pie i en la cara 1 de la pila

d_{i2} = Diámetro del pie i en la cara 2 de la pila

n = Número total de pies en la pila

l = Longitud constante de los pies

Esta fórmula, aplicada a varias pilas de pies, permite calcular el coeficiente de apilado de la siguiente forma:

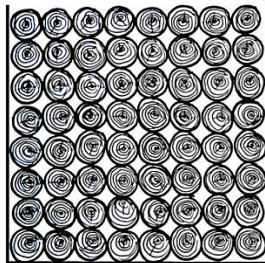
$$CA = \frac{V_t}{V_s}$$

Dónde: CA = Coeficiente de Apilado

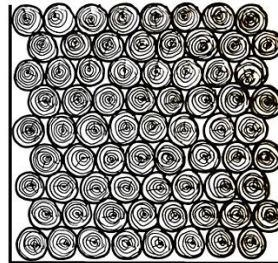
V_t = Volumen total (real) de madera, en m^3 , en las pilas muestreadas.

V_s = Volumen de estas mismas pilas en estéreos.

- En el caso de pies de *forma cilíndrica y del mismo grosor*, se puede demostrar que el coeficiente de apilado CA es próximo a 0,785 (es decir, $\pi/4$), si los pies están colocados en “cuadrado” y de 0,907 (es decir, $\pi/2\sqrt{3}$) si están dispuestos en “triángulo”.



(a)



(b)

Disposición de los pies apilados en “cuadrado” (a) y en “triángulo” (b)

6.5. Determinación del volumen de madera aserrada.

Para su determinar el volumen de madera aserrada se utiliza la siguiente expresión:

$$V = \frac{A'' * E'' * L'}{12}$$

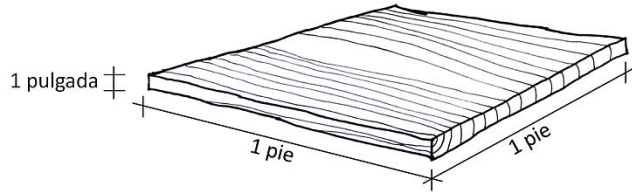
Dónde: V = Volumen en pies tablares (pt)

A = Ancho en pulgadas (")

E = Espesor en pulgadas (")

L = Largo en pies (')

El pie tablar es una medida inglesa comúnmente utilizada en nuestro país para calcular volúmenes de madera aserrada. Esta unidad representa una tabla con dimensiones de 1 pie de ancho, 1 pulgada de espesor y un pie de largo, que equivale a $0,002359 \text{ m}^3$, o el equivalente de $1 \text{ m}^3 = 423,91 \text{ pt}$.



6.6. Determinación del volumen de un bloque de madera.

Para su cálculo se utiliza la fórmula del bloque en metros cúbicos (m^3), el cálculo de volumen se realiza de la siguiente manera:

$$V = A * E * L_p * f_e$$

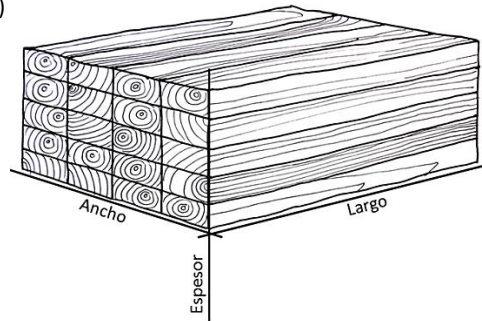
Dónde: V = Volumen (m^3)

A = Ancho del bloque (m)

E = Espesor del bloque (m)

L_p = Largo promedio del bloque (m)

f_e = Factor de espaciamiento (0,78)



Cuando se tiene que determinar el volumen del bloque de madera en Pies tablares (pt), misma que está siendo transportada en un camión, se utilizará la siguiente fórmula:

$$V_b = V_c * N_c$$

Dónde: V_b = Volumen del bloque (pt)
 V_c = Volumen de una camada (pt)
 N_c = Número de camadas

$$V_c = \frac{A_b'' * E_c'' * L_c'}{12}$$

Dónde: V_c = Volumen de una camada (pt)
 A_b = Ancho del bloque, descontando los espacios vacíos entre tabla y tabla que varía hasta un 10%.
 E_c = Espesor de la camada (se refiere al espesor de las tablas)
 L_c = Largo de la camada (se refiere al largo de una tabla representativa)

6.7. Tablas de volumen.

Las tablas de volumen constituyen un elemento esencial en trabajos de evaluación forestal. Son construidas para especies individuales o para grupos de especies. Unas sirven para estimar el volumen de los árboles en función del diámetro, a las que se les ha denominado tablas "de una entrada". Otras estiman el volumen en función del diámetro y la altura, conocida como tabla de volumen "de doble entrada". Un tercer tipo son las "tablas formales", las cuales estiman el volumen en función del diámetro, altura y clase de forma.

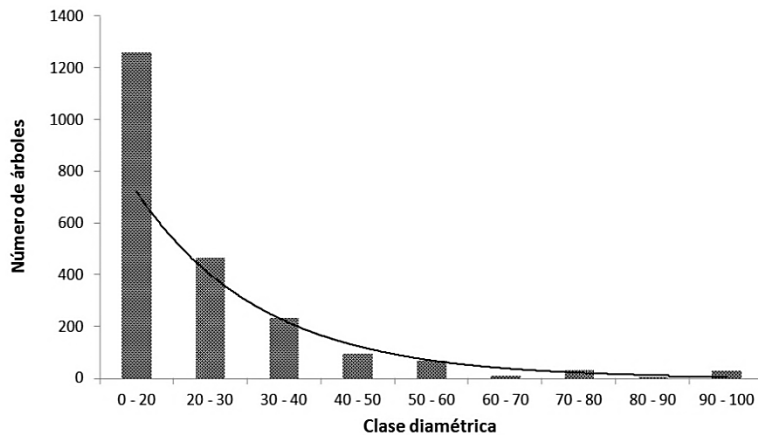
Las tablas de volumen de una entrada tienen menor precisión por asumirse que árboles con el mismo diámetro a la altura del pecho (DAP), poseen una misma altura media e igual forma. Sin embargo, esto dependerá de la variación de los árboles en el área específica. La selección del tipo de tabla de volumen a usar dependerá de la precisión que se desea tener.

7. Estructura y densidad de masas forestales

Los conceptos de *estructura* y de *densidad* de masas forestales están estrechamente relacionados. El primero se refiere a la distribución de especies y tamaños de los árboles en un área forestal, en tanto que el segundo se relaciona con el grado en que un sitio está siendo utilizado por los árboles. Ese grado de ocupación depende, naturalmente, del número, tamaño y arreglo de los árboles en el terreno.

7.1. Estructura de una masa.

La estructura de una masa se refiere a la distribución de especies y tamaño de los árboles en un área forestal. Habitualmente se evalúa a partir de la distribución de frecuencia por clase de tamaño. Al observar la distribución de frecuencia por clase de diámetro a la altura del pecho (DAP) se reconocen 2 estructuras típicas. En un extremo están las masas *coetáneas* conformados por árboles de aproximadamente la misma edad; en estas masas, la distribución diamétrica es aproximadamente normal. En el otro extremo están las masas *disetáneas*, conformados por árboles que varían ampliamente en edad y tamaño. La forma típica de la distribución diamétrica de la distribución diamétrica es la exponencial negativa, la que también suele representarse como una "J" invertida.



Distribución diamétrica típica de masas disetáneas

7.2. Densidad.

Los organismos son afectados por las condiciones en que viven y por los recursos que obtienen del ambiente circundante. Los individuos de una misma especie tienen requerimientos similares para sobrevivir, crecer y reproducirse. La *competencia* entre los individuos se inicia cuando la demanda total de estos por un recurso excede el suplemento disponible en el espacio de uso común; en esa competencia, algunos individuos no satisfarán completamente sus necesidades. Así, la competencia se define como la interacción entre individuos que es generada por un recurso de uso compartido cuyo suplemento es limitado, la que conduce a una reducción en la sobrevivencia, crecimiento y/reproducción de los individuos. A mayor número de individuos por unidad de superficie, mayor es el efecto de la competencia sobre un individuo en particular. Así, densidad, competencia y crecimiento son temas afines.

El concepto de *densidad* en forestal se relaciona con el grado en que un sitio está siendo utilizado por los árboles. Existen en literatura dos términos generales para expresar densidad. Por un lado, está la expresión absoluta de densidad, que señala la cantidad de madera o grado de amontonamiento de árboles en un área. Así se utilizan indicadores como área basal ($m^2/ha.$), número de árboles ($n/ha.$) y cobertura de copas por unidad de superficie, entre otros.

Por otro lado, está la densidad relativa, que describe lo adecuado de una densidad de masa en relación a un objetivo de manejo; se expresa en porcentaje de la densidad deseable para un objetivo de manejo. Así, por ejemplo, una masa con una densidad absoluta determinada puede ser considerado como demasiado denso si la masa o el rodal es manejado para silvopastoreo, pero ese mismo rodal puede ser considerado como demasiado ralo para producir madera de uso pulpable. Un indicador relativo debiera expresar esa condición.

8. Epidometría

La epidometría proviene de dos vocablos griegos-latinos: *epidos* = edad y *metros* = medida, Consecuentemente la epidometría forestal, es la especialidad que trata de todos los aspectos relacionados con la edad del árbol y las poblaciones forestales; entre los cuales se encuentran el crecimiento e incremento maderable de los arboles individuales, elementos imprescindibles para determinar o estimar la producción y el rendimiento maderable de las masas o poblaciones forestales.

8.1. Edad.

Los árboles como otros seres vivos, crecen, se reproducen y mueren. En Ingeniería Forestal, es importante que cada una de estas fases de vida de un árbol quede muy bien comprendida. En general se conoce que la edad de cualquier organismo vivo, es el periodo de vida que tiene, considerado desde su origen hasta un punto determinado en el tiempo. En terminología forestal, la edad de un árbol se define como el número de años transcurridos desde la germinación de la semilla hasta el momento en que es observado o medido (Souza, 1973). Genéricamente el estudio de la edad y del crecimiento del árbol, masas forestales o bosques y de sus implicaciones es tratado por la epidometría.

Los árboles fácilmente consiguen llegar a más de 100 años de vida. Muchos individuos de bosque tropical probablemente alcanzan edades entre 100 y 700 años (Botosso y Mattos. 2002). Se conoce que el árbol más viejo del mundo, aún en pie, es el *Pinus aristata* que habita en el estado norteamericano de California con una edad estimada entre 4.200 y 4.600 años.

La posibilidad de conocer o estimar la edad de los árboles, permite hoy en día contar con sólidos fundamentos de interpretación en las ciencias forestales, como la ecología y son imprescindibles para aplicar correctos ciclos de corta, raleos y otras actividades silviculturales y efectuar el aprovechamiento sostenible, así como para estudiar la dinámica de poblaciones vegetales y la productividad de ecosistemas. Para este propósito, conocer la edad como un parámetro medible, se transforma en una herramienta de decisión de apreciable valor.

En la práctica, la variable edad comprende el periodo en años que ha transcurrido desde el comienzo de la vida del árbol hasta el momento en que la comunidad forestal se encuentra en su última fase de crecimiento, periodo de senescencia de los árboles.

Se diferencia de la edad de rotación comercial, que se refiere al año en que los árboles deben ser cortados siguiendo los principios establecidos en los Planes de Aprovechamiento Forestal.

Una consecuencia visible de la edad, es el crecimiento reflejado en el aumento del tamaño de los árboles. Sin embargo, sobre este periodo de tiempo el tamaño del individuo, es el resultado de las interacciones, la capacidad genética, inherente al individuo y del sitio en el cual esta se está desarrollando. En el periodo de crecimiento intervienen también factores climáticos, tales como la temperatura, humedad del aire, duración e intensidad de luz, y otros factores como la fertilidad del suelo, los cuales constituyen elementos decisivos para el crecimiento de los árboles, periodo conocido como estación o época de crecimiento.

Las alteraciones de esas condiciones ambientales, pueden producir periodos de crecimiento estacionario en las plantas, que en muchos árboles se refleja en la estructura anatómica de la madera, que adquiere características anatómicas estructurales muy bien definidas y fácilmente observables. Es la respuesta a tales procesos fenológicos que marcan el comienzo y fin de la estación de crecimiento. De este modo, de acuerdo a la precisión que se desee en la determinación de la edad de un árbol, se puede recurrir a métodos de medición que permiten estimarla.

8.2. Estimación de la edad.

8.2.1. Por observación.

Se puede estimar la edad de un árbol por su tamaño o apariencia general, a través de un simple análisis visual. Este método requiere de mucha experiencia y práctica; el mensurador debe estar completamente familiarizado con el comportamiento silvicultural y las características fenológicas de la especie o especies y del ambiente donde el árbol o los árboles se desarrollan; es necesario por tanto un profundo conocimiento del ritmo de crecimiento de las especies existentes en el área de estudio. La estimación de la edad es muy subjetiva y bastante inexacta. Puesto que se basa en la historia del bosque y en las características morfológicas de las especies, como el alisamiento y cambio de coloración de la corteza: como tal, su uso está generalmente restringido para agrupar árboles en intervalos de clases de edad de 10, 15, 20 o más años.

Sin embargo, este método puede ser utilizado cuando se trata de clasificar los árboles silviculturalmente, considerando la posibilidad de identificación de los individuos para el ingreso en los respectivos Planes de Manejo Forestal. En este sentido, los árboles pueden ser clasificados en brinzal, latizal y fustal.

Brinjal es aquel individuo que tiene una altura comprendida entre los 30 cm. y menor o igual a 1,5 m. *Latizal* es aquel individuo que tiene una altura mayor a 1,5 m. y un diámetro normal menor o igual a 10 cm. *Fustal* es el árbol que tiene un diámetro normal entre 10 y 25 cm.

De acuerdo a la exposición a la luz solar, los árboles se pueden clasificar en árboles emergentes (los que ocupan el estrato superior del dosel del bosque), dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos (los que están posicionados debajo del dosel) Mostacedo, 2000. Los tamaños y la forma de los árboles siempre estarán afectados y dependientes de las características del sitio y de las condiciones en que están creciendo. Así, los árboles de una misma especie y con la misma edad podrán presentar notorias diferencias en sus variables dendrométricas, pudiendo presentar valores semejantes en el diámetro normal a 1,3 m. pero muy diferentes en altura total.

En ese sentido una de las finalidades de la silvicultura es orientar y optimizar el crecimiento de los árboles a través de la manipulación de los efectos del sitio, principalmente de la intensidad de luz disponible para el crecimiento correspondiente.

8.2.2. Cuento de verticilos.

Algunos de los árboles como las Araucarias (y otras especies de coníferas) muestran una forma típica de crecimiento que en botánica se denomina de crecimiento monopodial (cuando presente solo un ápice definido como yema apical). Cuando deja de existir la predominancia del crecimiento de la yema apical, entran en actividad las yemas subyacentes que dan origen a las diversas ramas formando el crecimiento simpodial, situación que se presenta en la mayoría de los árboles tropicales.



Monopodial (*Cupressus sempervirens*)



Simpodial (*Melia azedarach*)

Muchos árboles de la especie *Pinus spp.* forman en algunos sectores del tronco una estructura particular en forma de nudos, de donde nacen las ramas laterales, formando anualmente lo que se denominan verticilos. Este fenómeno se explica en el sentido de que al final de cada época de reproducción vegetativa, el árbol origina en la punta de su último brote la yema apical; con el inicio de la siguiente época de crecimiento vegetativo, esta yema continúa creciendo, desarrollando una nueva yema apical con un nuevo brote formando en su base los verticilos.

Contando el número de verticilos se puede estimar la edad del árbol asociando el número de verticilos a la edad del individuo en años; sin embargo, solamente en algunas especies forestales, el número de verticilos a lo largo del tronco corresponde exactamente a la edad del árbol. Las especies forestales que presentan esa característica normalmente crecen en climas templados.

Un inconveniente con esta forma de determinar la edad de los árboles, es la tendencia natural de los verticilos ubicados en la sección inferior del árbol de perderse con el avance del tiempo, pudiendo dificultar la determinación de la edad real del individuo. Para utilizar este método es indispensable conocer bien el hábito de ramificación de la especie; puede acontecer que algunos árboles individuales, en sitios específicos, formen además del verticilo anual uno o dos verticilos más por año, o que formen los verticilos en periodos superiores a un año.

Midiendo la distancia entre dos verticilos se puede también determinar el correspondiente crecimiento en altura. En este caso, la distancia entre verticilos puede corresponder al incremento en altura de un año para el otro. No existe registro de que este método de determinación de la edad de los árboles, haya sido utilizado en áreas tropicales o subtropicales.

8.2.3. Conteo de anillos de crecimiento.

Los anillos de crecimiento, resultan de la sobreposición sucesiva de las capas de tejido leñoso en el tronco del árbol, en razón de la actividad periódica del cambium. Así, la actividad del cambium va acumulando año a año capas sobrepuestas que van a originar la formación de los anillos de crecimiento. Los anillos de crecimiento se inician en la médula del árbol y continúan hacia la corteza; consecuentemente la formación de los anillos de crecimiento tiene lugar en el cambium del árbol. Junto a los anillos se forman también los radios leñosos (rayos medulares o del xilema), elementos anatómicos que actualmente vienen adquiriendo mayor importancia en la investigación dendrocronológica, la ciencia que se ocupa del análisis de los anillos de crecimiento desde una perspectiva temporal y que ha dado origen a la dendroclimatología, que constituye una disciplina especializada que permite extraer y seleccionar la información de carácter climático contenida en la variabilidad de los datos dendrocronológicos.

El anillo de crecimiento está compuesto básicamente de dos capas de tejido meristemático, la primera de tonalidad más clara que es llamada de leño inicial, temprano o primaveral, y la segunda de tonalidad más oscura denominada de leño tardío o secundario; son en consecuencia resultado de la actividad del cambium del árbol en dos períodos: la vegetativa y la relativa al reposo fisiológico de la especie, equivalente al periodo de stress fisiológico, inadecuado para el crecimiento.

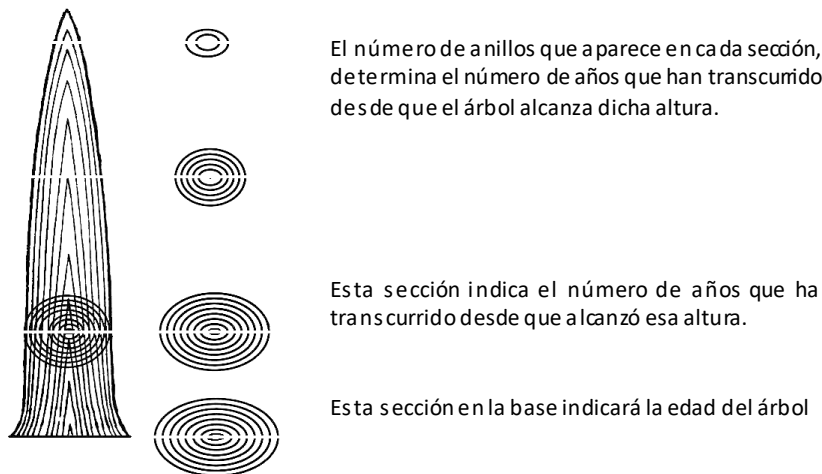
En sitios donde existen claramente diferenciados períodos específicos de verano e invierno, o de lluvias y sequías, el crecimiento de los árboles se refleja en esas características, originando sectores que, comparativamente, crecen más y sectores donde el crecimiento es mínimo y en muchos casos, es nulo. Esa diferencia de crecimiento entre los tejidos del leño inicial o temprano y leño tardío, representados en las capas sobrepuestas, produce nítidamente áreas más o menos concéntricas que son denominadas anillos de crecimiento. Sin embargo, algunos cambios expresivos en la cantidad de luz diaria disponible (iluminación directa al árbol) pueden ocasionar crecimientos diferenciados que podrían reflejarse en la formación de los anillos de crecimiento.



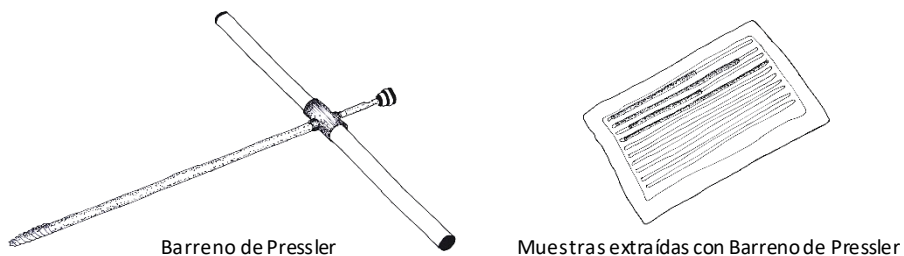
Anillos de crecimiento de una especie de *Pinus spp.*

La formación de los anillos de crecimiento requiere consecuentemente de la existencia de un período de stress fisiológico durante el año, lo que se asocia a climas de la región templada, es decir que en ese tipo de clima la formación de los anillos queda bien definida la edad del árbol.

El conteo de los anillos de crecimiento que es realizado en la base del tronco, suele indicar con mayor precisión la edad del individuo observado; mientras que en la parte superior del tronco existe evidentemente menor número de anillos, toda vez que las capas de formación del leño se acumulan en la parte inferior del tronco.



En árboles cortados, los anillos de crecimiento pueden ser observados en segmentos de troncos cortados en forma de discos o en cortes transversales del tronco. En árboles en pie, las muestras que se extraen de forma cilíndrica, obtenidas mediante el uso del Taladro de o Barreno de Pressler, se denominan tarugos de incremento.



En las dos últimas décadas, del estudio de los anillos de crecimiento surgieron las especialidades de dendrocronología y la dendroclimatología. La dendrocronología se refiere al conocimiento del leño, relacionándolas a datos biológicos (por ejemplo, la cantidad y calidad del polen de especies vegetales en determinados períodos) y de las variaciones ecológicas y ambientales ocurridas en el sitio donde se encuentran o encontraron esos árboles.

La dendroclimatología, los anillos de crecimiento permiten la identificación y la reconstrucción de las condiciones del clima que existieron en esos sitios y, consecuentemente, reconocer las alteraciones ambientales naturales que influyeron en la dinámica de las poblaciones arbóreas e indirectamente sobre el comportamiento del recurso hídrico y sus correspondientes procesos geomorfológicos (Tomazello, et. al., 2001).

En especies tropicales y subtropicales normalmente no existe un claro contraste entre el leño inicial y el leño tardío, no siempre existe una perfecta diferenciación entre los períodos de crecimiento en función de un periodo seco que se reflejen en los anillos de crecimiento: en consecuencia, en climas tropicales y subtropicales este método aún precisa de muchos trabajos de investigación como para ser utilizado con confianza. Para especies de clima templado, especialmente las coníferas, el método es bastante preciso y tiene importante uso práctico. Naturalmente, es posible que ocurra la formación de los llamados *falsos anillos de crecimiento*, producidos como consecuencia de sucesivos períodos cortos de sequía y lluvias, ataque de insectos, enfermedades, heladas y otros factores, que originan más de un ciclo de crecimiento durante el período de un año, complicando la estimación de la edad por este medio. En el trópico, también existen los llamados *anillos sobrepuestos*, causados por el crecimiento irregular de la madera, especialmente en la madera de los denominados aletones, contrafuertes o raíces tubulares, donde es posible encontrar configuraciones de anillos sobrepuestos que probablemente son formados por el efecto de la abundancia de agua en los suelos, lo que obliga en algunas especies a disminuir la actividad de absorción de nutrientes, causa probable de la formación de esos anillos.

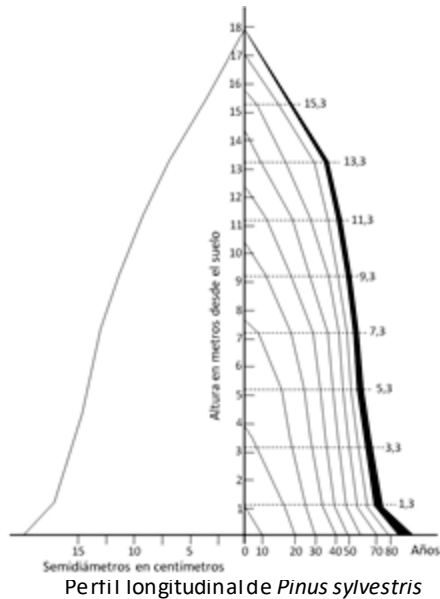
Así, la determinación de la edad de los árboles en especies tropicales, a través del conteo de los anillos de crecimiento, resulta un trabajo mucho más complejo, puesto que existe poca información. Además, se debe considerar que: **a)** no todas las especies caducifolias forman anillos de crecimiento; **b)** algunas especies siempre verdes forman estructuras muy similares a los anillos de crecimiento, conocidas como zonas de crecimiento; **c)** algunas especies mantienen el ciclo de crecimiento estrictamente influenciado por las lluvias; y **d)** presentan una discontinuidad de la estructura colorida. En consecuencia, en los trópicos, la determinación de la edad de los árboles constituye uno de los problemas que precisa ser solucionado por la investigación de la ciencia forestal.

8.3. Análisis del tronco de un árbol.

La producción de un determinado rodal, puede ser estimada con bastante precisión a partir del estudio del crecimiento de los árboles individuales o de un bosque como un todo. En general, este tipo de estudio es realizado por medio de inventarios forestales continuos ejecutados en Parcelas Permanentes de Muestreo PPM's y en intervalos de tiempo predeterminados (normalmente de 3, 5 o 10 años).

Así el análisis del tronco se presenta como una interesante alternativa para evaluar el crecimiento pasado de un árbol, de forma rápida y precisa, permitiendo la realización de inferencias sobre la producción maderera futura del bosque. Este método adquiere importancia toda vez que en cualquier época se puede reconstruir el pasado de un árbol, sintetizando su comportamiento desde su fase juvenil hasta el momento en que es realizado el análisis.

El análisis del tronco también es conocido como análisis del fuste o análisis troncal, y consiste en la medición, equidistante o no, de cierto número de discos o secciones transversales del tronco de un árbol para determinar el crecimiento y el desarrollo en los diferentes períodos de la vida del individuo observado. Esta técnica permite determinar el crecimiento pasado de los árboles individuales (Silva y Paula Neto, 1979).



El análisis del tronco es adecuado para especies que tienen anillos de crecimiento fácilmente observables, como resultado de la actividad del cambium (tejido divisorio entre floema y xilema) de los árboles durante los periodos de máxima actividad vegetativa y de periodos de reducción de las actividades fisiológicas (Finger, 1992). Este análisis, además de permitir la determinación de la edad del árbol, también proporciona la posibilidad de conocer en sus diferentes fases de crecimiento los correspondientes crecimientos anuales en diámetro y altura y en consecuencia el crecimiento del área basal o seccional y el volumen de madera producido en cada una de esas fases de crecimiento.

Tomando un ejemplo de Mackay (1964) realizado en un árbol de *Pinus sylvestris*, el análisis de un tronco también se puede representar de forma gráfica a través de un perfil longitudinal, que incluye por un lado el perfil del tronco en cada año o período de crecimiento y por otro la altura del árbol. En el gráfico se trazan dos ejes horizontales, uno para la edad y otro para los radios o diámetros de los anillos y un eje vertical común representando la altura en que se obtuvieron las muestras.

En el perfil longitudinal, se observa que a nivel del tocón se contaron 78 anillos de crecimiento y se midió el desarrollo del mismo cada 2 metros en altura.

El análisis del tronco, además de ser usado para determinar la edad de los árboles, también puede ser útil para la interpretación del crecimiento en respuesta a los cambios de estación, de la cantidad de precipitación, en el estudio de las tasas de crecimiento y como herramienta en los Planes de Manejo Forestal (Brienen y Zuidema, 2003). Pueden ser clasificados en dos tipos, el análisis del tronco parcial y el análisis completo del tronco; en ambos casos se trata de contar los anillos de crecimiento.

8.3.1. Análisis parcial del tronco (árbol en pie).

En el análisis parcial del tronco, el árbol no precisa ser cortado, se trata consecuentemente de un método no destructivo y puede servir en consecuencia para analizar mayor número de individuos mejorando la exactitud de las estimaciones.

Los anillos de crecimiento se cuentan en un pequeño cilindro de madera, tarugo, obtenido utilizando el barreno de incremento o Barreno de Pressler, aplicado en el tronco a la altura de 1,30 m. por efectos de estandarización. De cada árbol a ser analizado se puede extraer una o dos muestras, siendo lo usual retirar dos muestras de cada árbol manteniendo un ángulo de 90° entre los puntos de extracción. Las muestras deben ser acondicionadas en recipientes apropiados para evitar que se resequen o se quiebren. Se estima la edad final del árbol, contando el número de anillos de crecimiento, más la edad necesaria para que el árbol consiga llegar hasta la altura de 1,30 m.

Cuando se usa este método se deben tomar en consideración algunas restricciones que pueden presentar las muestras extraídas, particularmente debido a la excentricidad de las secciones de las formaciones irregulares de los anillos y del tamaño de los mismos, principalmente en árboles de mayor edad y de grandes dimensiones. A pesar de estas restricciones, el conteo minucioso de anillos de crecimiento permite una determinación rigurosa de la edad del árbol y permite realizar estudios precisos de los correspondientes incrementos.

Otra dificultad cuando se emplea esta técnica surge de la naturaleza del leño, puesto que aquellas especies, cuya madera tiene un grado de dureza tan alto, hacen muy difícil la penetración del barreno de Pressler en el tronco; se ha sugerido el uso de cuerdas que se enroscan sobre el tronco, como un torniquete, que ayudan a que el barreno penetre en el tronco. En casos imposibles de usar el barreno, deberá recurrirse al análisis completo del tronco.

8.3.2. Análisis completo del tronco (árbol cortado).

En la práctica forestal, la capacidad productiva de un determinado sitio puede ser determinada mediante inventarios forestales continuos utilizando unidades de muestreo permanente; el inconveniente con este procedimiento es que demanda un largo periodo de monitoreo, además de consumir más trabajo y costos elevados de operación. Alternativamente, puede utilizarse el análisis del tronco completo, que puede realizarse en cualquier época para reconstruir el desarrollo de un árbol en términos de crecimientos pasados. Sin embargo, para este procedimiento el árbol tiene que ser cortado o tumbado, previa selección mediante muestreo según el modelo estadístico que asegure mejor precisión en la estimación.

Los pasos que se seguirán para el análisis completo del tronco de un árbol son:

a) Selección de los árboles muestra.

Deben reflejar las características de sitio por lo que deben ser escogidos preferentemente árboles de los estratos dominantes y codominantes (individuos libres de competencia). Si se desea estimar el valor medio de la población, deberán escogerse árboles que tengan un área basal promedio. Si el propósito es tener una estimación de todo el rodal, la muestra debe contener árboles de diversos sitios, de diferentes edades y de todas las clases diamétricas.

b) Seccionamiento del árbol.

Se debe procurar obtener la máxima variación posible, tomando en consideración el costo del proceso y de los aspectos operacionales. Seleccionado el árbol muestra, este será cortado y de él retirados las muestras (Secciones transversales del tronco), empezando por el extremo inferior del tronco próximo a la altura de 0,30 m. siguiéndose hasta el ápice del tronco. El grosor de las muestras, puede variar entre 3 y 5 cm. Considerando que muestras más delgadas se agrietan con mucha facilidad y que muestras más gruesas demoran en su secado.

c) Secado.

Después de obtener las muestras, éstos deben pasar por el proceso de secado y posteriormente de lijado. El secado debe ser realizado en lugares bajo sombra; el proceso de secado estará concluido cuándo el contenido de humedad de las muestras se encuentre en equilibrio con la humedad del aire.

En el caso de usar una estufa, el tiempo de secado se reduce significativamente de 3 a 5 días, el secado estará concluido cuando las muestras presenten pesos constantes, es decir, que no exista más pérdida de agua. Después del secado las muestras deben ser lijadas para que los anillos de crecimiento sean más visibles y faciliten el correspondiente conteo y medición pertinente.

d) Marcado de los radios de medición.

Para medir el grosor de los anillos de crecimiento se trazan radios desde la médula hasta el borde de la muestra. Es conveniente el trazado de cuatro radios dispuestos perpendicularmente. El grosor estimado de los anillos de crecimiento que se obtenga de la media aritmética de los cuatro radios será evidentemente el más representativo.

En especies donde los anillos de crecimiento no son visibles se pueden utilizar colorantes químicos como fucsina, azul de metileno u otros para mejorar la visualización de anillos.

e) Medición de los anillos de crecimiento.

La medición del número y espesor de los anillos se realiza sobre los radios trazados, considerándose que la médula, es el punto cero. Para la medición pueden usarse reglas o aparatos ópticos (lupas). Es recomendable realizar un buen análisis de los anillos de crecimiento a la altura de 1,30 m. puesto que es el parámetro de referencia para estimar otras variables. Cuando se han realizado mediciones tanto del número como el espesor de los anillos de crecimiento pueden lograrse correlaciones interesantes para estimar posteriormente el crecimiento del árbol.

f) Trazado del perfil longitudinal del árbol.

A partir de los datos medidos, se construye el perfil longitudinal del árbol, de donde se puede estimar su edad, altura, diámetro, área basal, transversales y volumen.

En la construcción del perfil longitudinal se observan los datos y se transfieren a un papel milimetrado, sobre el cual se marcan los pares de datos en un sistema de coordenadas.

Uno de los ejes debe ser considerado para marcar las alturas donde fueron retiradas las muestras hasta la altura total, usualmente el eje de las abscisas, eje x, y en el eje y el diámetro correspondiente. Después de la marcación de los diámetros en cada nivel de altura se procede con la unión de los puntos correspondientes a cada anillo en el eje del árbol. La unión de los puntos se efectúa de la corteza hacia la médula, representando así el análisis completo del tronco.

El análisis de un tronco permitirá a demás describir las distintas circunstancias por las que ha pasado el árbol a lo largo de su vida, habiendo quedado plasmadas estas en la formación de sus anillos de crecimiento.

En el ejemplo se puede observar que este árbol tiene 62 años, ha sufrido situaciones adversas (incendios, sequías, plagas) y condiciones favorables.

En sus primeros años crece rápidamente sin perturbaciones, con abundantes lluvias y luz solar en primavera y verano, los anillos de crecimiento son relativamente anchos y regularmente espaciados.

Cuando el árbol tenía 6 años, algo lo empujó fuertemente haciéndole inclinar (quizás una copiosa nevada o un árbol caído). El árbol sobrevive muy inclinado y al desaparecer la circunstancia que lo motivó, sus anillos se ensanchan en el sentido adecuado, produciendo madera de reacción para enderezarlo.

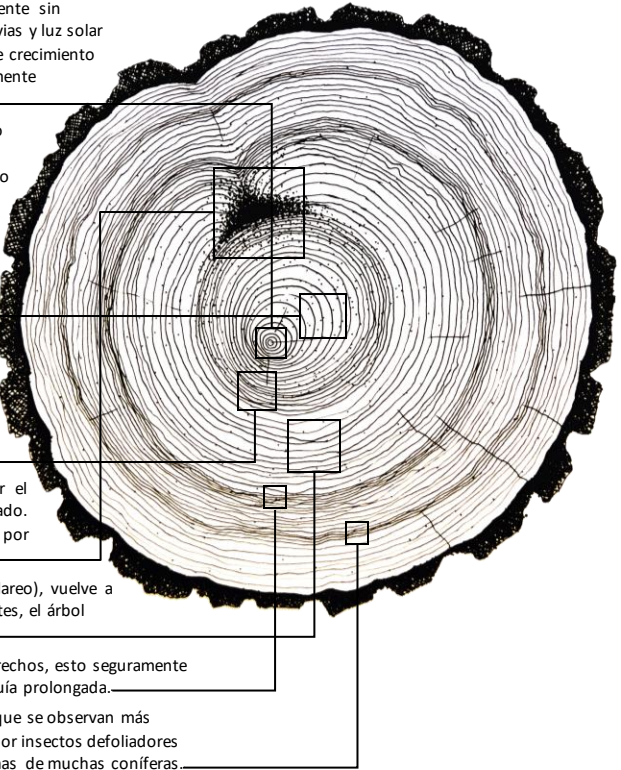
El árbol crece derecho de nuevo, También crecen los árboles próximos. Aparece la competencia por la luz, el agua y sustancias nutritivas entre los sistemas aéreos y las raíces.

Un incendio pasa velozmente por el bosque, el árbol solo resulta dañado. Año tras año la cicatriz es cubierta por madera de nueva formación.

Se produce una corta de mejora (aclareo), vuelve a tener luz, agua y nutrientes suficientes, el árbol vuelve a crecer con rapidez.

Se observan una serie de anillos estrechos, esto seguramente causado por varios años de una sequía prolongada.

Esta otra serie de anillos estrechos que se observan más adelante pudo haber sido causada por insectos defoliadores cuyas larvas devoran las hojas y yemas de muchas coníferas.



Varios años después el árbol es apeado.

8.4. Crecimiento de los árboles.

El crecimiento de los árboles puede ser medido a través de la modificación, a un mayor valor, de la magnitud de cualquier característica mensurable, como el diámetro, el área basal, la altura, el volumen, el peso, la biomasa y otros. El crecimiento de los árboles individuales se refleja en el aumento de los tejidos (floema, xilema, tallo, parénquima) a través del tiempo, en el cual se produce la suma de la división celular, elongamiento del meristemo primario y engrosamiento de las células del meristemo secundario. En consecuencia, se puede definir el crecimiento de los árboles como el resultado de la modificación conjugada de diversas variables dendrométricas como el diámetro, la altura, área basal, forma de tronco y volumen.

Las leyes de crecimiento biológico exigen una cantidad variada de atención crítica y pierden precisión y significado a medida que aumenta el período de tiempo sobre el cual ellos son aplicados. Se reconocen cinco leyes de crecimiento biológico, resaltando que las mismas se refieren al crecimiento de organismos individuales:

1^{ra} Ley: El tamaño es una función monotónica creciente de la edad.

Es una expresión menos formal significa que los organismos no decrecen en tamaño cuando quedan viejos. Una afirmación más causal, como: "los organismos aumentan en tamaño a medida que aumentan en edad" sería mucho menos satisfactoria, pues contrasta el hecho de que, en el curso de su desarrollo, los organismos se aproximan a un tamaño límite. Es plausible suponer que eso ocurra, considerando que la mayoría de las funciones comúnmente utilizadas para describir el curso del crecimiento son funciones con valores límites. Aun así, es importante no excluir la posibilidad de que los organismos alcancen un tamaño máximo en que permanezcan virtualmente estacionarios durante la parte más tardía de sus vidas.

2^{da} Ley: Los resultados del crecimiento biológico son, por sí solos típicamente capaces de crecer.

El crecimiento biológico es fundamentalmente del tipo multiplicativo. Esta es la única "ley del crecimiento" comúnmente reconocida como tal. Esto Justifica el uso casi universal de la diferencial relativa como una de las más probables en expresar, de modo significativo, cambios de tamaño.

$$\frac{dw}{dt * W} = \frac{d}{dt} * [\text{Log}_e(w)]$$

La estimación de esta expresión proviene de la tasa de crecimiento específico o tasa relativa de crecimiento. El caso especial de crecimiento por la ley de interés compuesto corresponde a una tasa de crecimiento uniforme específica.

3^{ra} Ley: En un ambiente sin perturbación el crecimiento ocurre a una velocidad constante y uniforme.

La constancia que la ley requiere, se refiere al ambiente externo, pero también al interno. Del lado externo el trabajo debe ser hecho sobre un modelo de crecimiento, considerando que el ambiente permanece constante y que el medio interno de los organismos complejos no es accesible al tipo de control experimental que se exige. Se ha demostrado que aún en cultivos de tejidos y en poblaciones de organismos no celulares, estos pueden ser inducidos a crecer en función logarítmica por un lapso de tiempo significativo.

4^{ta} Ley: Sobre ciertas condiciones de desarrollo, la aceleración del crecimiento es siempre negativa.

La tasa de crecimiento puede elevarse y después caer, como ocurre con cualquier organismo; el crecimiento se puede expresar por intermedio de una curva de tipo sigmoideal, donde la tasa específica de crecimiento siempre cae. Con alguna excepción para esta regla general, significa que “aquellos resultados del crecimiento biológico, aunque capaces de crecer, no son capaces de crecer tan rápido como sus precursores”. Por tanto, la senescencia es un proceso que acontece continuamente a lo largo de la vida.

5^{ta} Ley: La tasa específica de crecimiento declina más y más lentamente a medida que el organismo aumenta en edad.

Por cuanto la aceleración específica del crecimiento es siempre negativa, se dirige progresivamente al valor cero durante el transcurso de la vida. De modo breve, “los organismos envejecen más rápido cuándo ellos son jóvenes” o también, “los organismos envejecen más lentamente cuándo ellos quedan más viejos”. La tasa específica de crecimiento disminuye con un importante parámetro en cualquier ecuación de crecimiento, y su valor puede, en ciertas circunstancias, ser medido por medios experimentales.

Consecuentemente, se entiende por crecimiento de un árbol, el aumento gradual del valor de las variables que de él se miden. Consisten el aumento de los parámetros dendrométricos (diámetro, altura, área basal y volumen). Ese aumento es producido por la actividad fisiológica de la planta (meristemo primario y secundario del cambium).

En términos de diámetro, su crecimiento se da en función de la actividad del cambium vascular, las células formadas por el cambium vascular dan origen al leño, que a su vez se diferencian en albura (Parte más externa, con coloración más clara, con menor densidad y resistencia y con actividad fisiológica) y el duramen (parte más interna, coloración más oscura, de mayor densidad y resistencia y sin actividad fisiológica). En términos de altura su crecimiento se da en función del meristemo o yema apical, a través de las divisiones celulares.

El ritmo de crecimiento está influenciado tanto por factores internos (fisiológicos) y externos (ecológicos) como por el tiempo. Este último siempre va asociado al crecimiento y es por este motivo que se procura conocer la edad de un árbol. Lo que crece en un árbol en períodos sucesivos de tiempo es lo que se denomina incremento.

La determinación del crecimiento implica conocer el estado inicial mensurable, de la magnitud creciente, así como el estado final y el correspondiente tiempo transcurrido entre un estado y otro. Ese crecimiento acumulado a lo largo del tiempo es denominado producción forestal (Scolforo, 1994).

En la vida del árbol se distinguen diversos comportamientos del crecimiento en diámetro, altura, área basal y volumen. Esto se estima o mide por medio del estudio de los anillos de crecimiento en especies de la zona templada y se considera, en términos generales, que en todos los árboles se sigue la misma tendencia. En los trópicos, los estudios sobre el crecimiento de los árboles aún son limitados, muchas veces porque los árboles no siempre presentan anillos de crecimiento visibles y continuos. En este caso, tanto para los bosques plantados como para los bosques nativos, el crecimiento de los árboles y del bosque como un todo, es obtenido por medio de mediciones, remediciones en PPM's.

Ambos procedimientos pueden combinarse para conseguir mejores estimaciones del crecimiento de los árboles. El crecimiento de un árbol aislado tiene pocas características que son similares al crecimiento de un rodal, por lo que el estudio del crecimiento de un árbol y de un rodal o bosque se efectúa por separado. Sin embargo, los parámetros de medición de un árbol presentan comportamientos semejantes a lo largo del tiempo.

La definición del crecimiento pasado y del crecimiento futuro está implícita en su propio nombre. Es necesario identificar el crecimiento absoluto y el crecimiento relativo. Este último está definido como la razón del cociente entre el crecimiento anual y el valor de la magnitud del que procede, en el inicio del año o del período de evaluación.

Considerando m y M como valores de la magnitud considerada al inicio y al final respectivamente, el intervalo de n años, el valor de crecimiento relativo Cr , se puede obtener por la fórmula algebraica de Breymann (Prodan *et. al.*, 1997):

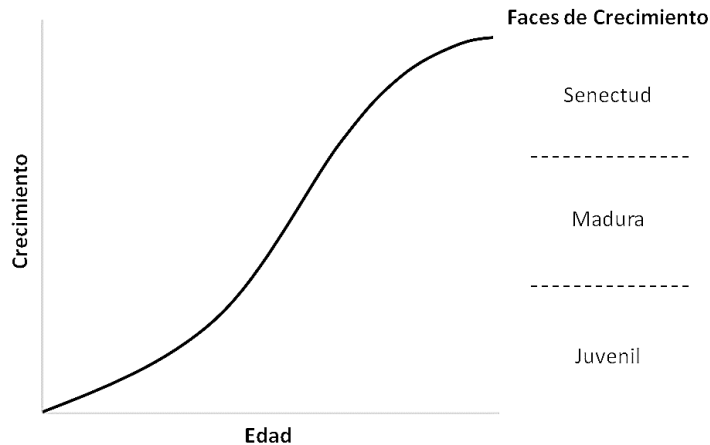
$$Cr = \left(\sqrt[n]{\frac{M}{m}} - 1 \right) * 100$$

O por la expresión de Pressler (Prodan *et. al.*, 1997.)

$$Cr = \frac{2}{n} * \frac{M - m}{M + m}$$

$$C_{AB} = \frac{\pi}{4} * 2 * \text{Diámetro} * I$$

Representado gráficamente, se parece a una curva sigmoideal o curva en "S". La primera fase de la gráfica corresponde a la edad juvenil, la segunda a la edad madura o rectilínea y la tercera la edad senil (vieja).



Forma típica de la curva de crecimiento de un árbol.

Cada fase mantiene un ritmo de crecimiento característico de la vida total del árbol y juntos forma la curva de crecimiento. La edad juvenil se caracteriza por un crecimiento rápido muchas veces del tipo exponencial. En la edad madura, el árbol normalmente presenta períodos iguales con crecimiento semejantes (rectilíneos). La edad senil se caracteriza por un crecimiento cada vez más insignificante, desde un punto de vista relativo, mostrando una asíntota de la curva.

El comportamiento de cada una de las variables dendrométricas del árbol no siempre sigue con rigor la tendencia de la curva en S, una vez que las proporciones relativas de esas variables dependen de la especie, sitio y demás factores ambientales. Así el crecimiento de un árbol puede presentar variaciones en sus dimensiones de altura, diámetro, volumen, área basal y peso, en función de diversos factores que no siempre pueden ser controlados o monitoreados, como los factores genéticos de las especies y sus interacciones con el medio ambiente. Otras fuentes de influencia directa en el crecimiento son los factores climáticos (temperatura, precipitación, viento, insolación y otros), pedológicos (características físicas, químicas y biológicas de los suelos), topográficos (inclinación, altitud y exposición del sitio), biológicos (plagas y enfermedades) y por la propia competencia con otros árboles y otros tipos de vegetación. También deben considerarse otros factores derivados de acciones antrópicas (deforestaciones, incendios y otros).

8.5. Crecimiento en altura.

El crecimiento en altura se produce por la actividad de la yema apical o terminal, a través de la división celular. Este crecimiento es también llamado crecimiento primario. Esta variable, altura del árbol, produce la modificación más notoria del crecimiento, especialmente en la edad juvenil en que es fácil observar la rapidez de la modificación de la altura en periodos cortos de tiempo.

El crecimiento en altura es evaluado midiendo las alturas al inicio y al final de un intervalo de tiempo definido. En algunos árboles, donde es posible realizar el análisis del tronco, se pueden determinar los correspondientes valores e índices de crecimiento en altura. Para algunos árboles tropicales existen registros bibliográficos que señalan que el crecimiento en altura para varias especies se produce con un incremento de hasta 1 metro para cada centímetro de diámetro a 1,30 m. correspondiente a la edad juvenil del árbol. Cuando los árboles adquieren más de 40 o 50 cm de DAP, el incremento en altura disminuye aproximadamente a 0,5 m por cada cm de DAP, evidenciando que el árbol se encuentra probablemente en la fase madura de crecimiento. En árboles adultos el crecimiento en altura tiende a estabilizarse hasta llegar a ser nulo, Mientras el DAP continúa creciendo.

Esta relación de las variables altura y DAP es muy importante porque es a través de ella que se puede predecir el ingreso de los árboles en las diferentes clases diamétricas usadas en los correspondientes Planes de Manejo Forestal .

8.6. Crecimiento en diámetro.

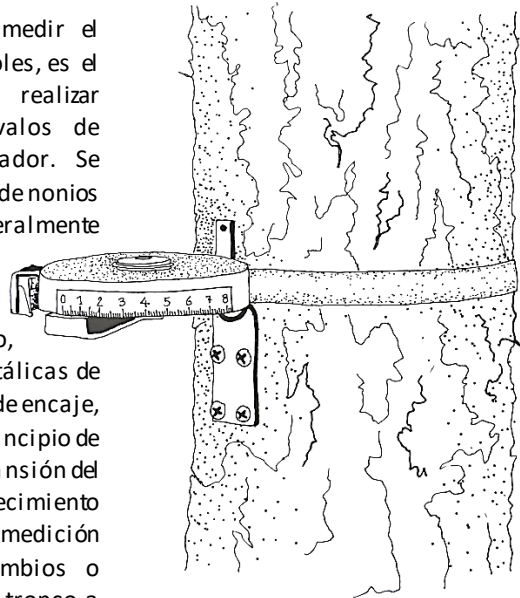
El crecimiento en diámetro se refiere al aumento del diámetro de un árbol en un determinado período de tiempo. Este crecimiento es también denominado de crecimiento secundario. Generalmente primero el árbol crece en altura y después en diámetro. Este crecimiento es influenciado principalmente por su distribución espacial y por los mismos factores señalados en el crecimiento en altura.

El crecimiento en diámetro está influenciado directamente por la actividad del cambium. Por esta razón es posible registrar el crecimiento correspondiente de un día o a veces será necesario establecer el respectivo crecimiento por tiempos más cortos, por ejemplo, desde la salida hasta la puesta del sol, o intervalos de tiempo más prolongados, como semanas, meses y años. Para los propósitos del Manejo Forestal, generalmente se efectúan mediciones cada año o a intervalos de tres a cinco años; sin embargo, de acuerdo con los objetivos de la investigación las mediciones pueden ser realizadas en intervalos más cortos o más largos.

El crecimiento en diámetro no es igual a lo largo del árbol. Para evaluarlo se emplea generalmente la variable DAP al inicio y al final del período requerido. Los árboles adultos de las zonas tropicales, generalmente presentan índices de crecimiento en diámetro bastante bajos, entre 1 y 2 mm por año (Brienen y Zuidema, 2003).

El instrumento más utilizado para medir el crecimiento en diámetro de los árboles, es el **DialDendro**. Construido para realizar evaluaciones periódicas en intervalos de tiempo definidos por el investigador. Se compone básicamente de una escala de nonios y un resorte metálico localizado lateralmente en el interior de la caja de soporte.

Dependiendo de la dimensión de la circunferencia del tronco a ser medido, se pueden utilizar varias bandas metálicas de 300 o 900 mm de largo en un sistema de encaje, que acompañan al instrumento. El principio de la medición se fundamenta en la expansión del resorte a cada aumento del crecimiento diamétrico del tronco. La escala de medición está preparada para registrar cambios o incrementos de la circunferencia del tronco a partir de 80 mm.



Existen además otros instrumentos para medir el crecimiento en diámetro de los árboles como el **fitotensiómetro**, fabricado de manera artesanal para realizar estudios ecofisiológicos y el **Microdendrómetro**, instrumento diseñado para medir las variaciones del diámetro en períodos relativamente cortos (horas, días, semanas o meses).

8.7. Crecimiento en volumen.

El crecimiento en volumen, es la resultante del incremento en diámetro y en altura del fuste del árbol. Es la variable más útil y más empleada en estudios de crecimiento. Es la variable con las fases de crecimiento de mayor longitud, con culminación del *ia* y de *ima* a edades más avanzadas que el DAP y la altura. Al ser una variable dependiente del DAP y la altura de los árboles, es afectada por los mismos factores que afectan a aquellas; así, la calidad de sitio y el manejo del rodal están estrechamente asociados al incremento en volumen.

A diferencia del diámetro y la altura, el volumen es muy difícil de medir directamente. Lo normal es derivarlo a partir de mediciones de diámetro a diferentes alturas en el fuste. Así, solo es posible obtenerlo en forma "directa" en árboles de tamaño pequeño, que sean posibles de escalar para realizar la medición de diámetros; a medida que transcurre el tiempo y los árboles crecen, la medición de diámetros a lo largo del fuste se hace cada vez más difícil, llegando a ser impracticable en un determinado momento. A partir de ese momento solo son útiles métodos indirectos para su estimación como las funciones de volumen y funciones de crecimiento. También puede recurrirse al análisis fustal, pero este, por su naturaleza destructiva, solo es aplicable cuando los árboles a analizar no son imprescindibles para etapas o estudios posteriores.

8.8. Crecimiento de rodales.

Al igual que el crecimiento de los árboles, para la planificación del Manejo de rodales, es importante conocer el crecimiento de la masa boscosa. Las curvas de crecimiento de los rodales mantienen comportamientos similares a la de los árboles, presentando inherentes diferencias acentuadas en sus diversas fases de desarrollo.

En el caso de considerar rodales se debe tomar en cuenta que naturalmente existen pérdidas de la masa, muchas veces ocasionada por la muerte natural de los árboles. En ese sentido el crecimiento de los rodales se clasifica en:

- a) **Crecimiento neto de la masa principal.** Está definido por la diferencia entre el volumen o el área basal entre dos inventarios sucesivos.
- b) **Crecimiento neto total forestal.** Considera los mismos principios del crecimiento neto de la masa principal, incluyendo todo el volumen o el área basal del total de las especies que en ella habitan.
- c) **Crecimiento bruto.** Cuando se refiere al crecimiento neto adicionando el volumen o área basal de los árboles muertos o ya extraídos.
- d) **Crecimiento aparente.** Corresponde a la masa que en un primer inventario no fue considerado por no haber alcanzado los valores mínimos establecidos para el aprovechamiento correspondiente. En un segundo inventario consecutivo (n años más tarde) esa masa, definida normalmente como “ingreso de masa”, podrá ser registrada una vez que los individuos arbóreos correspondientes muestren poseer el valor mínimo de las variables dendrométricas exigidas. La diferencia en volumen o en área basal de esos dos inventarios característicos, es lo que se denomina crecimiento aparente.
- e) **Crecimiento máximo.** Es lo que se identifica como el aprovechamiento absoluto, aquella que objetiva la máxima producción maderera por unidad de área. Considerando las curvas o incrementos, este crecimiento corresponde a los que se llama punto de corte o rotación comercial.

8.9. Incremento

El crecimiento de cualquier variable dendrométrica puede ser evaluado de acuerdo a las modificaciones producidas generalmente en los crecimientos acumulados a lo largo del tiempo. A esa característica es que se denomina incremento, o sea, es la manera de expresar el crecimiento de las variables dendrométricas en función del tiempo. El volumen del fuste es el mejor parámetro para expresar el crecimiento de un rodal. En árboles individuales normalmente se procura conocer el crecimiento en diámetro o en área basal. Consecuentemente la intensidad del crecimiento se traduce en términos de crecimiento que las variables consideradas tienen durante un determinado período. Por tanto, se debe definir el tipo de crecimientos que se pretende manejar, a fin de interpretar el fenómeno que pueda producir (Bruce y Schumacher, 1950).

El incremento puede ser definido como el crecimiento del árbol o de un rodal forestal en un determinado periodo de tiempo. Este periodo puede ser expresado en día, meses, años o décadas. Así por ejemplo, los crecimientos anuales (i) de una variable dendrométrica (y) entre un año (t) y el año siguiente ($t + 1$) están dados por la expresión de los crecimientos anuales (a_a).

$$a_a = y_{t+1} - y_t$$

Cuándo $t = 1$, los crecimientos anuales o corrientes resultan ser el aumento que ocurre durante un año.

Si el periodo considerado fuese de (n) años se tienen los crecimientos periódicos o corrientes (a_c):

$$a_c = y_{t+n} - y_t$$

Si el periodo considerado es mayor a un año, éste se expresa como crecimientos del periodo. Si el crecimiento acumulado se divide entre los años pertinentes (edad del árbol, del bosque o del rodal) el valor medio de la variable se traducen en crecimiento medio (a_{ca}):

$$a_{ca} = \frac{y_{t+1} - y_t}{n}$$

El crecimiento o incremento puede ser obtenido para las variables dendrométricas diámetro, altura, volumen y área basal. En la práctica dasométrica la variable más utilizada es el volumen. De esta forma la producción de un árbol o del bosque en su totalidad es evaluada en base al crecimiento en función del tiempo, o sea del incremento volumétrico, considerando incluso los factores genéticos y ambientales locales (calidad de sitio).

8.9.1. Incremento Corriente Anual (ICA)

Expresa el crecimiento ocurrido entre el inicio y el final de la estación de crecimiento, en un período de 12 meses, o entre dos años consecutivos. Este crecimiento también es conocido como crecimiento acumulado, incremento corriente anual (ICA) o simplemente como incremento anual (IA), correspondiendo a lo que el árbol creció en el período de un año.

$$ICA = Y_{(t+1)} - Y_t$$

Dónde: ICA = Incremento corriente anual

Y = Dimensión de la variable considerada

t = Edad

8.9.2. Incremento Periódico (IP)

Expresa el crecimiento en un período de tiempo determinado.

$$IP = Y_{(t+n)} - Y_t$$

Dónde: IP = Incremento periódico
 Y = Dimensión considerada
 t = Edad
 n = Período de tiempo
Cuándo $n = 1$, entonces $IP = ICA$

8.9.3. Incremento Medio Anual (IMA)

El valor del incremento o crecimiento medio anual (IMA) expresa la media del crecimiento total a cierta edad del árbol. Expresa por tanto la media anual del crecimiento para cualquier edad.

El IMA , es obtenido por la división del mayor valor actual de la variable considerada, dividida por la edad a partir del tiempo cero.

$$IMA = Y_t / t_o$$

Dónde: IMA = Incremento medio anual
 t_o = Edad a partir del tiempo cero
 Y = Dimensión de la variable considerada

Así, para el caso del volumen:

$$IMA = \frac{\text{Volumen del árbol}}{\text{Edad}}$$

8.9.4. Incremento Periódico Anual (IPA)

El incremento o crecimiento periódico anual (IPA), corresponde a lo que el árbol creció en promedio en un determinado periodo de años, por ejemplo, lo que el árbol creció en 5, 10 o 15 años. El cálculo se realiza considerando los valores del inicio y al final del periodo y el número de años.

Para determinadas especies arbóreas la velocidad del crecimiento es bastante lenta, lo que torna difícil medir el incremento por cortos períodos de tiempo. Este fenómeno es típico de las especies de clima templado que, debido a las bajas temperaturas en la estación de invierno, tienen sus tasas de crecimiento bastante reducidas.

También puede acontecer con especies de climas tropicales. Esto ocurre en función de su grupo ecológico o grupo funcional, o puede deberse a las condiciones de competencia en este tipo de comunidad forestal, además de otros factores que pueden afectar el crecimiento, llevando a esas especies a presentar tasas de crecimiento reducidas.

En tales situaciones es razonable expresar el crecimiento anual por la media del crecimiento en un determinado período de años.

$$IPA = (Y_{(t+n)} - Y_t) / n$$

Dónde: Y = Dimensión de la variable considerada

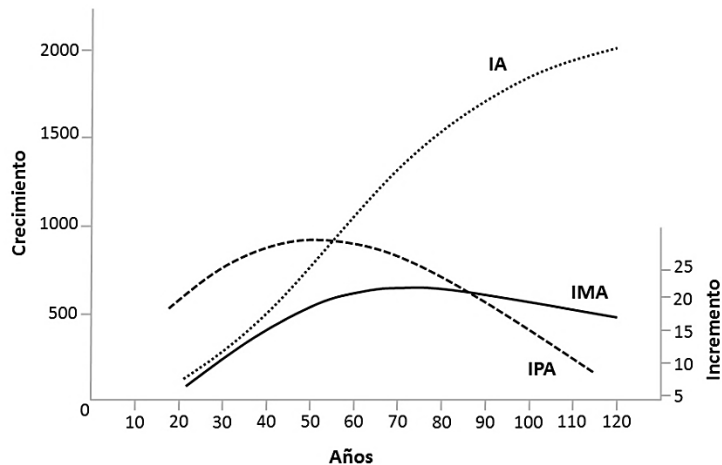
t = Edad

n = Periodo de tiempo

Por ejemplo, en el caso del volumen:

$$IPA = \frac{\text{Volumen en 2004} - \text{Volumen en 1994}}{10 \text{ años}}$$

Si se consideran los factores genéticos y ambientales como constantes, las curvas de crecimiento se pueden obtener en función de la edad. La tendencia de la curva de crecimiento anual o incremento (IA) es del tipo sigmoideal (curva en "S"), mostrando el crecimiento acumulado hasta una cierta edad.



Curvas típicas de crecimiento e incremento

El Incremento Periódico Anual (IPA) presente su valor máximo antes que el Incremento Medio Anual (IMA), y antes de que ambas curvas declinen su tendencia. El cruce de la curva del IPA con la del IMA determina la edad de rotación comercial del rodal forestal.

9. Bibliografía

Alvarez, G. 2008. *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del Trópico de Cochabamba, Bolivia*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba - Costa Rica.

Botosso, P. C.; Mattos, P. P. 2002. *Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação*. EMBRAPA. Colombo - Brasil.

Brienen, R.; Zuidema, P. 2003. *Anillos de crecimiento de árboles maderables en Bolivia: Su potencial para el Manejo de Bosques y una guía metodológica*. PROMAB. Riberalta - Bolivia.

Cancino, J. 2006. *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Bosques y Medio Ambiente. Biobio - Chile.

Diéguez, U. Barrio, M. Castedo, F. 2003. *Dendrometría*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid - España.

Finger, C. A. G. 1992. *Fundamentos de biometría florestal*. UFSM. CEPEF. FACTEC. Santa María - Brasil.

García, O. 1995. *Apuntes de Mensura Forestal*. Universidad Austral de Chile. Santiago - Chile.

Imaña, E. J. 1998. *Dasometría Práctica*. Universidade de Brasília. Brasilia - Brasil.

Imaña, E. J. Fernandez, G. Ticchetti, L. 2002. *Variáveis dendrométricas*. Universidade de Brasília, Dpto. de Engenharia Florestal. Brasilia - Brasil.

Imaña, E. J.; Encinas B. O. 2008. *Epidometría Forestal*. Universidade de Brasilia. Universidad de los Andes. Mérida - Venezuela.

Imaña, E. J.; Silva, G. F.; Pinto, J. R. R. 2005. *Idade e crescimento das árvores*. Universidad de Brasilia, Dpto. de Engenharia Florestal. Brasilia - Brasil.

Izco, F. 2003. *Manual de Mediciones Forestales*. Asociación Forestal de Navarra. Navarra - España.

Mostacedo, B.; Fredericksen T. S. 2000. *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz - Bolivia.

Picard, N.; Saint-André L.; Henry M. 2012. Manual de construcción de ecuaciones alométricas para estimar el volumen y la biomasa de los árboles: del trabajo de campo a la predicción. CIRAD - FAO. Montpellier - Roma.

Picos, J. Cogolludo, M. A. 2008. *Apuntes de Dasometría*. Universidad de Vigo. Madrid - España.

Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F.; Real, P. 1997. *Mensura forestal*. GTZ - IICA. San José - Costa Rica.

Rondeux, J. 2010. *Medición de árboles y masas forestales*. Facultad Universitaria de Gembloux. Bélgica. Madrid - España.

Tomazello Filho, M.; Botosso, P. C.; Lissi, C. S. 2001. *Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: Dendroconologia e dendroclimatología*. EDUC. Sao Paulo - Brasil.

10. Guía de actividades prácticas

PRÁCTICA N° 1 - CONTEO DE PASOS

1. OBJETIVO

Que el estudiante determine, en campo, la longitud promedio de su paso para su aplicación en mediciones aproximadas, de distancias.

2. MATERIALES

- Libreta de campo
- Huincha métrica de 50 m.
- 2 jalones
- 1 machete

3. PROCEDIMIENTO

Conteo de pasos

- Abra una senda de un metro de ancho por 50 metros de longitud.
- Coloque un jalón de madera en el punto de partida (P_0) y otro en el punto final (P_1).
- Con la huincha métrica verifique la longitud de 50 m.
- Recorra, la distancia de 50 m, 10 **veces** consecutivas (cinco idas y cinco regresos). Anote en su libreta el número de pasos dados en cada recorrido.
- Repita el recorrido en terreno libre (carretera o camino) y tome nota de los resultados.

Cálculos de gabinete

- Número de pasos promedio en la distancia establecida.

$$Np = \frac{\sum p}{n} + \frac{\sum p'}{n'}$$

- Número promedio de pasos por cada metro recorrido:

$$Np/m = \frac{Np}{d}$$

- Longitud promedio de cada paso.

$$Lp = \frac{d}{Np}$$

Dónde:

p = N° total de pasos en la distancia recorrida (senda)

p' = N° total de pasos en la distancia recorrida (carretera)

n = N° de recorridos en senda

n' = N° de recorridos en carretera

d = distancia (m)

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA N° 2 - CONSTRUCCIÓN DE INSTRUMENTOS PARA MEDIR DIÁMETROS

1. OBJETIVO

Que el estudiante aprenda a confeccionar instrumentos para medir diámetros de árboles en pie y de trozas (Cinta métrica, cinta diamétrica y regla de biltmore).

2. MATERIALES

- Libreta de campo
- Flexómetro
- 3 m. de cinta (Material a elegir) x 1,5 cm de ancho
- 1 tablilla de 100 cm x 3 cm x 0,3 cm
- Pirógrafo, marcador o bolígrafo

3. PROCEDIMIENTO

Cinta métrica

- Sobre la cinta de material elegido y a 5 cm. de uno de sus extremos (con la ayuda del flexómetro), gradúe la cinta señalando los centímetros y medios centímetros.
- Marque la escala utilizando un bolígrafo, marcador u otro material de marca permanente.

Cinta diamétrica

- En la cara opuesta de la cinta métrica, siguiendo el procedimiento, confeccione una **cinta diamétrica** graduada en cm.
- Entendiendo que cada centímetro en la cinta diamétrica tiene una amplitud de $3,1416 = \pi$.

Regla de Biltmore

Utilice una tablilla de 100 cm x 3 cm x 0,3 cm, a 5 cm. de uno de sus extremos gradúe la regla de Biltmore utilizando la siguiente fórmula.

$$g = \frac{\emptyset}{\sqrt{1 + \frac{\emptyset}{L}}}$$

Dónde:

g = Graduación de la regla en cm.

\emptyset = Diámetro considerado a ser medido con la regla.

L = Longitud del brazo (cm).

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA N° 3 - PRECISIÓN DE INSTRUMENTOS EN LA MEDICIÓN DEL DIÁMETRO

1. OBJETIVO

Que el estudiante determine la precisión de los instrumentos construidos en la Práctica N° 2, para la medición de diámetros de los árboles.

2. MATERIALES

- Libreta de campo
- Flexómetro
- Forcípula de brazo móvil
- Cinta métrica
- Cinta diamétrica
- Cinta diamétrica construida
- Regla de Biltmore
- Huincha métrica de 50 m
- Machetes
- Clavos
- Placas de aluminio
- Pintura en Spray
- Cámara fotográfica
- Material de escritorio

3. PROCEDIMIENTO

- Delimite en bosque natural, una parcela de 10 m x 50 m (0,05 ha).
- Realice la medición del diámetro normal (mayor a 10 cm), de cada uno de los árboles con los 6 instrumentos.
- Realice el cálculo de errores correspondiente.
- Mencione en base a los resultados obtenidos, el instrumento con el que menos error se cometió en la medición de diámetros.
- Mencione 2 ventajas y desventajas de cada uno de los instrumentos utilizados en la práctica.

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA N° 4 - CONSTRUCCIÓN DE INSTRUMENTOS PARA MEDIR LA ALTURA

1. OBJETIVO

Que el estudiante aprenda a confeccionar instrumentos para medir la altura de los árboles, entre estos: el hipsómetro de Christen, hipsómetro de Merrit y el método 1:10.

2. MATERIALES

- Libreta de campo y Flexómetro
- 1 tablilla de 36 cm x 4 cm x 0,3 cm
- 1 tablilla de 100 cm x 3 cm x 0,3 cm (cara posterior de regla de Biltmore)
- 1 vara de 4 m
- Pirógrafo, marcador o bolígrafo

3. PROCEDIMIENTO

Hipsómetro de Christen

Utilice la tablilla de 36 cm x 4 cm x 0,3 cm. Y gradúe la regla utilizando la siguiente fórmula:

$$x = r \left(1 - \frac{v}{h} \right)$$

Dónde:

x = Altura de graduación en la regla

r = 30 cm

h = Altura del árbol (valor relativo)

v = Vara de altura definida.

Hipsómetro de Merrit

En la cara posterior de la regla de Biltmore (utilizada para la medición de diámetros), gradúe la regla, utilizando la siguiente fórmula:

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

Dónde:

ED = Altura de graduación en la regla

CB = Altura del árbol (Valor relativo)

AD = Largo del brazo del operador

AB = Distancia al árbol.

Método 1:10

En la vara de 4 metros, realice la graduación en decímetros, tomando en cuenta que cada decímetro corresponde al valor de 1 m en altura, a una distancia de 10 metros del árbol.

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA N° 5 - PRECISIÓN DE INSTRUMENTOS EN LA MEDICIÓN DE ALTURAS

1. OBJETIVO

Que el estudiante determine la precisión de los instrumentos construidos en la Práctica N° 4, para la medición de altura de los árboles.

2. MATERIALES

- Libreta de campo
- Flexómetro
- Hui ncha métrica de 50 m
- Hipsómetro de Christen
- Hipsómetro de Merrit
- Método 1:10
- Clinómetro SUUNTO
- Machetes
- Pintura en Spray
- Cámara fotográfica
- Material de escritorio

3. PROCEDIMIENTO

- Seleccione 1 árbol que esté ubicado en una zona accesible.
- Realice la medición de la altura del árbol seleccionado, con los métodos estudiados.
- Realice el cálculo de errores correspondiente.
- Mencione en base a los resultados obtenidos, el instrumento con el que menos error se cometió en la medición de alturas.
- Mencione 2 ventajas y desventajas de cada uno de los instrumentos utilizados en la práctica.

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA N° 6 - ÁREA BASAL DE ÁRBOLES EN PIE

1. OBJETIVO

Que el estudiante pueda calcular el área basal de árboles en pie a partir del Diámetro normal, además de analizar la relación que existe entre el Diámetro normal y el área basal.

2. MATERIALES

- Material de escritorio
- Datos de la Práctica N° 3
- Computadora
- Formulario

3. PROCEDIMIENTO

Toma de datos en campo

- Delimite en bosque natural, una parcela de 10 m x 50 m (0,05 ha).
- En la parcela realice un inventario de todos los árboles a partir de 10 cm de diámetro (Numere cada árbol).
- Registre el azimut y rumbo de los lados de la parcela.

Análisis estadístico

- Con los datos registrados en campo, elabore una tabla de distribución de frecuencia y calcule: 1) El área basal de cada árbol, 2) área basal total, 3) área basal por clase diamétrica, 4) área basal total por clase diamétrica, 5) área basal por frecuencia, 6) histograma de área basal por clase diamétrica y 7) histograma de área basal por especie.
- Represente los datos reales de diámetro normal y área basal en un gráfico de dispersión.
- Estudie la relación que existe entre el diámetro normal y área basal mediante la regresión lineal simple, aplicando la ecuación: $y = a + bx$. Donde: y es el área basal y x el diámetro normal.
- Determine el grado de asociación mediante el cálculo de coeficiente de correlación simple (r) y coeficiente de determinación (r^2).

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA N° 7 - VOLUMEN DE MADERA DE ÁRBOLES EN PIE

1. OBJETIVO

Que el estudiante pueda determinar el volumen de madera de árboles en pie y estudiar la relación entre el Diámetro normal y el volumen de los árboles.

2. MATERIALES

- Libreta de campo
- Cinta diamétrica
- Clinómetro
- Cinta métrica
- Pintura en spray
- Machetes

3. PROCEDIMIENTO

Toma de datos en campo

- Utilice los datos de diámetro de la Práctica N° 3 y complemente la práctica midiendo la altura comercial de cada uno de los árboles registrados.

Cálculos y Análisis estadístico

- Calcular el volumen comercial de cada árbol, utilizando la siguiente fórmula:

$$v = g * h * f$$

Dónde:

v = Volumen en m^3

g = Área basal en m^2

h = altura en m

f = factor de forma = 0,65

- Estudie la relación que existe entre el volumen comercial y área basal mediante la regresión lineal simple, aplicando la ecuación: $y = a + bx$. Dónde: y es el volumen y x el área basal.
- Determine el grado de asociación mediante el cálculo de coeficiente de correlación simple (r) y coeficiente de determinación (r^2).

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA N° 8 - VOLUMEN DE MADERA EN TROZA

1. OBJETIVO

Que el estudiante pueda determinar el volumen de madera en troza.

2. MATERIALES

- Libreta de campo
- Flexómetro
- Crayones

3. PROCEDIMIENTO

Toma de datos en campo

- Seleccione al azar 20 trozas de madera.
- Enumere cada troza.
- Mida de cada troza el diámetro mayor, medio y menor en centímetros.
- Tome la medida de longitud de cada troza en metros.

Cálculos y Análisis estadístico

- Con los datos registrados, calcule el volumen de cada troza, utilizando las siguientes fórmulas matemáticas:

$$\text{HUBER} \quad v = S_m * l$$

$$\text{SMALIAN} \quad v = \frac{S_0 + S_f}{2} * l$$

$$\text{HUBER} \quad v = \frac{l}{6} * (S_0 + S_f + 4S_m)$$

Dónde:

v = Volumen en m^3

S_0 = Sección inicial de la troza (base)

S_f = Sección final de la troza

S_m = Sección media de la troza

l = Longitud de la troza

- Analice la variación del volumen de madera en troza mediante el ANVA.

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES

PRÁCTICA N° 9 - CONSTRUCCIÓN DE UNA TABLA DE VOLUMEN DE UNA ENTRADA

1. OBJETIVO

Que el estudiante pueda construya una tabla de volumen de una entrada, a partir de los datos de la práctica N° 8.

2. MATERIALES

- Libreta de campo
- Datos de la práctica N° 8

3. PROCEDIMIENTO

Cálculos y Análisis estadístico

- Grafique en Microsoft Excel el Diámetro/volumen, y según la tendencia de la curva determinar la ecuación a utilizar.
- Determine la precisión y grado de asociación mediante el cálculo de coeficiente de correlación simple (r) y coeficiente de determinación (r^2).
- Elaborar una tabla de volumen de una entrada en Microsoft Excel.

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5. CONCLUSIONES