

Manual para la medición de plantaciones forestales - (Versión 2)



Medir los árboles de una plantación forestal, nos permite estimar la cantidad de madera existente en ése momento con el fin de :

- Conocer el crecimiento de la plantación,
- Determinar si existieron diferencias entre tratamientos silvícolas o material genético,
- Decidir el momento adecuado de venta,
- Calcular el valor de la plantación para su inclusión en el Patrimonio de la Empresa.

Debe quedar claro desde el comienzo que se está midiendo una muestra de la plantación, con lo cual el resultado es una estimación del parámetro medido. Para disminuir esa variabilidad se puede aumentar el porcentaje de muestreo.

1. Cantidad de parcelas a medir

Como primera aproximación podemos determinar que una parcela razonable debe medir 400 m² como mínimo.

La fórmula para determinar la cantidad de parcelas a medir sería:

$$\frac{\text{Hectáreas} \times 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} \times (\% \text{ de muestreo}/100)}{\text{m}^2/\text{parcela de muestreo}}$$

Ejemplo: Si queremos determinar la cantidad de parcelas de 400 m² necesarias para medir 10 hectáreas de Eucaliptos con un nivel de muestro del 2% (0,02). La ecuación sería:

$$\frac{10 \text{ ha} \times 10.000 \text{ m}^2/\text{ha} \times 0,02}{400 \text{ m}^2/\text{parcela de muestreo}}$$

El resultado de la ecuación es 5, quiere decir que deberíamos establecer 5 parcelas en las 10 hectáreas. El mismo resultado obtendríamos si utilizamos la tabla de abajo, donde se realizaron los cálculos para distintos niveles de muestreo y superficies de parcelas.

Entramos por la columna del tamaño de la parcela (400 m²) y la fila del nivel de muestreo (2%), en la convergencia de las mismas leemos el coeficiente 0,5 que multiplicamos por la superficie (10 ha) obteniendo la cantidad de 5 parcelas a medir.

Cantidad de parcelas por hectárea a muestrear				
Nivel Muestreo	Área de las parcelas (m ²)			
	200	400	600	800
0,5%	0,25	0,13	0,08	0,06
1,0%	0,50	0,25	0,17	0,13
1,5%	0,75	0,38	0,25	0,19
2,0%	1,00	0,50	0,33	0,25
2,5%	1,25	0,63	0,42	0,31
3,0%	1,50	0,75	0,50	0,38
3,5%	1,75	0,88	0,58	0,44
4,0%	2,00	1,00	0,67	0,50
4,5%	2,25	1,13	0,75	0,56
5,0%	2,50	1,25	0,83	0,63

2. Determinación del área de las parcelas

Las parcelas pueden tener forma circular o rectangular. Estas últimas tienen la ventaja de no requerir ayuda para su instalación. La cantidad de hileras de plantación que se deben medir dependerá de la distancia de plantación de esas hileras. En el cuadro siguiente se calcularon la cantidad de hileras a medir y el largo de la parcela de acuerdo al distanciamiento inicial, de manera tal que resulte una parcela de 400 m².

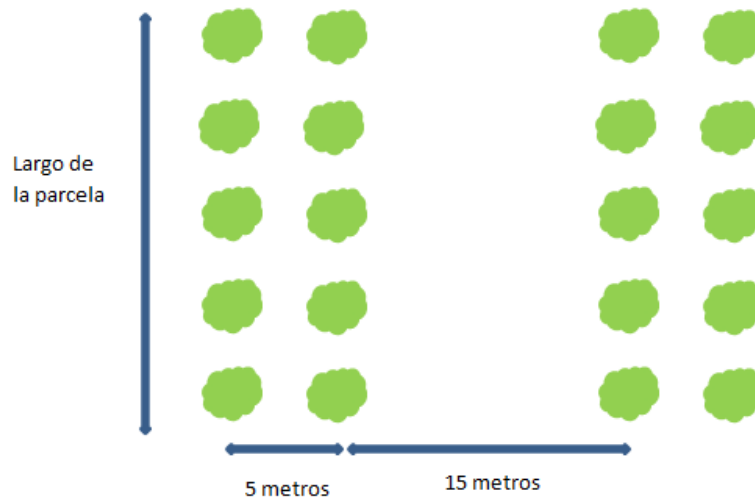
Por ejemplo si la plantación está distanciada a 7 metros, se deberían contar los árboles de 3 hileras seguidas en una distancia de total de 19 metros. El área medida sería de: 3 hileras X 7 metros = 21 metros de ancho de parcela. Y 21 metros x 19 metros de largo de la parcela = 400 m².

Distancia entre hileras	Hileras a medir	Largo de la parcela de 400 m ² en metros
3	6	22,2
4	5	20,0
5	4	20,0
6	3	22,2
7	3	19,0
8	2	25,0
9	2	22,2
10	2	20,0
11	2	18,2
12	2	16,7

Cuando se realicen inventarios forestales en Sistemas Silvopastoriles que tengan densidades muy bajas o configuraciones con callejones, se debe aumentar el área de la parcela a por lo menos 800 m² de manera que se puedan medir un mayor número de árboles.

En el caso de ser configuraciones con hileras dobles o triples para determinar el largo de la parcela de 800 m², el cálculo se realiza de la siguiente manera:

- Se cuentan la cantidad de hileras juntas y se resta 1. Esto equivale a la distancia entre hileras, en nuestro ejemplo serían 5 metros o (2 hileras-1 x5 metros)
- Se suma a éste número la distancia del callejón, en este caso 15 metros
- Se divide el área de la parcela (800 m²) por el valor obtenido previamente (5+15 = 20 metros) y se obtiene el largo de la parcela (800 / 20 = 40 metros de largo)



El largo de la parcela se calculará con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{Área de la parcela}}{((\text{Número de hileras}-1) \times \text{Distancia entre hileras}) + \text{Ancho callejón}}$$

En una plantación con líneas doble separados a 5 metros con un callejón intermedio de 15 metros, el largo de una parcela de 800 m², será = 40 metros

$$\frac{800 \text{ m}^2}{((2-1) \times 5) + 15}$$

En el siguiente cuadro se calcularon las distintas distancias de largo de las parcelas para diferentes configuraciones.

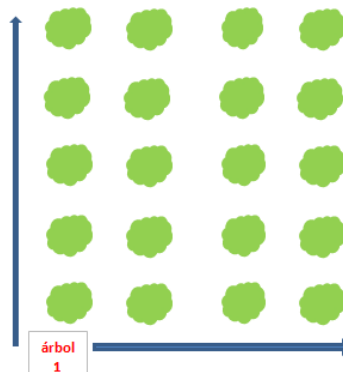
Número de hileras	Distancia entre hileras	Ancho del callejón en metros	Largo de la parcela de 800 m ² en metros
2	3	15	44,4
2	4	15	42,1
2	5	15	40,0
2	3	20	34,8
2	4	20	33,3
2	5	20	32,0
3	3	20	30,8
3	4	20	28,6
3	5	20	26,7

Es importante observar si se realizaron raleos sistemáticos retirando un línea completo cada cierta cantidad de líneas. Habrá que descontar ese porcentaje al resultado obtenido para no sobreestimar la cantidad de madera existente.

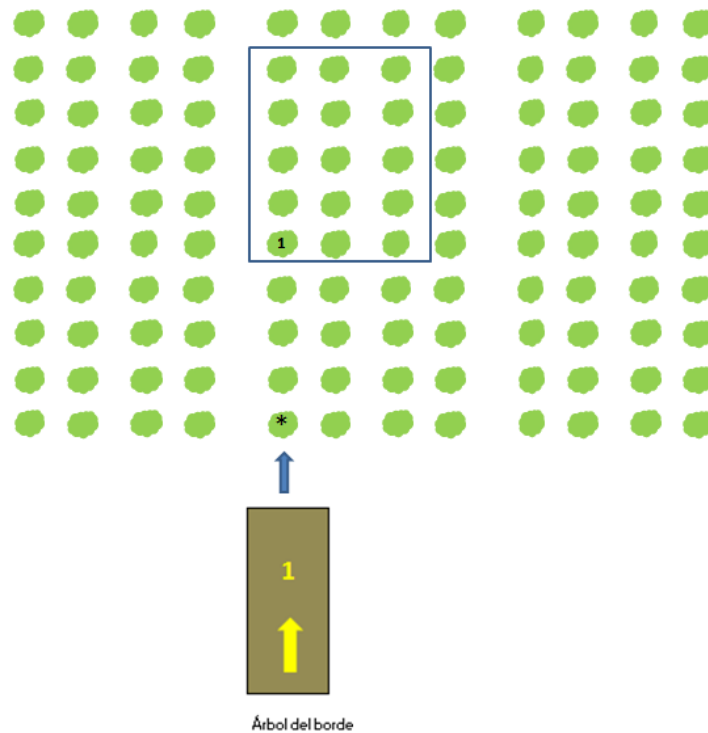
3. Identificación de las parcelas

Existen dos tipos de parcelas: temporarias y permanentes. Lo ideal sería tener parcelas permanentes para medir siempre los mismos árboles (considerar que en el período de crecimiento retiramos algunos en los raleos). Es común que se pierda la identificación, particularmente en plantaciones de Eucaliptos, debido al desprendimiento de la corteza.

Identificaremos siempre la parcela tomando como primer árbol a medir el que está registrado con el número de la parcela, a partir de ése árbol, la parcela será hacia adelante y hacia la derecha.



Como las parcelas están ubicadas dentro de las plantaciones, siendo difícil visualizarlas desde el perímetro, será necesario volver a colocar el número de parcela en el primer árbol del borde de la plantación que se encuentra en un lugar de tránsito. Debajo del número se dibuja una flecha, de ese modo sabemos que ingresando por esa hilera nos encontraremos con la parcela que tiene ese número.



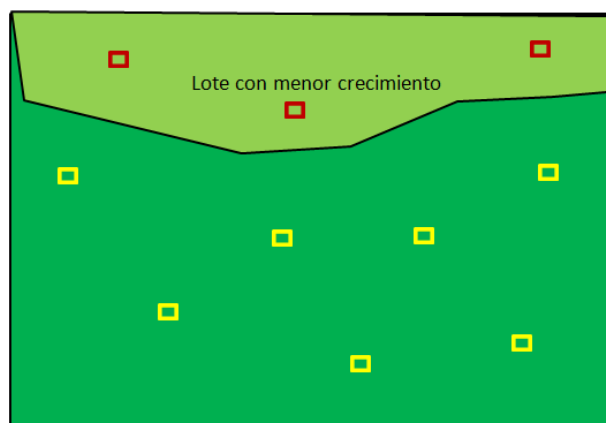
La secuencia de números para identificar las parcelas tiene que ser partiendo de 1 en adelante, independientemente si se trata de lotes, manejos o especies diferentes. Es una manera sencilla de evitar confusiones. La parcela conservará ese número hasta que se coseche.

Cada parcela debe identificarse además con su ubicación en el plano y el registro de la posición satelital en el GPS.

4. Representatividad de las parcelas

Uno de los problemas más comunes es la falta de representatividad de las mediciones con la realidad. Esto ocurre a veces por no hacer una buena identificación de las distintas situaciones a medir. Antes de ubicar las parcelas se debería recorrer todo el lote para determinar los distintos estratos que puedan surgir como consecuencia de: menores densidades, diferencias de suelos, diferencias en los tratamientos silvícolas (altura de poda), diferentes clones, etc. Con la ayuda de imágenes satelitales se pueden diferenciar esas situaciones, medirlas y determinar la cantidad de parcelas a instalar. Los resultados se determinarán para cada situación separadamente.

Ejemplo de ubicación de las parcelas según las diferentes situaciones de crecimiento:



5. Momento y frecuencia de las mediciones forestales

Las plantaciones tienen tres etapas bien diferenciadas: una inicial que transcurre desde la colocación de las plantas en el suelo hasta que tengan un diámetro tal que pueda realizarse la primera poda (en Eucaliptos aproximadamente 6 cm de diámetro a la altura del pecho y en Pinos 10 cm.). A partir de esta medida comienza la segunda etapa que finaliza cuando la forestación tiene árboles con dimensiones comerciales (generalmente coincide con el momento del primer raleo). Finalmente la tercera etapa es la de crecimiento final esperando que el volumen total o el diámetro de los árboles lleguen al objetivo forestal esperado.

Cuando las plantaciones se encuentran en la etapa inicial, se pueden realizar controles de las densidades para determinar la sobrevivencia de la plantación, el daño por hormigas o fitotoxicidad por aplicación de herbicidas. También se puede medir la altura total mediante varas graduadas o "cañas" que sirvan como referencia.

A partir de la segunda etapa es donde generalmente comienzan las mediciones de las plantaciones. A medida que va evolucionando la plantación tendremos que ir aumentando el nivel de intensidad del muestreo, tal como se describe en el cuadro siguiente. El momento de mayor nivel de muestreo es previo a la cosecha final, donde precisamente conocer bien la cantidad de madera existente nos permitirá comercializar en mejores términos.

Etapa	Nivel de medición
Inicial	0%
Intermedia	1%
Final	2%
Pre-cosecha	4%

Lo ideal sería que se realicen mediciones anuales, siempre en la misma fecha, coincidente con la estación de menor crecimiento de los árboles. Si por cuestiones de costos u operativos no fuese posible, la alternativa sería medir año por medio.

Una medición que es muy útil y ayuda mucho a tomar decisiones es realizar las mediciones antes y después de los raleos comerciales. Permitirá conocer la situación inicial post-raleo y controlar la extracción de madera del raleo.

6. Mediciones

Cinco son los datos que son necesarios obtener en un inventario forestal:

- Número de árboles dentro de la parcela de medición, se utiliza para determinar la densidad (árb/ha)
- Diámetro de los árboles (medidos a 1,3 metros desde el nivel del suelo, conocido como DAP: Diámetro a la altura del pecho)
- Altura total de los árboles promedios, expresado en metros, se mide hasta la punta del árbol.
- Altura de Poda (altura sin ramas hasta la inserción de la primera rama)
- Características del árbol (bifurcado, torcido, rajado, enfermo, etc.) En esta categoría también se pueden clasificar si existen tocones de raleos anteriores o fallas iniciales de plantación. Todo esto servirá para "reconstruir" la historia de la forestación.

Para determinar la Densidad expresada en árboles/hectárea se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Árboles contados en la parcela} \times (10.000 \text{ m}^2/\text{hectárea})}{\text{Área de la parcela m}^2}$$

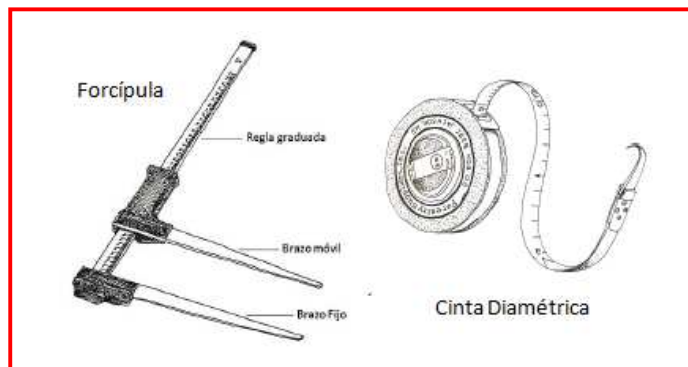
Por ejemplo si en una parcela de 400 m² se contaron 20 árboles:

$$\frac{20 \text{ árboles} \times (10.000 \text{ m}^2/\text{hectárea})}{400 \text{ m}^2}$$

La densidad en el momento de medición en este ejemplo, será de 500 árboles/ha.

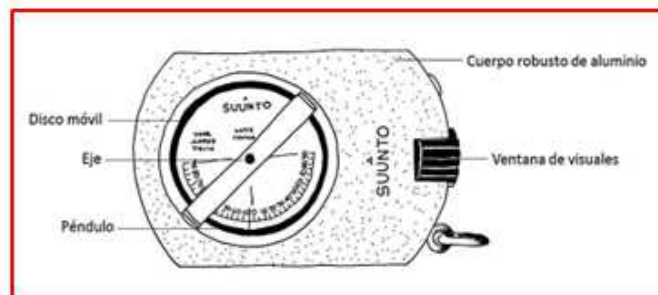
El diámetro a la altura del pecho (DAP) o su equivalente a 1,30 m del suelo es la medida más utilizada para monitorear el crecimiento de los árboles. Puede hacerse con una cinta común o "de costurera", con cintas diamétricas o con forcípulas.

Las cintas se utilizan midiendo la circunferencia del árbol, siendo la diferencia la unidad en que se lee el resultado. Las cintas diamétricas tienen una escala equivalente al DAP (circunferencia / 3,1416) en cambio las cintas comunes tienen su escala en cm., siendo necesario realizar la conversión dividiendo por 3,1416 para obtener DAP. Las forcípulas en cambio miden directamente el diámetro mediante un brazo fijo y uno móvil que se mueve en una regla con una escala en cm.



Los DAP que se midan tienen que corresponder a la plantación que se esté midiendo. Si el promedio de los árboles oscila entre 20 y 30 cm., cuando se mide un árbol de 10 cm. evidentemente no corresponde a la población que se está midiendo, por lo tanto habría que dejar constancia para que no altere los resultados.

El tercer dato a obtener es la altura total del árbol, medidos hasta el vértice más alto. No es necesario medir la altura de todos los árboles, generalmente se mide la altura del árbol promedio, y si fuese posible los árboles con diámetros extremos (uno grande y otro chico). En nuestro caso deberíamos tomar como referencia por lo menos al árbol que tiene la identificación de la parcela de muestreo. La altura de los árboles dominantes nos servirá para determinar el Índice de Sitio. Existen diferentes instrumentos para medir la altura, denominados clinómetros o hipsómetros. Existen digitales, con láser o mecánicos.

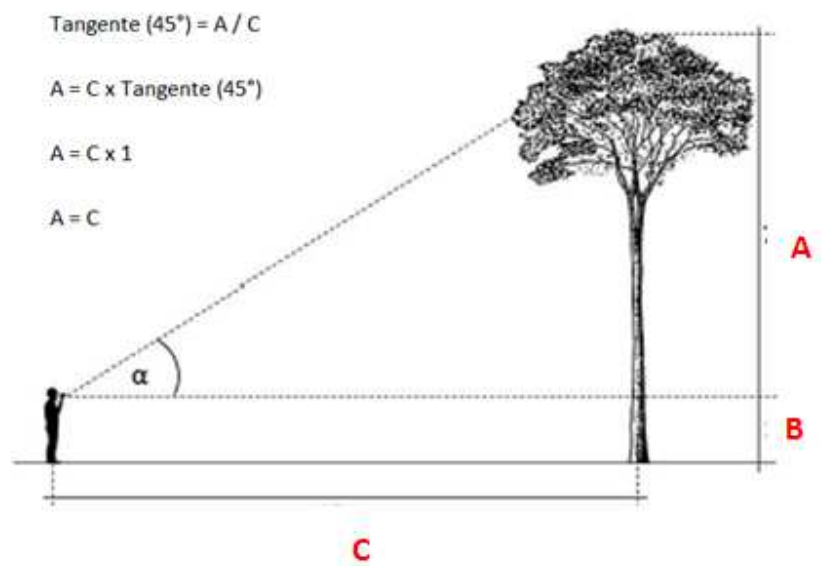


Cuando no se dispone de ellos la alternativa es utilizar una vara y calcular la altura tomando como referencia las proporciones de un triángulo (teorema de Pitágoras). El procedimiento es sencillo: Se debe conseguir una vara recta que tenga una distancia igual al largo del brazo desde el puño hasta la el ojo derecho; extender el brazo de forma que quede bien horizontal, paralelo al suelo, con la vara en posición vertical formando un ángulo recto con el brazo; cerrando el ojo izquierdo y utilizando el ojo derecho se debe hacer coincidir la punta de la vara con la parte más alta del árbol (si se quiere medir la altura total); para que coincidan ambas partes debemos desplazarnos hacia adelante o hacia atrás hasta lograrlo; una vez que la vara "tape" el árbol se tiene que marcar el lugar donde estamos parados; medir la distancia que existe entre esa marca y la base del árbol; a

esa distancia tenemos que sumarle la altura que existe entre nuestro brazo extendido horizontalmente y el suelo; así obtendremos la altura total del árbol.

Un error común es inclinar el brazo, constatar que siempre quede en posición horizontal, paralelo al suelo. No apuntar hacia la base del árbol, se mide desde el nivel del brazo hacia arriba y se agrega esa distancia. Tratar de medir en superficies planas, si existen pendientes el método debe tener ajustes.

La explicación teórica del método se basa en el teorema de Pitágoras, donde por comparación de triángulos la tangente de un ángulo de 45° es 1. El ángulo de 45° se forma cuando usamos la vara del mismo largo que la distancia de nuestro brazo hasta la vara.



Con los mismos instrumentos, método o con una vara larga se puede medir la altura de poda. Aquí debemos hacer una aclaración: Consideraremos altura de poda hasta la inserción de la primera rama en el fuste, ya que generalmente existe una porción del tallo sin ramas entre la última rama podada y la inserción de la siguiente.

En el dibujo siguiente se observan las distintas partes del árbol:

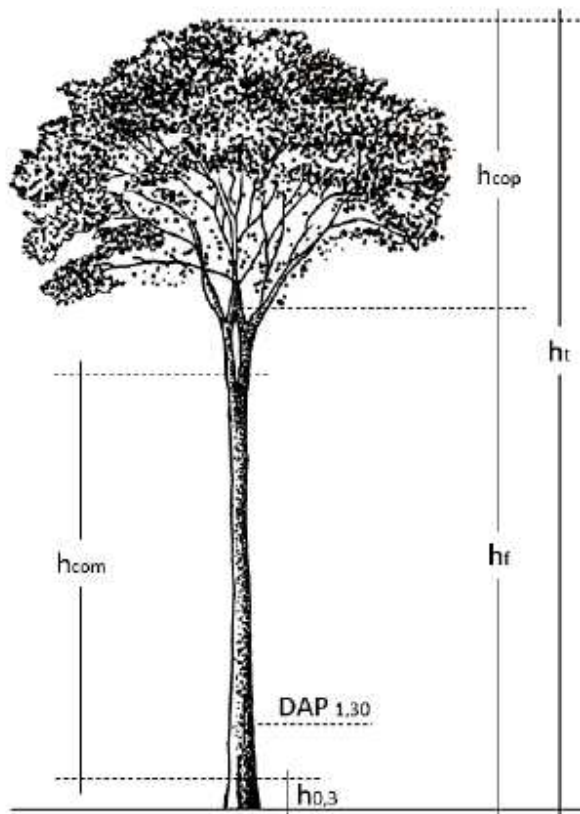
ht: Altura total del árbol

hcop: Altura de la copa

hf: Altura del fuste

hcom: Altura comercial

h03: Altura del tocón basal



El último dato necesario de recabar en el trabajo a campo es un detalle de las características de cada árbol medido. Este dato es muy importante para realizar los cálculos de la cantidad de árboles podados, sanos, con buena forma o dañados por algún factor externo. Mediante siglas o números se puede incluir al lado del valor del DAP la característica del árbol medido.

En el cuadro siguiente se determinaron la cantidad de árboles por hectárea de acuerdo a la clasificación que se realizó cuando se medía la parcela:

Tipo de árbol	Cantidad/parcela 400 m ²	Árb/ha
Poda alta	13	325
Poda baja	9	225
A raleo	4	100
Total	26	650

7. Ecuaciones para obtener los resultados de la medición

Las unidades en que se expresan los distintos parámetros a calcular son:

Parámetro	Unidad
DAP	cm
Altura	m
Coef. Forma	-
Área Basal	m ² /ha
Volumen	m ³ /ha

Diámetro promedio (DAP Promedio) expresado en cm.

$$\frac{\text{Suma de todos los DAP medidos}}{\text{Número de árboles medidos}}$$

Diámetro promedio de un árbol clasificado expresado en cm.

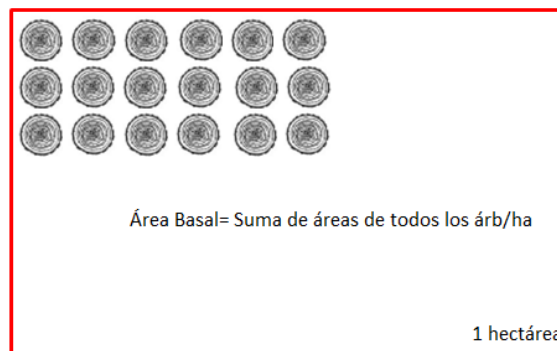
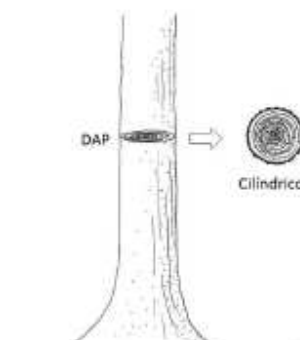
$$\frac{\text{Suma de todos los DAP con detalle 1}}{\text{Número de árboles medidos con detalle 1}}$$

El Área Basal equivale a la suma de todas las áreas de los árboles presentes en una hectárea, medidos a la altura del pecho. Se expresa en m²/ha y es un indicador del momento en que la competencia entre los individuos provoca una disminución en el ritmo de crecimiento de la forestación. Cada especie y suelo tienen valores diferentes, cuando se realiza un raleo al retirar árboles disminuye el Área Basal permitiendo que se restablezca el normal ritmo de crecimiento.

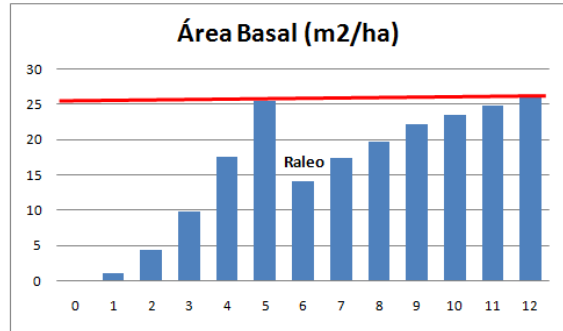
La fórmula para determinar el Área Basal es la siguiente:

$$0,7854 \times \text{DAP}^2(\text{m}) \times \text{Densidad}(\text{árb/ha})$$

El coeficiente 0.7854 surge de dividir Pi (3,1416) por 4 ya que reemplazamos en la ecuación de área del círculo el radio por el diámetro.

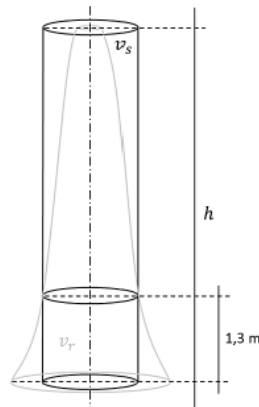


Edad	árb/ha	DAP cm	Alt m.	AB	VOL
0	625	0	0	0	0
1	560	5	5	1	2
2	560	10	10	4	18
3	560	15	15	10	61
4	560	20	20	18	144
5	560	24	24	25	249
6	230	28	28	14	163
7	230	31	31	17	221
8	230	33	33	20	266
9	230	35	35	22	318
10	230	36	36	23	346
11	230	37	37	25	375
12	230	38	38	26	406



Coefficiente de forma o conicidad. Cuando medimos el DAP y la Altura Total, estamos tomando las medidas necesarias para realizar el cálculo de un cilindro perfecto, tal como se observa en el dibujo, sin embargo sabemos que la forma de los árboles es cónica terminando en un ápice. Para ajustar el volumen real, debemos multiplicar el volumen del cilindro por un factor que se denomina Coeficiente de forma. Este factor surge de la división entre el volumen real (medido minuciosamente en un árbol cortado) y el volumen del cilindro (medido con el DAP y la Altura Total)

$$\frac{\text{Volumen real del árbol (m}^3\text{)}}{\text{Volumen del cilindro perfecto (m}^3\text{)}}$$



En los cálculos que realicemos utilizaremos por defecto, siempre que no se midan en cada situación (sería lo óptimo), los siguientes coeficientes de forma:

Especie	Coef.Forma
Pinos	0,45
Eucaliptos	0,40

El Volumen Total, se expresa en $m^3/\text{árbol}$ o m^3/ha . En definitiva equivale a multiplicar el Área Basal por la Altura y por el Coeficiente de Forma. Cuando reemplazamos la fórmula de Área Basal obtenemos la ecuación.

$$0,7854 \times \text{DAP}^2 \text{ (m)} \times \text{Densidad (árb/ha)} \times \text{Altura (m)} \times \text{Coef.Form.}$$

8. Indicadores a monitorear

Para evaluar el desempeño de las plantaciones forestales debemos monitorear algunos indicadores que nos indiquen si el crecimiento está dentro de los valores presupuestados. Además del Área Basal que ya se trató anteriormente, existen otros indicadores que son simples de calcular:

Incremento Medio Anual (IMA). Se obtiene dividiendo el valor obtenido por la edad de la plantación. El IMA puede calcularse para cualquier de las tres variables: DAP que se expresará en cm/año , Altura Total expresado en m/año o Volumen en $\text{m}^3/\text{año}$.

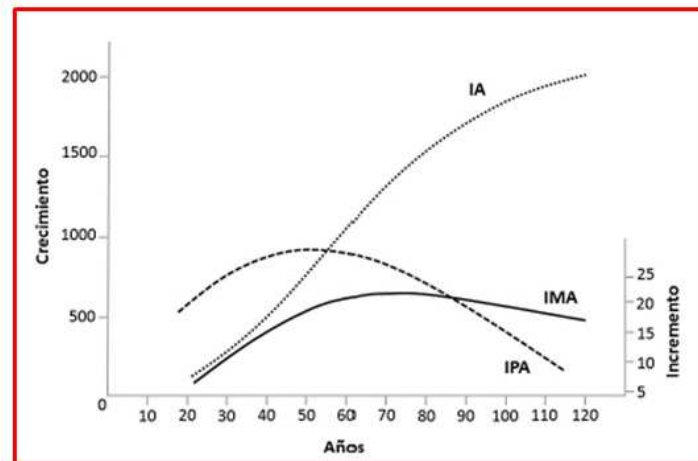
$$\frac{\text{DAP a una edad determinada (cm)}}{\text{Edad determinada (años)}}$$
$$\frac{\text{Altura Total a una edad determinada (m)}}{\text{Edad determinada (años)}}$$
$$\frac{\text{Volumen calculado (m}^3\text{)}}{\text{Edad (años)}}$$

El crecimiento de las plantaciones forestales, al igual que cualquier organismo vivo, está representado por una curva sigmoide, donde al principio el crecimiento es lento, luego se acelera para finalmente tender a la horizontal. Por lo tanto el IMA de cualquier variable medida irá disminuyendo con la edad.

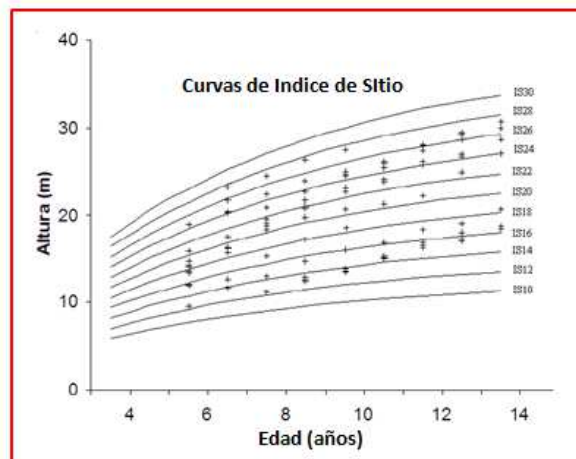
Otro indicador es el Incremento Corriente Anual (ICA). A diferencia del IMA, el ICA mide la diferencia entre dos mediciones consecutivas. La diferencia dividida el período entre ambas mediciones genera como resultado el ICA. La fórmula es la siguiente:

$$\frac{\text{Volumen actual (m}^3\text{)} - \text{Volumen anterior (m}^3\text{)}}{\text{Período (años)}}$$

También a medida que aumenta la edad de la plantación el ICA va disminuyendo. Existe un momento en la vida de las forestaciones donde la curva del IMA corta a la curva del ICA. En ese punto es donde se expresa la mayor eficiencia productiva a partir del cual las tasas de crecimientos serán decrecientes.

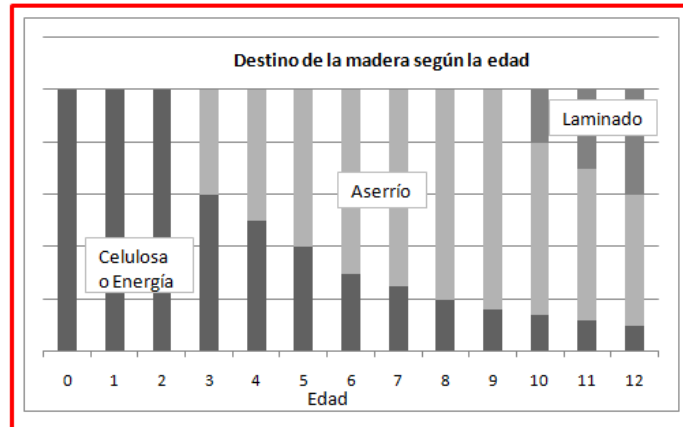


Al conocer la Altura Total de los mejores árboles y correlacionar esa variable con la Edad de las plantaciones podemos determinar el Índice de Sitio (IS). Este indicador refleja la aptitud del suelo forestal ya que está directamente relacionado con la capacidad de crecimiento en altura de los árboles. Cuanto mayor sea la altura de los árboles a la misma edad, mayor será el Índice de Sitio. Conocer el IS permitirá proyectar crecimientos y predecir rendimientos. Técnicamente en Pinos el IS representa la altura que tendrán los mejores 100 árboles/ha a la edad de 15 años.



A medida que la plantación crece y aumenta el diámetro y la altura, comienza a cambiar el destino comercial de la madera. Los primeros años la mayor cantidad de madera tiene diámetros menores a 10 cm en la punta fina permitiendo únicamente su comercialización para la industria de la celulosa o bionergía. A mayores diámetros se pueden comercializar madera con destino a la

industria del aserrío fino, luego grueso para finalmente obtener madera gruesa para la industria del laminado.



La comercialización de la madera se puede hacer verde (recién cortada) o seca (para disminuir el peso en el transporte). A su vez se puede realizar estibas y cubicarlas (metro cúbico estéreo) o calcular el volumen de la troza comercializable (metro cúbico sólido). Cuando se comercializa madera verde la mejor alternativa es pesar.

	tn/m ^{3 est}		tn/m ^{3 sol}	
	Verde	Seca	Verde	Seca
Eucalipto triturable	0,65	0,45	0,9	0,65
Eucalipto aserrable	0,73	0,6	1	0,8
Pino triturable	0,65	0,5	0,93	0,8
Pino aserrable	0,7		1	0,9

m^{3 est} : metro cúbico estéreo
m^{3 sol} : metro cúbico sólido

Jorge Esquivel (h)

Versión 2

Marzo de 2020