

INTRODUCCION A LA INGENIERIA FORESTAL



**José Imaña-Encinas
Guillermo Riesco-Muñoz
Osvaldo Encinas-Blanco**

Universidade de Brasília

2022

AUTORIZAÇÃO CONCEDIDA AO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (RIUNB) PELOS AUTORES, EM 04 DE JANEIRO DE 2022, PARA DISPONIBILIZAR A OBRA, GRATUITAMENTE, DE ACORDO COM A LICENÇA (CREATIVE COMMONS LICENSE 4.0) E CONFORME PERMISSÕES ASSINALADAS, PARA FINS DE LEITURA, IMPRESSÃO E/OU DOWNLOAD, A TÍTULO DE DIVULGAÇÃO DA OBRA, A PARTIR DESTA DATA, DESDE QUE A OBRA FOSSE CITADA CORRESPONDENTEMENTE. A OBRA CONTINUA PROTEGIDA POR DIREITO AUTORAL E/OU POR OUTRAS LEIES APLICÁVEIS. QUALQUER USO DA OBRA QUE NÃO O AUTORIZADO SOBRE ESTA LICENÇA OU PELA LEGISLAÇÃO AUTORAL É PROIBIDO.

AUTORIZATION GRANTED TO THE REPOSITORY OF THE UNIVERSITY OF BRASILIA (RIUNB) BY THE AUTORS, AT JANUARY, 04, 2022, WITH THE FOLLOWING CONDITIONS: AVAILABLE UNDER CREATIVE COMMONS LICENSE 4.0, THAT ALLOWS YOU TO COPY, DISTRIBUTE AND TRANSMIT THE WORK, PROVIDED THE AUTHOR AND THE LICENSOR IS CITED. IT DOES NOT ALLOW THE USE FOR COMMERCIAL PURPOSES OR ADAPTATION.

Referencia bibliográfica:

Imaña-Encinas, José. Riesco-Muñoz, Guillermo. Encinas-Blanco, Osvaldo. (2022), **Introducción a la Ingeniería Forestal**. Brasília : Editora Departamento Engenharia Florestal da Universidade de Brasília, 131p.

ISBN 978-65-86503-58-6
ORCID Imaña 0000-0001-9198-206X
Riesco 0000-0002-9830-7398
Encinas 0000-0003-3423-4748

Introducción a la Ingeniería Forestal

*José Imaña-Encinas
Guillermo Riesco-Muñoz
Osvaldo Encinas-Blanco*

2021

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
BRASIL

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ENXEÑARIA AGROFORESTAL
ESPAÑA

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CURSO DE INGENIERIA FORESTAL
VENEZUELA

Copyright 2021 by José Imaña-Encinas
Universidade de Brasília – 2022
1ª edición: 2022

Esta obra podrá ser reproducida total o parcialmente siempre que se realice la correspondiente cita,
elaborada pela bibliotecária Camila Moreira Mendes Barcelos – CRB 12193

FICHA CATALOGRÁFICA

Imaña-Encinas, José

I31 Introducción a la ingeniería forestal / José Imaña-Encinas, Guillermo Riesco-Muñoz, Osvaldo
Encinas-Blanco. – Brasilia : Universidad de Brasilia, 2022.
131 p. ; xii.

Inclui bibliografía

Modo de acceso: Word Wide Web:

><https://repositorio.unb.handle/1048242550><

ISBN 978-65-86503-58-6

1. Engenharia florestal. 2. Dasonomía. 3. Selvicultura. I. Riesco-Muñoz, Guillermo II. Encinas-Blanco,
Osvaldo. III. Título.

CDU – 634.0.3

Patrocinador



Enero de 2022

PRESENTACIÓN

Con el intento de desarrollar y hacer públicos los conocimientos, hasta ahora ya realizados y conocidos además de ya estar publicados en varios trabajos, es que el contenido de esta obra fue reproducido. Si no están todas las especialidades forestales incluidas, lo que se presenta creemos que es lo suficiente para poner en práctica algunas opciones del raciocinio técnico académico. No se trata de subestimar los actuales conocimientos vertidos en esta obra, al contrario, se debe procurar entender las peculiaridades de las especialidades profesionales del Técnico o Ingeniero Forestal. Por otro lado, se deben saber especificar, agrupando los conocimientos ya existentes en solamente un documento propio y común.

En los últimos años, especialmente en Ibero América, la atención por el sector forestal tuvo un crecimiento indiscutible. Evidentemente, el desarrollo forestal como ciencia independiente se presenta en proceso inversamente proporcional al tiempo. En efecto, el conocimiento acumulado en los últimos años supera de largo a todo el proceso desarrollado en las décadas pasadas. La obra en sí contiene capítulos que son importantes para la educación del conocimiento forestal de la sociedad civil. No se trata de un documento clásico y propio de la ingeniería forestal, al contrario, se debe considerar el manuscrito como texto de referencia técnica.

No es fácil expresar un especial agradecimiento de los autores de esta obra para sus respectivos colaboradores y colegas de trabajo, una vez que en ellos radican las observaciones y correcciones implícitas en el texto que fue revisado, que no fueron pocas. Por otro ángulo no faltaron las críticas dadas por positivas en la respectiva lectura criteriosa del manuscrito.

Pues bien, ahora a la tentativa de hacer los agradecimientos, comenzando por nuestros respectivos amigos y colegas de trabajo que dedicaron algún tiempo en la pertinente revisión del documento, nuestros sinceros y de corazón, agradecimientos especiales. Nuestros alagados y afectuosos agradecimientos a la señorita Marina Isabel Riesco Amurrio, por su contribución como diseñista y pintora de los muchos gráficos que además de agrandar el correspondiente contenido técnico académico, están con suficientes esclarecimientos, concretizando la finalidad de esta obra.

Los autores
Enero de 2022

DEDICATORIA

A nuestros alumnos, estudiantes universitarios,
con la esperanza de
que asumirán el firme compromiso de preservar
los recursos y servicios ambientales y forestales,
y de la naturaleza,
para perpetuar nuestra existencia
en este mundo terrenal maravilloso.

AGRADECIMIENTO

A nuestros familiares,
especialmente a los amigos y colegas de trabajo
que nos apoyaron en la realización de esta obra,
y a la Red Latinoamericana de Enseñanza Forestal
por el incentivo recibido.

Tabla de Contenido

	Página	
1	Introducción	1
1.1	Falta de educación forestal	2
1.2	Etimología	2
1.3	Áreas del saber que constituyen la ingeniería forestal	4
1.4	Diversificación de la silvicultura a lo largo de la historia	6
1.5	La utilización de la madera	7
1.6	Otros usos sistémicos del bosque	8
2	Dendrología	11
2.1	Factores que influyen en el crecimiento	13
3	Métodos de medición forestal	16
3.1	Instrumentos para medir diámetros	18
3.2	Instrumentos para medir alturas	24
3.3	Relaciones hipsométricas	31
4	Relascopio	33
4.1	Principio de Bitterlich	35
4.2	Barra de Bitterlich	40
4.3	Prisma basimétrico	41
5	Volumetría	43
5.1	Cubicación rigurosa	50
5.2	Medidas de altura según Pressler y Hossfeld	51
5.3	Medidas Francon o Hoppus	52
5.4	Medidas poco utilizadas	54
5.5	Relaciones volumétricas	55
6	Parcelas de muestreo	62
6.1	Método de identificación muestral	62
6.2	Método de evaluación por fajas	66
6.3	Método de muestreo sistemático estratificado	67
7	Sistemas silvícolas	69

7.1	Sistemas de regeneración	69
7.2	Regímenes silvícolas	70
8	Reforestaciones artificiales	83
8.1	Viveros	86
8.2	Sistemas de raleo	88
8.3	Reproducción artificial de los bosques	92
9	Genética y mejora forestal	94
9.1	Ensayos de progenie	94
9.2	Ensayos de procedencia	96
9.3	Métodos de mejora	97
10	Economía forestal	100
10.1	Planilla financiera	104
10.2	Estructura del mercado maderero	108
10.3	Planificación de la empresa forestal	109
11	Protección forestal	114
12	Tecnología de la madera	119
12.1	Anatomía de la madera	119
12.2	Utilización de los productos	124
13	Referencias bibliográficas	126

Lista de Cuadros

Cuadro	Título	página
Cuadro 1	Lectura en el árbol	25
Cuadro 2	Esquema del muestreo sistemático estratificado	68
Cuadro 3	Tasas de crecimiento	91
Cuadro 4	Cálculo de la rotación financiera para un bosque normal	106
Cuadro 5	Cálculo de la rotación que dará un máximo de rendimientos netos del bosque	106
Cuadro 6	Cálculo de la rotación que ofrece el máximo del rendimiento	106
Cuadro 7	Relación de costos	107
Cuadro 8	Resultados de los cálculos para diferentes rotaciones	107
Cuadro 9	Relación de tiempos	111
Cuadro 10	Coeficientes para los diferentes productos	112
Cuadro 11	Tiempos de trabajo	113
Cuadro 12	Valores del peso específico o densidad básica de la madera	122

Lista de Figuras

Figura	Titulo	página
Figura 1	Corta de madera de pino insigne (<i>Pinus radiata</i> D. Don) en Galicia	8
Figura 2	Curso natural de agua en un entorno forestal (río Don sal en Lugo, España)	9
Figura 3	Formas de crecimiento de los árboles	11
Figura 4	Partes de un árbol	12
Figura 5	Desarrollo de la raíz de un árbol en un entorno urbano (Bolivia)	13
Figura 6	Regeneración de pino laricio (<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold) en condiciones de media luz (España)	15
Figura 7	Los árboles más altos de Europa son ejemplares de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. situados en Lugo (España)	15
Figura 8	El diámetro a la altura del pecho y, a veces la altura total, son las variables del árbol individual que se miden más frecuentemente	16
Figura 9	Barreno de Pressler	18
Figura 10	Forcípula y cinta diamétrica	19
Figura 11	Medidor del área basimétrica	20
Figura 12	Cilindro formado a partir de la sección normal	20
Figura 13	Regla de Biltmore	22
Figura 14	Ejemplar colosal de ceibo con aletas o raíces tablares	23
Figura 15	Hipsómetro de Merrit	24
Figura 16	Hipsómetro de Christen	25
Figura 17	Principio geométrico de la medición de alturas	26
Figura 18	Hipsómetros: (pistola) Haga, Blume-Leiss con telémetro, Suunto y Forestry Pro	27
Figura 19	Escalas del clinómetro Suunto	28
Figura 20	Hipsómetro Vertex	29
Figura 21	Relascopeo de Bitterlich	30
Figura 22	Medición de la altura con el clinómetro de Abney	30
Figura 23	Escalas del interior del relascopeo	33
Figura 24	Medición del diámetro a la altura del pecho (<i>DAP</i>) con el relascopeo estándar	34
Figura 25	Medición con el relascopeo CP de banda ancha	34
Figura 26	Visión vertical con el relascopeo estándar	36
Figura 27	Replanteo de una parcela de área variable, dins: árbol que entra en el conteo; abre limit: árbol que entra en el conteo como medio individuo; fora: árbol que queda fuera del conteo	36
Figura 28	Principio de medida de altura	37

Figura 29	Seccionamiento imaginario del árbol, s_i : sección imaginaria del árbol, h_i : altura entre secciones consecutivas	38
Figura 30	Determinación de la altura directriz (h_D)	39
Figura 31	Barra de Bitterlich	41
Figura 32	Prismas basimétricos	42
Figura 33	Formas de sólidos geométricos	43
Figura 34	Integración de los sólidos geométricos	44
Figura 35	Tronco del árbol seccionado	45
Figura 36	Heterogeneidad del bosque	46
Figura 37	Distribución de las parcelas de muestreo	48
Figura 38	Estratificación del bosque	49
Figura 39	Alturas de Pressler y Hossfeld	51
Figura 40	Representación esquemática de las medidas	52
Figura 41	Rejilla de medida	53
Figura 42	Medidas de la copa de un árbol	54
Figura 43	Pie tablar	55
Figura 44	Clasificación de los inventarios forestales	62
Figura 45	Esquema de las parcelas aleatorias o al azar	65
Figura 46	Parcela conglomerada del Inventario Forestal Nacional de Guatemala	66
Figura 47	Corta rasa con regeneración natural	69
Figura 48	Método de análisis de semillas	70
Figura 49	Aprovechamiento en un fustal alto regular de <i>Pinus radiata</i> D. Don en Galicia (España)	71
Figura 50	Corta a tala rasa con reserva de árboles padre	73
Figura 51	Fustal alto regular con reserva de árboles semilleros	73
Figura 52	Tratamiento de regeneración natural por cortas de clareo sucesivo con dosel protector	75
Figura 53	Fustal alto regular con cortas sucesivas para la regeneración natural bajo dosel protector	75
Figura 54	Método de entresaca	76
Figura 55	Monte alto irregular	77
Figura 56	The coppice method	80
Figura 57	Método de talardía	80
Figura 58	Sistema Taungya	82
Figura 59	Reforestación con <i>Gmelina arborea</i> Roxb.	83
Figura 60	Reforestación con <i>Toona ciliata</i> M. Roem.	83
Figura 61	Reforestación con <i>Pinus odorata</i> L.	84
Figura 62	Reforestación con <i>Pinus caribaea</i> var <i>hondurensis</i> (Séné) Barr y Golf	85
Figura 63	Reforestación con <i>Eucalyptus urograndis</i>	86
Figura 64	Viveros comerciales	87
Figura 65	Viveros con especie latifoliada	87
Figura 66	Recursos procedentes de raleos	89

Figura 67	Injerto en <i>Fagus</i>	97
Figura 68	Carbón vegetal para exportación	101
Figura 69	Producción de celulosa para la fabricación de papel	101
Figura 70	Costos en viveros: repicaje de plántulas	102
Figura 71	Costo de transporte	103
Figura 72	Caminos forestales	103
Figura 73	Torres de observación para defensa contra incendios forestales en Curitiba (Brasil)	104
Figura 74	Incendios forestales	114
Figura 75	Resultados catastróficos de los incendios forestales	115
Figura 76	Anillos de crecimiento	120
Figura 77	Leña industrial	124
Figura 78	Muebles de madera	125
Figura 79	Pallets de madera	125
Figura 80	Casas pré-fabricadas de madera	125

DEDICATORIA

Dedicamos esta obra a los alumnos estudiantes que están cursando disciplinas o materias profesionalizantes forestales, esperando que el contenido de ésta obra los ayude a formar una conciencia mayor de sostenibilidad de los recursos forestales. Fue un placer escribir ésta obra pensando en un futuro no muy lejano, donde los conocimientos posiblemente serán mejor aprovechados.

Agradecemos la colaboración de los profesionales que nos ayudaron a completar los contenidos específicos. Que sin ellos, esta obra no estaría completa. Nuestras Muchas Gracias a todos ustedes.

Los autores

Enero de 2022

1. INTRODUCCIÓN

Históricamente el árbol es mucho más antiguo y consecuentemente más viejo que la propia raza humana. Los árboles surgieron en la Era Mesozoica, en el transcurso de los periodos Jurásico y Triásico, hace aproximadamente 380 millones de años. Hoy en día los ejemplares vivos de más edad, con más de cinco mil años, pertenecen a los géneros *Sequoia* (*Cupressaceae*), *Taxodium* (*Taxodiaceae*) y *Quercus* (*Fagaceae*). El “General Grant” es un individuo de la especie *Sequoiadendron giganteum* J. Buchholz, con más de tres mil doscientos años y que está en el Parque Nacional de las Sequoias (Estados Unidos), mide 115 metros de altura y tiene 8,8 metros de diámetro a la altura del pecho normal. Los árboles pueden llegar a vivir algunas decenas de años, aunque varias especies de *Pinus* llegan a vivir entre cinco y ocho mil años. Algunos árboles pueden medir más de 100 metros de altura, como un ejemplar de *Eucalyptus regnans* F. Muel. situado en Tasmania (Australia), que mide 132 metros de altura, pesa más de dos mil toneladas y pasa por ser el más alto del mundo.

El hombre como género humano tuvo su inicio en el período Pleistoceno, en la Era Terciaria y Cuaternaria, entre cuatro y un millón de años antes de Cristo, por tanto, más de 195 millones de años después de la aparición de los árboles en la Tierra.

Desde la prehistoria, la propiedad y el desarrollo de los bosques se relacionaban con personajes divinos que los protegían (Imaña-Encinas, 1990). Así, los celtas, los galeses y los britanos tenían a los druidas, que cuidaban de los árboles. En la Grecia antigua, los semidioses vinculados a la vida silvestre estaban asociados al bosque. Los politeístas romanos creían en espíritus que vivían en los bosques y cuidaban de ellos. En la Roma antigua surgen Catón, Varron, Vitrubio y Columela, que pueden ser considerados los padres de la actual ingeniería forestal. Ellos organizaron sistemáticamente la base de la actual terminología forestal (Müller, 1959).

Por tanto, la palabra silvestre significa en su origen tener alguna característica del bosque o bien tener relación con el bosque o con aquello que crece en forma silvestre. La expresión selvicultura deriva del latín (*silva* = selva y *cultura* = cultivo). Silvanus era el dios romano del bosque y de la selva. Consecuentemente la selvicultura trata del cultivo del bosque y se la define actualmente como la especialidad que trata del crecimiento y de la regeneración del bosque, considerándolo un bien permanente e imprescindible (Santamarta-Cerezal y Naranjo-Borges, 2013).

Se sabe que los países europeos que tienen el más alto nivel de cuidado en la utilización de sus bosques pasaron por una etapa histórica de destrucción y despilfarro de sus recursos forestales. Aunque hace varios años que lograron superar esa crisis y hoy en día son un magnífico ejemplo de lo que se puede hacer en otros países cuyo patrimonio forestal es mayor y sus rendimientos mínimos, aspectos que pueden ser observados en varios lugares de América Latina.

Al hacer las reflexiones precedentes no pretendemos sembrar la semilla de un escepticismo estéril ni despreciar el valor de las iniciativas de tantas personas, cualquier que sea su edad y condición social, pues la correcta solución de los problemas forestales de América Latina está en nuestras manos, ya que tenemos el privilegio de tener hoy en día, el acervo científico que permite transmitir a las generaciones presentes y futuras un patrimonio forestal muy grande e importantísimo.

1.1 FALTA DE EDUCACIÓN FORESTAL

Los hombres utilizaron los bosques para satisfacer sus necesidades en cada época y su relación con las áreas arboladas a través de la historia tuvo tres etapas bien diferenciadas: - dependencia casi completa de los bosques para poder sobrevivir; - a consecuencia de lo anterior, destrucción intensiva hasta formar áreas muy extensas sin vegetación; - devastación de muchas áreas, producto de la práctica de una agricultura migratoria (FAO, 2021).

Como se puede observar, todos estos problemas son consecuencia de una falta de educación forestal tanto a nivel poblacional como en las industrias y en las autoridades responsables de la ejecución de una adecuada política forestal. En 1872 (Machado, 2020) el gobierno brasileño intentó corregir sin éxito las actitudes equivocadas de esa época. Sin embargo, recopilaron material y experiencia para desarrollar actualmente campañas a nivel internacional. Entre los medios de comunicación más indicados para ejecutar un programa de extensión forestal en masa podemos citar sin la menor duda la prensa, la radio, la televisión, los libros especializados, póster de información forestal, etc.

El medio más importante para la formación de la conciencia forestal es la intervención en las titulaciones universitarias relacionadas con la formación del profesorado, de modo que los técnicos forestales preparen y orienten a los profesores por medio de conferencias y textos específicos, para que estos puedan transmitir a sus alumnos, niños, jóvenes y adultos, la importancia que reviste la ingeniería forestal.

1.2 ETIMOLOGÍA

Esa actividad involucra parte de los conocimientos propios de la ingeniería forestal, que trata del crecimiento y desarrollo de las técnicas forestales. En la bibliografía también aparece el término o expresión **dasonomía**, que deriva de los vocablos griegos *daso* = bosque y *nomos* = conocimiento (Imaña-Encinas, 1998). Por tanto, a la dasonomía se la puede considerar como la especialidad que estudia el bosque como un todo, correspondiendo por tanto a un sinónimo de ingeniería forestal.

Además, a la dasonomía se la puede definir como la ciencia que trata de la ordenación y conservación de las masas boscosas, considerando el cultivo arbóreo y el aprovechamiento racional de sus recursos primarios y secundarios como renovables y permanentes, de manera que sus beneficios directos y servicios ambientales inmediatos se mantengan perpetuamente. A partir de 1845 en España Agustín Pascual (González-Doncel *et al.*, 2012) retornó de la Academia de Bosques y Economía Rural de Tharandt (Alemania), donde se había formado en 1845 como Ingeniero de Montes. Al señor Pascual se le atribuye la introducción en España de las técnicas de ordenación de montes, donde los montes son todos los terrenos forestales, ya estén arbolados o desarbolados. Dedicó sus primeras experiencias a plasmar en normas y reglamentos los conocimientos adquiridos en Alemania durante su período de estudiante de la Academia de Tharandt (Santamarta-Cerezal y Naranjo-Borges, 2013, FAO, 2021).

El término **forestal** deriva de las raíces latinas *foris* y *fores*, cuyo significado es superficie boscosa que se encontraba fuera y lejos de las poblaciones urbanas, destinada antiguamente a morada de los dioses. En la Roma antigua los únicos que podían cazar en tales lugares eran las divinidades expresamente autorizadas por el dios Zeus (Müller, 1959).

En el período del latín medieval se encuentran las expresiones *florestis* y *silva*, que significan el lugar específico donde el rey administraba justicia, relacionada con el *fórum*. Más tarde se incorporan las palabras *for* y *flor*, que da el significado de la actual expresión forestal.

Se reconoce en la etimología de la palabra forestal la influencia de las expresiones de la lengua francesa *forret* = colectivo de... y *forha* = plantación de pinos. En la literatura francesa, *forestis* significa terreno abierto y reservado para la caza. Actualmente se define como terreno forestal aquel cuya vegetación está constituida por árboles de cualquier tamaño, capaces de producir madera y otros productos forestales, e influir en las condiciones climáticas y en el régimen de las aguas. En España el concepto "terreno forestal" es más amplio, ya que engloba aquellos terrenos rústicos que no tienen uso agrícola y que pueden estar arbolados o desarbolados, ya sea de forma temporal o permanente. En la lengua inglesa se tienen las expresiones *forest* y *forestry*. El significado de este último es *dasonomía* en portugués y en español. En la lengua alemana corresponden a las voces *Wald* y *Forst*.

1.3 ÁREAS DEL SABER QUE CONSTITUYEN LA INGENIERÍA FORESTAL

Para el entendimiento de la ingeniería forestal el bosque o la superficie forestal tiene un significado mayor que el de una agrupación de individuos arbóreos de una o más de las 100.000 especies que existen en el mundo y que viven o vegetan próximos unos a otros. El bosque debe

ser considerado como la resultante de la relación de innumerables acciones combinadas, recíprocas y evolutivas de factores ambientales vinculados entre sí.

La expresión técnica de **dasonomía**, considerada como sinónimo de ingeniería forestal, se compone de varias ramas o especialidades, entre las que destacan la silvicultura, la ordenación forestal, los aprovechamientos forestales, la botánica forestal, la genética y la mejora forestal, la administración forestal, la política y la legislación forestal, la economía forestal, la protección y preservación forestal, la conservación forestal, los sensores remotos aplicados a la ingeniería forestal y la tecnología de la madera. La dasonomía también es considerada como la base científica para la conservación y uso racional de los bosques y del medio ambiente. En una expresión más simple, es la ciencia que trata del establecimiento, cultivo, y aprovechamiento de los bosques (Ferreira de Souza, 1975), haciendo uso de sus productos y servicios de forma continuada y sostenida en el tiempo. Dando más amplitud a esas definiciones se puede confirmar que la ingeniería forestal trata de las normas, principios y reglas del crecimiento inherentes a las especies arbóreas para conseguir productos y servicios del bosque.

En países de tradición forestal como es el caso de los países de Europa central, la literatura registra expresiones como:

Dasótica o *dasotomía* (del griego *dasos* = bosque y *tomía* = conocimiento del corte) que comprende el estudio de la explotación más conveniente del bosque, de sus cortas y de la guardia o vigilancia. Estudia los sistemas de corta que constituyen los correspondientes métodos de beneficio y los regímenes de aprovechamiento del bosque.

Dasocracia trata de la ordenación sistemática y técnica de los bosques para obtener de los mismos un rendimiento sostenido, que en el caso ideal sería anual y constante. Considera métodos específicos para cada una de las especies arbóreas, con vistas a maximizar el beneficio. En la terminología española corresponde a la ordenación de montes, que se plasma en los denominados proyectos de ordenación de montes, instrumentos de gestión forestal, planes de manejo forestal sostenible y otras denominaciones. Bajo ese concepto, la finalidad de la administración forestal impuesta por un régimen forestal adecuado será producir árboles con formas y volúmenes de mayor valor económico desde el punto de vista ambiental y comercial.

El bosque se estructura en tres componentes fundamentales: el medio físico, la población arbórea y la asociación de elementos que componen el agrupamiento vegetal arbustivo y herbáceo, junto con la correspondiente cobertura muerta integrada por el humus, con su microflora y microfauna, en relación con el sitio donde ellos vegetan.

El término bosque puede ser considerado como sinónimo de monte (del latín *montis*), que se usa en Portugal y en España, y que identifica el terreno de considerable extensión cubierto de árboles, arbustos, matas o hierbas, del que se puede obtener bienes tales como madera, leña, semillas, agua, caza, pesca, corcho, resinas, frutos forestales, mimbrres, etc. y del que también se pueden obtener beneficios en forma de servicios ecológicos, culturales o recreativos.

Consecuentemente, es un terreno no dedicado al cultivo agrícola y que en general se encuentra poblado con árboles y arbustos. Para considerar que un monte está arbolado es necesario que la abundancia de árboles, medida como grado de cobertura arbórea del suelo, supere un cierto valor mínimo, que es diferente en España respecto de los demás países europeos.

Entre los recursos importantes del bosque se tiene, el suelo, agua, la vegetación y la fauna silvestre. En la concepción ortodoxa, a la ingeniería forestal se la puede dividir en las siguientes grandes áreas de especialización:

- *Silvicultura*, que trata de la teoría y práctica de controlar la ordenación inicial y el mantenimiento posterior relativos a la composición, crecimiento y regeneración natural de las especies arbóreas. También se refiere al crecimiento estable de los bosques procedentes de plantación y los secundarios, con la finalidad de intervenir ocasionalmente en el desarrollo de las especies que allí vegetan.

- *Dendrología forestal*, trata de las especies vegetales que se desarrollan en los bosques.

- *Genética forestal*, estudia la herencia de caracteres aplicada a las especies forestales, principalmente a las arbóreas.

- *Tecnología de la madera*, estudia las propiedades de la madera y los tratamientos que se le pueden aplicar para obtener productos como madera aserrada, chapas, tableros, papel, cartón, carbón vegetal, resinas, sustancias curtientes, gases, alcohol, etc. Uno de los problemas permanentes a los que se enfrenta la Ingeniería Forestal es saber usar los recursos naturales renovables procedentes del bosque sin provocar su agotamiento o su destrucción.

- *Edafología forestal*, estudia los suelos donde crecen los árboles de interés forestal.

- *Zoología forestal*, trata de la vida de los animales silvestres dentro de los bosques, desde los insectos hasta los animales de mayor porte.

- *Micología forestal*, trata de los hongos y líquenes que crecen en los bosques.

- *Política y economía forestal*, estudia el terreno forestal y los bienes y servicios que proporcionan como recursos económicos sujetos a una regulación normativa.

- *Medición forestal*, estudia las variables y la interpretación de las mediciones en los árboles y bosques.

- *Manejo y ordenación forestal*, considera principalmente la gestión forestal dirigida a obtener un rendimiento sostenido en productos, subproductos y servicios procedentes del bosque, integrando los conocimientos de las diferentes especialidades del saber forestal. El objetivo de la ordenación es el rendimiento forestal permanente mediante programas coherentes de administración de las masas arboladas. Como especialidades vinculadas a esta área se tiene el manejo de cuencas hidrográficas, del paisaje, de la vida silvestre y actualmente de la biodiversidad.

- *Extensión forestal*, estudia los procesos de transmisión de conocimientos vinculados al bosque.

- *Utilización forestal*, trata de los productos y subproductos forestales, así como de los procesos de comercialización e industrialización inherentes.

- *Preservación y conservación forestal y ambiental*, trata del mantenimiento de los sistemas naturales en su interacción con la sociedad, analizando las relaciones causa–efecto entre las acciones naturales y antrópicas.

- *Experimentación forestal*, trata de los experimentos y de los resultados de las experiencias y nuevas prácticas realizadas en los bosques.

- *Interpretación de imágenes de satélites*, trata de la obtención de la información a partir de las imágenes proporcionadas por sensores remotos.

1.4 DIVERSIFICACIÓN DE LA SILVICULTURA A LO LARGO DE LA HISTORIA

Mientras que la silvicultura es una actividad que se remonta a las primeras manifestaciones de la vida civilizada, la ingeniería forestal considerada como fuente de investigación y acumulo de conocimientos, es relativamente contemporánea. Recientemente fue creado el concepto de silvicultura sostenible (SFI, iniciales en inglés de Sustainable Forestry Inc.), cuya finalidad es la conservación de toda la biodiversidad, siendo hoy en día la mayor entidad de certificación forestal en el mundo. En la silvicultura tradicional, para realizar cualquier intervención se necesita una mínima superficie cubierta con el arbolado y ser productor de madera para uso industrial. Sin embargo, solo en los dos últimos siglos se transformó en un elemento de la economía de las naciones y del bienestar de las poblaciones humanas.

La silvicultura interviene sobre dos tipos de masas forestales: mono cíclicas, donde prevalece una especie, como sucede habitualmente en las áreas de reforestación con una especie, y las policíclicas, donde vegetan varias especies forestales en un mismo ecosistema, lo que se conoce como bosque mixto. Otra clasificación del bosque es la que se basa en que su producción sea intensiva o extensiva (FAO, 2021).

Otra clasificación está basada en el objetivo de la propia etimología: silvícola, que puede ser la obtención directa de materias primas como la madera, la leña, el corcho, las piezas de caza y las de pesca o bien la producción indirecta, como la retención de carbón, la regulación del ciclo hidrológico, la conservación de la biodiversidad y otros servicios. La silvicultura debe regular el crecimiento de los bosques de diversos modos para conseguir la producción de bienes y servicios como los indicados.

Últimamente está apareciendo el término silvicultura ecológica (eco-silvicultura), que pretende restaurar el bosque en términos ecológicos y mantenerlo para el futuro. Las prácticas holísticas se esfuerzan por proteger y restaurar los ecosistemas arbolados en lugar de maximizar la

productividad económica. La filosofía de esta rama del saber técnico está en la restauración y mantenimiento del bosque para aprovechar su madera indefinidamente.

Otro término es la silvicultura clonal, que significa el estudio de las réplicas de árboles forestales. Finalmente aparece la silvicultura urbana, que trata de los árboles dentro de los centros urbanos.

Consecuentemente, la silvicultura es la especialidad de la ingeniería forestal que trata de la gestión y cultivo de las masas arbóreas forestales para obtener de ellas una producción continua y sostenible de bienes y servicios para satisfacer las demandas de la actual sociedad.

1.5 LA UTILIZACIÓN DE LA MADERA

El uso más primario y universal del bosque estuvo claramente orientado a la producción de madera, la mayoría de las veces como fuente de combustible, en forma de leña y carbón vegetal. La vida primitiva dependió principalmente de la leña como única fuente de combustible. También debe mencionarse que la industria del transporte dependió en sus inicios de la leña. No se podría valorar hoy en día la importancia que tuvo la leña en el desarrollo, crecimiento y modernización de las sociedades a lo largo de los siglos.

A pesar de las grandes transformaciones sociales que produjo el empleo del carbón mineral y el petróleo como fuentes de energía, junto con el empleo de la energía eléctrica, la leña continúa siendo un importante recurso para la supervivencia de diversas sociedades, algunas de ellas con bajo desarrollo tecnológico. En algunos países europeos la contribución de la leña (los llamados hoy día biocombustibles) a la producción energética nacional es relativamente alta, está creciendo durante el presente siglo y se prevé que continuará aumentando.

A pesar de que la madera se aprovecha desde antiguo, es un material que continúa utilizándose bastante en la sociedad actual. Desde el nacimiento hasta la muerte de cualquier ser humano, la madera forma parte integrante de su desarrollo, desde los primeros juguetes de madera, los muebles, el lápiz, hasta el ataúd, que lo llevará a la otra vida.

En la ingeniería civil, a pesar de los modernos métodos de construcción que emplean hormigón armado y otros materiales, el consumo de madera continúa creciendo notablemente durante las últimas décadas, claramente en línea con el rápido y constante crecimiento de la población mundial.

La industrialización del proceso de transformación de la madera incrementó y diversificó fuertemente la oferta de productos derivados de esta materia prima, lo cual ha ido unido a un gran aumento de su consumo. En este ámbito se percibe que tanto la madera de especies nativas como la de plantaciones, que en algunos lugares del mundo producen una enorme rentabilidad económica, han de ajustarse a los moldes de la sostenibilidad ambiental y económica.

La madera para la producción de papel y celulosa es otro vasto campo de acción para la producción, que utiliza millares de árboles como materia prima. Antes de 1850 el papel se fabricaba fundamentalmente a partir de restos de tejidos. En 1858 fue Keller, en Alemania (García *et al.*, 2003; Kollmann, 1959), quien trituró madera para elaborar la pulpa o pasta mecánica y fue en 1866 cuando los hermanos Tilgman en los Estados Unidos produjeron la primera pasta química. Posteriormente, en 1873 Ekman, en Suecia, consigue preparar la primera lámina de celulosa (Kollmann, 1959).

Figura 1. Corta de madera de pino insigne (*Pinus radiata* D. Don) en Galicia (España).



1.6 OTROS USOS SISTÉMICOS DEL BOSQUE

Como subproducto y servicio sistémico ambiental del bosque se tiene el agua, recurso natural renovable de la máxima importancia. Probablemente el agua en las próximas décadas se transforme en el bien más precioso para la Humanidad, pudiendo alcanzar en varias regiones del mundo valores económicos hoy incalculables. Existe evidencia de que faltará inevitablemente agua dulce en varias sociedades, incluso europeas y de países considerados del primer mundo.

Los bosques conservan los cursos naturales del agua y protegen de forma natural sus nacientes. El agua de la lluvia que cae en un año ordinario es perfectamente controlada por la cubierta boscosa por lo que se hace necesaria una rigurosa protección y mantenimiento de las áreas forestales. El bosque, además de retener, retardar y regular la escorrentía procedente del

agua de las lluvias, es también fijador de la materia orgánica y de elementos químicos esenciales para la dinámica del suelo (FAO, 2021).

El consumo actual del agua y el aumento en la demanda de alimentos, que están en constante proceso de crecimiento, podrán significar la correspondiente disminución de la cobertura forestal. Consecuentemente, la función del técnico forestal consistirá en evitar que en esas situaciones las áreas forestales continúen reduciéndose.

Ante las exigencias actuales de la sociedad, las áreas destinadas a parques urbanos, municipales y nacionales constituyen una muestra de la creciente conciencia ambiental, que va unida a una planificación rigurosa de la educación forestal.

Finalmente, en el actual mercado del carbón los bosques tienen una decisiva y segura participación comercial. Se ha visto que en los árboles se concentra el mayor porcentaje de madera, con su equivalente en carbón, lo que da lugar a la venta y compra de los famosos certificados de propiedad del carbón de origen vegetal a través de la WWF (World Wildlife Fund), responsable de adquirir o vender los certificados emitidos oficialmente.

Figura 2. Curso natural de agua en un entorno forestal (río Don sal en Lugo, España).



Las áreas con cobertura forestal pueden ser también fijadoras del suelo, además de resistir naturalmente al ímpetu de los temporales, para lo que son prácticamente insustituibles en el plano de protección contra los excesos de las lluvias.

Otro dato histórico se refiere al descubrimiento de la fabricación de hilos de algodón para la producción del llamado *rayón*, que permitió la creación del mercado de fibras de la madera, que absorbe anualmente enormes y crecientes volúmenes de madera.

En otro sentido se deben analizar algunos aspectos considerados negativos para el crecimiento y desarrollo de la ingeniería forestal, asuntos estos que deberán ser tratados como desafíos con la finalidad de encontrar posibles soluciones integradoras. Entre esos aspectos se tiene:

- la agricultura migratoria, que utiliza los bosques tan solo para buscar la fertilidad del suelo forestal en los primeros años de cultivo, con vistas a una actividad agrícola de subsistencia
- los incendios, debidos a causas diversas, aunque en un número considerable son de origen criminal o provocados por la ignorancia de los propios productores, para aumentar la disponibilidad de tierras de latifundio
- el uso descontrolado del pastoreo, principalmente en bosques secundarios
- el desorden de la demanda de la industria por la madera en bruta.

Los aspectos enumerados continúan contribuyendo para que no se puedan aplicar métodos permanentes adecuados para la exploración y explotación racional de los bosques y de sus productos (FAO, 2021).

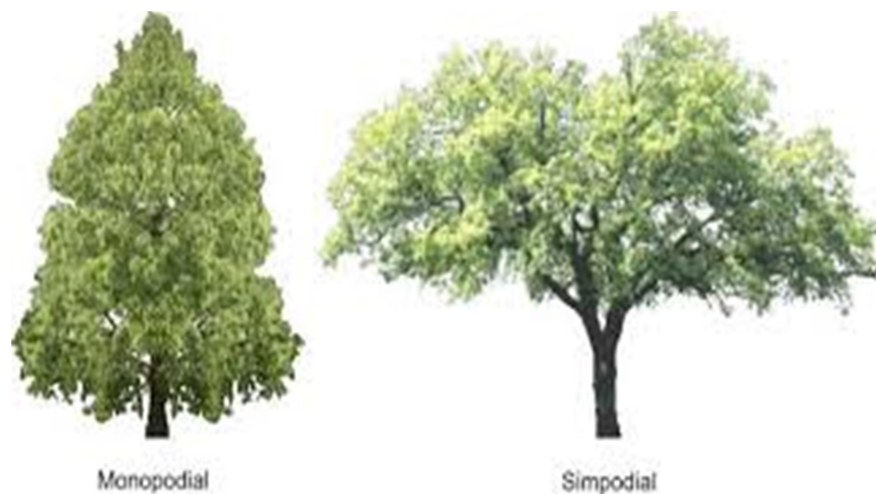
2. DENDROLOGÍA

La **dendrología** (del griego *dendro* = árbol y *logos* = tratado) estudia al árbol en su aspecto biológico, morfológico y fisiológico. El término dendrología, como especialidad de la ingeniería forestal, trata de la identificación y clasificación sistemática de las especies arbóreas. Este término fue propuesto por el naturalista italiano Ulisse Aldrovandi en 1668 (Heringer, s/año; Marcelo-Peña, 2011).

El árbol es el principal elemento constitutivo del bosque y en ese sentido el fundamento de la ingeniería forestal. Se define al árbol como planta leñosa, de tronco principal único y elevado, con más de 5 metros de altura y con fuste libre de ramas en su parte inferior (Kollmann, 1959).

En el lenguaje cotidiano, el árbol es el vegetal robusto, de vida prolongada, provisto de un tronco y ramas que producen madera. Los troncos pueden ser más o menos gruesos y muchas veces pueden perder sus hojas en ciertas estaciones climáticas. Algunas especies leñosas presentan más cantidad de madera en la copa que en el propio fuste. De acuerdo con la clasificación botánica, existen dos tipos de crecimiento en los árboles (Figura 3) en función de la yema terminal: denominase de monopodiales y simpodiales (Imaña-Encinas, 2011a).

Figura 3. Formas de crecimiento de los árboles.



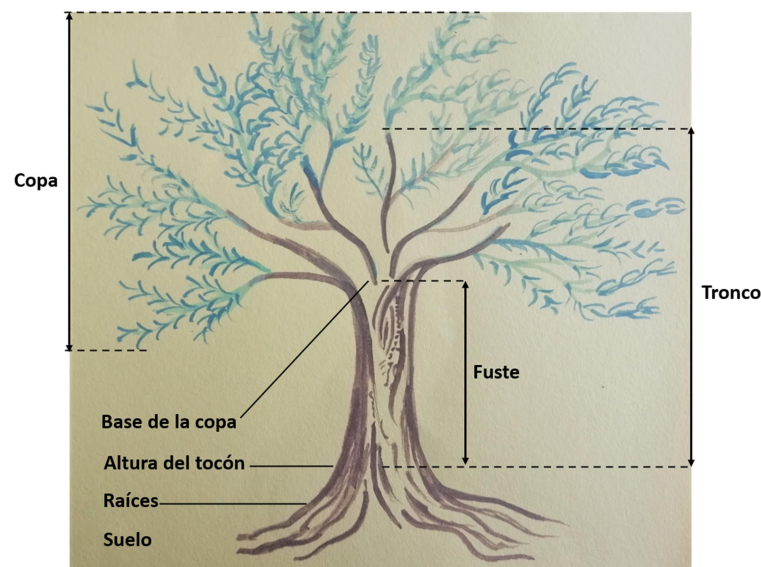
El tamaño que llegan a alcanzar los árboles varía naturalmente con el medio en el que crecen. Muchas especies, cuando crecen en suelos fértiles y climas húmedos, producen árboles adultos grandes. Sin embargo, cuando los árboles vegetan en suelos pobres y climas áridos alcanzan menor porte. En los países de Europa central se extendió el concepto de árbol pequeño, que es el que tiene menos de 15 m de altura, mientras que un árbol sería grande cuando tiene más de 25 m de altura (FAO, 1993).

En los estudios que tratan sobre la biomasa y el secuestro de carbono se clasifica a los árboles en parte aérea y parte subterránea (Young y Trion, 1978). La zona de unión entre la parte interna o subterránea y la externa o aérea se denomina tocón.

Normalmente una raíz embrionaria o radícula nace de la semilla antes que el epicótilo y se introduce verticalmente en el suelo sin formar nudos ni entrenudos ni clorofila. En los árboles de la división gimnospermas y en la mayoría de las especies angiospermas la raíz primaria adquiere normalmente considerable desarrollo, formando las denominadas raíces pivotantes. Algunas especies arbóreas desarrollan raíces hasta una profundidad semejante a la altura total del fuste. Los árboles de la clase de las monocotiledóneas no producen raíz principal.

Las partes tradicionales y principales de un árbol son: su sistema subterráneo (raíz) y su sistema aéreo (tronco o fuste y copa) como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Partes de un árbol.



Las raíces adventicias nacen de un tallo cuando existen condiciones para ello. En la parte inferior del tallo se produce una polaridad, formando tejidos cicatrizantes de los que nacen algunas células cambiales que emiten cordones radiculares, los cuales, después de atravesar el periciclo, restablecen el sistema radicular y constituyen un nuevo árbol.

En síntesis, la raíz ejerce las funciones de fijación y soporte del tronco, realiza la conducción y el correspondiente almacenamiento de nutrientes. Con frecuencia se puede convertir en órgano de propagación vegetativa. Como no contiene clorofila no ejerce la función de asimilación.

Algunas raíces tienen la particularidad de formar yemas terminales o raíces germíparas de las cuales nacen brotes aéreos. Algunas especies, como los álamos, los olmos y varias especies de las sabanas, emiten de la raíz brotes capaces de regenerar el bosque por esa vía (Marcelo-Peña, 2011).

2.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO

Los árboles de regiones secas habituados a crecer en suelos sueltos y arenosos desarrollan una raíz principal pivotante, que se prolonga verticalmente y hacia abajo (geotropismo positivo) hasta que la plántula se puede fijar en el suelo y encontrar una conexión con los estratos edáficos más húmedos. En las especies higrófilas que vegetan en regiones lluviosas y terrenos más húmedos, con suelos de escasa profundidad y con horizontes de poco potencial, el crecimiento de la raíz principal se atenúa y se forman raíces secundarias que afianzan la planta en esos suelos, produciendo un rápido crecimiento de esta.

Las raíces secundarias se introducen en el terreno formando un ángulo con la raíz principal. El árbol, en su primera etapa de crecimiento, emite raíces profundas, luego el desarrollo se atenúa y en un segundo período de su evolución crea un sistema radical permanente.

Figura 5. Desarrollo de la raíz de un árbol en un entorno urbano (Bolivia).



Para mejor auxiliar las funciones de absorción, las raíces de los árboles frecuentemente están asociadas a organismos internos o forman una simbiosis (asociaciones de convivencia). En la mayoría de las raíces de las leguminosas se forman pequeñas cantidades de grupos bacterianos del género *Rhizobium* que se caracterizan por fijar el nitrógeno del aire en substitución de la hospitalidad que reciben de las sustancias orgánicas producidas por las raíces.

En la mayoría de las especies de *Pinus* y de varias latifoliadas (*Quercus*, *Acer*, *Juglans*, *Fagus*) las raíces están asociadas a hongos basidiomicetos, llamada esa asociación micorriza, que ejercen la función de solubilizar y facilitar la absorción de algunos minerales útiles para el crecimiento del

árbol. A cambio, el árbol retribuye con la cesión de hidratos de carbón, indispensables para el desarrollo de los hongos.

La luz no influye directamente en el crecimiento de las raíces. Un aporte limitado de luz, sin embargo, provoca una pequeña formación de asimilados que son casi íntegramente empleados por el árbol para su crecimiento en altura. La situación de las especies en función del grado de aireación del suelo varía en función de la relación entre parte aérea y raíz, que se expresa como cociente.

Durante el desarrollo de las plántulas en los viveros, las raíces tienen una estrecha relación de 1:1 con su altura, aumentando en los bosques europeos este índice hasta 16:1. Esta relación explica qué cantidad de los asimilados del suelo están presentes en el complejo desarrollo de los árboles.

Otro factor tan importante como la luz es la humedad. Evidentemente debe existir una correlación entre el crecimiento en altura y el aporte de agua. Esta correlación es más estrecha en los climas áridos. Consecuentemente, la abundancia de agua determina el alargamiento del tallo. La temperatura es otro factor indispensable para la asimilación de nutrientes por parte de los vegetales. Por debajo de 0 °C el crecimiento cesa y por encima de 40 °C también sucede lo mismo que el crecimiento cesa.

Finalmente, la edad de la planta influye en el ritmo de crecimiento del tronco. Así, en una plantación joven los individuos crecen rápidamente en altura. El factor limitante parece ser la propia capacidad de utilizar los nutrientes y el agua a su disposición. El crecimiento, que es más rápido en las especies intolerantes, llega a un máximo para luego decrecer lentamente hasta que prácticamente cesa en la senectud. Las especies tolerantes continúan creciendo lentamente hasta alcanzar el clímax, relativamente tardío en la vida del bosque, que depende de la cantidad de luz (Figura 6).

Hartig (Müller, 1959), selvicultor alemán, afirmó que en un árbol que vegeta sin restricciones, sus hojas fotosintetizan con eficiencia parcial y que la renovación del 50 % de ellas no afectaría al crecimiento diametral de los árboles. En las masas forestales manejadas y ordenadas se da, sin embargo, una relación inversa entre la necesidad de nutrientes y la abundancia de luz. Si existen nutrientes en abundancia la luz puede ser reducida a un mínimo y viceversa, siendo estos los principios del manejo de los bosques productivos.

El árbol más viejo del mundo es un ejemplar de la especie *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl., que mide cerca de 120 metros y tiene 5.100 años (Heringer, s/año). Algunos árboles del género *Eucalyptus* también pueden alcanzar alturas superiores a 100 metros (Figura 7). Otro factor es la luz, ya que cuando el aporte de luz decrece disminuye también la cantidad de asimilados, lo cual influye en el crecimiento en altura. Sin embargo, existe un límite porcentual de asimilados empleados en el crecimiento en altura, pues si no lo hubiese los árboles se transformarían en “monolitos” verticales en busca de la luz.

Figura 6. Regeneración de pino laricio (*Pinus nigra* J.F. Arnold) en condiciones de media luz (España).



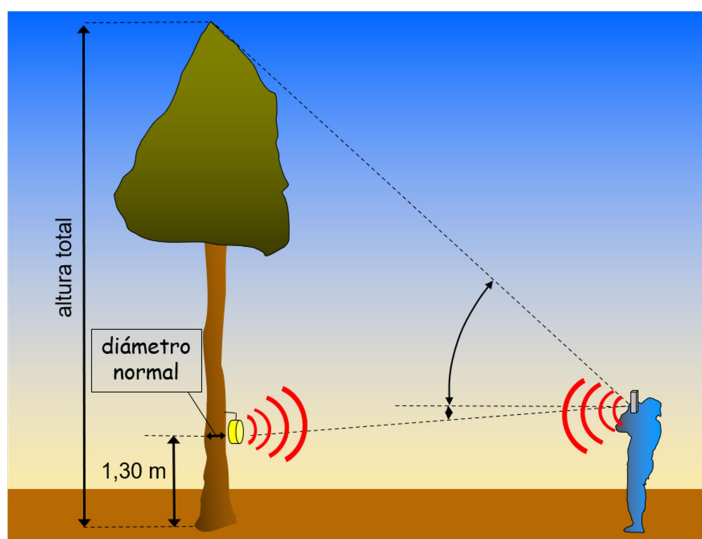
Figura 7. Los árboles más altos de Europa son ejemplares de *Eucalyptus globulus* Labill. situados en Lugo (España).



3. MÉTODOS DE MEDICIÓN FORESTAL

La **dasometría** es la especialidad forestal que trata de la medición precisa de las dimensiones de los árboles y del crecimiento, junto con la correspondiente interpretación. Esta especialidad está dividida en la dendrometría, inventario forestal y epidimetría. La palabra **dendrometría** deriva del griego, donde: *dendro* = árbol y *metro* = medida. Es decir, es la parcela del saber que se ocupa de la medición de los árboles. La dendrometría es por tanto la especialidad que permite estimar la evolución, rendimiento y productividad de los bosques, ya sea por el aporte de datos relativos a las variables de árbol individual como diámetros, alturas, volúmenes, peso de biomasa, etc. o por aportar métodos para la elaboración de modelos que permiten estimar volúmenes de madera y pesos de biomasa a partir de la edad de los árboles, permitiendo hacer pronósticos sobre los valores de las variables de interés a diferentes edades en un rodal.

Figura 8. El diámetro a la altura del pecho y, a veces la altura total, son las variables del árbol individual que se miden más frecuentemente.



El diámetro a la altura del pecho (*DAP*), también denominada de diámetro normal, es la variable de árbol individual que se mide con más frecuencia. Se trata del diámetro del fuste a la altura del pecho, que en Europa se considera que es 1,30 m sobre el suelo (figura 8). Como la sección transversal del tronco no es un círculo perfecto es más representativo tomar dos medidas en cruz del diámetro a la altura del pecho (dos mediciones a 90 °) y calcular la media aritmética de ambas, que se llama diámetro medio aritmético.

También se pueda examinar el tronco a la altura de 1,30 m para localizar en qué direcciones se encuentran el diámetro máximo y el mínimo de la sección. Cuando se registran ambos valores de diámetro el valor medio que se calcula se llama diámetro medio geométrico, que es la raíz

cuadrada del producto de ambos datos de diámetro. También puede calcularse el diámetro mínimo, que es la menor de las dos lecturas de diámetro.

Como el fuste de un árbol no es cilíndrico puede ser necesario medir diámetros a otras alturas en el fuste. Se tiene así:

- el diámetro de inicio de copa, que es el diámetro que presenta el fuste en el punto que se considere como inicio de la copa
- el diámetro en la base o diámetro del tocón
- el diámetro a diferentes alturas absolutas
- el diámetro a diferentes alturas relativas (porcentajes de la altura total).

Los instrumentos convencionales para la medida de diámetros permiten obtener precisiones de 1 cm, 0,5 cm o 1 mm. No obstante, la irregularidad natural de la forma de los troncos hace innecesario el registro de diámetros con demasiada precisión.

Además de los diámetros de árbol individual indicados existen diámetros representativos de la masa forestal:

- el diámetro medio cuadrático, que representa el diámetro de un árbol cuya sección normal sea la media del rodal o del grupo de árboles
- el diámetro de Lorey, que es el que corresponde al árbol de altura media del rodal o grupo.

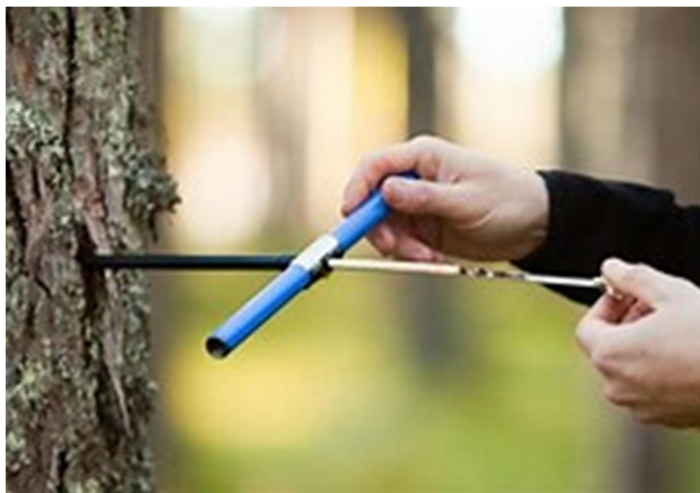
La medición forestal concierne a las mediciones lineales, cuadráticas y cúbicas, también con el tiempo, porque si un árbol crece, hay muchas veces la necesidad de conocer su ritmo de crecimiento, lo que hoy en día es relatado por la crono dendrometría.

El fuste de un árbol tiene una forma natural irregular y no presenta una forma asimilable a una figura geométrica sencilla, lo cual permitiría el cálculo preciso de su volumen. La forma del fuste del árbol tampoco es exactamente una combinación de varios sólidos geométricos (cilindros, paraboloides, neiloides y troncos de cono). Por ello existen dificultades para una medición precisa de sus dimensiones, por lo que éstas solo llegan a conocerse de forma aproximada, lo suficiente para atender a las necesidades del gestor forestal.

La edad individual de los árboles se puede determinar mediante equipos auxiliares, como el barrenado ideado por el suizo Pressler, que con el auxilio de ecuaciones matemáticas permitirán estimar el rendimiento y la productividad maderera. Últimamente se ofrece en el mercado los llamados laboratorios de cronometraje de la edad. El término dendrocronología deriva de tres vocablos griegos (*dendro* = árbol, *kronos* = tiempo y *logos* = conocimiento). Es la relación entre los anillos de crecimiento y las características ambientales permitiendo formar así verdaderos archivos naturales. Si se mudase la palabra cronología por otros términos técnicos científicos como climatología donde fueron registrados las mudanzas climáticas, inundaciones, incendios, evidencias de mudanzas de temperaturas, entre otras, estaríamos prestes a nuevas profesiones. Según Imaña-Encinas (2002) y Vidal-Gonçalves (2018) esos laboratorios son bastante caros y complejos en su uso.

El barreno de Pressler está constituida por tres partes independientes (Figura 9): el propio barreno donde se obtienen las muestras cilíndricas de madera, el brazo móvil para accionar manualmente el barreno y el extractor que saca las muestras del barreno.

Figura 9. Barreno de Pressler.



3.1 INSTRUMENTOS PARA MEDIR DIÁMETROS

El objetivo primario de la medición forestal es la determinación rigurosa del volumen de madera (cubicación rigurosa) del árbol en crecimiento que está en una determinada superficie boscosa (Corona y Berti, 2010). Si ese volumen es multiplicado por la densidad básica de la madera, se obtiene la biomasa en pie del árbol. Por tanto, para el cálculo de la biomasa es necesario conocer la densidad básica de esa madera.

El procedimiento más seguro y exacto consiste en medir en todos los árboles las variables *DAP* (diámetro a la altura del pecho = 1,30 m del suelo) o *CAP* (circunferencia a la altura del pecho) y la altura del fuste o del árbol completo. Para medir directamente el *DAP* se usa la forcípula (Figura 10) y para el *CAP* la cinta diamétrica.

Las medidas serán obtenidas por medio de una **forcípula de brazo móvil** o de una **cinta diamétrica**, que son los instrumentos más usados para determinar los valores correspondientes. Usando la forcípula en terrenos en pendiente la medida debe ser tomada del lado más alto del declive (Imaña-Encinas, 2011a). Para el cálculo del volumen del árbol es necesario conocer su diámetro a la altura del pecho (*DAP*) o su circunferencia a la altura del pecho (*CAP*).

La medida del diámetro a la altura del pecho se realiza siempre a la altura 1,30 m salvo que los árboles presenten irregularidades a esa altura. La convención de medir a 1,30 m se usa en Europa y América Latina. En Estados Unidos, Canadá, India, Malasia, Australia, Nueva Zelanda y en todos los países de lengua inglesa se mide a 4 pies y 6 pulgadas de altura respecto del nivel del suelo, altura equivalente a 1,29 metros.

Si la corteza debe o no ser incluida en las mediciones de diámetro dependerá de los objetivos específicos. En los países de lengua inglesa se usan las iniciales de las palabras relacionadas con la corteza para indicar si el diámetro está medido con o sin la corteza: *dib* (*diameter inside bark*) o *dob* (*diameter over bark*). Si *dib* y *dob* fuesen medidos, el grosor de la corteza será la mitad de la diferencia entre ambos valores.

Figura 10. Forcípula y cinta diamétrica.



forcípula

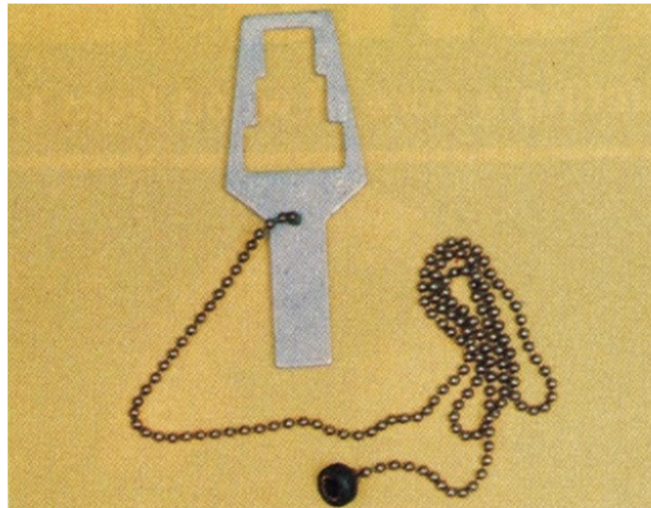


cinta diamétrica

La altura convencional no es solo conveniente para las medidas de la circunferencia o diámetro del fuste de un árbol, sino que además a esa altura los fustes son más uniformes en el mayor porcentaje de los árboles. En la ejecución de las medidas se encuentran algunas especies de árboles con anomalías, que en algunos casos llegan hasta 3 metros. Con el diámetro a la altura del pecho (*DAP*) o circunferencia a la altura del pecho (*CAP*) se obtiene el valor de la sección normal (*g*) del árbol medido, que es un valor en metros cuadrados o en centímetros cuadrados. Ese valor es menor que el del área correspondiente a la base del árbol junto al suelo. Por otro lado, en la mayoría de los árboles es mayor que en cualquier otra sección transversal por encima de la altura del pecho. Es una superficie transversal en los troncos de los árboles, a excepción de algunas palmeras y filicíneas, que no poseen dilataciones en las extremidades de sus fustes.

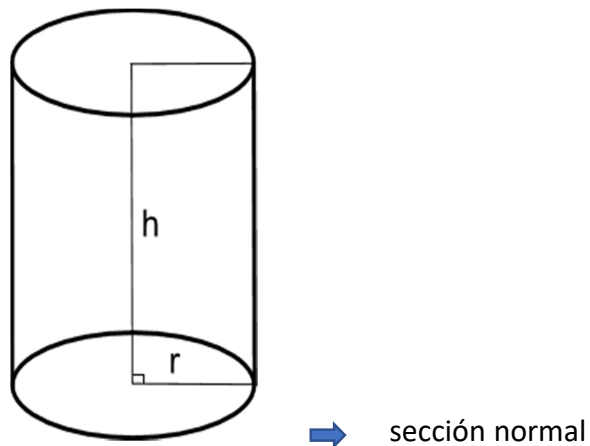
El área basimétrica es la suma de las secciones normales de los árboles del rodal y se puede medir a distancia de forma aproximada con el instrumento que aparece en la figura 11.

Figura 11. Medidor del área basimétrica.



La abertura superior corresponde a $k = 1$, la siguiente intermedia es igual a $k = 2$, la abertura inferior es igual a $k = 3$ y girando el instrumento $k = 4$. Los coeficientes de k están explicados en el capítulo dedicado al relascopio.

Figura 12. Cilindro formado a partir de la sección normal



Para obtener el valor de la correspondiente sección normal (g) será necesario su cálculo en función del DAP o CAP , utilizando la ecuación volumétrica del cilindro, de acuerdo con las siguientes expresiones:

g en función del diámetro a la altura del pecho (DAP):

$$g = \frac{\pi}{4} \cdot DAP^2 \qquad g = 0,7854 \cdot DAP^2$$

g en función de la circunferencia normal (CAP):

$$g = \frac{CAP^2}{4} \cdot \pi \qquad g = 0,0796 \cdot CAP^2$$

G es el área basimétrica total de la masa arbolada:

$$G = \sum g$$

Cuando la sección normal de un árbol tiende a la forma elíptica se debe proceder a su estimación con dos medidas transversales del diámetro a la altura del pecho:

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

Considerando el área de una elipse:

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

el error (E) en porcentaje se determinará por la diferencia entre ambas áreas (Imaña-Encinas, 1998):

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

El volumen del árbol individual (V , en metros cúbicos) se puede estimar en función del DAP (en metros), la altura (H) del fuste o del árbol (en metros) y el factor de forma (ff):

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot DAP^2 \cdot H \cdot ff$$

donde:

g = área basal individual en m^2

G = sumatoria de g en m^2/ha

DAP en centímetros o metros

CAP en centímetros o metros

D = diámetro inicial en centímetros o metros

d = diámetro final en centímetros o metros

$\pi = 3,1416$ (pi, constante matemática)

V = volumen en metros cúbicos

H = altura del fuste o del árbol en *metros*

Ff = factor de forma, inferior a 1, representa el grado de aproximación de la forma del fuste a un cilindro como sólido geométrico.

El diámetro podrá ser convertido en circunferencia multiplicando por 3,1416 (valor de π) o viceversa, dividiendo el valor de la circunferencia por π . Sin embargo, para facilitar el cálculo de transformación se puede usar una tabla que ofrezca la conversión de la circunferencia al diámetro.

Existen tablas de 10 a 350 centímetros de *CAP*. Con los valores de las medidas de altura se obtiene en consecuencia el volumen individual que permitirá determinar por extrapolación (multiplicación por el número de árboles del bosque, denominado simplemente por densidad del arbolado) el volumen total del bosque y/o de un área arbolada o forestal. La unidad se expresa en metros cúbicos por hectárea (m³/ha).

Multiplicando la sección normal por la altura del fuste se obtiene el volumen de un cilindro cuya base es la sección normal (Figura 12). Ese volumen debe ser reducido para hacerlo corresponder al volumen total del árbol o del fuste. El factor de reducción es conocido como factor de forma (en función de los diámetros) o coeficiente de forma o coeficiente mórfico (en función de los volúmenes).

Los árboles con raíces tablares exigen para la medición del *DAP* escaleras o el empleo de medidas indirectas. Por tanto, es posible usar la regla de Biltmore (Figura 13), también llamada de escala de tangentes. La dificultad mayor de la obtención de la medida exacta está en el hecho de que es difícil mantener con precisión una distancia fija entre el operador y el árbol. Por ese motivo existen en el mercado varios modelos de medias de precisión, como fue indicado anteriormente.

Con la **regla de Biltmore** la ecuación siguiente dará los resultados correspondientes en función del diámetro a la altura del pecho *DAP* (*d*):

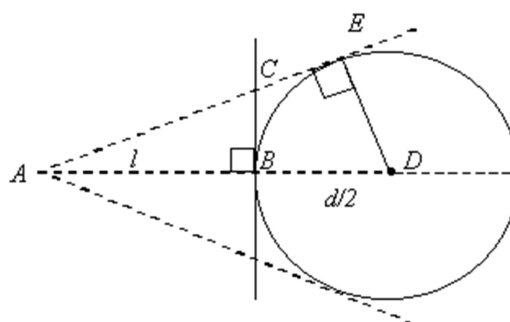
$$CD = 2CB = \frac{d}{\sqrt{1+d/l}}$$

CD = lectura en la escala graduada

d = diámetro del árbol

l = distancia fija del ojo del observador a la regla (largo del brazo).

Figura 13. Regla de Biltmore



d/2 = radio del árbol

d = diámetro del árbol

Esta regla es un instrumento usado comúnmente en trabajos sobre árboles en pie. Mide 70 centímetros de longitud y está graduada de forma que, cuando se la coloca horizontal contra la

cara del árbol y se mantiene la cabeza firme, la visual lanzada a cada línea tangencial del fuste coincide sobre la regla determinando la distancia CD, de la cual se obtiene el diámetro d.

El mayor inconveniente es la longitud del brazo, que varía de una persona a otra. Por tanto, se la debe usar con una cinta de longitud conocida alrededor del cuello. La regla de Biltmore no es un instrumento de precisión. Por ese motivo se la debe usar en trabajos que no exijan de alta precisión. Así, varias escalas de cubicación fueron ideadas.

Figura 14. Ejemplar colosal de ceibo con aletas o raíces tablares.



En América del Norte y en países de lengua inglesa, la medida para madera aprovechada es el pie de tabla o pie tablar (en lengua inglesa "*foot board*"), que está representada por una pieza de madera o metal liviano. Para la construcción de la regla en el sistema decimal, se la debe ajustar con la ecuación ya indicada.

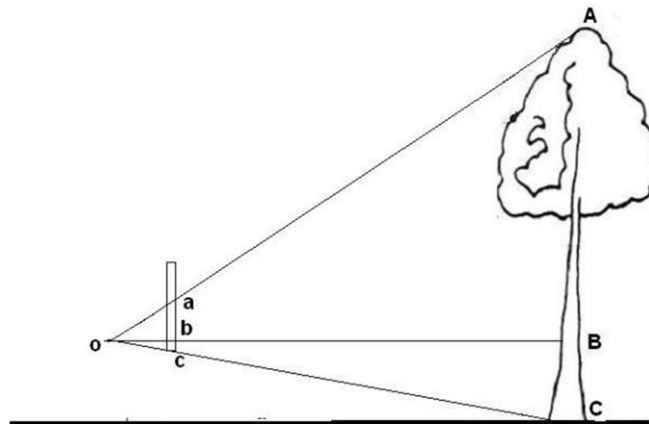
3.2 INSTRUMENTOS PARA MEDIR ALTURAS

Son también conocidos como hipsómetros, que miden las alturas de los fustes y árboles como un todo. También se tienen los clinómetros, que miden ángulos para las determinaciones de alturas.

Entre los hipsómetros los más usados están: el hipsómetro de Merrit, el hipsómetro de Christen, el hipsómetro Haga, el hipsómetro Blume-Leiss, el hipsómetro Suunto, el hipsómetro Vertex, el hipsómetro Forestry Pro y el relascopio de Bitterlich, además del clinómetro de Abney que se muestran en las figuras 15 al 20. De estos hipsómetros, la pistola Haga y el hipsómetro Blume-Leiss son los más usados en los trabajos de campo.

El **hipsómetro de Merrit** es un instrumento simple en su construcción, estando su graduación de acuerdo con las exigencias del observador. El lado opuesto de la regla de Biltmore puede ser utilizado como hipsómetro de Merrit. La graduación está basada en la relación de triángulos iguales (Figura 15).

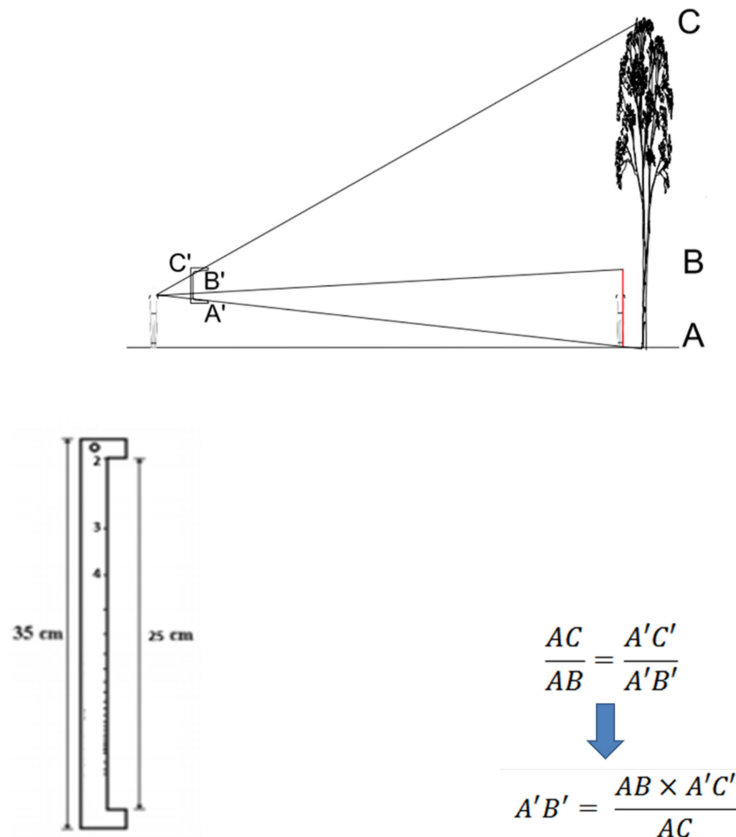
Figura 15. Hipsómetro de Merrit.



El **hipsómetro de Christen** es un instrumento basado en principios no trigonométricos, que consiste en una regla graduada de 30 centímetros. Para su uso se hace necesaria una varilla adicional de dimensión conocida que se apoya en el árbol.

Quedando verticalmente el instrumento y haciendo coincidir la altura que va a ser medida con los extremos de la regla, la lectura se hará en el punto de coincidencia del tope de la varilla con la graduación de la regla. La construcción se basa en la semejanza de triángulos. Se hace necesario que el operador se acerque o se aleje del árbol para conseguir enrasar los extremos de la regla que da la distancia al árbol (Figura 16).

Figura 16. Hipsómetro de Christen.



Para todos los instrumentos que miden alturas de fustes o árboles existen solo tres casos metodológicos de determinación de las alturas:

- cuando el observador está a una altura por encima de la base del árbol y por debajo del ápice
- cuando el observador está por encima del ápice del árbol
- cuando el observador está por debajo de la base del árbol.

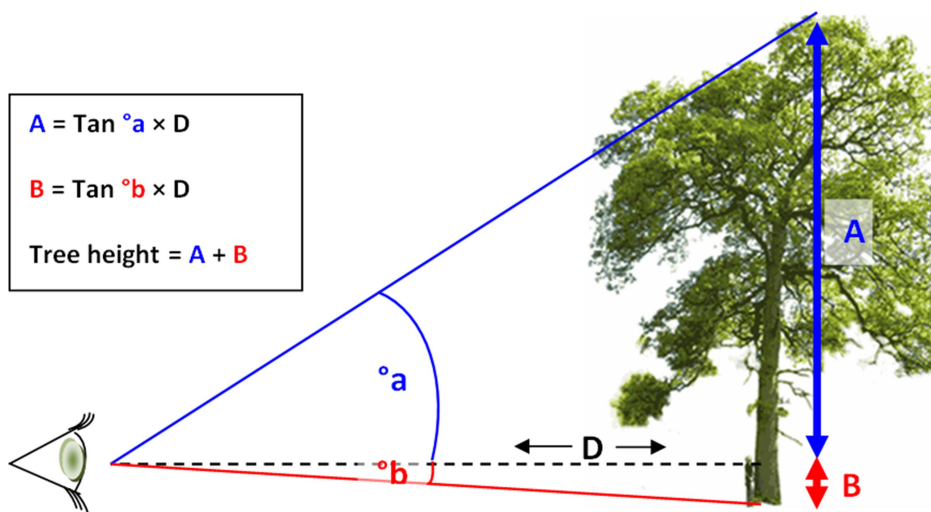
Se deben efectuar dos medidas (Cuadro 1), una apuntando hacia la base del árbol y la otra al ápice del mismo árbol. En el primero caso las dos medidas se suman para obtener la altura total. En los otros dos casos se restan las dos medidas (al valor mayor se le resta el menor).

Cuadro 1. Lectura en el árbol.

base	ápice	ecuación a usar
negativa	positiva	$L = \text{distancia} \cdot (\text{tag alfa} + \text{tag beta})$
negativa	negativa	$L = \text{distancia} \cdot (\text{tag alfa} - \text{tag beta})$
positiva	positiva	$L = \text{distancia} \cdot (\text{tag alfa} - \text{tag beta})$

El hipsómetro (pistola) Haga es un 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 en porcentaje. Para realizar la medición se debe liberar primeramente el péndulo. Visando con el punto de medida a la base de la altura del fuste o árbol, una vez que el péndulo esté estabilizado, se fija para su lectura correspondiente. Con el mismo procedimiento se realiza la segunda lectura, lanzando una visual hacia el ápice del árbol (Figura 17).

Figura 17. Principio geométrico de la medición de alturas.



Los hipsómetros Haga y Blume Leiss son instrumentos bastante utilizados en la práctica dasométrica. Algunos modelos llevan telémetros incorporados para identificar las distancias fijas preestablecidas de 15, 20, 25 y 30 metros.

El telémetro del hipsómetro Haga se ubica en un lado del instrumento. La banda (cinta) propia del instrumento se fija en el árbol y ofrece en el visor del telémetro una figura sobrepuesta, identificando así la distancia buscada, que fue previamente definida al fijar las dos placas correspondientes en la cinta. Con el telémetro del hipsómetro Blume Leiss, se sabe que el hipsómetro está a la distancia correcta del árbol porque se forma en el visor una imagen superpuesta de las dos bandas blancas fijadas en la cinta correspondiente.

El hipsómetro Blume-Leiss es muy similar en su construcción al hipsómetro Haga. Las escalas se presentan en ventanas de medición de alturas en los mismos valores que el hipsómetro Haga, cuidando de no confundir los valores resultantes (Figura 18).

Figura 18. Hipsómetros pistola de Haga, Blume-Leiss con telémetro, Suunto y Forestry Pro.



El **hipsómetro Suunto** es un instrumento óptico que consta de una pequeña carcasa metálica de aproximadamente 8 x 6,5 x 1,5 cm. A través de su ocular se puede leer en el interior las escalas, una graduada en grados situada a la derecha y la otra a la izquierda en porcentaje. Lamentablemente este instrumento de alta precisión está poco difundido en América Latina (Figura 19).

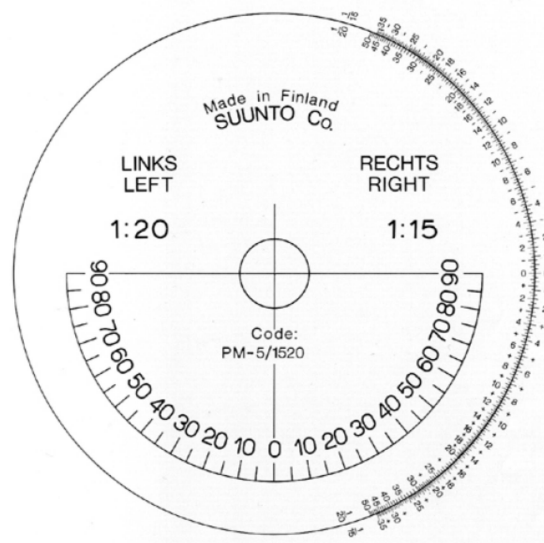
Ejemplo de determinación de la altura de un árbol con el hipsómetro Suunto:

$$Altura\ del\ árbol = \frac{Lectura\ 1 + Lectura\ 2}{100} distancia$$

$$H_{árbol} = \frac{lectura}{100} distancia$$

$$H_{árbol} = \left(\frac{48}{100}\right) 25 = 13,6\ m\ (valores\ hipotéticos).$$

Figura 19. Escalas del clinómetro Suunto-



El **hipsómetro Forestry Pro**, al igual que el relascopio, es un instrumento óptico con dos o más escalas útiles para el cálculo del volumen maderable de un árbol desde una distancia predeterminada. Está equipado con un sistema de medición por tres puntos. Esta función agregada permite al usuario capturar toda la altura del árbol, incluso cuando la base o la copa de éste queden tapadas por ramas o arbustos, que evitan la medición convencional. Es posible obtener fácilmente la medición de la distancia real, la distancia horizontal y la altura del árbol. Las mediciones obtenidas se muestran en una pantalla LCD interna como en la externa.

En la pantalla externa se muestra todas las medidas simultáneamente. El instrumento es monocular con 6 aumentos de gran calidad con recubrimiento de imágenes. El instrumento está diseñado para aumentar la claridad del campo de visión, considerando inclusive los que usan gafas de protección. El instrumento tiene un rango de medición de 10 a 500 metros (Figura 18).

El **hipsómetro Vertex** es un instrumento de última generación basado en ultrasonidos, que sirve para llevar a cabo mediciones de precisión en altura, además de ángulos y distancias en los bosques, pudiendo ser usado inclusive con una vegetación densa y en matorrales. Al contrario que las cintas de medición e instrumentos láser, la tecnología de ultrasonidos funciona también cuando el punto de referencia está oculto por ramas y hojas. El sensor de inclinación de alta calidad y la tecnología de medición mediante ultrasonidos ofrecen lecturas de altura de alta precisión en cualquier tipo de bosque y terreno. El instrumento tiene una carcasa de aluminio, un sistema electrónico sellado y una pantalla alfanumérica de fácil lectura. Mediante un transmisor de infrarrojos se realiza la transferencia directa de los resultados a los dispositivos periféricos. Permite la lectura de distancias de hasta 30 metros, diferentes alturas por objeto y radios de parcelas de muestreo. Ha sido probado y aprobado en todo tipo de bosque y en climas de todo el mundo (Figura 18).

En la Figura 17 y en el Cuadro 1, las lecturas a través del clinómetro Suunto fueron 1,6 metros para la base del árbol (primera lectura) y 25 metros (segunda lectura) para el ápice del mismo árbol. Para medir los árboles por parcela, si el terreno tuviese la misma inclinación, medir solamente las alturas del topo de los árboles siguientes, incluyéndose la medida 1. Las medidas fueron tomadas a 25 m de distancia.

Figura 20, Hipsómetro Vertex.



El relascopio de Bitterlich o de espejos es un instrumento introducido en las actividades forestales en 1948, ideado en Austria por el profesor Walter Bitterlich. Con él se pueden medir los diámetros normales (*DAP*) de los árboles y sus alturas. El principio de uso se basa en medidas de área variable, que será tratado detalladamente en un próximo capítulo dedicado al relascopio.

Figura 21. Relascopio de Bitterlich.



El **clinómetro de Abney**, cuando se hace la lectura con este nivel de grados angulares, debe funcionar como un teodolito. Sin embargo, fue mejorado adoptando un arco graduado en porcentaje, pues sus lecturas son equivalentes a las tangentes naturales. Deduciendo, las lecturas se realizan por los sumatorios o sustituciones de las dos lecturas. El instrumento está construido de un material ligero y resistente, con precisión suficiente para casi todos los casos.

Figura 22. Medición de la altura con el clinómetro de Abney.



3.3 RELACIONES HIPSOMÉTRICAS

Se denomina relación hipsométrica a la ecuación que vincula el diámetro a la altura del pecho (*DAP*, *D* en este capítulo) y la altura del árbol o fuste medido. Permite obtener un valor aproximado de la altura del árbol cuando se conoce su diámetro a la altura del pecho. Las ecuaciones de este tipo son útiles ya que permiten estimar una variable como la altura, más complicada de medir directamente, a partir de una variable de obtención más sencilla, como es el diámetro. Los técnicos forestales elaboran mediante técnicas estadísticas este tipo de ecuaciones, que son numerosas ya que son específicas para cada especie forestal, para cada tipo de fuste, para cada estado de evolución del rodal y para cada tipo de estación forestal. Son, por tanto, herramientas de gestión útil, aunque su ámbito de aplicación es muy concreto. Algunas de las posibles ecuaciones que se pueden ajustar a los datos estadísticos concretos de un lugar se presentan junto al nombre de su autor y el año de publicación (Loetsch, 1964; Finger, 1992; Figueiredo *et al.*, 2006; Corona y Berti, 2010). Algunas de ellas son las siguientes:

Ecuación de Herincksen (1950)

$$H = b_0 + b_1 \cdot \log D + \epsilon$$

Ecuación de Assmann (1952)

$$H = b_0 + \frac{b_1}{D^2} + \epsilon$$

Ecuación de Stofells (1953)

$$\log H = b_0 + b_1 \cdot \log D + \epsilon$$

Ecuación de Curtis (1967)

$$\log H = b_0 + \frac{b_1}{D} + \epsilon$$

Ecuación de Spurr (1952)

$$\ln H = b_0 + \frac{b_1}{D^2} + \epsilon$$

Ecuación de Assmann (1952)

$$H = b_0 + \frac{b_1}{D} + \epsilon$$

Ecuación de Schumacher-Hall (1933)

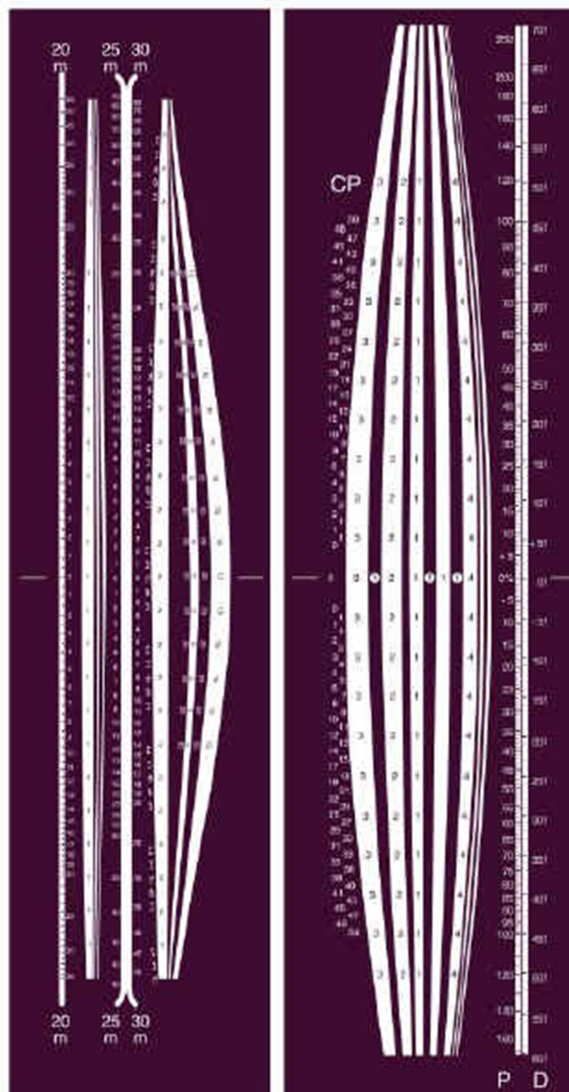
$$H = b_0 + b_1 \cdot D + b_2 \cdot D^2 + \epsilon$$

Al elaborar una relación hipsométrica para unos datos concretos de diámetro D y altura, se prueban varias de las ecuaciones anteriores y se escoge aquella ecuación que proporciona los valores estimados de altura que más se asemejan a los valores reales. Existen varios parámetros estadísticos que permiten cuantificar el grado de aproximación entre los valores reales y los valores predichos (estimados) por la ecuación. Un parámetro frecuente es el coeficiente de determinación (R^2), el sesgo (E) y la raíz del error medio cuadrático ($RMSE$).

4. RELASCOPIO

La figura 23 muestra el interior del **relascopio** de espejos o de Bitterlich (1984), denominado también como relascopio estándar, donde las escalas están graduadas meticulosamente, existiendo dos tipos de relascopios, el de escala métrica estándar (el de la izquierda) y el de bandas anchas (el de la derecha), denominado relascopio CP. Por la visión óptica se observa solo la mitad de las bandas. Antes de empezar a lanzar visuales con el aparato se debe apretar durante algunos segundos el botón para la liberación del péndulo.

Figura 23. Escalas del interior del relascopio.



Relascopio estándar Relascopio CP de banda ancha.

Los números que aparecen en dirección transversal son la denominada línea de puntería. Hacia arriba del cero son valores positivos y hacia abajo son negativos. Las mediciones deben ser efectuadas solamente con las bandas de numeración 1, 2, 3 y 4. Las bandas estrechas se refieren a

la cuarta parte de la banda 1, correspondiente a la que está en uso (Bitterlich, 1984; Prodan *et al.*, 1997). El valor numérico del diámetro a la altura del pecho (*DAP*) del árbol que se muestra en la figura 24 es igual a 26 cm, estando a 20 metros de distancia. Más abajo, en la figura 25, se observa la imagen a través del visor del relascopio CP, que se usa con bandas anchas.

Figura 24. Medición del diámetro a la altura del pecho (*DAP*) con el relascopio estándar.

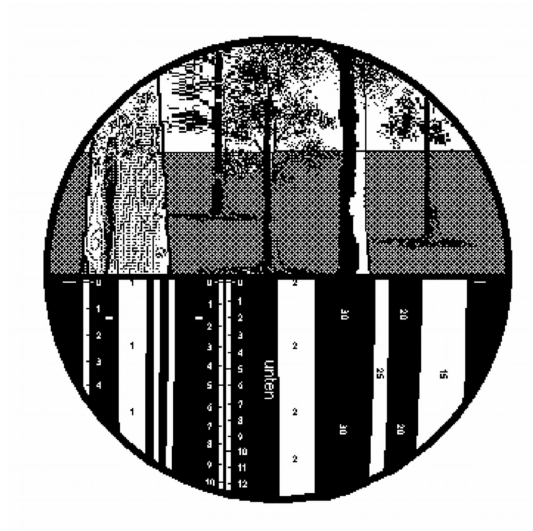
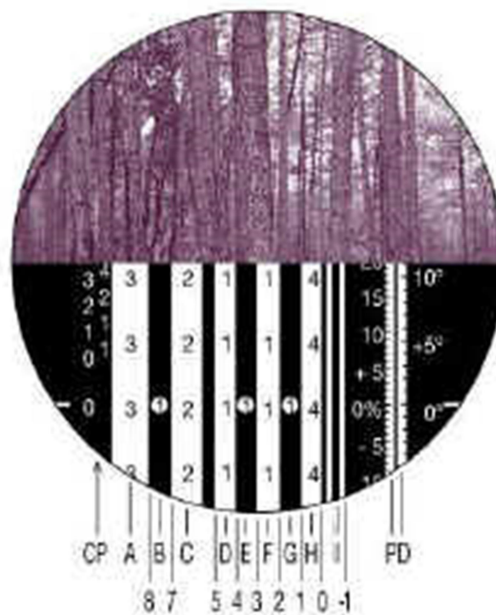


Figura 25. Medición con el relascopio CP de banda ancha.



El relascopio CP de banda ancha fue producido por el propio inventor Bitterlich en 1983, para ser usado exclusivamente en bosques tropicales, debido a su construcción. En efecto él se mostró muy útil.

La sección normal (g) de un árbol es la superficie que tendría un hipotético corte transversal del fuste a la altura a la que se mide el diámetro norma (DAP). Cuando se suman todas las secciones normales de los árboles presentes se obtiene el área basimétrica (AB o G), que se expresa en m^2 por hectárea de la superficie arbolada o referida a cualquier otra superficie.

Cuando la sección normal de un árbol tiene forma similar a una elipse, se hace necesario determinar el diámetro a la altura del pecho (DAP) mediante dos medidas transversales, como fue indicado en el capítulo anterior.

4.1 PRINCIPIO DE BITTERLICH

El principio de Bitterlich (1965) define básicamente la espesura de un bosque determinando su área basimétrica por hectárea a través de la lectura del número de árboles en la parcela de área variable o prueba de numeración angular, ideado por el propio profesor austriaco Walter Bitterlich. “El número de árboles (N) con diámetro a la altura del pecho (DAP) igual a (k) o superior a un ángulo constante (α), vistos desde un punto fijo en el bosque, es proporcional a su área basimétrica por hectárea”.

$$G = N \cdot k$$

Supóngase un árbol con DAP igual a 20 cm. Por la relación, $d = 2$ cm de la abertura de la barra de Bitterlich, $L = 1$ m (distancia o altura de la barra), $D = DAP$, $R =$ radio:

$$d/L = D/R$$

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

El árbol medido con $DAP = 20$ cm estará consecuentemente a 10 metros de distancia, denominada distancia crítica.

Si el área (superficie) de la parcela es igual a:

$$A_{(parcela)} = \pi \cdot R^2$$

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

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

La sección normal del árbol será:

$$g = \pi/4 \cdot DAP^2$$

$$g = \pi/4 \cdot 20^2$$

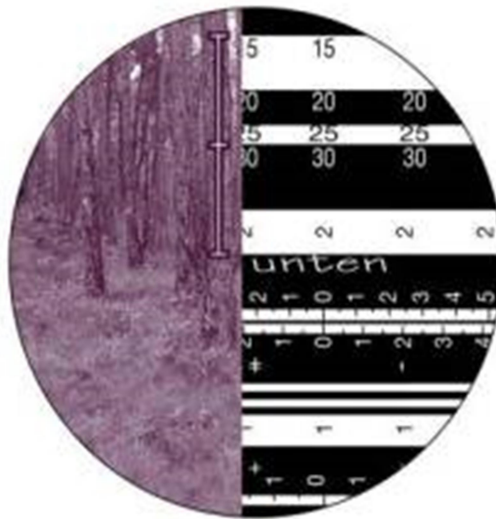
$$g = 314,16 \text{ cm}^2 = 0,031416 \text{ m}^2$$

Por simple regla de tres, se tendrá:

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

Conclusión: en una hectárea existirá solamente un árbol o 1 m²/ha.

Figura 26. Visión vertical con el relascopio estándar.



El árbol medido está a 15 metros de distancia del observador, dado que la mira que está apoyada sobre el árbol enrassa por la parte inferior con la línea "untan" y por la parte superior enrassa con la línea 15, que es la situada por encima de las demás escalas.

Figura 27. Replanteo de una parcela de área variable. dins: árbol que entra en el conteo; arbre limit: árbol que entra en el conteo como medio individuo; fora: árbol que queda fuera del conteo.

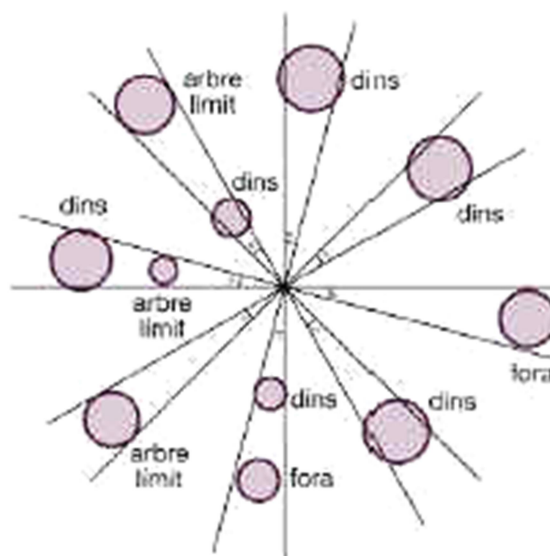
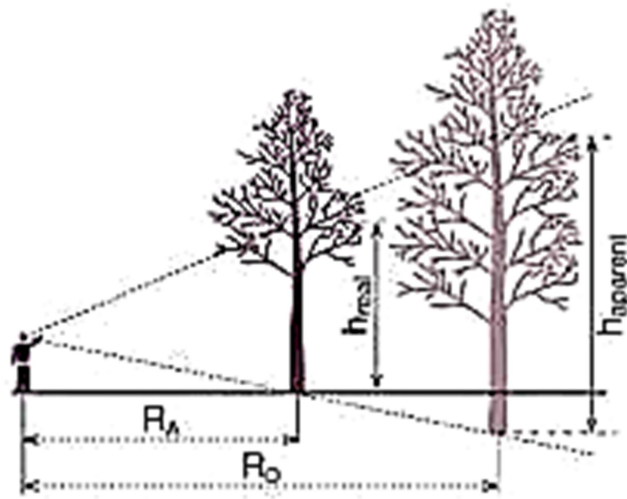


Figura 28. Principio de la medida de alturas.



En el caso que el observador se sitúe a cualquier distancia (R_A) diferente de la distancia real (R_0), en la escala utilizada (Figura 28), lo que se obtiene es una altura aparente del árbol ($h_{aparente}$). Siguiendo las ecuaciones de Bitterlich (1984) y Prodan *et al.* (1997), la altura real será:

$$h_{real} = \frac{R_A}{R_0} \cdot h_{aparente}$$

Si se está usando el relascopio CP, desde cualquier distancia se dirige una lectura al extremo superior del árbol y se lee el valor en la escala de pendientes ($P_{ápice}$). Se dirige otra lectura a la base del árbol (P_{base}). Conociendo la distancia al árbol (R_0), la altura del árbol (h) será:

$$h = \frac{R_0 \cdot (\pm P_{ápice}) - (\pm P_{base})}{100}$$

De la misma forma, con el modelo estándar se debe proceder evitando errores de lectura, considerando si la línea de puntería intercepta la escala por encima (+) o por debajo (-) del cero.

Es posible realizar la cubicación rigurosa de un árbol sin necesidad de abatirlo o usando una escalera. Para ello, se divide el tronco en varias secciones imaginarias y se calcula el volumen entre cada dos secciones imaginarias por la ecuación de Smalian:

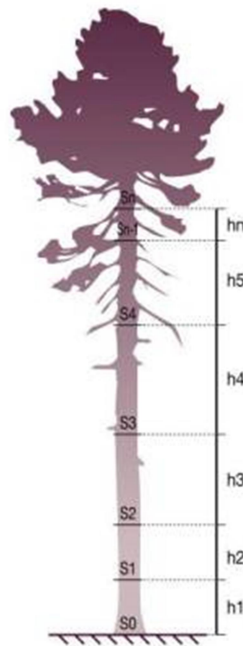
$$V = \frac{(s_1 + s_2)}{2} h_1$$

$$s_i = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4}$$

donde V es el volumen en metros cúbicos. Las secciones imaginarias del tronco, s_1 y s_2 , están en metros cuadrados. h_1 es la altura en metros entre las dos secciones, como se muestra en la Figura 29.

El tronco será dividido en secciones imaginarias para el cálculo del volumen total del árbol. Se aconseja hacer secciones de un metro de altura en los diez primeros metros. El volumen total del árbol será la suma de los volúmenes calculados (Bitterlich, 1984).

Figura 29. Seccionamiento imaginario del árbol. s_i = sección imaginaria del árbol;
 h_i = altura entre secciones consecutivas.



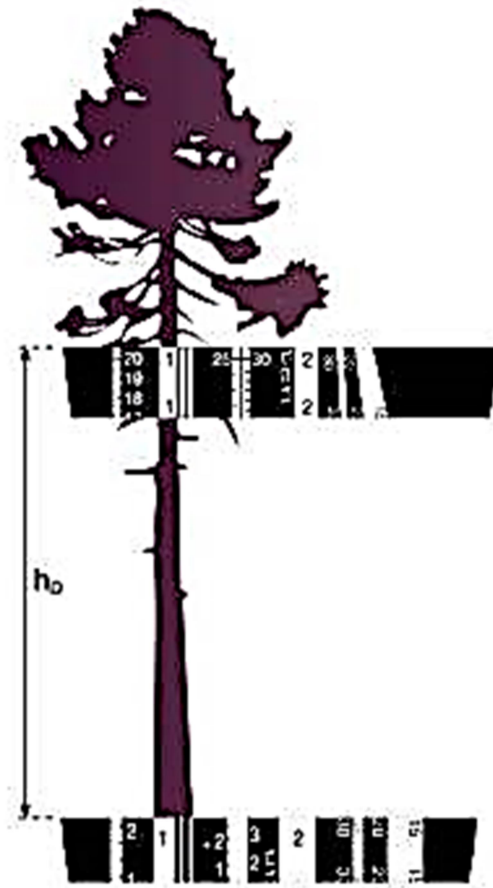
Por el método de Pressler-Bitterlich también es posible calcular el volumen total utilizando la ecuación siguiente:

$$V_{Pressler} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot h_D$$

donde $V_{Pressler}$ es el volumen total del árbol en m^3 , D_0 es el diámetro en la base del tronco en metros, y h_D (también en metros) es la altura directriz de Pressler (altura a la que el diámetro del fuste es la mitad del valor del diámetro en la base, como se muestra en la Figura 30 (Prodan *et al.*, 1997). Esta ecuación es muy aproximada para el fuste con forma neiloide y exacta para el fuste en forma de cono o paraboloides, que son las formas más habituales de los árboles tropicales. El observador debe acercarse o alejarse del árbol hasta localizar una distancia desde la cual el diámetro en la base esté cubierto por el número de bandas que corresponda exactamente a un cierto número de bandas de los 4 cuartos. Desde la misma posición y con el péndulo liberado

(pulsando el botón intermitentemente), se eleva el aparato siguiendo la altura del tronco hasta la altura a la que el diámetro sea la mitad de la medida anterior (Figura 30). Este punto corresponde a la altura directriz h_D . Por ese motivo se miden los dos puntos.

Figura 30. Determinación de la altura directriz (h_D).



Se recomienda aplicar la ecuación de Pressler para cubicar la parte del árbol que va desde la altura de 1,30 m (la altura del DAP) hasta la altura en la que el diámetro del fuste es la mitad del DAP , por medio de la ecuación de Smalian. Así la ecuación final será:

$$V_p = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \frac{2}{3} \cdot h_D + 1,30 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{D_0 + D}{2} \right)^2$$

Para estimar el número de árboles por hectárea, considerando el ejemplo de la página 36, se tendrá por el postulado de Bitterlich:

$$n = \frac{10.000}{\text{área de la parcela variable de radio igual a la distancia crítica}}$$

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

$$n = 32 \text{ árboles}$$

En conclusión, si en la parcela existe solo 1 árbol con $DAP = 20$ cm, se espera que en una hectárea crezcan 32 árboles con 20 cm de DAP .

El factor del área basal (BAF) del relascopio CP depende del ancho de la banda utilizada y del número equivalente a los cuatro cuartos (q). Su cálculo se realiza con la ecuación:

$$BAF = \left(\frac{q}{4}\right)^2 \qquad BAF = \frac{10.000}{1+4 \cdot \left(\frac{R_0}{D}\right)^2}$$

Consecuentemente la expresión final será:

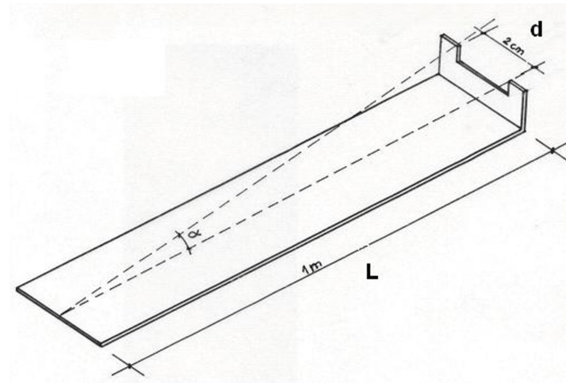
$$G = BAF \cdot n$$

4.2 BARRA DE BITTERLICH

Es el primer instrumento ideado por el profesor Bitterlich. Consiste en una varilla rectangular de 1 metro de largo (L). En uno de sus extremos lleva una placa metálica en forma de herradura cuya abertura es de 2 cm (d), conforme se muestra en la Figura 31. El factor k en este caso es igual a 1.

Asegurando la barra junto al ojo del observador y procediendo a un giro total de 360° , todos los troncos a la altura del DAP serán observados. Siguiendo el principio de que el diámetro observado es mayor a la abertura de los 2 cm en el conteo, ese individuo arbóreo ingresará en la Prueba de Numeración Angular. Si la abertura fuese mayor a la del árbol observado no ingresará para formar parte de la parcela y será despreciado. Cuando las tangentes del tronco a la altura del DAP coinciden con la abertura de la placa metálica, entonces el árbol es contabilizado como media unidad.

Figura 31. Barra de Bitterlich.



Por el postulado de Bitterlich: “si en un punto cualquier del bosque observamos todos los árboles a nuestro alrededor y contamos el número de ellos (N) cuyo DAP aparente fuese superior a la apertura de la placa metálica (*ángulo alfa*), ese número estará en relación directa con el área basimétrica por hectárea”, donde:

$$G = N \cdot k$$

$k = 1$ para el caso descrito anteriormente

G = área basimétrica en metros cuadrados por hectárea

N = número de individuos contabilizados.

4.3 PRISMA BASIMÉTRICO

Es un pequeño instrumento óptico que fue divulgados por Müller en Alemania en 1955, por Croner en Australia en 1954 y por Bruce en los Estados Unidos en 1955 (Müller, 1959). Este instrumento puede ser fabricado por empresas de lentes, es sencillo y barato. Presenta muy buena precisión cuando se emplea en terrenos con pendientes inferiores al 7 %.

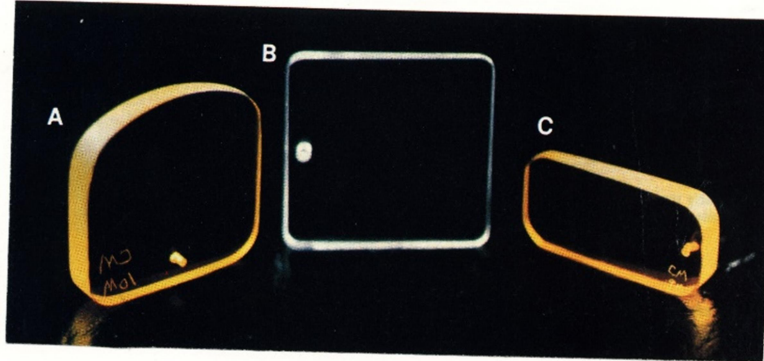
La graduación del prisma está dada en dioptrías (di) correspondiendo una dioptría a la desviación de una unidad en 100 unidades de distancia, de acuerdo con el siguiente principio: “el valor de la desviación de una imagen vista a través de un prisma es proporcional a su graduación en dioptrías”. De esta forma, un prisma de 2 dioptrías corresponde a la barra de Bitterlich y en esa relación un prisma de 4 dioptrías tendrá el factor $K = 4$. La construcción del prisma obedece a la ecuación:

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

$$K = \left(\frac{di}{2}\right)^2$$

El uso del prisma obedece a los mismos principios de la Prueba de Numeración Angular, de tal forma que la visual se debe efectuar a la altura del *DAP*.

Figura 32. Prismas basimétricos.



5. VOLUMEN TOTAL

Si se miden todos los individuos arbóreos en un inventario forestal, al método se lo conoce como inventario al 100 %, conteo pie a pie o censo del arbolado (Imaña-Encinas, 2011a). Se trata, en consecuencia, de un método directo de medición total. Se debe tener cuidado para que un árbol no sea medido más de una vez, para lo cual se puede adoptar una convención de marcación en cada árbol medido. Este método de enumeración total o conteo al 100 % (Cossio, 1970) es una operación casi siempre costosa que limita su uso a pequeñas áreas donde los árboles son de especies valiosas o cuando se realizan trabajos de medición experimental.

Figura 33. Formas de sólidos geométricos.



Llámanse sólidos de revolución a los engendrados por líneas de perfil, pertenecientes a la familia de las curvas $y^2 = p \cdot x^n$ (Richards *et al.*, 1996; Cailliez, 1980). Si $n = 0$ el tipo dendrométrico será el cilindro. Para $n = 1$ se tiene la función lineal del perfil que dará lugar al paraboloides. Para $n = 2$ se tiene el cono. Para $n = 3$ se tiene la función lineal del perfil que dará lugar al neiloides. Las ecuaciones que sirven para cubicar los cuerpos geométricos definidos por los tipos dendrométricos son los siguientes:

$$V_{real} = \frac{S_{base} \cdot H_{pieza}}{n + 1}$$

$$V_{cilindro} = S_{base} \cdot H_{cilindro}$$

$$V_{paraboloide} = \frac{S_{base} \cdot H_{paraboloide}}{1 + 1}$$

$$V_{cono} = \frac{S_{cono} \cdot H_{cono}}{2 + 1}$$

$$V_{neiloide} = \frac{S_{neiloide} \cdot H_{neiloide}}{3 + 1}$$

La expresión matemática para cubicar un fuste en función del diámetro (d_m) a la mitad de su longitud (l) es:

$$V_{HUBER} = S_m \cdot l = \frac{\pi}{4} \cdot d_m^2 \cdot l$$

La expresión matemática para cubicar un fuste en función de su longitud (l) y de sus diámetros en los extremos (d_1 y d_2) es:

$$V_{SMALIAN} = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot l = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 + \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2}{2} \cdot l = \frac{\pi}{8} \cdot l \cdot (d_1^2 + d_2^2)$$

De igual forma, existiendo varios fustes de igual longitud, se suman todos ellos, conforme la expresión siguiente:

$$V_{SMALIAN} = \sum V_i = \frac{\pi}{8} \cdot l \cdot [(d_1^2 + 2)(d_2^2 + 2) \dots \dots \dots (d_n^2 + 2)]$$

- V = volumen de la sección
- S_m = sección transversal a la mitad de la troza
- S_i = sección transversal del extremo de la pieza
- l = longitud de la pieza
- d = diámetro.

Consecuentemente los cálculos volumétricos de los árboles quedan reducidos a cuatro ecuaciones empíricas en función del *DAP*. Se tienen las cilíndricas, paraboloides, cónicas y neiloides (Bitterlich, 1984; Richards *et al.*, 1996; Romahn y Ramírez, 2010; Imaña-Encinas, 2011b), que integradas (Figura 33) correspondientes a los sólidos geométricos: cilindros, paraboloides, conos y neiloides (Figura 34). Son los sólidos de revolución que sirven como referencia para asimilarlos a las distintas formas que pueden tener los troncos de los árboles.

Figura 34. Integración de los sólidos geométricos.

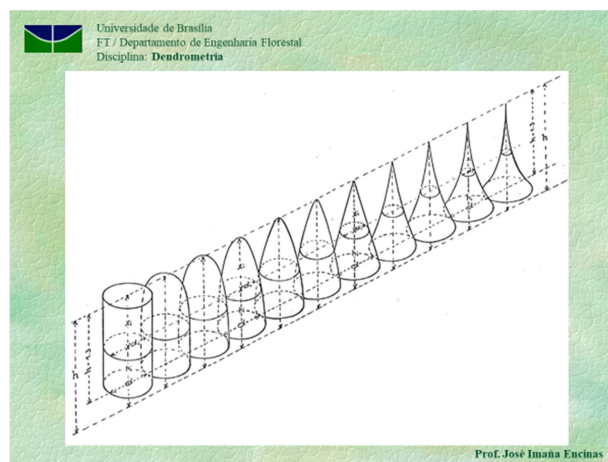
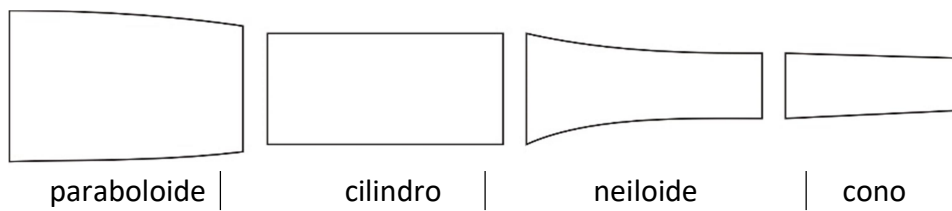


Figura 35. Tronco del árbol seccionado.



Para grandes áreas o superficies arboladas se adoptarán, por el contrario, métodos de evaluación indirecta del volumen de madera del bosque, permitiendo una reducción del tiempo, trabajo y costos de operación. En la literatura (Bitterlich, 1984; Richards *et al.*, 1996; McRoberts *et al.*, s/año) se indican la existencia de tres niveles de decisión durante la planificación del inventario: el marco de la inventariación, el diseño propiamente dicho y la planificación de las parcelas. En esos casos son adoptados los métodos de **muestreo**, según los cuales se mide una parte del rodal o del bosque. A esa etapa se la conoce como inventario por muestreo (Bitterlich, 1984; Richards *et al.*, 1996) o levantamiento del área a inventariar.

Para su ejecución son empleadas parcelas de muestreo de tamaño y formas variables, siendo las rectangulares, cuadradas y circulares las más usadas (Figura 33).

Para la selección del tamaño de la parcela se deben considerar dos aspectos relevantes: la representatividad del bosque que va a ser inventariado y el tiempo real empleado en las mediciones correspondientes. Para el bosque tropical latifoliado se recomienda usar una parcela de una hectárea si la superficie total fuese superior a 10.000 hectáreas. En caso contrario se usa 0,25 ha. Para las coníferas se recomienda un tamaño de 500 m² y para los bosques mixtos el tamaño de la parcela debe ser de 1.000 m² (un décimo de hectárea). La forma de la parcela podrá ser incluso triangular, poligonal o un cuadrilátero irregular, dependiendo de las características ambientales del sitio de ejecución del inventario.

A continuación, se exponen las ecuaciones para determinar el tamaño de la parcela:

- parcela cuadrada

$$\text{Lado de la parcela (m)} = \sqrt{\text{Superficie de la parcela (m}^2\text{)}}$$

- parcela circular

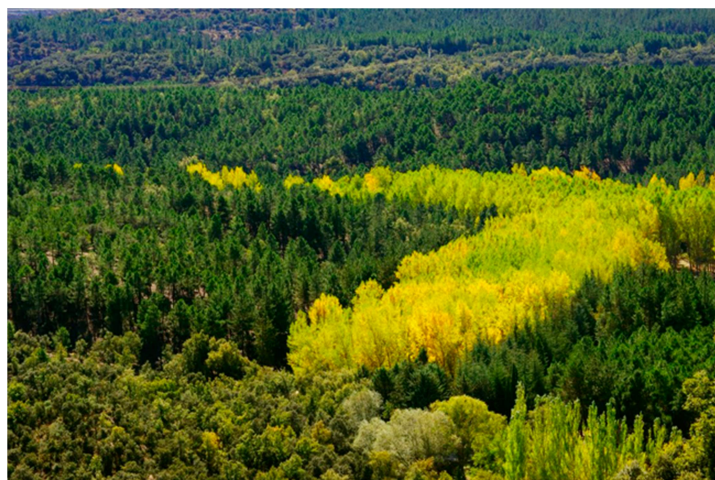
$$\text{Radio (m)} = \sqrt{\frac{\text{Superficie de la parcela (m}^2\text{)}}{\pi}}$$

- parcela rectangular

Superficie (m ²)	Dimensiones (m)
1.000	25 x 40
800	25 x 32
600	20 x 30
500	20 x 25
300	15 x 20

Antes del levantamiento del inventario forestal que permitirá determinar el volumen de madera del bosque por unidad de superficie, deben resolverse claramente dos cuestiones: si el muestreo se hará en función del número de árboles (N) o en función del área ocupada (S , en metros cuadrados de superficie a inventariar) y si el bosque presenta una razonable homogeneidad. Si hubiese variación poblacional en un determinado carácter en particular será preciso verificar si esa variación es aproximadamente del mismo orden en cualquier parte del área a inventariar. Será siempre preciso reconocer las dimensiones del área total para cualquier tipo de inventariación del bosque (Imaña-Encinas, 2011a).

Figura 36. Heterogeneidad del bosque.



Al evaluar la homogeneidad de las masas forestales, en grandes áreas boscosas se consideran constantes las características como composición específica, edad, productividad, crecimiento, coloración de los árboles o densidad. Si hubiera heterogeneidad, como en el caso de la figura 36, el bosque deberá ser dividido en partes menores, teniendo por base de la estratificación la composición, las clases de copa, la densidad y la productividad. Cada subdivisión o estrato será analizado separadamente. Las áreas descubiertas o con arbolado muy escaso serán omitidas del muestreo de recursos maderables. Existen métodos estadísticos convencionales para manejar la información de poblaciones subdivididas previamente al inventario.

La media aritmética (\bar{y}) del *volumen* de las parcelas se define como sigue:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

El error típico de la media ($s\bar{y}$) del volumen se obtiene por la expresión siguiente (unidades en metros cúbicos con corteza por hectárea), donde N es el número total de parcelas en el rodal correspondiente y n es el número de parcelas del inventario:

$$s\bar{y} = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \cdot \frac{N-n}{n-1}}{n(n-1)}}$$

El grado de variabilidad es interpretado a través de la desviación estándar (s) en la siguiente expresión:

$$s = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}}{n-1}}$$

El factor t_α (*t alfa*) con $n - 1$ grados de libertad a un nivel de 95 % de probabilidad estadística (*PE*) es igual a 2,000. Conocido el error típico de la media ($s\bar{y}$), el intervalo de confianza (*IC*) para el volumen de masa será:

$$\bar{y} \pm t_\alpha s\bar{y} \quad PE = 95 \%$$

Como el cálculo se ha efectuado en metros cúbicos por hectárea, se puede extrapolar para el total de la población (como ejemplo, $S = 250,88$ hectáreas):

$$(\bar{y} \pm t_\alpha s\bar{y}) \cdot 250,88 \quad PE = 95 \%$$

Se deduce el error de muestreo por la siguiente ecuación:

$$E(\%) = \frac{(s\bar{y})}{\bar{y}} \cdot 100$$

Para determinar el grado de heterogeneidad se hace uso del *coeficiente de variación* (*CV*) del *DAP* o del volumen de madera, que se calcula en porcentaje de acuerdo con la siguiente expresión:

$$CV = \frac{s}{\bar{y}} \cdot 100$$

El coeficiente de variación depende del tamaño de la parcela. Parcelas grandes producen altos valores del coeficiente de variación dentro de cada parcela. El número de parcelas (n), también conocido como *intensidad de muestreo*, se define como sigue:

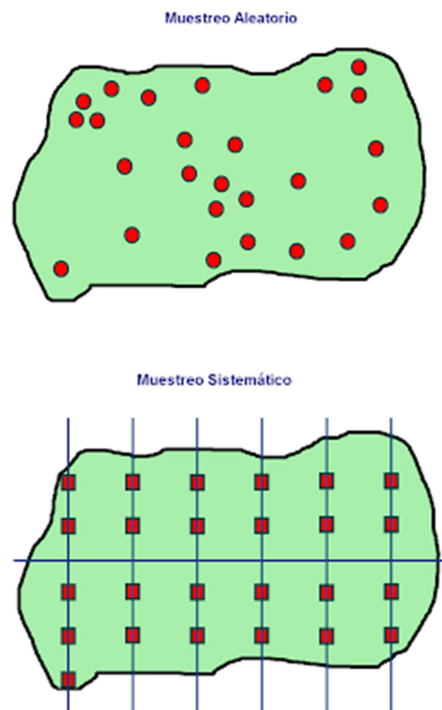
$$n = \frac{t^2 \cdot CV^2}{E^2}$$

Para encontrar el factor de conversión (FC) de los árboles vivos se debe aplicar la siguiente expresión:

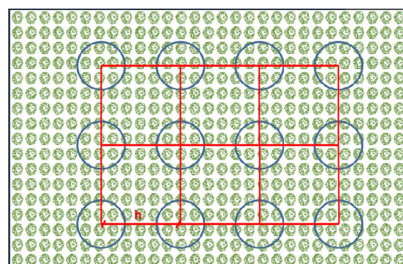
$$FC = \frac{\text{hectárea}}{\text{área parcela}} \text{ (metro cuadrado)}$$

Este método requiere del técnico forestal bastante conocimiento del bosque (Freese, 1962) en que irá a trabajar para que la selección de las parcelas sea representativa, en la suma total, del área boscosa. Si el bosque estuviese dividido en partes más o menos homogéneas, tómese el cuidado de no dividir en partes demasiado pequeñas. A ese procedimiento se conoce como **estratificación** del bosque (Figura 36). El área de muestreo de cada parcela será rigurosamente medida y el número de árboles contados que en ella están, ofrecerán medidas admitidas como verdaderas para el total del área boscosa.

Figura 37. Distribución de las parcelas de muestreo

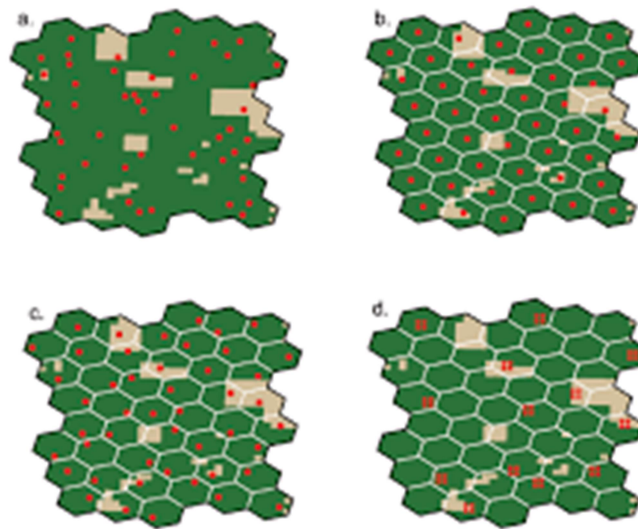


Muestreo con parcelas circulares



Las parcelas quedaran localizadas al azar, en grupos y distribuidas sistemáticamente con parcelas de tamaño fijo (figura 37) o parcelas anidadas (conglomeradas). En cada punto de la red se deben localizar las parcelas sean de tamaño fijo o de área variable como se muestra en la Figura 38. Las parcelas con distribución al azar se recomiendan para áreas con reforestación de pocas especies. Los bosques tropicales deberán ser necesariamente estratificados (divididos en áreas menores más o menos homogéneas). Las parcelas en los inventarios estratificados deberán seguir las normas predefinidas para los levantamientos sistemáticos.

Figura 38. Estratificación del bosque



Las parcelas del muestreo sistemático deben estar distribuidas uniformemente por el total de la superficie boscosa, siguiendo un criterio regular, preestablecido. Las parcelas serán escogidas por selección sistemática dentro de un criterio uniforme. Hay que adoptar una norma para localizar las primeras parcelas en un diseño de muestreo sistemático. Según esa norma o criterio se puede marcar la primera línea a partir de una referencia visual. Las ventajas del muestreo sistemático frente al aleatorio consisten en la facilidad de localización de las siguientes parcelas, los menores gastos de ejecución y la distribución regular de las parcelas.

Desde el punto de vista estadístico, el método prevé los medios para acotar superiormente los **errores de muestreo**. Estos son accidentales, que no dependen del operador o del instrumento, errores de estimación derivados de trabajar con una muestra y no con la población completa, así como errores derivados del proceso metodológico, defectos del instrumento o impericia del operador.

Los árboles en pie pueden ser medidos individualmente o en grupos. Si el tronco de un árbol tuviese una sección geométrica invariable en toda su longitud no sería difícil calcular el volumen del fuste con precisión. Sin embargo, en los bosques tropicales los fustes no presentan formas geométricas regulares, y esto acontece especialmente con la mayoría del grupo de las frondosas.

Se puede considerar que el fuste de un árbol puede asimilarse en su geometría a la composición de tres sólidos geométricos: un cilindro en la base del árbol seguido de un paraboloides cúbico en la mayor parte de la altura del fuste y un neiloide o cono en su parte superior. El paraboloides cúbico incluye la mayor parte del volumen de madera. El cono tiene dimensiones menores y solamente es aplicable en coníferas y frondosas jóvenes. La parte del fuste cuya forma es un neiloide puede no existir si el árbol tiene un fuste casi cilíndrico en tanto que en otros casos el neiloide puede ser muy pronunciado, como en los árboles con raíces tablares, costillares, gambas o aletas.

5.1 CUBICACIÓN RIGUROSA

El método se aplica especialmente en masas forestales que tienden a ser homogéneas. Todas las variables se miden directamente en cada árbol seleccionado. Para saber cuántos individuos arbóreos es preciso medir se hace uso de la ecuación de "n" (tamaño de la muestra) del apartado anterior. El fuste comúnmente es dividido en trozas de dos metros para reducir el peso de cada pieza y facilitar su transporte. Es más conveniente cubicar las trozas una por una, para después sumar el resultado, que es el volumen maderable total calculado para el árbol real, considerando que cada troza por separado es más similar a un cilindro u otra figura geométrica regular que el árbol como un todo.

Se puede obtener el volumen (V) de una troza utilizando las ecuaciones de Huber, Smalian o Newton:

Ecuación de Huber:

$$V = A_0 \cdot h$$

Ecuación de Smalian:

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

Ecuación de Newton:

$$V = \frac{(A_1 + 4A_0 + A_2)}{6} \cdot h$$

A_0 = área de la sección transversal a la mitad de la troza

A_1 y A_2 = áreas de las secciones transversales de los dos extremos de la troza

h = altura de la troza.

Las áreas indicadas se obtienen a partir del diámetro, que se puede medir directamente por medio de una forcípula forestal, o por una cinta diamétrica, tomando la medida en el centro y/o

en los extremos de la troza. Las mediciones del diámetro, o de la circunferencia, pueden ser realizadas con o sin corteza. Para hacer la medición de la circunferencia sin corteza o del diámetro a la mitad de la troza sin corteza, esta debe ser retirada de la troza.

El volumen cilíndrico indica el contenido sólido de la troza considerando que ésta tuviese dicha forma geométrica regular. La cubicación rigurosa de las plantaciones se realiza para evaluar el volumen de madera por hectárea, para lo que existen los métodos de Bitterlich y de Hirata (Bitterlich, 1984), que ofrecen resultados a través de mediciones de campo. Bitterlich utiliza el área basimétrica multiplicada por la altura del fuste o del árbol, dependiendo del objetivo de las mediciones. Hirata hace la prueba de numeración angular en la vertical, midiendo las alturas correspondientes.

5.2 MEDIDAS DE ALTURA SEGÚN PRESSLER Y HOSSFELD

En plantaciones más o menos homogéneas se recomienda hacer uso de las alturas de Pressler y Hossfeld, que dan muy buena precisión (Loetsch, 1973). El cálculo del volumen se debe realizar de acuerdo con las expresiones siguientes:

Pressler:

$$v = \frac{2ah'}{3}$$

Hossfeld:

$$v = \frac{3a''}{4} \cdot h$$

donde:

v = volumen en metros cúbicos

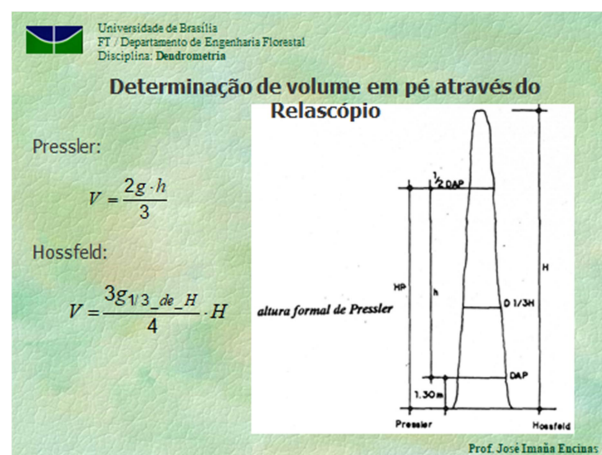
a = sección transversal de la base del fuste en metros cuadrados

h' = altura a la que el diámetro del fuste es la mitad del diámetro normal (altura de Pressler), expresada en metros

a'' = sección transversal del fuste a un tercio de la altura total

h = altura total, en metros.

Figura 39. Alturas de Pressler y Hossfeld.



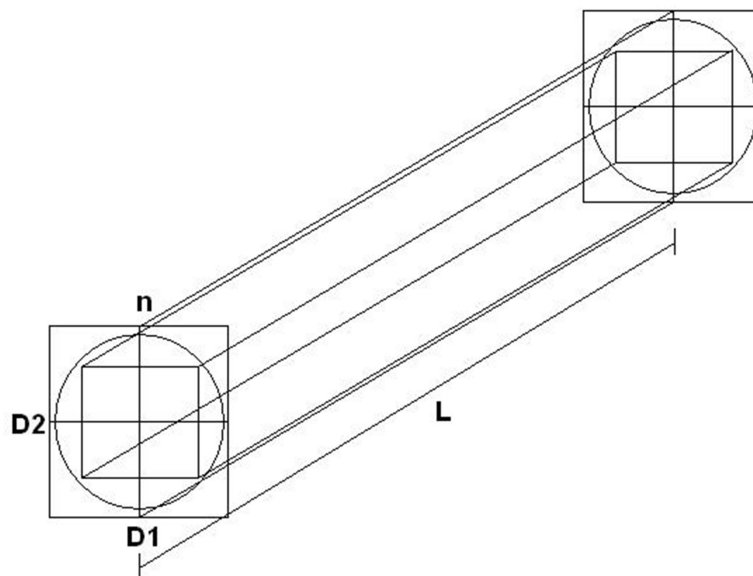
5.3 MEDIDAS FRANCON O HOPPUS

Este método es usado en Inglaterra y en la Aduana de París para estimar los volúmenes de trozas o fustes comercializables.

Para la aplicación del sistema Francon o Hoppus en el proceso de medición del fuste se debe observar lo siguiente: la medición de la altura del fuste en pie se realizará con aproximación de 30 centímetros. A la mitad de la altura del fuste se mide su circunferencia por medio de una cinta diamétrica o se mide la circunferencia de los extremos y se divide por 2. El valor resultante del cálculo de la circunferencia se divide por 4 (5, 6 y 10) para obtener la cuarta (quinta, sexta y décima) parte correspondiente de la medida. Se eleva al cuadrado el resultado de la operación matemática para obtener los centímetros cuadrados de Francon o Hoppus.

Cuando el sistema de cálculo del volumen Francon (V_F) da una aproximación de 0,7850 % del volumen cilíndrico, para la cantidad de la madera que se puede esperar, se trata del cuarto reducido. Si $V_F = 0,5026$ % del volumen cilíndrico se dice que es el 50 % al quinto reducido. Si V_F da un resultado de 0,5454 % se tiene el volumen al sexto reducido. Se tiene al décimo reducido cuando el resultado del cálculo es $V_F = 0,6366$ %.

Figura 40. Representación esquemática de las medidas.



Las tablas decimales de Francon o Hoppus están en el trabajo de Wilson (Speidel, 1984), que fueron publicadas por primera vez en 1941. Estas tablas actualmente ofrecen el volumen en metros cúbicos con dos decimales. Los resultados del volumen cilíndrico de una troza en el sistema inglés verifican su transformación al sistema métrico.

Como ejemplo, las medidas en un árbol de circunferencia igual a 73 pulgadas y una altura igual a 12 pies serían:

$$V_F = A_0 \cdot h \text{ (ecuación de Huber)}$$

$$V_F = c^2 \cdot 0,00055 \cdot h$$

$$V_F = (73)^2 \cdot 0,00055 \cdot 12$$

$$V_F = 35,17 \text{ pies cúbicos.}$$

Los factores de conversión para el volumen de cuerpos cilíndricos y para el volumen Hoppus son:

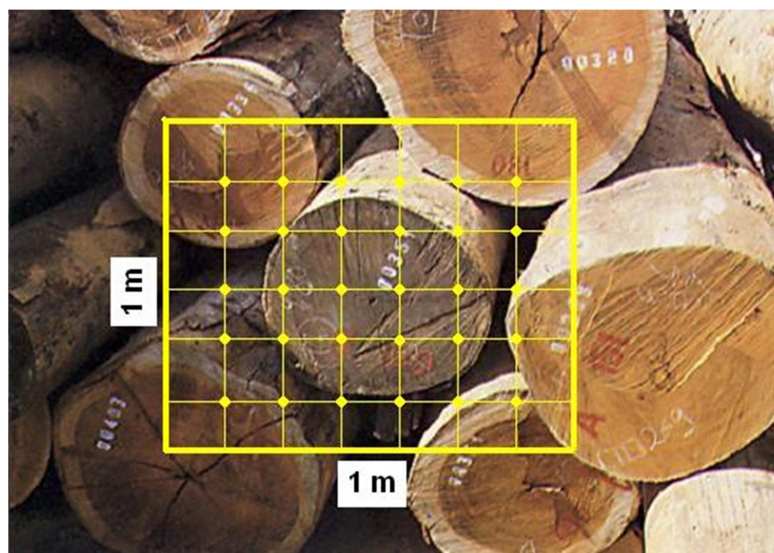
$$\text{volumen cilíndrico} \cdot 0,7854 = \text{volumen Hoppus}$$

$$\text{volumen Hoppus} \cdot 1,273 = \text{volumen cilíndrico.}$$

El volumen cilíndrico se usa en madera para sierra salvo que sea designado su uso para otros fines en el comercio de la madera. Las partes no medidas en un volumen, como estacas, puntales para minas y otras piezas similares, son expresadas en metros lineales. Las ramas de los árboles y los fustes de los árboles de pequeño porte en el bosque abatido se trocean en piezas cortas: en Sudamérica y Centroamérica en metros cúbicos y en los Estados Unidos de Norte América e Inglaterra el patrón es la cuerda, que mide 4 x 4 x 8 pies, equivalente a un volumen bruto de 3,6 metros cúbicos.

La rejilla es una estructura metálica en la que los puntos de cruce están en escala métrica y en función de esa escala se tiene la precisión correspondiente.

Figura 41. Rejilla de medida.

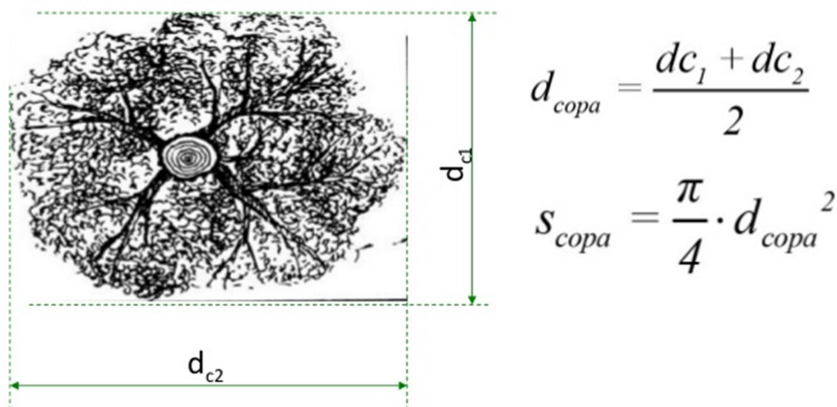


En la gestión de los bosques europeos son seis los criterios paneuropeos de certificación para la silvicultura sostenible: (1). mantenimiento y mejora adecuada de los recursos forestales y de su contribución a los ciclos del carbón mundial. (2). mantenimiento de la salud y la vitalidad de los ecosistemas forestales. (3). mantenimiento y fomento de las funciones productivas de los bosques (madereras y no madereras). (4). mantenimiento, conservación y mejora adecuada de la diversidad biológica de los ecosistemas forestales. (5). mantenimiento, conservación y mejora adecuada de las funciones protectoras de la gestión forestal (en particular el suelo y el agua). (6). mantenimiento de otras condiciones y funciones socioeconómicas.

5.4 MEDIDAS POCO UTILIZADAS

Volumen de las copas. Para el cálculo del volumen de las copas de una masa forestal se hace una división en los grupos siguientes: árboles con copas muy extensas, árboles con copas medianamente extensas y árboles poco ramificados (Avery, 1993). Se cuenta el número de árboles en cada grupo. A continuación, se abaten dos o tres pies en cada grupo, verificando el volumen real de las copas. Multiplicando el volumen medio obtenido por el número de árboles de cada grupo se halla el volumen total del grupo. Se procede de la misma manera para los otros grupos. Se suman los valores encontrados en cada grupo y se obtiene el volumen total de las copas de la masa arbolada. Es un método poco usado en grandes áreas. Queda restringido para una hectárea.

Figura 42. Medidas de la copa de un árbol.



Volumen en cuerdas. La cuerda es una unidad de medida del volumen de madera en el mercado de la leña y actualmente en los mercados de biomasa y carbón. La cuerda patrón es una pila de 4 pies de altura y 8 pies de largo por 4 pies de ancho (Avery, 1993). Esto hace un volumen total de 128 pies cúbicos incluidos los espacios vacíos entre las piezas. En ciertos lugares de los

Estados Unidos la industria de la leña usa una unidad diferente, de 160 pies cúbicos, como si fuese una unidad de estacas apiladas. Los espacios vacíos varían con el diámetro y tipo de las estacas. Cuanto más gruesas tanto mayores son los espacios.

Volumen de madera en chips (VR). Las trozas para pasta y papel son normalmente retiradas del fuste principal de las coníferas, eucaliptos u otras especies utilizadas para esta finalidad, con fustes que tengan diámetro normal menor de 30 centímetros, siempre que sean aproximadamente rectilíneos y de sección circular (Prodan, 1965). Es común hacer la medición de este producto en la fábrica, después del transporte correspondiente. Como hay una compactación de las trozas por la trepidación durante el transporte, el volumen se encuentra reducido al mínimo. Representa el número medio de piezas por pie cuadrado de la cara de la pila correspondiente. Si las medidas de volumen (VR) fuesen de una pila, justamente 3 medidas para un pie cuadrado de cara, se tendría:

$$VR = 0,84 - 0,04 \times 3 = 0,72$$

El volumen de madera sólida de la cuerda patrón de 128 pies cúbicos, para este material, sería: $0,72 \times 1,28 = 92$ pies cúbicos.

Bolt como medida de piezas aserradas es el método más usado en maderas depositadas en aserraderos (Prodan, 1965). El boltwood (*bw*) es una tabla de 1 pie de ancho, con 1 pie de longitud y una pulgada de grosor, conocido en América Latina como pie tablar. Su volumen es de 1/12 del pie cúbico. Las maderas se cortan por sus dimensiones, parte en pies y parte en pulgadas.

Figura 43. Pie tablar.



5.5 RELACIONES VOLUMÉTRICAS

Son los resultados de las combinaciones del parámetro volumen (V) con las variables de medida diámetro ($DAP = dap$), altura total (h_t) y factor de forma (ff). Las mismas ecuaciones de las pruebas de significación mostradas en el subcapítulo de Relaciones Hipsométricas también se

aplican a las relaciones volumétricas. Se sugiere seguir las recomendaciones expresadas por Spurr, (1952), Husch *et al.* (1972), Loetsch *et al.* (1972), Finger (1992), Avery (1993), Vanclay (1994); Romahn de la Vega y Ramírez-Maldonado (2010); Arantes de Barros (2002), Diéguez *et al.* (2003), Scolforo (2005):

Cubicación con el relascopio de Bitterlich

Ecuación de Bouvard con coeficiente mórfico $cf = 0,64$

$$V_x = \frac{\pi}{4} \cdot dap^2 \cdot h_x \cdot f_x = \frac{\pi}{4} \cdot dap^2 \cdot h_x \cdot 0,64 \approx \frac{dap^2 \cdot h_x}{2} + \epsilon$$

Ecuación de Benassi con coeficiente mórfico $cf = 0,42$

$$V_x = \frac{\pi}{4} \cdot dap^2 \cdot h_x \cdot f_x = \frac{\pi}{4} \cdot dap^2 \cdot h_x \cdot 0,42 \approx \frac{dap^2 \cdot h_x}{3} + \epsilon$$

Ecuación de Denzin con altura reducida = 12,74 m, equivalente a 127,4 dm

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot dap^2 \cdot h_r = \frac{\pi}{4} \cdot dap^2 \cdot 127,4 \approx 100 \cdot dap^2 + \epsilon$$

Ecuaciones de doble entrada

Ecuación alométrica o exponencial

$$V = b_0 \cdot dap^{b_2} \cdot h^{b_3} \cdot dap_x^{b_4} + \epsilon$$

Ecuación de Spurr potencial

$$V = b_0 \cdot (dap^2 \cdot h_t)^{b_1}$$

Ecuación de Spurr

$$V = b_0 + b_1 dap^2 \cdot h_t + \epsilon$$

Ecuación de Schumacher-Hall

$$V = b_0 \cdot d^{b_1} \cdot h_t^{b_2} + \epsilon$$

Ecuación de Honner

$$V = \frac{dap^2}{b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{h_t}} + \epsilon$$

Ecuación de Ogaya

$$V = dap^2 \cdot (b_0 + b_1 \cdot h_t) + \epsilon$$

Ecuación de Stoate

$$V = b_0 + b_1 \cdot dap^2 + b_2 \cdot dap^2 \cdot h_t + b_3 \cdot h_t + \epsilon$$

Ecuación de Näslund

$$V = b_0 + b_1 \cdot dap^2 + b_2 \cdot (dap^2 \cdot h_t) + b_3 \cdot (dap \cdot h_t^2) + b_4 \cdot h_t^2 + \epsilon$$

Ecuación comprensiva

$$V = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 \cdot dap \cdot h_t + b_3 \cdot dap^2 + b_4 \cdot h_t + b_5 \cdot dap^2 \cdot h_t + \epsilon$$

Ecuación de Meyer

$$V = b_0 + b_1 \cdot dap + b_2 \cdot dap^2 + b_3(dap \cdot h_t) + b_4 (dap \cdot h_t) + b_5 \cdot h_t + \epsilon$$

Ecuación de Meyer modificada

$$V = b_0 + b_1 \cdot dap + b_3 \cdot dap \cdot h_t + b_4 \cdot dap^2 + b_5 \cdot dap^2 \cdot h_t + \epsilon$$

Ecuación australiana

$$V = b_0 + b_1 \cdot dap^2 + b_3 \cdot h_t + b_4 \cdot dap^2 \cdot h_t + \epsilon$$

Ecuación logarítmica de Spurr

$$\ln V = b_0 + b_1 \cdot \ln (dap^2 \cdot h_t) + \epsilon$$

Variable combinada de primer grado

$$V = b_0 + dap^2 \cdot h_t + \epsilon$$

Ecuación de Newnham

$$V = b_0 + b_1 \cdot dap^{b2} \cdot h_t^{b3} + \epsilon$$

Ecuación alométrica de variable combinada

$$V = b_0 \cdot dap^{b1} \cdot h_t^{b2} \cdot (dap \cdot h_t)^{b3} + \epsilon$$

Ecuaciones logarítmicas no formales

Ecuación de Schumacher

$$V = b_0 \cdot dap^{b_1} \cdot ht^{b_2} + \epsilon$$

$$\log V = \log b_0 + b_1 \log dap + b_2 \log ht + \epsilon$$

Ecuación de Dwight

$$\log V = \log b_0 + b_1 \cdot \log dap + (3 - b_2) \cdot \log ht + \epsilon$$

Ecuación de la variable combinada logarítmica

$$\log V = \log b_0 + b_1 \cdot \log (dap^2 \cdot ht) + \epsilon$$

Ecuaciones logarítmicas formales

Ecuación de la variable combinada logarítmica formal

$$\log V = \log b_0 + b_1 \cdot \log (K \cdot dap^2 \cdot ht) + \epsilon$$

Ecuaciones recíprocas

Ecuaciones de Takata (de doble entrada)

$$V = \frac{dap^2 \cdot ht}{(b_0 + b_1 \cdot dap)}$$

$$V = \frac{dap^2}{(b_0 + \frac{b_1}{ht})}$$

$$V = \frac{dap^2}{(b_0 + \frac{b_1}{ht} + \frac{b_3}{ht^2})}$$

$$V = \frac{dap^2}{(b_0 + b_1 ht + b_3 \cdot ht^2)}$$

Los coeficientes de las ecuaciones correspondientes se obtienen resolviendo por regresión los sistemas de ecuaciones por el método de los cuadrados mínimos. El estadístico de bondad del ajuste que sirve para seleccionar la ecuación que mejor describe la relación entre las variables es el coeficiente de determinación (R^2 , en porcentaje). Cuanto más próximo a 100 mejor será el ajuste y la ecuación que ofrezca el mayor R^2 será la escogida (Freese, 1962; Vanclay, 1994).

Si la ecuación fuese:

$$V = a_0 + b_1 X + \text{error}$$

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

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

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

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

El error típico residual (S_{xy}) es una medida de la dispersión entre los valores reales obtenidos por la cubicación rigurosa y los estimados por la regresión, de acuerdo con la ecuación que sigue:

$$s_{xy} = \sqrt{\frac{SCC_y - \frac{(SPC_{xy})^2}{SCC_x}}{n-1}}$$

donde: SCC = suma de los cuadrados corregidos
 SPC = suma de los productos corregidos.

El error típico residual puede ser calculado en porcentaje con relación al volumen medio (V) junto a su desviación típica:

$$s_{xy} (\%) = (s \cdot V) \cdot 100$$

siendo ese error inferior a 12 %.

También es posible usar la ecuación del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}), utilizando la expresión que sigue:

$$R^2_{aj} = 1 - \left[\left(\frac{SC_{res}}{SC_{total}} \right) \cdot \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \right]$$

donde: SC_{res} = suma de los cuadrados del residuo
 SC_{total} = suma de los cuadrados del total
 n = número de observaciones
 p = número de coeficientes del modelo matemático.

El error típico de la estimación (S_{yx}) y su correspondiente valor porcentual ($S_{yx} \%$) fueron obtenidos a través de las ecuaciones:

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{(Y_i - Y_e)^2}{n - p}} \quad S_{yx} \% = \frac{S_{yx}}{Y_m^3} \cdot 100$$

donde: S_{yx} = error típico de la estimación
 $S_{yx} \%$ = error típico de la estimación en porcentaje
 Y_i = volumen observado
 Y_e = volumen estimado
 Y_m^3 = volumen medio observado
 n = número de observaciones
 p = número de coeficientes del modelo matemático.

En los modelos donde la variable dependiente sufrió transformación se debe recalculer el coeficiente de determinación y el error típico de la estimación. El índice de (re)ajuste de Schlaegel (IA) fue calculado por la expresión (Arantes de Barros *et al.*, 2002):

$$IA = 1 - \left(\frac{n - 1}{n - p - 1} \right) \frac{SC \text{ res}}{SC \text{ total}}$$

donde: IA = Índice de (re)ajuste de Schlaegel
 $SC \text{ res}$ = suma de los cuadrados de los residuos
 $SC \text{ total}$ = suma de los cuadrados del total.

En las ecuaciones matemáticas con escala logarítmica debe calcularse el antilogaritmo del logaritmo de la variable de interés, con la finalidad de obtener los valores en su forma no transformada. Una vez que el procedimiento produce el error conocido como discrepancia logarítmica, que generalmente subestima la variable estimada, para su minimización debe calcularse el factor de corrección de Meyer (Fm) considerando la base 10 como base natural por medio de la ecuación:

$$Fm = e^{0,5 \cdot QM \text{ res}}$$

donde: e = base del logaritmo natural igual a 2,718281828...
 $Q.M. \text{ res}$ = cuadrado medio de los residuos.

Modelos de afilamiento del tronco del árbol (funciones de perfil del fuste)

Schoepfer (1966) presenta el polinomio de quinto grado, que es el más difundido en el sector forestal:

$$\frac{d_i}{dap} = b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{H_t}\right) + b_2 \left(\frac{h_i}{H_t}\right)^2 + b_3 \left(\frac{h_i}{H_t}\right)^3 + b_4 \left(\frac{h_i}{H_t}\right)^4 + b_5 \left(\frac{h_i}{H_t}\right)^5 + \epsilon$$

Hradetsky (1976) presenta el polinomio de potencias fraccionadas y enteras.

Scolforo (2005) indica que Hradetsky empleó potencias enteras de la orden de decenas, queriendo representar la parte superior del árbol junto con potencias fraccionadas para representar la porción inferior del tronco.

$$d_i = dap \left[b_0 + b_1 \left(\frac{h_i}{H_t}\right)^{b1} + b_2 \left(\frac{h_i}{H_t}\right)^{b2} + \dots + b_n \left(\frac{h_i}{H_t}\right)^{bn} \right] + \epsilon$$

Goulding y Murray (1976):

El modelo presenta compatibilidad entre la función de afilamiento y la ecuación de volumen:

$$d_i^2 = \frac{\hat{v}}{KH} \left[b_1 \left(\frac{L}{H_t}\right) + b_2 \left(\frac{L}{H_t}\right)^2 + \dots + b_n \left(\frac{L}{H_t}\right)^n + \epsilon \right]$$

Scolforo (1998):

La precisión, diferencia entre el valor real y el valor estimado (diámetro y volumen), se determina a través de los modelos de afilamiento por el coeficiente de determinación (R^2) y el error típico residual de la estimación (S_{xy}). La leyenda de uso de estos fue:

- b_i = parámetro de la estimación
- d = diámetro comercial en centímetros a cualquier altura
- h = altura específica o comercial en metros
- H = altura total en metros
- ϵ = error de la estimación.

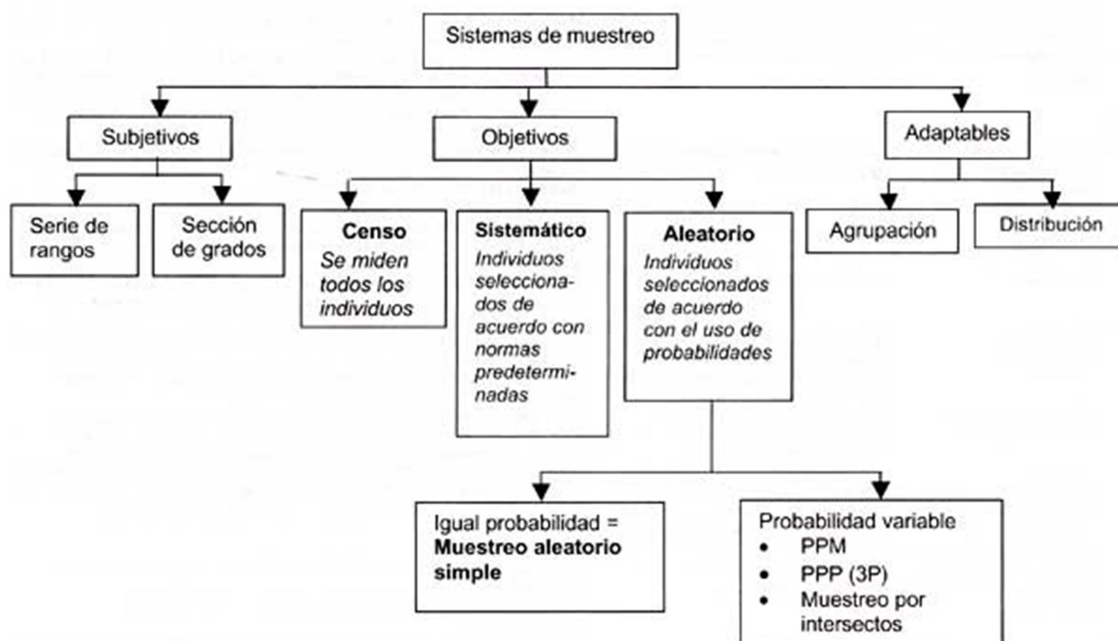
6. PARCELAS DE MUESTREO

En los próximos métodos se va a trabajar con el **inventario forestal**, que trata de obtener resultados, normalmente referidos a la hectárea, como metros cuadrados (G) cuando se quiere saber la superficie de ocupación o metros cúbicos cuando se habla del volumen (V), número de árboles por hectárea (N) cuando se desea conocer la densidad ocupacional. A estos resultados se les denomina parámetros por unidad de área o variables de masa (Lanly, 1974). Normalmente el inventario forestal trabaja con lo que se conoce por parcelas de muestreo (Kleinn, 2020). Ya la definición de muestreo indica el fundamento de cálculo que se utiliza. Los modelos de inventarios requieren de buen conocimiento de la estadística descriptiva.

6.1 MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN MUESTRAL

Antes de iniciar el tema de las muestras forestales se debe conocer su clasificación, que es la que se muestra en la Figura 44.

Figura 44. Clasificación de los inventarios forestales.



El principio fundamental del método de las parcelas al azar, también conocido como método de muestreo aleatorio simple o método de las parcelas aleatorias, consiste en que cada unidad debe tener la misma probabilidad de ser escogida como muestra. Esto se consigue dividiendo la superficie del bosque en una serie imaginaria de unidades de igual tamaño (Figura 44). Este

método es el recomendado para poblaciones procedentes de reforestación y, en general, para poblaciones arbóreas homogéneas.

Se coloca en un recipiente tantas fichas numeradas como unidades se han constituido en la población forestal. Se retira del recipiente una ficha de cada vez, enteramente al azar. Si se la devuelve al recipiente después de registrar su número, se está tratando del método con sustitución (muestreo aleatorio con reemplazamiento), caso contrario el método sería sin sustitución (muestreo aleatorio sin reemplazamiento). De igual modo se debe repetir el proceso hasta obtener el número de parcelas que permita alcanzar la intensidad deseada de muestreo.

Si en un bosque se forman 120 unidades y la intensidad de muestreo requerida fuese del orden del 5 % será necesario sortear seis parcelas. Un segundo posible procedimiento de uso consiste en tener dos relaciones de fichas, una para cada línea y otra para cada columna. El sorteo sería realizado de modo que el par de números daría la localización de la parcela, en el caso de que éstas se encontrasen ordenadas por filas y por columnas. Por otro lado, se puede recurrir al uso de una tabla de números aleatorios que se encuentran en los manuales de estadística, en cualquier biblioteca, o a una lista de números aleatorios generados por ordenador. Así el primer ingreso debe ser aleatorio y por ese método se eliminará el riesgo de la influencia personal permitiéndose el análisis estadístico de los datos obtenidos por el cual podrán ser calculados: la desviación típica de la media, el error típico, el coeficiente de variación (ya tratado), etc., con las ecuaciones que siguen:

Desviación típica de la media poblacional y de la media de la muestra:

varianza y desviación estándar para datos agrupados

población:

ecuación de la varianza poblacional

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^k f \cdot (x_i - \mu)^2}{N}$$

ecuación de la desviación típica

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

ecuación de la media de la población

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \cdot f_i}{N}$$

ecuación del número de elementos de la población

$$N = \sum_{i=1}^k f_i$$

muestra:

ecuación de la varianza de la muestra

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k f_i \cdot (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

ecuación de la desviación típica de la muestra

$$s^2 = \sqrt{s}$$

media muestral

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i \cdot f_i}{n}$$

ecuación del número de elementos de la muestra

$$n = \sum_{i=1}^k f_i$$

donde: k = número de parcelas

Respecto del error típico, supónganse la medición de 200 árboles, de los cuales 9 estarían defectuosos. Se deben usar las ecuaciones que siguen:

$$\epsilon = Z \cdot \sqrt{\frac{P \cdot Q}{N}}$$

$$\epsilon = P \cdot \sqrt{\frac{n}{N}} = 1,96 \cdot \sqrt{\frac{9}{200}} = 0,045$$

$$\epsilon = 1,96 \sqrt{\frac{(0,045) \cdot (0,955)}{200}} = 0,0287$$

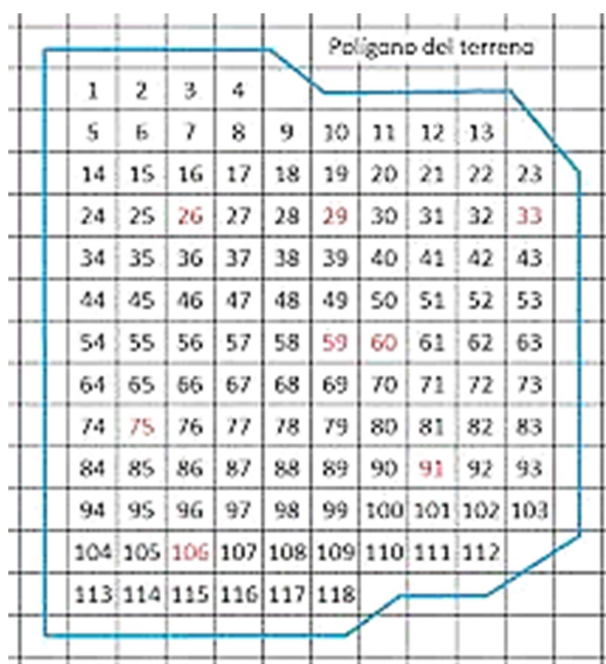
que expresado en valor porcentual corresponde a 2,87 %

donde: ϵ = error
 $z = 1,96$ para 95 % de probabilidad
 $P = n/N$
 Q = probabilidad de la estimación

Ya fue indicado que en los bosques tropicales se debe usar el método estratificado. En los inventarios forestales nacionales (IFN) normalmente se utilizan los llamados conglomerados, que pueden ser de tamaños y formas diferentes en cada uno de ellos. Su distribución espacial también es variada (Kleinn *et al.*, 2020), solo que se localizan las parcelas siguiendo un esquema previamente definido. Si el bosque tiene tres o más estratos diferentes, en cada uno de ellos se deben mantener el procedimiento previamente establecido, en su formato definido y en su distribución espacial. Sirve para cualquier modelo de inventario, ya sea para estimar la biomasa o para la producción de madera en rollo.

En el método de parcelas con distribución sistemática la aleatorización vale solamente para la primera parcela. A partir de esa parcela, a cada 10 u otro número preestablecido, se localizan las demás parcelas requeridas. Este proceso se repite para cada estrato, que debe acompañarse de un mapa donde se localizan las parcelas de muestreo.

Figura 45. Esquema de las parcelas aleatorias o al azar.



Este método presenta ciertas ventajas para el levantamiento de extensas áreas donde resulta difícil la localización de las parcelas y es considerable el tiempo necesario para trasladarse de una parcela a la siguiente, aunque esto depende de los recursos financieros disponibles.

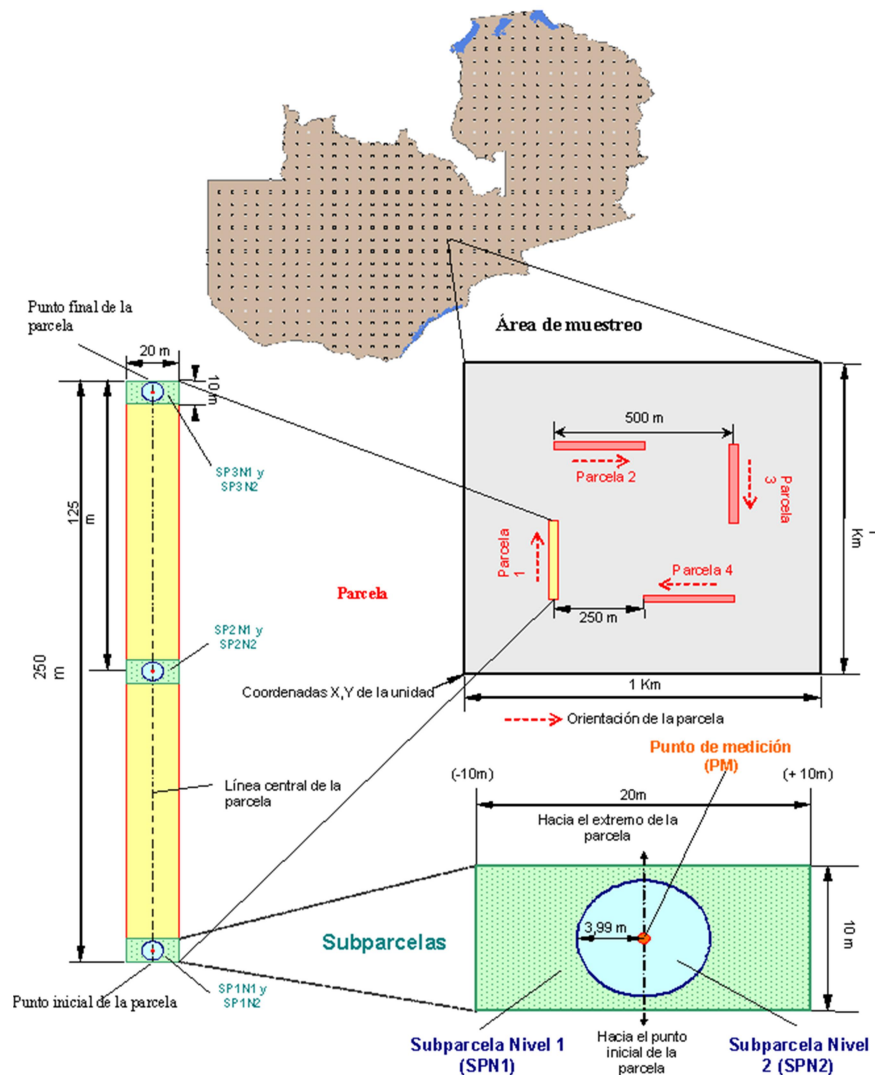
Con una baja intensidad de muestreo, las parcelas distribuidas al azar pueden dejar parte del bosque sin representar o las parcelas pueden quedar muy próximas entre sí. Una intensidad generalmente usada es menor o igual al 1 % de la superficie del bosque o área de interés.

6.2 MÉTODO DE LA EVALUACIÓN POR FAJAS

Para un muestreo del 2 % de 10 hectáreas se tendría una parcela de 0,2 ha. En este caso el tamaño conveniente deberá ser de 200 x 200 m o 100 x 400 m adoptándose un sistema de líneas ortogonales. Si se usase fajas continuas de 20 m y la intensidad de muestreo fuese del 5 %, la distancia entre fajas deberá ser de 400 m. Establecido un punto de partida todas las demás fajas deberán ser demarcadas de acuerdo con el criterio adoptado inicialmente.

La parcela rectangular podrá ser estrecha, como está mostrado en la Figura 46. Sin embargo, tendrá que ser bastante larga constituyendo la base del sistema de fajas. Las fajas pueden ser continuas o discontinuas y generalmente miden de 10 a 1.000 m, valor que corresponde a una hectárea (Imaña-Encinas, 1991).

Figura 46. Parcela conglomerada del Inventario Forestal Nacional de Guatemala.



Las parcelas pueden distribuirse sobre fajas concéntricas o lineales. El área se dividirá en líneas paralelas distanciadas entre sí, a un cierto número de metros. La estructura adoptada para la demarcación dependerá esencialmente de las dimensiones de las parcelas y de la intensidad del muestreo. Las fajas deben tener un ancho de 10, 20 o 40 metros. Estas fajas son replanteadas con el auxilio de una cadena de agrimensor que se arrastra en la dirección establecida. La cadena puede pasar por el centro de la faja, quedando dos líneas imaginarias paralelas a ella. El margen de la faja puede ser indicado por picadas o replanteadas con estacas fijas considerando el ancho de la faja.

Si el bosque es uniforme no habrá problemas en la división de las fajas. Si hubiese un gradiente bien definido, sea un arroyo o sea por fertilidad del suelo u otra causa, las fajas deben correr paralelas o perpendiculares a ese gradiente. La dirección inicial debe obtenerse con una brújula.

Otro método derivado de este se identifica por el levantamiento que está limitado a las parcelas regularmente espaciadas (Morais y Scheuber, 1996). Pueden ser colocadas de cada lado de la cadena o doblándose en ángulo recto. No obstante, la libertad de colocación, se debe mantener el método en todo el levantamiento conforme al criterio adoptado inicialmente.

6.3 MÉTODO DE MUESTREO SISTEMÁTICO ESTRATIFICADO

Este método debe ser usado para las áreas heterogéneas. Por este método se usa la media ponderada en el cálculo, asignándose pesos a las diversas medidas efectuadas sobre la misma superficie. El método permite localizar lecturas erróneas y requiere de lecturas de cada área (estrato) a medir. Se calcula por la ecuación siguiente, que es un ejemplo de muestreo compuesto de cuatro estratos:

$$A_T = \frac{(N_1 \cdot A_1) + (N_2 \cdot A_2) + (N_3 \cdot A_3) + (N_4 \cdot A_4)}{N}$$

A_T = área total a ser interpretada

Los estratos componentes del muestreo fueron: A_1 = Bosque I, A_2 = Bosque II, A_3 = Bosque III, A_4 = Reforestación con *Eucalyptus* spp. La unidad de muestreo fue definida como una faja rectangular de 10 m de ancho por 500 m de largo, haciendo un área de 0,5 ha. El esquema del muestreo se indica en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Esquema del muestreo sistemático estratificado.

Estratos	Nº muestras	Área de muestreo (ha)
Bosque I	28	340
Bosque II	38	270
Bosque III	29	480
<i>Eucaliptos</i>	15	510
Total	110	1.420

Todos los árboles superiores a 20 cm de *DAP* fueron seleccionados. Los instrumentos usados fueron la cinta diamétrica y el hipsómetro Haga. Se hizo una clasificación en clases de calidad de los árboles:

- Clase A: árboles que presentan fustes rectos, sin defectos, permitiendo obtener trozas de alta calidad
- Clase B: árboles que presentan fustes rectos, con leves tortuosidades, pero con madera sana
- Clase C: árboles que presentan fustes con deformaciones visibles, en general con poco aprovechamiento
- Clase D: árboles que presentan fustes con evidencia de no ser aprovechables.

En cualquier área que cumple los requisitos mínimos de clima y fertilidad el árbol puede ser utilizado para producción de madera. Este concepto es dinámico y puede cambiar con las circunstancias económicas, políticas y técnicas.

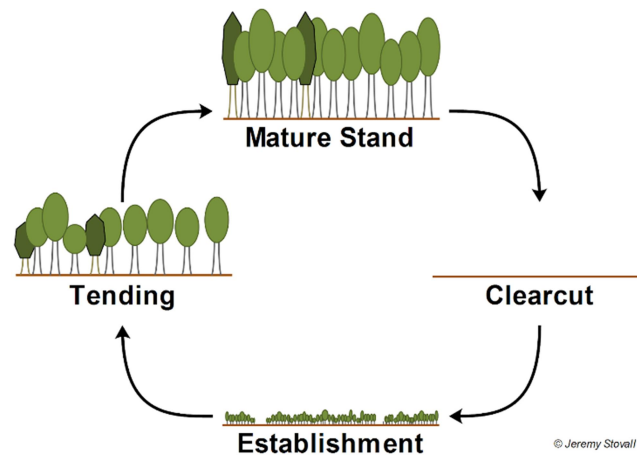
La escala para juzgar las áreas forestales usada por FAO (1971) plantea siete clases de sitio considerando el incremento volumétrico medio anual:

- 1 – mayor que 15,7; 2 – media de 11,6; 3 – media de 8,9; 4 – media de 5,9; 5 – media de 3,9;
6 – media de 1,9; 7 – menor que 1,4.

7. SISTEMAS SILVÍCOLAS

Un sistema silvícola comprende todas las prácticas culturales que son aplicadas a un bosque durante toda su vida. Los objetivos de las operaciones silvícolas son los siguientes: tratamiento adecuado a los árboles, atención debida al suelo y creación de condiciones óptimas para la regeneración natural.

Figura 47. Corta rasa con regeneración natural.



En los climas templados se usan numerosos sistemas para atender a objetivos concretos y algunos de ellos se aplicaron en los bosques de los trópicos, naturalmente con alteraciones de acuerdo con las condiciones apuntadas anteriormente.

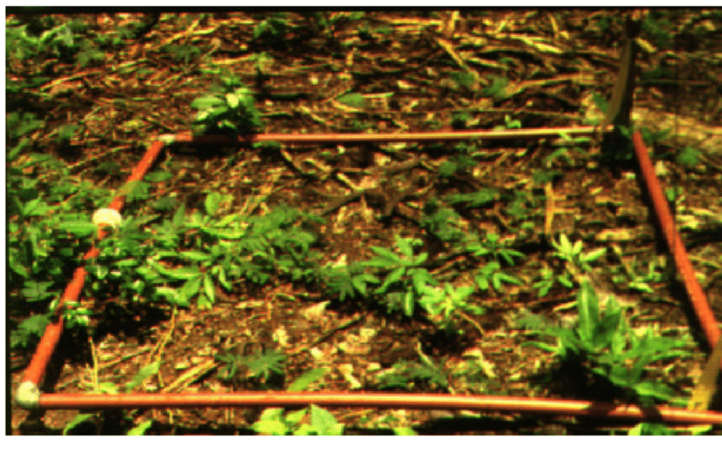
7.1 SISTEMAS DE REGENERACIÓN

Tratándose de la regeneración de un bosque, debemos considerar dos aspectos: la regeneración natural y la artificial, las mismas que con el auxilio del hombre apuntan a un mejor rendimiento por unidad de superficie. La regeneración natural posee sobre la artificial las siguientes ventajas: acompaña fielmente a la naturaleza usando solamente las especies adaptadas a las mismas condiciones ecológicas, es más barata y protege los suelos, que de otro modo estarían expuestos a la erosión (Lamprecht, 1990; Richards *et al.*, 1996). La regeneración artificial, no obstante, posee sus ventajas: es más rápida en la reproducción, se pueden escoger las especies más convenientes a los objetivos del plan de manejo específico, es más completa que la natural, el espaciamiento es uniforme y adecuado a cada especie, no depende de la producción anual de semilla, que puede ser de otro lugar y de años anteriores. El problema es el mismo que en las

regiones templadas o frías y las condiciones se repiten también en las regiones de los bosques tropicales.

La regeneración natural puede producirse de tres maneras: brote de raíz, brote del fuste y semilla. De acuerdo con el tipo de reproducción, los trabajos culturales a realizar en el bosque son diversos, dando origen a los varios tipos de regímenes.

Figura 48. Método de análisis de semillas.



Se aconseja seleccionar o favorecer uno de los métodos tomando en cuenta los siguientes factores: capacidad de las especies para producir y dispersar las semillas, posibilidad de lograr un perfecto ciclo de corta, resistencia al viento del sistema radical, tolerancia a los bosques heterogéneos, tendencia a la estructura regular o irregular y tendencia a la mezcla de especies.

7.2 REGÍMENES SILVÍCOLAS

El método general del manejo forestal al cual está sometido un bosque cuenta con tres regímenes de cultivo: fustal alto, que es aquel en que el bosque se regenera por semillas, monte bajo, que es aquel en que las especies arbóreas principales regeneran por rebrote de fuste o raíz, y monte medio, que es el régimen en el que la masa forestal se compone de dos partes: una superior regenerada por semillas y otra inferior, explotada en monte bajo.

El régimen de fuste alto se denomina en inglés *clear cutting with natural reproduction*. Existen varios regímenes de fuste alto.

Régimen I: **Fustal alto regular.**

En este régimen la masa en pie es aprovechada completamente y la regeneración se hace por medio de semillas con los orígenes siguientes: semillas de especies procedentes de fuera del poblamiento, siendo las semillas traídas por el viento, estando el árbol en pie por gravedad, por

los animales, semillas ya existentes en el suelo, de años anteriores, semillas de los árboles abatidos, diseminadas antes de la corta o durante la operación (Lamprecht, 1990; Richards *et al.*, 1996). Se puede ayudar a la regeneración introduciendo la reproducción artificial por plantación de especies de interés económico.

Con relación a las cortas, estas deben ser realizadas cuando el poblamiento produce abundancia de semillas de modo que se mantenga una buena regeneración. Las cortas deben orientarse en la dirección de los vientos dominantes para ayudar a la dispersión de las semillas. Cuando la corta es realizada en grandes áreas hay el peligro de la exposición directa del suelo a las condiciones climáticas volviéndolo duro, erosionado, cubierto de vegetación invasora y de especies sin valor económico. En este caso se aconseja introducir una de las dos variantes del método: método de fajas o método de grupos.

Figura 49. Aprovechamiento en un fustal alto regular de *Pinus radiata* D. en Galicia (España).



El método de fajas consiste en abatir los árboles por fajas alternando con otras en las que no hay cortas. El intervalo entre cortas no debe ser superior a 10 años. Las fajas dejadas con árboles deben tener un ancho fijo y estarán orientadas perpendicularmente a los vientos dominantes.

El método grupal consiste en la ejecución de pequeñas cortas con cerca de 2.000 m² hechos aquí y allí, en todo el bosque. Este método no es muy aceptado en la India y en Malasia por los defectos que presentan principalmente para nuestro clima tropical. Es usado como una variante en cortas a tala rasa o corta total sobre regeneración natural por semillas. En este caso, después de la corta, reservando el 50 % de los árboles con diámetro normal inferior a 40 cm, para aserrado. Los árboles sin valor comercial, con diámetro inferior a 5 cm, son envenenados de una vez o progresivamente. En la primera corta se puede usar del 30 al 70 % del bosque siempre que haya condiciones técnicas y económicas que lo justifiquen.

El método de corta en fajas tiene varias ventajas. Es el mejor para bosques con maderas aptas para aserrío y maderas de gran dimensión. Se concentran los árboles aptos para la corta en áreas pequeñas, donde se pueden descortezar y desramar para reducir el coste del transporte. Evita daños a las plantas nuevas, pues ellas están concentradas en las áreas en crecimiento. Evita pérdida de madera por la acción del viento, normalmente están en barrancos, márgenes de ríos y carreteras, en suelos profundos y pantanosos donde el sistema de raíces es superficial. Fornece exposición para la germinación de semillas que exigen luz para iniciar su reproducción.

Es simple y fácil de practicar (Lamprecht, 1990; Richards *et al.*, 1996) y no exige personal especializado donde hay que hacer la selección. Desde que el período de regeneración de cada bloco sea limitado a pequeñas porciones del ciclo de corta, permite el uso del área para pastoreo, durante parte del tiempo, que debe ser útil sin causar daños al bosque. Cuando es necesario el cambio de unas especies por otras que no se encuentra en el bosque sujeto a la corta a tala rasa la reproducción artificial es el método más efectivo.

Los inconvenientes del método de corta a tala rasa o corta total es que surgen gramíneas y otras plantas, además de los daños por el viento y las heladas. De 3 a 5 años después de la apertura de la copa es fácil y barato y es en esta fase que se puede mejorar la composición del poblamiento, eliminando los fustes indeseables y enredaderas, como muestra en este proceso al que se lo denomina de malayo.

Régimen II: Fuste alto regular con reserva de árboles padre o árboles semilleros (*seed tree method*).

En este método el área sometida al régimen es cortado, dejando algunos árboles, cerca del 10 % que tienen la finalidad de ofrecer semillas. No siendo el período de la regeneración el poblamiento resultante será regular y coetáneo. Después de establecido el poblamiento los

árboles reservados pueden ser abatidos para industrializar la madera de grandes dimensiones o dejarlas indefinidamente.

El número de árboles dejados depende del tamaño y cantidad de las semillas. Para especies de semillas grandes, será mayor el número de árboles a ahorrar. Como protección contra de los vientos los árboles pueden quedarse en grupos, método propio para el manejo sostenido de los manglares en Indonesia (Figura 50).

En este método el aprovechamiento es realizado en una serie de cortas parciales mediante las cuales se consigue una substitución gradual del bosque. La reproducción natural se hace sobre la protección de los árboles viejos que son gradualmente abatidos. El período de regeneración es de 10 a 20 años hasta que se pueda obtener un bosque regular. El método se realiza por cortas parciales clasificadas en tres categorías: 1 – cortas preparatorias, 2 – cortas de semilleros, 3 – cortas secundarias y final.

Figura 50. Corta a tala rasa con reserva de árboles padre.

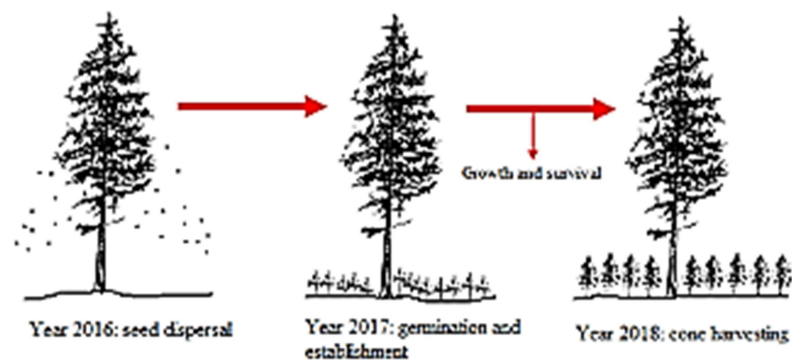


Figura 51. Fuste alto regular con reserva de árboles semilleros.



Régimen III: Fuste alto regular con cortas sucesivas para la regeneración natural bajo dosel protector (shelter-wood method)

Las cortas preparatorias tienen la finalidad de estimular la producción de semillas, crear en el suelo condiciones de germinación. Por los cortes preparatorios se reduce el volumen del poblamiento de 10 a 30 % sin exponer el suelo. Se realizan tantas cortas preparatorias cuantos fueren los secundarios. Se debe evitar el exceso de luz para no surgir una cobertura herbácea en el suelo.

Cortas de árboles semilleros se los realiza estando el suelo en buenas condiciones ofrecidas pelos cortas preparatorias, se espera por un buen año de producción de semillas para realizar posteriormente la corta de los porta-semillas. En este tipo de corte se eliminan árboles dominadores, defectuosos y enfermos en un total de 25 a 50 % de la población arbórea inicial.

De 3 a 5 años es el tiempo necesario para transcurrir entre las cortas de árboles semilleros. 15 años después de las cortas preparatorias se aplica el corta de los árboles porta-semillas.

Las cortas finales tienen por objetivo la remarcación gradual de los árboles maduros dando la pose del terreno entero a la nueva generación. Los americanos emplean este método de reproducción para formar poblamientos regulares con un período que se extiende algunas veces a más de 20 años (Lamprecht, 1990; Richards *et al.*, 1996).

Este método es realizado con éxito en la Costa de Ouro (Asia), fijado en el período de la regeneración en cinco años, en el primer año se hace la eliminación de los más desarrollados. Se aconseja envenenarlos a esos árboles que es al contrario de cortarlos. Los árboles abatidos por la concurrencia son eliminados gradualmente y no habrá acumulación de restos de árboles sobre el suelo. El raleo medio es el aconsejado. Este raleo comprende el envenenamiento de todos los árboles con diámetro menor de 10 cm de *DAP*. En ese año, se disminuye la densidad de la cubierta de los árboles del sotobosque de copas bien desarrolladas. En esa época las plántulas de los árboles tolerantes ya soportan más luz y las intolerantes no encuentran oportunidad de crecimiento.

Durante el 3^o, 4^o y 5^o años se hace un corta de limpieza anual. En el 6^o año la corta es intermedia, en el 7^o se hace una nueva corta de limpieza, respetando los árboles nuevos, que serán aprovechados posteriormente. En el 10^o año es esencial hacer un corta para eliminar lianas y enredaderas. Los autores aconsejan este método para los bosques tropicales una vez que alcanzan una estructura más o menos normal y haya un razonable número de árboles mayores de especies de alto valor comercial, conforme se muestra en la Figura 52.

Figura 52. Tratamiento de regeneración natural por cortas de aclareo sucesivo con dosel protector.

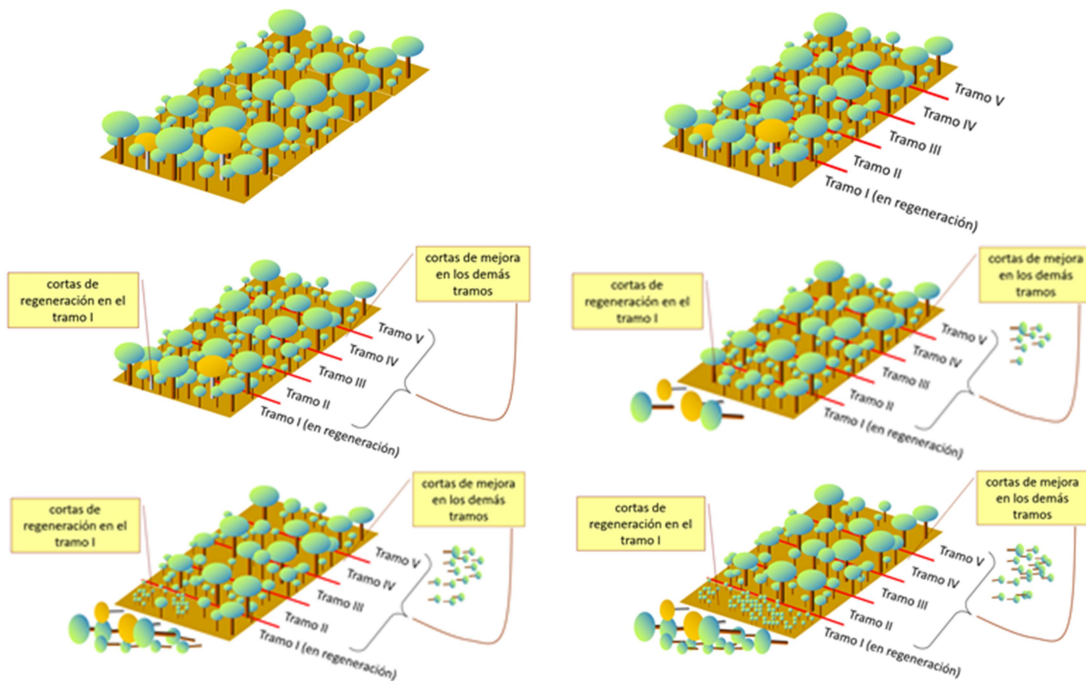


Figura 53. Fuste alto regular con cortas sucesivas para la regeneración natural bajo dosel protector.



Régimen IV: Fuste alto irregular (selection method).

En el régimen de monte alto irregular el bosque tiene una estructura irregular. Teóricamente todas las clases de edad estarían representadas. La altura a que se debe cortar el bambú es una materia controvertida. El corta al nivel del suelo dará lugar a nuevos brotes, por otro lado, los rizomas de los nudos cortados mantienen la vitalidad de la torciera y como ya fue verificado el pedazo del fuste que queda, muere debido a un entrenudo por año; de esta forma cuanto más alto el corta mayor será la longevidad del rizoma.

En teoría la clase de edad más vieja es abatida a cada año, la próxima será siempre considerada la más vieja. Los árboles aislados o en pequeños grupos alcanzan en el año siguiente la edad de corta indefinidamente.

En la India y otros países latinos como asiáticos, en la China y Venezuela, se trabaja con el corta diamétrico fijado para la explotación de a partir de 60 cm de *DAP* y en su lugar se establece la reproducción por semillas. Como los árboles que alcanzan ese límite están distribuidas por todo el rodal y es por ese motivo que es necesario trabajar en todo el bosque para encontrarlos. Se hace difícil y caro este método. Para contornar este inconveniente se utiliza el ciclo secundario.

En este sistema el área arbolada se divide en tantas partes como años tenga el ciclo (Lamprecht, 1990; Richards *et al.*, 1996). La corta puede ser anual y está limitada a cada una de las partes, aprovechando cada año una de las partes demarcadas. En cada área así tratada en partes habrá un número de clases de edad igual a la duración del ciclo de cortas una vez que se haya recorrido mediante cortas todo el rodal. El volumen de los árboles abatidos en cada uno de ellos será igual al incremento anual multiplicado por el número de años del ciclo secundario. Si el incremento es de 20 m^3 por año, y el ciclo secundario es de 10 años, el corta en cada una de las porciones de corta secundario será de $20 \text{ m}^3 \times 10 = 200 \text{ m}^3$.

Figura 54. Método de entresaca



Cuando los ciclos de corta son de más de un año no todas las edades quedan representadas en el rodal. Se divide el bosque en tantas edades por rodal, coincidente con el número de operaciones de corta durante la rotación completa. Un ejemplo de una rotación de 100 años con cortas cada 20 años es $100:20 = 5$. Por cierto, es el tiempo en que todas las clases de edad en todos los rodales fueron apeadas una única vez. Las plántulas de la regeneración deberían comenzar a ocupar las áreas libres. En teoría estaría formado un verdadero método de selección por clases de edad de los árboles, situación que en la realidad no existe, lo cual complica el problema para determinar el volumen de corta.

Figura 55. Monte alto irregular.



Sin embargo, la determinación del volumen de corta no existe en la simulación gráfica. El porcentaje del volumen removido en la corta selectiva es objeto de grandes variaciones, dependiendo de la extensión del ciclo de corta, de la unidad en la cual el volumen es expresado y de las condiciones del bosque.

Si en cada año (o en cada ciclo de aprovechamiento) la corta se hace sobre la proporción correcta del área, se obtiene el mejor resultado. La propia distribución del área en varias clases de edad será el resultado necesario para regular la corta, que afectará también a parte del bosque no intervenido, como serán algunos pies extra cortables o inmaduros, dependiendo de que las clases de edad más viejas o más jóvenes predominen en el rodal. El método más promisorio consiste en hacer un inventario del volumen del rodal, en el comienzo y al final de ciertos períodos de tiempo. El volumen para obtener debe ser determinado en las bases del crecimiento periódico corriente. No usar el crecimiento del período precedente para evitar una reproducción metódica sin bases científicas.

Se debe reconocer que los mejores resultados en el crecimiento son para garantizar el volumen de la corta del aumento del macizo por hectárea, para que una relación forestal sea mantenida. En general en los rodales en crecimiento se deben separar los árboles de tamaño medio y los de tamaño grande, para la determinación del volumen total y del aumento. Tal vez por comparaciones repetidas periódicamente el mejor valor volumétrico total de los rodales en crecimiento y el adecuado balance entre las clases de diferentes tamaños pueden ser establecidos. No importa el modo por el cual el volumen por hectárea fue determinado. Puntos como sanidad, tasa de crecimiento y capacidad de producción de semillas son de especial importancia.

Finalmente, los árboles, más viejos deben ser abatidos, pues aprovechar la oportunidad para retirar también los individuos nuevos, pobres, y dejar árboles más viejos con cierta seguridad. El método es impracticable en gran escala, siendo que el diámetro es considerado como la mejor indicación de la edad, consecuentemente los árboles son separados por clases de edad, en base del tamaño del *DAP* (Lamprecht, 1990).

El crecimiento en volumen (crecimiento volumétrico) es la resultante en altura y en diámetro. El crecimiento volumétrico de una plantación natural o artificial varía dentro de largos límites, en dependencia del local, especie, régimen, suelo, etc. Se cita abajo algunos de los recursos que fornecarán la base para dar una idea del aumento anual de un bosque. En un bosque tropical ecuatorial natural, abandonado a sí mismo, su crecimiento es igual a la madera que muere y pudre. Para África Occidental (*rain forest*) fue encontrado de 0,18 a 0,48 m³/año (Richards *et al.*, 1996).

El crecimiento volumétrico de una plantación natural o artificial varía dentro de los límites espaciados. Se cita abajo algunos datos que ayudarán para dar una idea del aumento anual de un bosque. Para las plantaciones puras de *Dalbergia sissoo* Roxb. en la India fue informado un crecimiento medio anual de 0,9 a 7 m³/ha/año. Para la caoba o mara (*Swietenia macrophylla* King) en las Honduras Británicas de 260 a 325 m³ por hectárea a los 40 años o sea de 6,5 a 8 m³/ha/año. El incremento medio mundial de todos los bosques es de 0,36 m³/ha/año. La media europea es de 4 m³, en cuanto la africana y del Oriente Medio es de apenas 0,09 m³/ha/año.

Ventajas y desventajas del método selectivo. Como ventajas: ofrece alto grado de protección al local y a la reproducción por semillas, eliminando el peligro de la nieve laminar en el suelo, la erosión, injurias por varios factores físicos del medio y desarrollo de una cubierta de gramíneas y hiervas dañinas.

Puede ser aplicado extensivamente en los mercados donde son negociables solamente grandes árboles. Satisface mejor los objetivos de la estética, debido a su pintoresca forma disetánea. Vientos fuertes y caída de la nieve son eliminados o reducidos y ofrece relativa y pequeña pérdida de árboles. La reproducción es relativamente fácil y segura debido a una

abundancia de árboles porta-semilleros y la protección ofrecida por las semillas y plántulas que están en el suelo.

Es el único método que mantiene la forma disetánea del bosque. Ofrece menos peligro de incendio desastroso que en el bosque coetáneo. El bosque disetáneo con su irregularidad y cambios dentro de ciertos límites es superior a la completa uniformidad en la forma coetánea para la preservación de la vida silvestre. Es un método ideal para bosques de pequeñas haciendas porque es permitida abates frecuentes o anualmente de árboles grandes.

Como desventajas: desde que los árboles maduros están distribuidos por toda el área del bosque y son entremezclados con la reproducción de pequeños árboles, la explotación y transporte cuestan más si comparados con los métodos de corta a tala rasa o corta total. Por causa de la mezcla de edades de clases es difícil prever estragos en la distribución de los árboles inmaduros que forman el capital del bosque en el futuro. La madera producida es de más bajo grado en la media que en los macizos coetáneos. Aplicándolo intensivamente requiere de mucha habilidad por parte del silvicultor y todos los otros miembros de la organización maderera debido a la naturaleza compleja de la distribución de edad del macizo.

Régimen V: Régimen de talardía (the coppice method)

Es un régimen en que la regeneración del bosque se hace por medio de la brotación de las cepas (Richards *et al.*, 1996). Pueden surgir racionalmente plántulas entre las cepas, más el origen de la formación es regenerativo por brotación. Existen dos tipos, el de talardía simple regular, y el de talardía simple irregular. En ambos casos todos los árboles del rodal serán abatidos al mismo tiempo. Es en un bosque coetáneo desde que se practique un corta a tala rasa y la brotación es simultánea con todas las cepas o brotes.

Los brotes son de dos tipos: aquellos originados de las yemas adventicias que se encuentran en estado de dormancia sobre la corteza y las yemas adventicias formadas en la región caulinar de cicatrización después de la realización del corta.

Entre los factores que dependen de la regeneración de una talardía están las especies seleccionadas (Lamprecht, 1990; Richards *et al.*, 1996). Especies, entre las foliosas se encuentran muchas veces que son de rápida regeneración. Al contrario, ocurre con las coníferas. Los bosques latifoliados regeneran con facilidad por brotación y también por estaquillado. Cuanto menor fuese la edad será mayor la brotación, como se encuentra en el cedro mexicano (*Cedrela odorata* L.) en la muestra de la brotación. Cuanto más bajo fuese el corta mejor será la brotación, porque es allí donde está el mayor porcentaje de los brotes que crean el sistema radicular independiente. Para la mejor época se aconseja la época del reposo vegetativo, cuanto mayor la circulación de la savia, la planta responde mejor al corta realizado.

Figura 56. The coppice method.

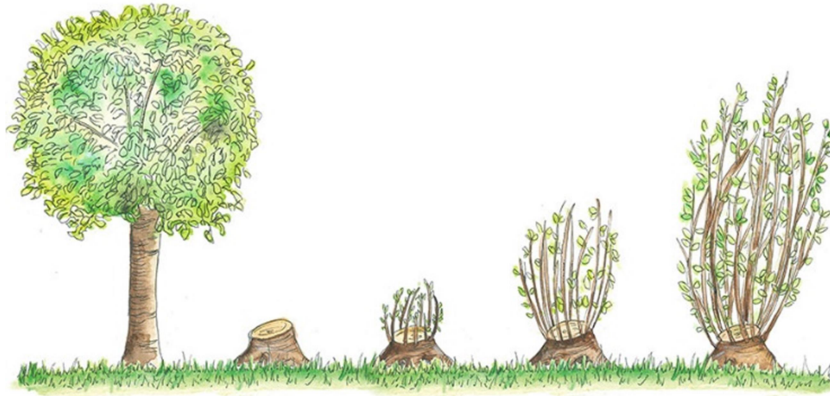


Figura 57. Método de talardía.



El valor porcentual de los árboles removidos al contrario de lo que se indica en los regímenes de fuste alto en que las plántulas deben ser protegidas, los brotes exigen plena luz para un buen desarrollo (Lamprecht, 1990). Cuanto mayor fuese ese porcentual de la masa removida tanto mejor será la brotación de las cepas. Cuando la brotación de las cepas sea insuficiente para cubrir todo el terreno, los huecos deben cubrirse artificialmente con plántula de vivero. Los ciclos de corta son siempre más cortos (máximo 20 años) pues el método se adapta para la producción de leña, postes de luz, carbón y madera de pequeños diámetros.

Talardía alta compuesta sobre fustal alto. En este método el corta no es realizado a pequeña distancia del suelo y si bastante alto, a 1,5 o 2,0 m de altura. Se hace primero la remoción de la copa entera o de la mayor parte de las ramas principales. Los rebrotes que surgen son cortados con intervalos de 1 - 2 o más años. Este método es empleado en el nordeste

brasileño en la colecta de ramas forrajeras para el ganado. El bosque sobre este régimen se compone de dos estratos: un estrato inferior explorado en intervalos iguales al régimen de talardía, otro estrato superior compuesto de árboles y explorados individualmente durante la exploración de las talardías como un monte alto irregular.

El ciclo de fustal alto es siempre un múltiplo de la talardía. Supóngase un bosque explorado sobre este régimen con un ciclo de corta en talardía de 15 años y el de fustal alto de 75 años. A los 15 años la talardía es explorada en un cierto número de individuos de origen residual permanente para formar el fustal alto; con los 15 años después del nuevo corta en talardía, los elementos reservados del ciclo anterior tendrían 30 años. Los nuevos árboles con ya estarían con 30 años serán reservados para formar el fustal alto.

Aplicación en los trópicos. Es un buen método para producir leña y madera de grandes diámetros en el mismo bosque. Se aconseja un ciclo de corta en talardía que debe mantener en las condiciones tropicales, de 8 - 20 años; de fustal alto de 40 a 100 años del bosque, con las siguientes alternativas árboles arriba del diámetro mínimo para el corta no deben ser abatidos, árboles debajo del límite todos ellos deben ser cortados.

Régimen VI: **Sistema Taungya**

Lamprecht (1990) lo define como un sistema agroforestal en que el agricultor sin tierra planta cultivos agrícolas bajo el dosel arbolado, en plantaciones normalmente homogéneas, creciendo hasta que la plantación agrícola queda sofocada por los árboles, momento en que la plantación agrícola es cosechada. Se fue transformando el sistema bajo los árboles para implementar las reforestaciones artificiales. Este sistema se originó en Asia durante el siglo IX. El proceso de la plantación del sistema Taungya tuvo origen en 1862 en Burma (Asia) que después fue utilizado en otras regiones del Asia y África. Consiste en la asociación de la silvicultura y la agricultura, pues por eso es también llamado de agrosilvicultura. En este sistema un trecho del bosque es abatido dejando los mayores árboles. Para el establecimiento de la agricultura, la vegetación es quemada. Donde no existe presión demográfica se hace una cultura y al año siguiente se procede a la siembra de semillas forestales. El área llamada de Taungya puede ser cultivada por una familia. En Burma el proceso es de 3 a 4 años, en Assam (India) 1 a 2 ½, en Bengala (sud Asia) 1,5. Del punto de vista financiero el método es superior a la plantación de cualquier otro sistema. Sin embargo, la cultura agrícola abre camino para la erosión superficial y la quiebra del equilibrio biológico en el suelo.

En este tipo de silvicultura es donde se tornó constante los siguientes tipos de métodos silvícolas: en líneas, fajas, grupos Anderson, en manchas y últimamente los sistemas compuestos de agricultura con bosques, denominados como agroforestales o agro-silvestres. Todos los sistemas visan enriquecer los bosques nativos, aumentando su rendimiento por hectárea.

Otro aspecto fundamental de este tipo de prácticas es que en la mayoría de los casos la tierra es aprovechada también para prácticas agrícolas, que inicialmente irán a cubrir los costos de implantación de los nuevos bosques, dando como consecuencia mayor aprovechamiento de mano de obra y ayudando a fijar las poblaciones en el medio rural. Además, de las prácticas agrícolas también se ha experimentado con éxito las prácticas de pecuaria consorciadas con bosques, surgiendo la denominación de programas agro-silvo-pastoriles, propios para las regiones tropicales. Es en este tipo de bosque donde el ingeniero forestal tiene un papel importante, toda vez que él va a tener que planificar sin mayor aprovechamiento de la tierra que dispone y de la materia prima necesaria para sus industrias.

Figura 58. Sistema Taungya.



8. REFORESTACIONES ARTIFICIALES

Prácticas culturales. La silvicultura se ocupa de los métodos naturales y artificiales de la regeneración de masas. naturales y de plantaciones, dando siempre prioridad a la mejora de los rodales. Requiere conocimientos referentes a las exigencias de las especies forestales en relación con el medio ambiente; del comportamiento de ellos a la luminosidad, a su habilidad de crecer en rodales puros y mistos, cualidades del suelo y cualquier condición que afecte en el crecimiento de los árboles (Savill *et al.*, 1997).

Figura 59. Reforestación con *Gmelina arborea* Roxb.



Figura 60. Reforestación con *Toona ciliata* M. Roem.



Hasta este momento, en las regiones tropicales se tiene ofrecido más relevancia a la regeneración artificial, por alcanzar resultados más promisoros. Varias razones llevaron para este

hecho de consumo y entre ellos se indican las siguientes razones: carencia del producto forestal (carbón, postes de luz, leña, etc.); necesidad de cultivar bosques más próximos a los centros de consumo; producción de árboles con fustes uniformes y rectos; promover rodales densos con especies comerciales de valor económico para el consumo especializado y desaparición del bosque natural por la utilización de las áreas para la cultura agrícola.

Figura 61. Reforestación con *Pinus odorata* L.



Así es que fueron introducidas las plantaciones de *Tectona grandis* L. f. (Figueiredo *et al.*, 1996), *Azadirachta indica* A. Juss., *Cassia siamea* Lam., *Gmelina arborea* Roxb. y *Toona ciliata* M. Roem. en la región de la India-Burma-Tailandia. En varias áreas de la costa africana a *Casuarina equisetifolia* L. Experimentos relacionados en zonas más secas fueron conducidas con especies exóticas como: *Gleditsia triacanthos* L., *Prosopis juliflora* (SW) DC. En el Brasil en las plantaciones fueron introducidas las especies de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*.

En los últimos años los gobiernos y empresas interesadas lanzaron plantíos en gran escala de ciertas especies del género *Pinus* introducido de varias regiones del mundo principalmente de América Central y de América del Norte, incluyendo México (Wagner *et al.*, 2001). El mayor interés fue para la producción de carbón, leña, pasta para papel y la misma madera para la industria de muebles.

Tal vez la razón del mayor éxito en el establecimiento de esas áreas con géneros exóticos se firmó en dos principios básicos, en primer lugar: la falta de un plano de estudios experimentales de los bosques tropicales para el conocimiento en la aplicación de su regeneración artificial. Los bosques tropicales, como los suelos tropicales son comunidades complejas no solamente por el elevado número de especies que encierran, como por su estructura con varios estratos arbóreos y por la heterogeneidad ecológica de las especies y suelos correspondientes.

Figura 62. Reforestación con *Pinus caribaea* var *hondurensis* (Sénécl) Barr y Golf.



Aún en este asunto, otras dificultades que desafían a los silvicultores son el conocimiento incompleto de las exigencias de las especies cuando son consideradas aisladamente o en grupos, por el excesivo desarrollo de especies invasoras cuando la reforestación es explorada, por el estado de la degradación a que es llevada el área arbórea y por el hecho de que solo algunas de las especies tienen valor comercial.

En segundo lugar, la aplicación de la regeneración artificial con plantas exóticas deriva del hecho de que las especies usadas ya dieron buenos resultados en sus países de origen o en los países donde fueron introducidas. Los métodos de manejo de estas especies en macizos forestales ya eran conocidos de la misma forma los de propagación.

En la planificación de la regeneración artificial se debe tener en vista la cosecha de las semillas, las prácticas en los viveros y la preparación del local de la plantación. Los principios fundamentales de estas prácticas son idénticos en todo el mundo, apenas se deben efectuar adaptaciones a las condiciones regionales. Para más información se recomienda la lectura especializada en esos asuntos.

Figura 63. Reforestación con *Eucalyptus urograndis*.



8.1 VIVEROS

Las prácticas en los viveros se deben apoyar en una planificación cuidadosa para asegurar la máxima producción de plántulas de elevado padrón y en condiciones de costos más reducidos. Los viveros forestales pueden ser permanentes o temporarios. Un vivero temporario puede ser utilizado durante un periodo que no ultrapase a los 5 años. (Wagner *et al.*, 2001)

Estos viveros temporarios son instalados dentro del área donde los trabajos de plantación serán realizados y una vez completado el programa deben ser transferidos. Un vivero permanente requiere de una planificación cuidadosa siendo conducido sobre moldes avanzados: la localización de preferencia próxima del área de la plantación para reducir los costos de transporte; en locales secos y abrigados de los vientos fuertes y constantes; de preferencia en suelos fértiles con buen sistema de drenaje.

La regeneración artificial puede ser conducida en áreas que anteriormente fueron bosques naturales transformados en agricultura o en áreas desnudas como las sabanas y parques.

La creación de plantaciones forestales por repoblación con material vegetal producido en viveros normalmente conducirá a la obtención de masas forestales más uniformes (Wang y Colombo, 2000), con un desarrollo más rápido que contribuye a vencer a las hierbas invasoras, siendo así más fácil que la plantación sea visitada y atendida.

Figura 64. Viveros comerciales.



Un proceso en Asia en la propagación de *Pinus kesiya* Royle ex Gordon, consiste en colocar en el suelo ramas conteniendo frutos maduros de esta especie hasta que las semillas completan su maduración biológica.

Figura 65. Vivero con especie latifoliada.



En la selección de las plántulas de las especies para la formación de la plantación arbórea se debe realizar el trasplante de la semillera para los correspondientes recipientes de formación.

En el sistema antiguo las plántulas eran preparadas con antelación de meses, una vez que el plantío era realizado con el inicio de las lluvias para que ellas tengan el máximo de beneficios en ese periodo. Hoy en día, los viveros funcionan como fábricas de plántulas y esa situación hizo que desaparezca la época de lluvias, hoy se planta con cualquier condición climática y en cualquier época, sea favorable o no.

Ciertas especies como algunas meliáceas aceptan con buenos resultados la poda parcial de sus ramas durante su periodo inicial estando en los viveros, antes de ser llevados para el local definitivo. Las plántulas pueden ser agrupadas en dos clases: plántulas pequeñas que atingen hasta 0,90 cm de altura y grandes que pueden tener hasta de 1,5 a 2,5 m de altura. Estas plántulas poseen la desventaja de presentar un costo de producción más elevado debido a un mayor tiempo de permanencia en los viveros.

8.2 SISTEMAS DE RALEO

El raleo tiene por objetivo la educación de una plantación con la posibilidad de un incremento suplementar en el corta final. El objetivo de la empresa forestal es el eje de formar condiciones administrativas de la empresa. El objetivo influye en todas las decisiones económicas, con la selección de las especies, el régimen de los raleos, época del corta final o no corta etc.

Imaginemos dos empresas con condiciones biológicas y técnicas idénticas pueden exigir organizaciones económicamente diferentes. Un bosque para atender una fábrica de papel deberá ofrecer materia prima forestal diferente de una empresa del gobierno que establece un Parque Forestal para el recreo de la población rural.

Las consideraciones sobre los objetivos de la empresa son de lo más amplias cuando pensamos que ella debe contribuir con un servicio hacia la comunidad urbana. Además de los objetivos de producción, la empresa puede facilitar el recreo de la población en sus áreas, el mantenimiento del aporte de agua potable, la disminución de las fuerzas de los vientos, el mantenimiento de una flora y una fauna especiales.

De los varios sistemas de plantaciones definitivas dependiendo de sus objetivos específicos, de los cuales el reforestador escogerá aquel que atienda mejor la tecnología correspondiente y fuese compatible económicamente atendiendo al investimento sea en áreas desnudas o en áreas donde existían anteriormente bosques. Cuando se estructuran rodales en grupos por especies forestales, estos pueden ser continuos o por grupos espaciados.

Para los grupos continuos la distancia entre los centros de los grupos debe estar correlacionados al crecimiento máximo de los árboles y a la densidad final esperada o sea el

número de árboles que alcanzará en la época final de la vida del bosque. No caso de grupos espaciados habrá lugar para la regeneración natural en los vacíos existentes entre los grupos.

Figura 66. Recursos procedentes de raleos.



El sistema de enriquecimiento es conseguido por una plantación de árboles nuevos en bosques existentes donde la plantación es realizada en líneas bien espaciadas entre sí.

En algunos países se adoptan métodos para estas plantaciones, conforme la situación del local y de las condiciones climáticas de las áreas a ser reforestadas con la(s) especie(s) seleccionada(s), trabajando con plantación sobre leras, terrazas o cordones, si el terreno fuese alagadizo, propio para plantaciones a lo largo de canales construidos en curvas de nivel.

La labranza del suelo se consigue haciendo inicialmente el desplazamiento por medio de dos tractores atraillados paralelamente con una fuerte corriente de arrastre y con eso lleva los árboles de la faja de avance de las máquinas. Después de la limpieza del suelo ya sin árboles se procede al laboreo seguido del drenaje. Si la plantación fuese con máquinas adaptadas y también en el lugar de los huecos se procede a un surco donde las plántulas serán colocadas por las máquinas en un espaciamiento predefinido. Posteriormente se procede a la fertilización, limpieza de hierbas dañinas y combate a las plagas.

El raleo es una actividad silvícola que consiste en remover un cierto número de árboles de modo a que los reminiscentes dispongan de más espacio para crecer. Comienza con la retirada de pequeñas piezas para reducir la concurrencia entre los árboles.

Para la plantación de especies exóticas existe mucha controversia en la aplicación de los raleos. Los raleos extremadamente pesados tienden a producir árboles de forma pobre y sin ramas gruesas. Los raleos muy severos pueden aumentar el peligro de los incendios. Las plantaciones sometidas a raleos leves se tornan vulnerables a la acción mecánica de los vientos sobre los árboles, por tener menor desarrollo de su sistema radical. La competencia severa en regiones secas favorece la muerte de los árboles por escasez de agua. Los raleos deben ser esenciales y formarán parte o no de los gastos de gestión del rodal.

Un régimen de raleos puede ser realizado por dos épocas diferentes: raleos leves para la formación del árbol con fustes sin ramas laterales o para la obtención de fustes altos. En este raleo son eliminados los árboles que están quedando para atrás en el crecimiento. Época superior el raleo por lo alto, visa conservar el bosque sombreado.

El raleo es un tratamiento selvícola de mejora que se basa en la selección de los árboles de elite. A pesar de estar muy bien definido es también combatido cuando aplicado en bosques tropicales. Esta técnica visa favorecer el desarrollo de los árboles espaciados pertenecientes a las especies de alto valor económico. En el primer raleo el número de árboles quedará reducido a la mitad por la remoción de líneas diagonales alternadas. En el segundo raleo serán removidas las líneas alternadas verticales dejando 750 árboles por hectárea espaciadas de 3,6 x 3,6 m.

Raleo conocido como *prescripciones del Dr. Craib*. Siendo que este método comenzó a ser aplicado en los Servicios de Investigaciones Forestales del Gobierno de África del Sul en 1939. Su fundamento era que los ejemplares de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. debían quedar espaciados de forma que su crecimiento se situara en la línea límite entre el crecimiento aislado y el crecimiento en masa, con lo que los recursos del medio estarían siendo utilizados completamente y el crecimiento del árbol no se reduciría. En un ciclo de corta de 30 años de *Pinus taeda* L. originario de los Estados Unidos, la altura deberá alcanzar cerca de 32 m.

Raleo en función del área basimétrica. Se puede establecer cuales árboles deberán ser eliminados para aplicar el proceso por medio del área basimétrica. Por un sistema de muestreo se miden inúmeros árboles muestras y por la ecuación

$$g = 3,1416 \cdot d^2/4$$

se encuentra el área basimétrica de cada uno de ellos. Si se miden varios *DAP* por el sistema de muestreo se obtiene el diámetro medio del área basimétrica que representará la media de la plantación. Tratándose de una plantación de 2 x 2 m existirán en una hectárea 2.500 árboles. Ese producto de 2.500 dividido por el área individual media irá a dar como resultado el área basimétrica media por hectárea, que en este caso es 78,54 m². Así se pueden calcular las áreas individuales de todos los rodales: si en una hectárea se tiene 78,54 m², se multiplica por la superficie total para así encontrar el área basimétrica máxima.

En ese caso se dejaría de aplicar el método anteriormente descrito y pasaríamos a usar tan solamente los diámetros medios de los árboles superiores denominados dominantes y codominantes que se denomina Área Basimétrica Ideal.

Para calcular las tasas de crecimiento de los diámetros (t) aplicar la ecuación siguiente:

$$\frac{D+d}{2} = \frac{t}{100}$$

D = diámetro actual

d = diámetro anterior.

t = tasa de crecimiento diametral

También se puede usar para el cálculo de las áreas basimétricas medias o ideales o apenas individuales y llegar al mismo objetivo.

Cuadro 3. Tasas de crecimiento.

Edad (años)	DAP (cm)	g (m ²)	Tasa diametral (%)	tasa de g (%)
4	10	0,007854	85,7	144,8
6	15	0,017670	40,0	76,9
8	20	0,031420	28,6	56,0
10	30	0,033010	2,5	4,9

Toda vez que los límites porcentuales llegasen a índices considerados inferiores se debe calcular el área basimétrica individual y en seguida el área basimétrica ideal por hectárea, lo mismo para el área basimétrica máxima. El límite porcentual inferior solamente por su censo técnico crítico podrá ser determinado. Como ejemplo, si la primera tasa pasa de 100 % para 95 % y en seguida cae bruscamente para 10 o 20 % está perfecto, más si el decrecimos fuese de 100 para 90 y después llegar de 90 para 80-70-60 hasta alcanzar a 2 o 0 %, se tiene que continuar con las mediciones hasta llegar a obtener una queda brusca.

Antes de poner en práctica el abate parcial de las áreas de los árboles deben estar clasificados en cuatro grados de acuerdo con la altura correspondiente (escala sueca), en dominantes donde se localizan los árboles mayores, codominantes cuyas alturas son del 5/6 de los dominantes, intermediarios cuyas alturas son 2/3 de los dominantes, dominados – cuyas alturas son 1/2 de los dominantes.

Número de árboles remanentes, existiendo varios raleos durante la longevidad de la plantación, habrá unos tantos árboles que permanecerán intactos hasta el corta final, son los árboles permanentes o remanentes.

Si el corta final fuese realizado a los 40 o 50 años o más, que dependerá de la especie se obtienen fustes de diámetros medios que en ese momento es solicitado por el comercio

maderero. Basta dividir el área ideal de ese rodal para conocer el número medio de los árboles permanentes. Es costumbre acrecentar a los remanentes más 10 % para cubrir la disminución provocada por las muertes y accidentes de árboles gruesos en diámetro.

Dice Gurgel Filho: “entre las técnicas desarrolladas en la silvicultura, los raleos son ciertamente, aquellos que reclaman la real y acuidad en extensión forestal ya que ofrecen nuevas condiciones de sobrevivencia a la vegetación remanente, sin causar cualquier traumatismo, el operador visa recibir la mayor suma de ventajas cualitativas de la producción volumétrica forestal y, concomitantemente, recibir beneficios de orden económico,”

Beneficios de los raleos forestales: el mayor beneficio está en la reducción de los turnos de corta, la obtención de beneficio por la enajenación de productos procedentes de la corta intermedia de raleo, la mejora de la calidad de la masa en pie y, en ocasiones, el aumento de la resistencia de la masa en pie tras la corta frente a perturbaciones de tipo biótico o abiótico.

8.3 REPRODUCCIÓN ARTIFICIAL DE LOS BOSQUES

De acuerdo con las normas internacionales el área forestal de una región o de un país debe ser de un mínimo 25 % de la superficie total para que se mantengan las condiciones de climas propios para la vida humana. De los varios métodos utilizados para plantaciones forestales podemos citar: las plantaciones puras artificiales: con especie nativa o exótica, que con ayuda de los incentivos fiscales se están desarrollando en gran escala en varios países, utilizando principalmente las coníferas. Aspectos fundamentales para considerar en este tipo de prácticas son suelo, clima, topografía, especie utilizada, espaciamiento y finalidad del producto.

Si ponderamos por un instante sobre el problema nos convenceremos de que es grande la necesidad de recomponer las áreas usadas por la agricultura y pecuaria que aún están despresadas o mal utilizadas. Esto llevó a los gobiernos asesorados por técnicos a abrir mano de las ventajas fiscales para promover la reforestación en las regiones más variadas.

Se entiende por reforestamiento la creación de bosques en locales donde estos ya existían. Forestamiento es la formación de bosques en locales en que ellos nunca fueron constatados económicamente. Koscinski (1946) define al término de plantación como siendo la función técnica de formar nuevos bosques en tierras devastadas. No se debe confundir silvicultura con reforestamiento. La reforestación es uno de los capítulos de la silvicultura.

Se puede clasificar la reforestación en dos tipos: la natural, en la cual la formación del bosque es realizada sin la interferencia del hombre y la artificial hecha por la propia mano del hombre.

Las ventajas de la reforestación natural: son más baratas, se utilizan especies adaptadas al local, se mantiene mejor la cubierta del suelo y se asemeja más a la naturaleza. Las ventajas de la reforestación artificial son, presenta un crecimiento más rápido, se trabaja con especies escogidas, la plantación es uniforme con mejor aprovechamiento del suelo, se producen productos de alta calidad, es de fácil previsión cualitativa y cuantitativa.

Se aconseja que la selección de una especie forestal para la reforestación esté basada en los caracteres siguientes: rapidez de crecimiento, calidad de la madera, reproductividad, valor forestal, especies libres de plagas y molestias, adaptabilidad de la madera producida a los mercados consumidores. En relación con los métodos de plantación: por semillas, plántulas o tocos. En la ejecución de la plantación: escoger entre una plantación pura, mixta o por fajas, en cualquier decisión considerar el distanciamiento de la plantación y los cuidados inherentes.

Aubréville (1961) refiriéndose a su experiencia de trabajo en las culturas en fajas en la Costa de Marfil (África) con espaciamiento de 20 metros entre árboles, pasado la mitad del ciclo de corta de 40 años 50 % de las mejores especies sobrevivieron con una altura media de 13,5 metros. En Uganda (África) este proceso también fue usado presentando resultados satisfactorios.

La FAO (1993) para las condiciones tropicales consideró el uso de este método como sigue: 1. plantación de plántulas de por lo menos 1 metro de altura, 2. solamente especies tolerantes o semi-tolerantes dan resultados, 3. bosques densos no pueden ser tratados por este método, debido al costo elevado de mano de obra para los cortas de liberación.

De los diferentes métodos de elaboración la programación de raleos, épocas de corta, tratos culturales, etapas muy importantes que deben ser consideradas si queremos un bosque productivo económicamente. Los principales métodos silvícolas utilizados en el mundo además de los ya indicados son: Trumpangsari (Java), sistema de abrigo temporario de Trinidad, método de Martineu (para especies intolerantes de baja producción), plantío en líneas (método Layons), SUM – sistema uniforme malayo, limba, SMMR - sistema malayo.

9. GENETICA Y MEJORA FORESTAL

Este capítulo que tiene por finalidad, estudiar los métodos o sistemas que traten de la mejoría de los bosques mediante programas de la genética ayudando al desarrollo de las especies más resistentes, de rápido crecimiento con buena forma y que produzcan madera de buena calidad. Esta disciplina es bastante nueva, y los resultados obtenidos a través de ella fueron suficientes para mostrar su importancia dentro de la Ingeniería Forestal (Sotolongo-Sospedra, 2021).

9.1 ENSAYOS DE PROGENIE

Es la principal de las pruebas usada casi que exclusivamente en problemas agropecuarios, trata de la predicción de los valores genéticos de la reproducción normalmente del toro, basados en la información y registros de las progenies. Es la más confiable y al mismo tiempo la más costosa, demorando un período mínimo de 8 años. En esta prueba no solo que entran los animales reproductores y en ellos se miden el genotipo y el fenotipo en la clasificación lineal, queriendo conocer su transmisibilidad a su descendencia, no intuito de que esa descendencia fuese igual o mejor que los padres genéticos.

El problema de la mejora de los árboles forestales está íntimamente ligado al crecimiento y aplicación de la genética y de la botánica y con los ensayos forestales y otras ciencias correlacionadas con la Dasonomía (Sotolongo-Sospedra, 2021). Así es que la botánica para situar apenas la última, ofrece los conocimientos de Botánica General, Botánica Forestal, la Dendrología, Patología y Fisiología Vegetal.

La idea básica que debe poseer el mejorador es la de que ningún individuo dentro de una plantación de la misma especie es igual. Por eso si se usan los mejores individuos que aparecieran para ofrecer mejores hijos cuya tendencia hereditaria se evidenciará en las generaciones subsecuentes. Para ese futuro es posible producir cruzamientos entre especies para combinación de los factores que serán agregados en la descendencia a que los genetistas llaman de **clones**. Por clon se entiende la propagación de un individuo por procesos agámicos. El método para adoptar depende de la planta a ser trabajada. Es de especial importancia tener en cuenta la rapidez o la morosidad de la sucesión de las generaciones; tiempo en que las flores masculinas y femeninas surgirán, bien como si la fertilización es dependiente de insectos o del viento; la cantidad de semillas producida por la especie, su viabilidad y la capacidad de la especie para su propagación vegetativa. Árboles ideales tienen sus copas a grandes alturas donde se encuentran las flores. Si ella es dioica para ser fertilizada, el polen tendrá que ser conducido, muchas veces estos árboles están distantes para que sean polinizados artificialmente. Después de larga espera se obtienen las

plántulas, que formarán las generaciones sucesivas en periodos de 20 a 50 años. Es por esto por lo que el progreso de la mejora forestal es muy lento.

En los ensayos de progenies se verifica el tipo de ramificación, tamaño y ángulo de las ramas; el ritmo de formación de las ramas; crecimiento de la plántula y producción del volumen; poder de desramas naturales; resistencia a las plagas y enfermedades, en casos especiales serán anotadas la calidad y la estructura de la madera. Encontrando esas características en un árbol, se lo llamara de árbol plus. El teste de progenie es para analizar la importancia del genotipo y del ambiente en la producción de caracteres favorables. Solamente las matrices que se muestren con óptima descendencia es que serán usadas como porta semilleros.

En el teste de progenie serán considerados: el tiempo de duración que depende de la esencia en investigación y de la existencia de correlaciones entre los caracteres juveniles y de los árboles adultos. Esquema experimental: se recomienda para mayor garantía esquemas estadísticos que pueden ser desde el simple como los bloqueos al azar o aleatoria, cuadrado latino a los más complejos.

La característica esencial del bosque es la comunidad de los árboles que difieren unos de otros, más forman grupos semejantes. La competencia es severa y solamente será aliviada con raleos bien conducidos. El material resultante será de alta calidad más el volumen por unidad de área será menor. Un paso importante fue realizado al reconocer la existencia de las propiedades biológicas de las especies forestales dependientes de la heredabilidad. Por las informaciones experimentales con semillas de diferentes orígenes se obtuvo buena información sobre la influencia del origen lo que se denomina ecotipos.

En la **estructura de las poblaciones** la especie es sin duda la unidad fundamental de la evolución. En general una especie es heterogénea y polimorfa, que se compone de poblaciones adaptadas o en vías de adaptación a varios climas, os denominados nichos ecológicos. Debemos tener en mente que las especies con larga distribución geográfica o que ocupan dentro de una misma región de altitudes diferentes, en ellas hay el diferimiento de ecotipos o razas geográficas, o lo que fue denominado por Langlet (1963) de clones (Sotolongo-Sospedra, 2021). Las diferencias en el caso de los ecotipos pueden ser de poca o mucha importancia. En el caso de las clones los cambios morfológicos y fisiológicos generalmente se presentan en un gradiente.

El grado de heterogeneidad de una especie depende de su forma de reproducción. Existen tres tipos de especies que se reproducen por autofecundación, no llegando al cruzamiento libre a más de 4 %; las especies que se reproducen por cruzamiento; un grupo intermedio que se aproxima al tipo de autofecundación o al tipo de cruzamiento mismo, existiendo el peligro de formarse aisladas de la autofecundación, por lo que aparece en generaciones sucesivas el efecto de *inbreeding*.

Se llama tolerancia a la habilidad de una especie para vivir al lado de otra, cohabitando en el mismo ambiente. Las intolerantes, lucífilas o robustas son las que solamente pueden vivir en plena libertad para ellas.

Los árboles son clasificados en tolerantes o intolerantes de acuerdo con algunos factores como: 1. la especie, por su origen solamente de tolerantes, precisan de la sombra de los otros; 2. la edad dentro de la misma especie, las plantas son más tolerantes cuando nuevas; 3. la estación, el medio rico en agua y sales minerales aumenta la tolerancia. Backer (Lamprecht, 1990) desarrollo tres principios: 1 – las tolerantes son más eficientes en realizar la fotosíntesis en bajas temperaturas y pequeñas intensidades de luz; 2 – ellas son más eficientes en el uso del agua y nutrientes, en extrema competencia; 3 – realizan su actividad metabólica en niveles bajos. La tolerancia puede ser medida indirecta o directamente. Directa mediante aparatos fotométricos y la indirecta por la densidad de la copa, el desrame natural, desgaste natural del sitio, condiciones de la reproducción natural, sombra artificial y rapidez del crecimiento en altura.

9.2 ENSAYOS DE PROCEDENCIA

En los países donde la explotación forestal pesa en la economía nacional es donde existe necesidad de la mejora de sus especies. La razón del ensayo de procedencia es para seleccionar el material de mayor rendimiento y proveer la falta de semillas. Estos ensayos cubren el comportamiento fisiológico de las plantas en relación con los factores climáticos, resistencia a las plagas y molestias. Importantes medidas de crecimiento por las cuales se podrán evaluar la capacidad de desarrollo de las especies introducidas. Para los climas templados y fríos la resistencia a este último es de la más alta importancia. En las resinosas la brotación muy precoz en la primavera.

Las especies exóticas deben ser conocidas en su variabilidad natural, procurando saber si existen razas geográficas o ecotipos. Las condiciones climáticas de origen se deben asemejar aquellas del nuevo local. El mayor cuidado se debe dar el de no introducir enfermedades o plagas de las especies introducidas que vengán a traer graves problemas futuros.

La multiplicación vegetativa es un auxiliar en los trabajos de mejora de las especies forestales, por ella pueden ser mantenidas las plantas seleccionadas lo que da las posibilidades de los ensayos de clases. Hay ciertas limitaciones en el empleo de clases debido a un fenómeno conocido por "*topophysis*" que es el efecto fisiológico perdurable sobre el crecimiento de un descendiente de una clase, por influencia de la edad del ancestral o del lugar de origen (Sotolongo-Sospedra, 2021).

El **injerto** es el medio más usado en la fruticultura para la propagación comercial de casi todas las especies. También en los procesos de mejora forestal se usa el injerto (Figura 66) para acelerar la obtención rápida de nuevas generaciones. El país que más usa el injerto forestal es Suecia, a través del gran número de plantaciones de manzanos para la producción de semillas.

Figura 67. Injerto en *Fagus*.



En los países sujetos a las caídas bruscas de temperatura el **estaquillado** es practicado al finalizar el invierno o comenzando el verano. En el primer caso se la realiza en los viveros. Actualmente se aplican hormonas para facilitar el crecimiento de las plantas. La estaquea es hecha con ramas jóvenes y vigorosas, exentas de plagas y enfermedades.

9.3 MÉTODOS DE MEJORA

Entre los métodos de mejora existen tres grupos: la **mutación inducida** representa la mutación génica y la mutación cromosómica o poliploide. En ellas generalmente se incluyen los métodos de reproducción vegetativa, aclimatación, ensayos de clases y ensayos de progenies. Puede ser combinada con otros procesos de mejora como la selección y la multiplicación vegetativa. Observaciones demostraron que en las pináceas los cromosomas son bastante uniformes y estables. La constancia del número de cromosomas y la fertilidad de los híbridos interespecíficos indican que la diferenciación entre especies está basada primeramente sobre las mutaciones de genes individuales. Las pináceas tienen núcleos celulares muy grandes por eso son sensibles a los efectos genéticos y somáticos. Por efecto de un agente inductivo que modifique la química de las moléculas de la célula y una parte del gen fuese alanzada, por cierto, que habrá una mutación.

En la **selección** se utilizan las variaciones hereditarias ya existentes en las plantas. Si este proceso se da combinado con otras técnicas, tales como el ensayo de progenie, la reproducción vegetativa se vuelve más eficiente. La selección masal se ejecuta sobre plantas silvestres y bastante variadas, siendo de fácil y barata ejecución. Se puede mejorar la selección masal adoptando el raleo en viveros. Si se conocen los caracteres juveniles, que pueden ser constatados en vivero en una correlación positiva de la plántula (crecimiento y ramificación) con los mismos caracteres del futuro árbol, habrá una selección. Otro proceso de selección está en el control del polen en las plantas dioicas.

Para la selección masal en plantaciones se deben escoger áreas o plantaciones para la producción de semillas, denominada de selección fenotípica, es la selección de los árboles padres de donde se obtienen las semillas. Un segundo tipo es la selección masal en plantaciones obtenidas de polinización libre: colectando las semillas a partir de árboles seleccionados. Las semillas son mezcladas e instaladas en una plantación aislada (F_1). Escoger las semillas de esa plantación en la época oportuna y establecer un segundo campo para semilleros (F_2). Un tercer tipo trata de la selección masal en plantaciones obtenidas por polinización controlada, donde se procede al cruzamiento controlado en los árboles plus. Los pasos siguientes son los mismos que en el anterior. Resultados de los métodos en *Eucalyptus* (Brasil) plantación con semillas sin selección 194,17 m³/ha, plantación con semillas seleccionadas 246,75 m³/ha.

La hibridación tiene como principal objetivo la domesticación de las varias características ya existentes en las plantas, en la esperanza de obtener las ventajas siguientes: mayor vigor del híbrido en la denominada heterosis (Sotolongo-Sospedra, 2021); combinar caracteres no comunes de dos países y descubrir los genes perjudiciales; además de la posibilidad de obtenerse nuevas variedades sintéticas de gran valor. Para confirmar ese mayor valor de una variedad se puede usar el ensayo de progenies padrón que fueron plantadas, a este proceso se denomina de intermutación de progenies con una variedad padrón.

Se debe hacer una distinción entre cruzamientos ultra e interespecíficos. Los primeros serán más fértiles y por eso más fáciles de obtener, generando avances, en tanto que los segundos tienden más a ser estériles y por tanto es más difícil de proseguir con ellos en generaciones posteriores. Se espera obtener una heterosis en el híbrido F_1 sea entre individuos o poblaciones de la misma especie o de especies diferentes; recombinaciones y transgresiones en generaciones avanzadas de F_2 a F_n ; reforzamiento de alguna característica útil del híbrido F_1 por medio del retrocruzamiento del individuo de F_2 con uno de los árboles padres.

El **árbol plus** representa la base de la mejora por selección e hibridación. Por su superioridad fenotípica se procura encontrar una correspondencia genotípica, por medio de ensayos de descendencia en clases. Solamente después de los ensayos es que se tendrá un árbol elite, se aprobada. Todavía se lleva en consideración la producción en volumen, las propiedades tecnológicas de la madera y la resistencia a ciertas parasitas. Entiéndase, como árbol plus al

individuo que positivamente es divergente, de madera notable, cuando confrontada con otros árboles de comparación; y en particular también divergente de árboles representando la media de la plantación.

Existen tres tipos de pomares para producción de semillas, uno de ellos es una plantación de árboles mejorados que están aislados cuyo objetivo es reducir la polinización externa. Otro tipo está organizado a base de clases enjertadas, de plántulas que derivan de polinizaciones libres o controladas. En este segundo tipo de pomar, a. – los árboles plus son de la misma especie, seleccionados de una región geográfica específica o climática especial, constituyendo grupos de plantaciones. b. – los árboles plus son de la misma especie, sin embargo, originados de diferentes regiones geográficas, llamados de pomares de semilleros de procedencia. c – los árboles plus son de diferentes especies cuyo objetivo es reducir los híbridos interespecíficos. Un tercer tipo son los pomares de semillas de cruzamiento de especies (*species crossing seed orchards*).

10. ECONOMIA FORESTAL

La *economía forestal* es la que dará las reglas para la solución de los problemas económicos de la empresa forestal. Sin medir, ni contar ni pensar en las actividades forestales no se tendrá una idea del futuro económico de una empresa en términos de emprendimiento lucrativo y sin existir los datos para modificar la orientación de una empresa cuando entre en dificultades.

Después de establecida la empresa forestal por algunos años se hace difícil la transferencia de un área para otra; los estudios preliminares para su instalación deben ser fundamentados en los conocimientos de la economía y su funcionamiento futuro tendrá siempre problemas económicos a resolver. Si los negocios corren bien para la empresa forestal es posible con la asistencia del economista forestal, o lucro también pueda crecer bastante.

La economía forestal se originó del problema de la desproporción entre las necesidades permanentes y los recursos escasos para cubrirlas (Valentin, 2000; Lebedys y Li, 2015; Hernández-Díaz *et al.*, 2015). La existencia de esos dos factores simultáneamente es hoy en día la preocupación de la economía.

En cuanto hubo abundancia de los productos forestales no había necesidad de la economía, porque el bosque no era un bien económico. La actividad económica significa disponer metódicamente sobre los recursos escasos para una satisfacción óptima de las necesidades materiales permanentes.

Cuando se pretende conocer la producción de madera en algún país, previamente se debe entender las diferentes influencias que actúan en la producción correspondiente. Se deben establecer algunos parámetros directamente vinculados con los bosques, tales como: el crecimiento de las diferentes especies forestales, en los varios lugares ecológicos, con incrementos en la orden de 1 a 30 m³/ha/año (Speidel, 1966).

El material en crecimiento actual, considerándose la composición de las edades o diámetros y la densidad del bosque, las posibilidades de transporte que influyen en la selección de las especies forestales, en la intensidad de la producción además de las condiciones de la economía y de la política forestal, como utilización de la madera, tamaño de la empresa forestal y estímulos de la legislación forestal del país, de la extensión forestal y del cooperativismo del sector. El consumo de productos forestales tiene las mismas dificultades de la producción. Con el aumento de la población crece el consumo de productos forestales.

En cualquier país ocurrirá ciertamente lo que aconteció con los países europeos y de América del Norte. A medida en que el nivel de vida mejora con las facilidades de la actual civilización, aumenta también el empleo del papel para todas las finalidades, lo mismo acontece con la madera rolliza.

El consumo aumenta anualmente después del anterior, lo que obliga a los ingenieros forestales a crear condiciones para la reposición de los productos forestales consumidos. Los métodos indicados y bien conocidos son: (1) introducción de una economía forestal actualizada para substituir las explotaciones anti económicas; (2) utilización de los bosques dentro de regímenes que las transformen de producción perene; (3) transformación de los bosques con producción insuficiente en bosques manejados capaces de producir madera industrial; (4) replantación para atender la demanda de mayor urgencia industrial, como carbón para siderurgia, pasta para papel en áreas definitivamente destinadas para estas finalidades (Lebedys y Li, 2015).

Figura 68. Carbón vegetal para exportación.



Figura 69. Producción de celulosa para la fabricación de papel.



Los **desembolsos** incluyen el pago de salarios a operarios y administrativos. A estos salarios hay que añadir un 30-50 % de costos sociales oficiales, alquileres, compra de plántulas y semillas, adquisición de máquinas, etc. es decir todo pago a la vista o a crédito, sin o con compensación productiva. Los costos sociales se necesitan para mejorar la situación social de los trabajadores y empleados, en tres formas: seguridad, mejora de las viviendas y mejora de las condiciones de trabajo.

Los **gastos** incluyen todos los desgastes de valores o de material, incluso la energía eléctrica, expresados en valores monetarios dentro de la empresa. Los gastos surgen en el momento del consumo, los desembolsos en el momento de la salida de pagos.

Los **costos** son la suma de los valores consumidos para la producción de la empresa. Los costos se dividen en dos tipos: administrativos y de material. Entre los administrativos están los salarios y entre los de materiales los relativos a las plantaciones, viveros, cortas, construcción de caminos, transporte, protección forestal, administración y planificación forestales (Hernández-Díaz *et al.*, 2015).

El tiempo para las plantaciones está limitado por las condiciones de trabajo, donde se hace necesaria una planificación exacta en coordinación de sus varias etapas: (1) determinar el área de la plantación futura; (2) preparación del terreno: desplazamiento, arado, gradeo y marcado de los huecos escogiendo el tipo de acuerdo con el terreno; (3) producción de las plántulas en vivero(s) la cantidad adecuada y el correspondiente transporte al local de la plantación definitiva, (4) siembra y repicado, prever la cantidad de plántulas necesarias teniendo en cuenta los refugios; (5) plantío propiamente dicho, la siembra directa, los cuidados especiales con los insectos cortadores que deben ser previamente combatidos; (6) la replantación por la muerte de algunas plántulas.

Figura 70. Costos en viveros: repicaje de plántulas.



Todas estas etapas deben estar sobre rígidos controles. Existen tres maneras para la obtención de las plántulas. A empresa forestal produce en sus propios viveros; la empresa compra de viveristas lo que en ciertas condiciones puede ser más económico; la empresa produce parte y compra parte de las plántulas. El **costo de los viveros** importa más o menos en 5 % del costo total del emprendimiento.

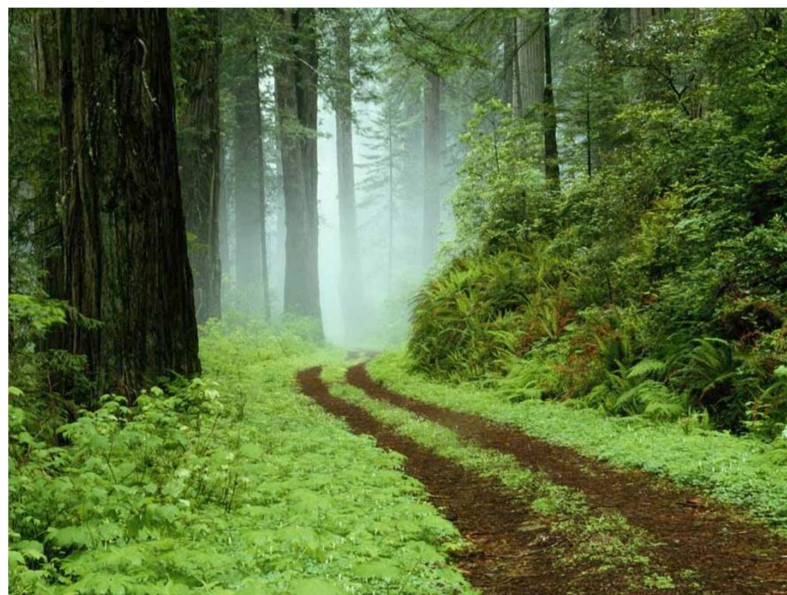
El **costo del corta** de los árboles está entre el 35 – 40 %. De estos 95 % son costos de salarios y adicionales sociales y 5 % de los costos de material aquí se incluye los costos de riesgo. Por ese motivo merece una planificación minuciosa. Anualmente se planean las cantidades a cortar, la distribución regional de los raleos y abates, el tiempo necesario para la realización del corta, el número de trabajadores y la organización del trabajo.

Figura 71. Costo de transporte.



Construcción de caminos forestales 15 %. Los caminos deben atender básicamente a los siguientes requisitos: transporte económico de personas, material y maquinaria, fácil acceso para el combate de los incendios forestales, facilitar el manejo y control por pesticidas, favorecer el drenaje.

Figura 72. Caminos forestales.



Costo de protección de 5 – 10 %. Se incluye el costo de profilaxis. Bosques misturados pueden tener incrementos menores que los homogéneos. Costos para el servicio de advertencia (grupos de observación, patrullaje, etc.). Costos para combate contra peligros, riesgos, depreciación del equipamiento y material.

Figura 73. Torres de observación para defensa contra incendios forestales en Curitiba (Brasil).



10.1 PLANILLA FINANCIERA

El propietario de la empresa forestal visará siempre el éxito económico derivado del rendimiento forestal, además de que podrá considerar también las siguientes fuentes: el rendimiento neto del terreno; el rendimiento neto del bosque que corresponde al volumen de la madera en crecimiento; el rendimiento bruto del bosque y el máximo de la productividad maderera (Speidel, 1984; Lebedys y Li, 2015; Hernández-Díaz *et al.*, 2015).

Varias actividades pueden estar basadas dentro del t3pico, satisfacci3n social. El propietario puede tambi3n querer transformar su empresa en s3mbolo hist3rico. Pude formarla seg3n su idea sobre el paisaje, o podr3 querer formar un modelo de empresa como centro de extensi3n forestal.

Escala del Rendimiento Neto del Terreno

Modelo de la empresa forestal normal

$V_T \cdot 0,0i = \text{Capital} \cdot \text{Intereses}$. Capital del terreno forestal.

$$V_T \cdot 0,0i = \frac{C_r + \text{£} D - (p + r \cdot a) - r \cdot V_{ar} \cdot 0,0i}{r}$$

V_{ar} = Valor medio de una hect3rea
 p = costo de la plantaci3n
 a = costo de la administraci3n
 C_r = Costos del corta
 r = rotaci3n
 $\text{£} D$ = rendimiento de los raleos

Escala del Rendimiento Neto del Bosque

Como capital forestal aparece el capital forestal m3s el capital del terreno $V_{ar} + V_T$.

Renda m3xima anual $(V_{ar} + V_T) \cdot 0,0i \rightarrow$ m3ximo.

Siendo la renda anual, el rendimiento menos los costos anuales:

$$(V_{ar} + V_T) \cdot 0,0i = \frac{C_r + \text{£} D - (p + r \cdot a)}{r}$$

Escala del Rendimiento Bruto (para atender la situaci3n del mercado de la 3poca).

$$\text{Rendimiento bruto anual} \rightarrow \frac{C_r + \text{£} D}{r} \quad \text{m3ximo}$$

Escala de la Productividad (m3ximo de productividad)

$$\frac{(C_r + \text{£} D - (C_{mat} + C_{terc} + C_{depr}))}{r} \quad \text{m3ximo}$$

Las diferencias marcantes de cada escala son, en la pr3ctica, la determinaci3n de la rotaci3n "r".

Tasa de inter3s $i = 4 \%$

Valores hipot3ticos: Costo de implantaci3n 40,00 US\$ / ha

Costo de administraci3n 2.000 US\$ / ha

Cuadro 4. Cálculo de la rotación financiera para un bosque normal

Edad <i>r</i>	<i>C_r</i> US\$	£ D US\$	(<i>C</i> + £D) (<i>p</i> + <i>r</i> · <i>a</i>) US\$	Var · 0,04	<i>C_r</i> + £D	Moneda US\$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
20	30.000	15.000	-35.000	40.000	-75.000	- 3.750
25	60.000	30.000	+ 0	54.000	-54.000	- 2.160
30	78.000	48.000	+26.000	71.000	-45.000	-1.513
35	90.000	57.000	+ 37.000	91.000	-54.000	- 1.526
40	96.000	63.000	+ 39.000	114.000	-75.000	- 1.890
45	99.000	66.000	+ 35.000	139.000	-104.000	- 2.315

1. Cálculo: $30.000 + 15.000 - (40.000 + 2.200) = 45.000 - 80.000 = -35.000$

2. El cálculo de *Var* fue realizado separadamente en la base del valor productivo para todos los miles desde cero años hasta la edad de la rotación (*r*).

3. Columna 4 menos columna 5 $(- 35.000 - 40.000) = - 75.000$

4. Columna 6 dividida por la edad de la rotación: $(- 75.000 / 20) = - 3.750$

La señal negativa significa que la tasa de interés fue muy alta. El propietario del bosque exige de ella un pago de intereses anuales superior a su capacidad.

Cuadro 5. Cálculo de la **rotación que dará un máximo de rendimientos netos** del bosque.

<i>r</i>	<i>C_r</i> + £ D - (<i>p</i> + <i>r</i> · <i>a</i>)	$\frac{C_r + \text{£ D} - (p + r \cdot a)}{r}$
20	- 35.000	- 1.750
25	+ 0	+ 0
30	26.000	866
35	37.000	1.057
40	39.000	975
45	35.000	777

Máximo de rendimiento a los 35 años.

Cuadro 6. Cálculo de la **rotación que ofrece el máximo del rendimiento**

$C_r^x + \text{£ D}^x \rightarrow$ máximo

Rotación (años)	C_r^x	£ D ^x	$\frac{C_r^x + \text{£ D}^x}{2}$	Costo del corta bruto y rendimientos de los raleos brutos
20	36.000	17.400	2.670	
25	72.000	35.400	4.296	
30	93.000	56.400	4.980	
35	108.000	67.200	6.007	Mayor rendimiento bruto, máximo a los 35 años.
40	114.000	74.400	4.710	
45	120.000	78.000	4.405	

Cálculo de la rotación de la máxima productividad

$$\frac{C^x_r + \text{£ } D^x - (\text{Cmat.} + \text{Cter.} + \text{Cdpr.})}{r} \rightarrow \text{máximo}$$

Considerando que los costos relativos son, más o menos 30 % del costo total, éste puede ser calculado por la diferencia del costo bruto (C^x), el costo de corta neto (C_2) y los rendimientos de los raleos ($\text{£ } D^x$) menos el rendimiento de los raleos netos ($\text{£ } D$) que darán el costo del corta.

Cuadro 7. Relación de costos.

r	C^x_r	$\text{£ } D^x$	Costo de material + terceros + depreciación	$\frac{C^x_r + \text{£ } D^x - (\text{Cmat.} + \text{Cter.} + \text{Cdpr.})}{r}$
	US\$	US\$	US\$	US\$
20	36.000	17.400	24.000	1.470
25	72.000	35.400	27.000	3.218
30	43.000	56.400	30.000	3.967
35	108.000	67.200	33.000	4.065
40	114.000	74.400	36.000	3.810
45	120.000	78.000	39.000	3.533

$$\frac{108.000 + 67.200 - 33.000}{35} = 4.065$$

Estos datos representan valores de ventas en 4.065,00 US\$

Cuadro 8. Resultados de los cálculos para diferentes rotaciones.

r	Renda líquida del terreno US\$	Renda líquida del bosque US\$	Renda bruta US\$	Productividad US\$
20	- 3.750	1.750	2.670	1.470
25	- 2.160	± 0	4.296	3.218
30	- 1.513	866	4.980	3.967
35	- 1.526	1.057	5.007	4.067
40	- 1.890	975	4.710	3.810
45	- 2.315	777	4.405	3.533

Los gobiernos son los dirigentes de la economía nacional. La estabilidad y el crecimiento de la economía nacional deberán satisfacer a tres grupos mencionados y opuestos:

a. Los empleados deben recibir salarios que les garantan lo suficiente para la vida cotidiana, equivalente a sus trabajos. Recibirán ayuda social en los casos en que ultrapase el poder económico (política salarial gubernamental).

b. El propietario debe obtener un beneficio satisfactorio que compense su riesgo y que obtenga lucros con vistas a la mejora y ampliación de la empresa, creando nuevas fuentes de

trabajo para atender a una población creciente (política de garantía de la propiedad y política de los impuestos de renta).

c. El Estado precisa de una parte de la renta de la empresa para realizar los servicios públicos (educación, justicia, salud, correos, caminos, etc.). Por otro lado, el Estado tiene la obligación de mantener un área mínima boscosa y asegurar la permanencia de utilidad máxima forestal.

En las zonas templadas una media de 20 a 30 % de los bosques llegan a evitar graves desventajas de un desmantelamiento. Este porcentaje fue calculado por Duhamel de Monceau (Speidel, 1984) en el siglo pasado. En las zonas tropicales caracterizadas por suelos inestables el área forestal a mantener debe alcanzar al menos el 40-60 % de la superficie nacional, asegurando que la planificación del uso de las tierras ocupadas por bosques se base en el principio de maximizar la producción de madera en el marco de la sustentabilidad, pues a medida que la población aumenta el consumo de madera crece (Oliver, 2015).

Los bosques deben estar distribuidos y manejados de tal forma que atiendan a la manutención de la fertilidad del suelo, la conservación del régimen de agua, la conservación de la humedad del aire, la protección contra vientos, la purificación del aire contaminado por los centros industriales y el recreo para los habitantes de los centros urbanos. El texto áureo de Hartig pronunciado en 1820 (Müller, 1959), puede ser enunciado hoy de la siguiente manera: "Mantener los bosques como formación cultural en las áreas necesarias y tratarlas de tal manera que den máxima utilidad a todas las generaciones, en la actualidad y en el futuro". Los bosques no pertenecen a la generación actual más ellos deben ser administrados como un fiel depositario que heredamos y debemos preservarlos produciendo permanentemente.

10.2 ESTRUCTURA DEL MERCADO MADERERO

El ambiente económico forestal cubre el ambiente natural constituido por los factores ecológicos, como el suelo, el clima, la topografía, etc. que influyen en la producción natural de los bosques en cantidad y calidad (Oliver, 2015).

La estructura del mercado maderero está relacionada con el uso de los productos forestales, leña, carbón, escora para minas, postes para cercas, postes de líneas eléctricas y telefonía, escora para las estructuras armadas, muebles, chapas compensadas, chapas de fibras, industria civil y naval. Esta diversidad en la búsqueda del mercado condiciona la selección de las especies forestales, la rotación aplicada, los productos obtenidos y los precios. El costo del transporte no debe ser evaluado apenas por la distancia en kilómetros, más por los tipos de transportes y por la densidad en que se use el retorno de ese transporte de productos forestales o viceversa.

10.3 PLANIFICACIÓN DE LA EMPRESA FORESTAL

La planificación de una empresa forestal debe ser ejecutada a largo plazo. La ordenación forestal abarca un plazo mínimo de 5 o más años. El área debe ser subdividida en distritos, sub-districtos, rodales, etc. La unidad mínima debe ser de 5 hectáreas (Speidel, 1966, 1984). Aquí se refiere a bosques nativos colocados en producción continua.

De pose del inventario forestal esbozado en el campo se pasa a anotar en fichas las tres situaciones, consideradas importantes. 1). La situación ecológica que trata de la descripción del relieve del terreno, del suelo, el tipo de propiedad y de la asociación vegetal. 2). Situación forestal que describe el tipo del arbolado con la distribución de las especies forestales, alturas de los diferentes doseles o estratos de copas, edad (clases de diámetros) y clases de producción, forma de la mezcla, regeneración, etc. 3). La situación de la producción maderera, precio de las especies forestales, diámetros, alturas, factores de densidad, volúmenes, crecimiento; productos no madereros, rendimientos madereros ya obtenidos (Lebedys y Li, 2015).

En la planificación individual se considera para cada rodal, datos sobre el crecimiento anual que posibilita determinar el volumen a ser cortado anualmente. Planificar la densidad de los accesos al área anual de corta, que también indica el área de la nueva plantación.

Métodos para la verificación del corta anual.

Ecuación de Herndeshagen (Speidel, 1984)

$$Corte = \frac{c \cdot Va}{100}$$

donde Va = volumen actual
 c = porcentaje entre crecimiento y volumen ideales

$$c = \frac{ci \cdot 100}{Vi}$$

Ecuación de Gehrhardt:

$$Corte = \frac{(I_a + I_i)}{2} + \frac{(V_a - V_i)}{C}$$

donde: I_a = incremento actual
 I_i = incremento ideal
 V_a = volumen actual
 V_i = volumen ideal
 C = plazo de compensación

que se precisa para transformar el volumen actual en un volumen ideal (volumen del modelo forestal normal) siendo generalmente un tercio o la mitad de la rotación.

$$\begin{aligned}Ia &= 8.000 \text{ m}^3 \\Ii &= 12.000 \text{ m}^3 \\Va &= 300.000 \text{ m}^3 \\Vi &= 350.000 \text{ m}^3 \\C &= 20 \text{ años}\end{aligned}$$

$$\frac{(8.000 + 12.000) + (300.000 - 350.000)}{20}$$

Para la medición del tiempo de trabajo se debe cronometrar en centésimos de minutos todas las fases del trabajo. Según la división de los trabajos parciales se puede preparar un formulario para la medición.

En la distribución del tiempo profesional

- te = tiempo efectivo (real de trabajo)
- tp = tiempo de preparación (preparo de los instrumentos, troca de ropa, abastecimiento de máquinas, etc.)
- td = tiempo de distribución
- tr = tiempo de reposo (descanso corto durante el trabajo)
- ti = tiempo de los intervalos (café, almuerzo)
- tc = tiempo de ida y retorno del trabajo.

La medición del tiempo (*tc*, *tp*, *td*, y *tr*) se refieren a las condiciones que pueden variar con el terreno, con el tipo de bosque, con la dureza de la madera y su peso. La segunda variable será la fuerza y la eficiencia, diferentes en cada operario.

Para obtener el grado de eficiencia (*Ge*) se utiliza la ecuación (Speidel, 1966, 1984):

$$Ge = \text{resultado real} \cdot 100$$

El resultado real está representado por el número de plántulas plantadas y los metros cúbicos cortados durante una hora. El resultado normal de la producción es el un operario hábil para la realización de tareas. Ejemplo: Si un operario normal consigue plantar 50 plántulas por hora y otro operario al mismo tiempo planta 60, el grado de eficiencia será:

$$\frac{60 \cdot 100}{50} = 120$$

En la investigación de la evolución del trabajo en cualquier lugar se debe considerar como importantes lo siguiente: el plano de trabajo, como se desarrolla o cuales son las fases del trabajo. Reconocimiento de todas las pérdidas de tiempo, constantes en la cooperación de los grupos de trabajo, impedimentos en el flujo del trabajo, instrumentos poco prácticos y uso inadecuado de las herramientas.

El estudio de orientación da una base cierta. Se debe considerar tres puntos: 1). medición del tiempo de trabajo, 2). evolución del trabajo, y 3). orientación por cronometraje.

Cuadro 9. Relación de tiempos

Operar proceso	A		B	
	veces	%	veces	%
Operar		50		38
Esperar		20		25
Andar		30		37
Soma	10	100	8	100

Fases del trabajo para preparar el abate de un árbol:

1. Llegar al árbol
2. Arrumar el lugar de trabajo
3. Rajar el entalle para la caída del árbol
4. Serrar y cavar cuñas en el árbol entero
5. Dejar caer
6. Serrar los bordes del entalle
7. Desramar y descortezar
8. Medir y marcar las secciones de la utilización
9. Serrar las secciones
10. Partir leña para pasta mecánica de los aprovechamientos
11. Baldear la madera para el lugar de la pilla
12. Empilar leña, madera para papel, postes etc.

Para preparar los formularios de medición que se utilizan en las plantaciones 3 a 8 y tratándose del corta de 1 a 3 días. En la marcación con reloj y cronómetro la diferencia no debe ser de más de 5 %. En casos de errores mayores se debe repetir las mediciones. La suma de los tiempos parciales se calcula y se obtiene el tiempo real de trabajo puro por unidad, que va a ser multiplicado por el grado de eficiencia del operario. El tiempo encontrado por unidad deberá ser implementado por los cortas propuestos de preparación. Los resultados no darán los datos para la planificación y distribución del salario individual y salario medio.

Por la ley de Hilfy (Speidel, 1984) se puede derivar una ecuación de la estimación del tiempo necesario para el corta de un metro cúbico de madera, en relación con el volumen del árbol:

$$T = \frac{A + B}{m}$$

T = tiempo para la preparación de un metro cúbico de producto (en minutos)

A = coeficiente

B = coeficiente

m = volumen medio de un árbol a ser abatido en el tallón.

Coeficientes

$$A = Tm^3 - 9$$

$$B = Tm^3 (1-9)$$

Tm^3 = tiempo en minutos por m^3 de corta y preparo del producto relativo por árbol medio de $1 m^3$.

Coeficiente 9 para el cálculo del tiempo de corta

Cuadro 10. Coeficientes para los diferentes productos.

Productos	Coeficiente
Fustes con corteza y descascadas	0,83
Madera corta en rollo	0,97
Madera para papel	0,99
Leña no partida	0,91
Leña partida	L,00

Para hallar el valor de los coeficientes A y B es necesario establecer el tiempo de corta medio por rodal y con el árbol medio. Supóngase que el tiempo gasto para preparar $1 m^3$ de cada producto fue:

trozas $95 m/m^3$ madera para papel
 $182 m/m^3$ de leña no rajada
 fustes de $140 m/m^3$

$$A = 95 \cdot 0,83 = 79$$

$$B = 95 \cdot (1 - 0,83) = 16$$

Madera para papel

$$A = 133 \cdot 0,99 = 180$$

$$B = 182 \cdot (1 - 0,99) = 2$$

Leña no rajada.

$$A = 140 \cdot 0,91 = 127$$

$$B = 140 \cdot (1 - 0,91) = 13$$

Con estos coeficientes se aplica las ecuaciones para el tiempo de corta por m³ de los fustes:

$$T = 79 + \frac{16}{m}$$

$$T = 79 + \frac{16}{0,4} = 119 \text{ minutos}$$

Por este procedimiento se pueden preparar tablas de tiempo para las varias especies forestales en minutos por metro cúbico de producto relativo.

Cuadro 11. Tiempos de trabajo

Valor del árbol medio cortar m ³	Tiempo de trabajo en minutos por metro cúbico		
	troza con corteza	madera para panel	leña sin partir
0,1	239	200	257
0,2	159	190	192
0,3	132	186	170
0,4	119	185	160
0,5	111	184	153
1,0	95	182	140
1,5	90	181	136
2,0	85	181	134
3,0	84	181	131
4,0	83	180	130
5,0	82	181	130

Será un poco difícil, a veces, encontrar un árbol con más de un metro cúbico para satisfacer los cálculos. Se seleccionan en dos rodales árboles medios bien diferentes, se mide el tiempo de trabajo sobre ellos y se determinan los coeficientes de las ecuaciones A y B como se sigue:

$$A = T_1 - \frac{T_1 - T_2}{m_1}$$

$$B = \frac{T_1}{\frac{1}{m_1}} - \frac{T_2}{\frac{1}{m_2}}$$

T₁- = tiempo de trabajo en el rodal 1

T₂- = tiempo de trabajo en el rodal 2

m₁ = volumen del árbol medio en el rodal 1

m₂ = volumen del árbol medio en el rodal 2.

11. PROTECCIÓN FORESTAL

Trata como su nombre indica de la preservación de los bosques ante el desmantelamiento irracional, así como protegerla de los ataques de los enemigos naturales y artificiales.

Fue así como antiguamente los terrenos desmantelados, después de abandonados, se cubrían rápidamente de vegetación forestal, evitando la erosión, y manteniendo la ecología de la región, esto no ocurre más, pues por el aumento demográfico y el avance de éste sobre el bosque hacen con que se dificulte la acción de proteger naturalmente la tierra, mucho más si a esto sumamos, el pastoreo, el hambre, la sed y otras calamidades derivadas del progreso que impiden toda practica conservacionista (González-Briones, s/año).

Figura 74. Incendios forestales.



Una de las soluciones del problema sería la reforestación artificial, una clasificación y delimitación de los suelos para los desarrollos agricultura, pecuaria y bosques, de acuerdo con lo estipulado en los códigos y leyes forestales de cada país, así mismo crear programas de educación comprensiva respecto a los trabajos elementares de conservación del suelo, y la creación de la consciencia forestal popular, a través de campañas permanentes de acción cívica.

Que los técnicos de los ramos agropecuarios coordinen sus actividades, dando máxima atención al hombre rural para que este reciba el mejor provecho de los recursos naturales renovables de su región. Otro aspecto fundamental en la protección forestal son los incendios forestales que en 99 % de los casos son provocados por el hombre.

Se sabe que los incendios forestales son de tres tipos: aéreo el de copas, subterráneo de las raíces y superficiales de los árboles, siendo que el más perjudicial es el primero seguido del subterráneo y finalmente los superficiales.

Figura 75. Resultados catastróficos de los incendios forestales.



Los daños causados por los incendios forestales son: referidas en los árboles que los predisponen al ataque de hongos; destruyen los árboles o por lo menos disminuyen (limitan) su crecimiento; los árboles nuevos mueren debido al calor excesivo; la cobertura vegetal herbácea desaparece; las semillas indispensables para la regeneración natural se queman, como se aprecia en la Figura 75. Como consecuencia de todo eso los problemas causados al suelo son inconmensurables, pues, se ayuda a la erosión de los ríos, que estos se secan, además de producir cambios en el clima.

Como solución a esta serie de problemas causados por los incendios forestales, la tarea fundamental de los técnicos forestales y órganos de gobierno es concientizar y educar al pueblo que es el mayor enemigo del bosque (González-Briones, s/año).

Por las estimaciones recientes se calcula que la pérdida en los bosques higrofiticos tropicales debido al hambre, están en 20 millones de hectáreas anuales.

En relación con las plagas y enfermedades podemos decir que los insectos, los organismos fitopatogénicos y las plantas semi-parasitas, forman un grupo de ataque que disminuyen lentamente las superficies de nuestros bosques.

Como medida para resolver estos problemas tendremos que intensificar las investigaciones que permitan conocer mejor los ciclos biológicos, hábitos alimentares, y sus relaciones con el medio ambiente a fin de proceder con el combate químico, biológico, silvícola y genético. Esto solo será posible si aumentamos el número de los técnicos especialistas en esos tipos de problemas.

La protección de los bosques contra plagas y enfermedades debe ser una tarea permanente (México, 2021; González-Briones, s/año), por cuanto los ataques se dan durante todo el año y en todas las fases vegetativas de los árboles.

En el año de 1854, el presidente de los Estados Unidos hizo a una tribu indígena la propuesta de comprar grande parte de sus tierras, ofreciendo, en contrapartida, la concesión de una otra reserva. El texto de la respuesta del jefe Seattle, distribuido por la ONU en 1978, y aquí publicado en la íntegra (*ipsis letris*) fue considerado, a través de los tiempos, uno de los más bellos y profundos pronunciamientos ya realizados al respecto de la defensa del medio ambiente.

“¿Cómo es que se puede comprar o vender el cielo, el calor de la tierra?” Esa idea nos parece extraña. “Se no poseemos el frescor del aire y el brillo del agua, como es posible comprarlos?”

Cada pedazo de esta tierra es sagrado para mi pueblo. Cada rama brillante de un piñero, cada puñado de arena de las playas, la penumbra del bosque denso, cada clarera e insecto al zumbar, son sagrados en la memoria y experiencia de mi pueblo. La savia que recorre el cuerpo de los árboles carga consigo las recordaciones del hombre rojo.

Los muertos del hombre blanco se olvidaron de su tierra de origen cuando van a caminar entre las estrellas. Nuestros muertos jamás se olvidan de esta bella tierra, pues ella es la madre del hombre rojo. Somos parte de la tierra y ella hace parte de nosotros. Las flores perfumadas son nuestras hermanas; el ciervo, el caballo, la gran águila, son nuestros hermanos. Los picos rocosos, los surcos húmedos en las praderas, el calor del cuerpo del potro, y el hombre – todos pertenecen a la misma familia.

Por tanto, cuando el gran jefe en Washington manda decir que desea comprar nuestra tierra, pide mucho de nosotros. El gran jefe dice que nos reservará un lugar donde podremos vivir satisfechos. El será nuestro padre y nosotros seremos sus hijos. Por tanto, nosotros iremos a considerar su oferta de comprar nuestra tierra. Más eso no será fácil. Esta tierra es sagrada para nosotros.

Esa agua brillante que corre en los riachos y ríos no es apenas agua, más la sangre de nuestros antepasados. Se les vendemos la tierra, ustedes deben se recordar de que ella es sagrada, y deben enseñar a sus niños que ella es sagrada y que cada reflejo en las aguas limpias de los lagos habla de acontecimientos y recordaciones de la vida de mi pueblo. El murmullo de las aguas es la voz de mis ancestrales.

Los ríos son nuestros hermanos, sacian nuestra sed. Los ríos cargan nuestras canoas y alimentan a nuestros niños. Si les vendemos nuestra tierra, ustedes deben recordar y enseñar a sus hijos que los ríos son nuestros hermanos y los suyos también. Y, por tanto, ustedes deben dar a los ríos la voluntad que dedicarían con cualquier hermano.

Sabemos que el hombre blanco no comprende nuestras costumbres. Una porción de la tierra, para él, tiene el mismo significado que cualquier otra, pues es un forastero que viene de noche y extrae de la tierra aquello de que necesita. La tierra no es su hermana, más su

enemiga, y cuando él la conquista, prosigue su camino. Deja para atrás los túmulos de sus antepasados, y no se incomoda. Rapta de la tierra aquello que sería de sus hijos y no se importa. La sepultura de su padre y de los derechos de sus hijos son olvidados. Trata a su madre, la tierra, y su hermano, el cielo, como cosas que pueden ser compradas, saqueadas, vendidas como carneros o adornos coloridos. Su apetito devorará la tierra, dejando solamente un desierto.

Yo no sé, nuestras costumbres son diferentes de ellos. La visión de sus ciudades hiere los ojos del hombre rojo. Tal vez sea porque el hombre rojo es un salvaje y no comprenda.

No hay un lugar quieto en las ciudades del hombre blanco. En ningún lugar donde se pueda escuchar el desabrochar de las hojas en la primavera o el batir de las alas de un insecto. Más tal vez sea porque yo soy un salvaje y no comprendo. El ruido parece solamente insultar a los oídos. ¿Y lo que resta de la vida si un hombre no puede escuchar el llanto solitario de un ave o el debate de los sapos alrededor de una laguna, en la noche? Yo soy un hombre rojo y no comprendo. El indio prefiere el suave murmullo del viento encrespando la superficie del lago, el propio viento, limpio por una lluvia diurna y perfumada por los piñeros.

El aire es precioso para el hombre rojo, pues todas las cosas compartirlas el mismo soplo – el animal, el árbol, el hombre, todos compartirlas el mismo soplo. Parece que el hombre blanco no siente el aire que respira. Como un hombre agonizante ya por varios días, es insensible al mal olor. Más si vendemos nuestra tierra al hombre blanco, él debe recordar que el aire es precioso para nosotros, que el aire compartirla su espíritu con toda la vida que mantiene. El viento que dio a nuestro abuelo su primer inspirar también recibe su último suspiro. Si les vendemos nuestra tierra, ustedes deben mantenerla intacta y sagrada, como un lugar donde hasta el mismo hombre blanco pueda ir a saborear el viento azucarado por las flores de las praderas.

Por tanto, vamos a meditar sobre su oferta de comprar nuestra tierra. Si decidimos aceptar, se impone una condición: el hombre blanco debe tratar a los animales de esta tierra como si fuesen sus hermanos.

Soy un salvaje y no comprendo cualquier otra forma de actuar. Vi un millar de búfalos podreando en la planicie, abandonados por el hombre blanco que los retiró de un tren al pasar. Yo soy un salvaje y no comprendo cómo es que el fumigante caballo de fierro puede ser más importante que el búfalo, que sacrificamos solamente para permanecer vivos.

¿O que es del hombre sin los animales? Si todos los animales se fuesen el hombre moría de una gran soledad de espíritu. Pues lo que ocurre con los animales, debe acontecer con los hombres. Hay una ligación en todo.

Ustedes deben enseñar a sus niños que el suelo a sus pies es la ceniza de nuestros abuelos. Para que respeten la tierra, digan a sus hijos que ella fue enriquecida con las vidas de nuestro pueblo. Enseñen a sus niños lo que enseñamos a los nuestros, que la tierra es nuestra madre. Todo lo que acontecer con la tierra, acontecerá a los hijos de la tierra. Si los hombres cuspen en el suelo, están escupiendo en sí mismos.

Esto sabemos: la tierra no pertenece al hombre; el hombre pertenece a la tierra. Esto sabemos: todas las cosas están ligadas como sangre que une a una familia. Hay una ligación en todo.

Lo que ocurrir con la tierra recaerá sobre los hijos de la tierra. El hombre no tramó el tejido de la vida; él es simplemente uno de sus hilos. Todo lo que hiciere al tejido, será a sí mismo.

Mismo el hombre blanco, cuyo Dios camina y habla con él de amigo para amigo, no puede estar acento del destino común. Es posible que seamos hermanos, a pesar de todo. Veremos. De una cosa estamos ciertos – el hombre blanco podrá venir a descubrir un día: que nuestro Dios es el mismo Dios. Ustedes pueden pensar que lo poseen, como desean poseer nuestra tierra; más no es posible. Él es el Dios del hombre, y su compasión es igual para el hombre rojo y para el hombre blanco. La tierra le es preciosa, y herirla es despresar a su creador. Los blancos también pasaran; tal vez más próximo que todas las otras tribus. Contaminen sus camas, en una noche serán sofocados pelos propios dejitos.

Más cuando de su desaparición, ustedes brillarán intensamente, iluminados por la fuerza de Dios que los trajo a esta tierra y por alguna razón especial les dio el dominio sobre la tierra y sobre el hombre rojo. Ese destino es un misterio para nosotros, pues no comprendemos que todos los búfalos sean exterminados, los caballos bravíos sean todos domados, los recintos secretos del bosque denso impregnado del olor de muchos hombres, y la visión de los muertos obstruida por hilos que hablan. ¿Dónde está el arbolado? Desapareció. ¿Dónde está el águila? Desapareció. Es el final de la vida y el inicio de la sobrevivencia.”

12. TECNOLOGIA DE LA MADERA

La madera es un material fibroso y celulósico de que se obtiene del fuste y las ramas de un árbol. Los componentes principales de la madera son: celulosa 50 %, lignina 30 % y resinas, taninos y azúcares en un total de 20 %.

La tecnología de la madera es la parte de la ingeniería forestal que estudia las características y propiedades de las especies maderables con la finalidad de determinar su mejor aprovechamiento en los diferentes sectores de la actividad humana. Se subdivide en las siguientes áreas: anatomía de las maderas; tecnología de las maderas (propiedades); productos forestales (también llamada de tecnología de productos maderables). Además de proporcionar subsidios para otras ciencias, permite dimensionar económicamente el valor de los bosques naturales y artificiales con base en los productos finales de ellos obtenidos.

12.1 ANATOMIA DE LA MADERA

Trata del estudio de la estructura de la madera y en base de ésta, se llega al reconocimiento botánico, así como sirve de apoyo a la tecnología de la madera ofreciendo datos referentes a los aspectos micro y macro morfológicos de las maderas.

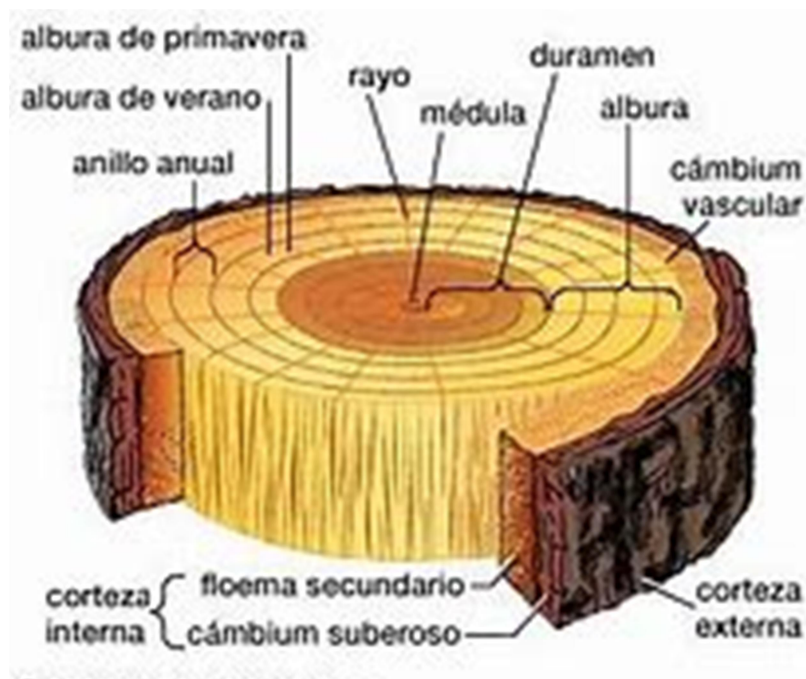
Trabaja íntimamente ligada con la dendrología y taxonomía, y colabora con la química de la madera indicando los componentes de la estructura de los árboles. Así se puede decir que en las monocotiledóneas en general, en el corte transversal permite ver una dispersión de los haces libero-leñosos por entre las células del parénquima. En las dicotiledóneas y las gimnospermas se observa un solo ciclo de haces libero-leñosos quedando el líder para dentro y el leño para fuera. El cambio metabólico provoca la formación de cilindros del xilema y floema que en el corte transversal se presentan como anillos concéntricos, conocidos como **Anillos de Crecimiento**.

Seguidamente algunas definiciones de conceptos de importancia en la anatomía de la madera. **Parénquima** es el tejido constituido por células vivas, de formas y funciones diferentes, que llenan los espacios dejados por los demás tejidos. **Xilema** son los elementos traqueidas, fibras y parénquima leñosos. **Floema** es el principal tejido encargado del transporte de sustancias orgánicas. La xilema y el floema componen el sistema de conducción de las plantas, además de estar encargados del crecimiento de los árboles en los vegetales leñosos. La corteza es un producto de la actividad de una delgada capa de células meristemáticas, que constituyen el felógeno, y que al dividirse tangencialmente forman hacia el interior la felodermis y hacia fuera el ritidoma o corteza, tejido formado por células muertas que ejerce exclusivamente la función de protección.

La anatomía de las maderas (García *et al.*, 2003; Kollmann, 1959) estudia los diferentes tipos de células encontradas en el leño, de entre los cuales se citan: (1). las células parenquimáticas, radiales y axiales; (2). las fibras que son células de sustentación de las plantas en el sentido axial; y (3). los elementos vasculares (vasos), que están en el sentido axial y se denominan también de traqueidas.

El mejor proceso de identificación es el botánico (exsicatas), que con la ayuda de la micrografía, consiste en comparar láminas ya preparadas con otras especies forestales ya existentes. Los pasos para esta finalidad son: 1). obtención de muestras de los cortes: a partir de pedazos de madera de 2,0 x 2,5 x 2,5 obtenidos de discos de los árboles a diferentes alturas. Se preparan los bloques de madera por diferentes procesos con la finalidad de obtenerse láminas en los sentidos radial, transversal y longitudinal. 2). Orientación de los cortes: con ayuda de una lupa, navaja o estilete. 3). Hacer los cortes radiales y transversales de un bloque y el longitudinal de otro. 4). Hacer el acierto de las bordas de las láminas retiradas, con un bisturí o navaja. Observación: todas las operaciones de manoseo de los cortes a partir del micrótopo deben ser realizados con un pincel mojado en agua. 5). Montaje de las láminas: métodos de coloración simples o de dupla coloración, pudiendo ser temporarios o definitivos, en función de la técnica aplicada. 6). Identificación: propiamente dicha, con el auxilio de catálogos y muestras del material botánico.

Figura 76. Anillos de crecimiento.



Resumiendo, se pudiésemos decir es una especialidad muy importante para la Tecnología de la Madera, debido a las diversas informaciones que proporciona, para el uso correcto de las maderas.

Observando una sección transversal de dentro para fuera de un árbol, distinguimos cinco partes: 1). médula material esponjosa, constituye el corazón de los árboles; 2). el duramen es la parte más dura y duradera del tronco. Está constituida por tejidos que llegan al máximo de su desarrollo y resistencia; 3). albura o madera joven, que rodea a la madera madura y normalmente es de coloración diferente al duramen; 4). el líber es una capa de tejidos muy estrecha, que rodea la albura y sirve para conducir la savia descendente; 5). corteza es el tejido de cubierta del tronco, impermeable, sirve de protección a la estructura del tronco contra ataques de hongos, insectos y el hombre (García *et al.*, 2003; Kollmann, 1959; Tortorelli, 1956).

Entre los estudios de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas se debe anotar que las maderas presentan diferencias muy notables dentro de un árbol, dependiendo si se está tratando es el tronco, las ramas, parte inferior o superior, raíz principal o secundaria, etc.

Las diferencias también están en otros aspectos tales como: edad del árbol, suelos húmedos y secos, regiones calientes o frías, de macizos forestales o aislados. Las **propiedades físicas** que más interesan son nueve: (1). Habilidad, que es la facilidad que tiene la madera para rajarse o partirse en el sentido de las fibras. (2). Dureza es la resistencia superficial que presenta la madera a la penetración por cuerpos extraños en su interior, como clavos, tornillos, filos de herramientas y otros útiles de corte. (3). Arqueadura es el curvado de la cara de una pieza de madera aserrada. (4). Facilidad al pulimento, depende de la especie, las maderas livianas tienen un mal acabado. (5). Plasticidad es la propiedad de las maderas para dejarse modelar (importante en la industria del mueble). (6). Densidad o peso específico, es la relación entre su peso y su volumen correspondiente, de las maderas (kg/m^3) y (g/cm^3). (7). Porosidad es la propiedad de que poseen los cuerpos de tener sus moléculas en un espacio vacío, llamados de poros. (8). Higroscopicidad es la propiedad de las maderas para absorber mayor o menor cantidad de agua, independiente del medio en que se encuentran. (9). Retractilidad o contracción, se refiere a la pérdida del volumen provocada por la reducción de la humedad de la madera. Sobre el punto seis, el peso específico o densidad básica de la madera, es la variable necesaria para la determinación de la biomasa de todos los árboles, aquí y allá. El valor de esa variable debe ser muy similar en todos los casos por lo que se creó el ítem en una tabla específica (Cuadro 12).

Cuadro 12. Valores del peso específico o densidad básica de la madera.

denominación	Intervalo de valores
maderas muy livianas	0,3 – 0,5
maderas livianas	0,51 – 0,65
maderas semi pesadas	0,66 – 0,80
maderas pesadas	0,81 – 0,95
maderas muy pesadas	> 0,96

Además de estas existen otras propiedades físicas que serán tratadas más adelante, citamos: homogeneidad, calor, olor, conductividad, durabilidad.

Ecuación para calcular la humedad:

$$H(\%) = \frac{P_i}{P_F} \cdot 100$$

donde: H = unidad en %
 P_i = peso inicial
 P_F = peso final

Entre las **propiedades mecánicas** de las maderas, ellas dependen principalmente del grado de humedad que poseen, de su densidad o peso específico.

Las principales propiedades mecánicas son cuatro. (1). La compresión, se refiere a la resistencia de la madera a la acción de una fuerza que tiende a amasar la madera, siendo que esta fuerza es mayor en el sentido perpendicular a las fibras. (2). Torsión es la resistencia provocada por la acción de las fuerzas de señal contrario que actúan alargando su sección longitudinal. (3). Resistencia al choque que es la resistencia que se opone a las piezas de madera cuando sometidas al choque de una pieza dura como el acero. La resistencia es mayor en el sentido axial, y menor en el sentido transversal. (4). Cizallamiento se refiere al esfuerzo que oponen las moléculas de una pieza de madera, a la acción de fuerzas paralelas que tienden a cortar la sección transversal de la madera (García *et al.*, 2003; Kollmann, 1959; Tortorelli, 1956).

Existen otras tres propiedades especiales de la madera, entre ellas se citan. (1). La propiedad de inflamación y combustión de las maderas. Las de mayor inflamabilidad son las coníferas debido a la presencia de resinas lo que las torna más aptas para el pirograbado (pirolisis). (2). Las propiedades térmicas de las maderas, mostraron ser buenos aislantes térmicos, gracias a sus propiedades de discontinuidad de su materia. (3). Las propiedades acústicas que también en la madera se presentan, impidiendo el ultra pasaje del ruido, siendo la mejor la del pino.

Para finalidad práctica de un estudio de las propiedades de la madera fueron imaginados pedazos denominados **cuerpos de prueba**. Para un muestreo del 15 % será suficiente 10 árboles por especie, considerando una buena intensidad del muestreo. El sistema de muestreo de los árboles debe ser al azar, para lo cual es necesario conocer la distribución y volumen de las especies. Es necesario hacer la colecta del material botánico de cada árbol seleccionado (Tortorelli, 1956).

La obtención de los cuerpos de prueba es de los toretes de los árboles abatidos, dentro de una sistemática prevista, y de acuerdo con las indicaciones de las normas COPANT, DIN, ASTM, ABNT, etc. Para los ensayos físicos se deben realizar hasta 35 repeticiones por cada especie y para los ensayos mecánicos hasta el 70 %. Para que los resultados: de los ensayos realizados (físico-mecánicos) se deben considerar algunos aspectos para que los resultados sean dignos de crédito: a) La muestra debe suplir una estimación imparcial de cada propiedad. b) La muestra debe permitir el cálculo de un intervalo, que tenga una probabilidad conocida de incluir la media real. c) Los límites de seguridad deben ser de 95 % para la población y 5 % de límite de exclusión. d) La muestra debe permitir el cálculo de un límite de tolerancia de que la probabilidad es de igual o menor de que el punto de porcentaje real.

En relación con el sombreado, teóricamente hay dos estrategias de distribución de las hojas en la copa en referencias a la luz: la uniestratificada y la multiestratificada. En la naturaleza las copas de los árboles se aproximan a una u otra estrategia, o presentan una distribución mixta de las hojas. Las hojas pueden ser gruesas y opacas, más las hojas de muchas especies son finas, de manera que es posible ver la luz verde pasar por ellas. Esto es porque la luz útil para la fotosíntesis es absorbida por los pigmentos de clorofila y carotinoides que es de tonalidad azul y roja, dejando así pasar el verde. La luz que llega al suelo, después de pasar por una o más capas de hojas, es proporcional a la proporción de claros en el dosel.

En cuanto existir fornecimiento suficiente de humedad y nutrientes del suelo para permitir una vegetación vigorosa a formarse, que reduce la luz que llega al suelo es menor del 20 % de la luz a pleno sol, entonces la luz está entre los factores limitantes para el crecimiento de las plántulas en aquella comunidad.

Además de recibir luz para el proceso de la fotosíntesis, otro problema para la planta está en disipar el calor excesivo. Parte de la luz que bate en una hoja es convertida en calor. Ese calor tiene que ser removido de la hoja para que la temperatura no suba progresivamente. Una pequeña parte del calor puede ser removida por conducción para el aire en vuelta de la hoja y, si hay viento, el calor es llevado más rápidamente. Más la parte no llevada de esta manera tiene que ser perdida por la transpiración.

La madera es el único material de construcción cuya proporción está en constante aumento. Al emplear la madera se consigue reducir y/o evitar el consumo excesivo de materiales no renovables. Esto es especialmente importante para los efectos de la construcción, donde se

emplean grandes cantidades de material leñosos y donde, en comparación, es sencillo y fácil sustituir otros materiales por la madera.

12.2 UTILIZACIÓN DE LOS PRODUCTOS

Las materias primas obtenidas de los árboles del bosque están formadas de composición química de la madera y otros productos del bosque, tales como propiedades físico-mecánicas que dicen de su mejor utilización de las especies. Es por eso y con justa razón que se afirma que de los bosques se obtienen más de 1.500 productos destinados a satisfacer las necesidades más diversas dadas por la vida moderna.

Tornando los productos más importantes obtenidos por la industria forestal, se incluye una lista de los usos, más comunes y de más consumo de la madera.

Entre los productos de uso más inmediato, están la leña y el carbón vegetal como combustible, los postes, vigas, listones, cercas y durmientes.

Figura 77. Leña industrial.



Si la madera está aserrada, se obtiene de ellas tablas, planchones y costaneras. Como materia prima de uso industrial se tiene de los fustes industriales: ceras, aceites, materia prima para los alimentos, cortezas, semillas, tanino, bálsamo, látex, entre otras.

De acuerdo con Baker (Kollmann 1959), entre los productos semi elaborados, están los juguetes; construcciones rurales (prefabricados); muebles rústicos, escritorios, madera torneada; instrumentos musicales; juegos de salón; palitos de dientes; palitos de fósforo; escaleras y corre manos; botes; cajas de embalaje; puertas; ventanas; formas de zapatos; implementos agrícolas;

implementos decorativos; utensilios de cocinas; tablas, tacos; para varios usos; cestos; acabados de interiores; silos de almacenaje; ataúdes.

Figura 78. Muebles de madera.



Figura 79. Pallets de madera.



Figura 80. Casas pré-fabricadas de madera.



Entre los productos de elaboración compleja, están el carbón activo; explosivos; aglomerados, compensados, laminados y tablas de fibra; barcos; alcohol metílico; pinturas, tintas; celulosa, filmes de cinema; discos, ácido acético; alquitrán; papel, papelón, cartones; cosméticos en general; medicamentos; ácido piroleñoso (más de 10 derivados); libros, cuadernos; cimientos para vidrios; chapas de fibra; azúcares y ésteres; glicerina etc. Además de estos beneficios producidos por el bosque, vale la pena señalar que las demás actividades de la vida diaria, también se encuentran ligados a los bosques, toda vez que en ella se regulan las condiciones ambientales, climatológicas, del suelo, salubridad, social y educativa de las poblaciones. Se torna importante en el estudio de las propiedades físicas y mecánicas de la madera como en el tratamiento de los preservativos químicos para aumentar su resistencia y durabilidad en el aprovechamiento como productos industrializados.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aubréville, A. (1961). Étude écologique des principales formations végétales du Brésil et contribution à la connaissance des forêts de l'Amazonie brésilienne. Nogé-sur-Marme (Seine), Francia, Centre Technique Forestier Tropical. 268p.
- Arantes de Barros, D.; Machado, S. A.; Acerbi Junior, F. W.; Scolforo, J. R. S. (2002). Comportamento de modelos hipsométricos tradicionais e genéricos para plantações de *Pinus oocarpa* em diferentes tratamentos. Boletim Pesquisa Florestal, Colombo (Brasil), n.45, 3-28
- Avery, T. E.; Burkhardt, H. E. (1993). Forest measurements. New York (USA), McGraw – Hill. 408p.
- Bitterlich, W. (1984). The relascope idea, relative measurements in forestry. Slough (England), Commonwealth Agricultural Bureaux. 242p.
- Cailliez, F. (1980). Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos. v.1. estimación del volumen. Roma (Italia), FAO. 92p.
- Cochran, W. (1963). Sampling techniques. 2ed. New York (USA), Willey. 549p.
- Corona, P.; Berti, S. (2010). Silviculture: forest products, certification and wood chain in Italy. L'Italia Forestale e Montana, 62(5): 245-250.
- Cossio, G. (1970). Diseño de inventario y cálculo de precisión. Notas Técnicas, Bogotá (Colombia), 1(4): 21-30.
- Diéguez Aranda, U.; Barrio Anta, M.; Castedo Dorado, F.; Ruíz González, A. D.; Álvarez Taboada, M. F.; Álvarez González, J. G.; Rojo Alboreca, A. (2003). Dendrometría. Madrid (España), Artes Gráficas Cuesta. 327p.
- FAO. (1971). Silvicultural research in the Amazon. Roma, Italia. 192p.
- FAO. (1993). Management and conservation of closed forest in tropical America. Roma (Italia). 141p. (FAO Forestry Paper, 101)
- FAO. (2021). 2021 The state of food security and nutrition in the world, transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Roma (Italia). 211p.
- Ferreira de Souza, P. (1975). Terminologia florestal, glossário de termos e expressões florestais. Rio de Janeiro (Brasil), IBGE. 304p.
- Finger, C. A. G. (1992). Fundamentos de biometria florestal. Santa Maria (Brasil), Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Pesquisas Florestais. 269p.

- Figueiredo, E. O.; Scolforo, J. R S.; A. D. de Oliveira. (2006). Seleção de modelos polinomias para representar o perfil e volumem do fuste de *Tectona grandis* L.f. *Acta Amazonica* (Brasil), 33(4): 465-482.
- Freese, F. (1962). Elementary forest sampling. Washington, USDA Forest Service. 91p. (Agricultural Handbook, 232).
- García Esteban, L.; Guindeo Casasús, A.; Peraza Oramas, P.; De Palacios de Palacios, P. (2003). La madera y su anatomía: anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular. Madrid (España), Mundi-Prensa. 330p.
- González-Briones, E. C. (s/año). Plan de protección contra incendios forestales, comuna de la Serena. Santiago de Chile, CONAF. 56p.
- González-Doncel, I.; García Pereda, I.; Muñoz, C.; Donés, J.; Gil, L. (2012). Los primeros trabajos de ordenación de montes en España: Agustín Pascoal y los pinares de Valsaín (1845 – 1868). 18p. Conferencia: IV Reunión Grupo de Trabajo de Historia Forestal
- Heringer, E.P. (s/data). Sin notas dactilografiadas.
- Hernández-Díaz, J. C.; Pérez-Verdín, G.; Corral-Rivas, J. J.; Pinedo-Álvarez, A. (2015). Conceptos económicos y financieros básicos para la toma de decisiones en la actividad forestal. *In*: Manejo de Recursos Naturales y Sustentabilidad, Universidad Autónoma de Nueva León, Facultad de Ciencias Forestales, Nueva León (México). pp.32-58.
- Husch, B.; Miller, Ch. I.; Beers, T. W. (1972). Forest mensuration. New York (USA), Ronald Press. 410p.
- Imaña-Encinas, J. (1990). O significado místico da árvore. *Humanidades* (Brasília), 7(1): 49-53.
- Imaña-Encinas, J. (1991). Inventário florestal por faixas de amostragem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* (Brasília), 26(1): 25-30.
- Imaña-Encinas, J. (1992). Medición del DAP en terrenos inclinados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. (Brasília), 27(8): 1113-1116.
- Imaña-Encinas, J. (1998). *Dasometria prática*. Brasília, Universidade de Brasília, Editora Universidade de Brasília. 112p.
- Imaña-Encinas, J. (2002). *Variáveis dendrométricas*. Brasília, Universidade de Brasília, Editora Universidade de Brasília. 102p.
- Imaña-Encinas, J. (2011a). *Mensura dasométrica*. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 113p.
- Imaña-Encinas, J. (2011b). *Slides de aula da disciplina dendrometria*. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal. 231p.

- Kleinn, C.; Magnussen, S.; Nolke, N.; Magdon, P.; Álvarez-González, J. G.; Fehrmann, L.; Pérez-Cruzado, C. (2020). Improving precision of field inventory estimation of aboveground biomass through an alternative view on plot biomass. *Forest Ecosystems (USA)*, 7(57): <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00268-7>
- Kollmann, F. (1959). *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Madrid (España), Ministerio de Agricultura. 675p.
- Lamprecht, H. (1990). *Silvicultura en los trópicos*. Eschborn (Alemania), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit – GTZ. 335p.
- Langlet, O. (1962). Ecological variability and taxonomy of forest trees. In: T. T. Kozlowski (ed), *Tree growth*. New York (USA), Roland Press, p.357-369.
- Langlet, O. (1963). Patterns and terms of intra-specific ecological variability. *Nature, London (England)*, 200 (4904),
- Lanly, J. P. (1974). *Manual de inventarios forestales con especial referencia a los bosques mixtos tropicales*. Roma (Italia), FAO. 195p.
- Lebedys, A.; Li, Y. (2015). La contribución del sector forestal a las economías nacionales, 1990-2011. Roma (Italia): FAO. (Documento de trabajo sobre finanzas forestales FSFM/ACC/09). 160p.
- Loetsch, F.; Haller, K. E. (1964). *Forest inventory, statistics of forest inventory and information from aerial photographs*. v.1. Munich (Alemania), BLV. 436p.
- Loetsch, F.; Zoehrer, F.; Haller, K. E. (1973). *Forest inventory*. v.2. Munich (Alemania), BLV. 469p.
- Machado, S. A. (2020). Comunicación verbal. Brasilia, Encuentro Profesional.
- Mackay, W. F. (1964). *Dasometria: teoría y técnica de las mediciones forestales*. Madrid (España), Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 759p.
- Marcelo-Peña, J. L.; Reynel, C.; Zevallos, P. (2011). *Manual de dendrología*. Lima (Perú): CONCYTEC. 127p.
- McRoberts, R. E.; Tomppo, E. O.; Czaplewski, R. L. (s/año). *Diseños de muestreo de las evaluaciones forestales nacionales*. Roma (Italia), FAO. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/national_forest_assessment/images/PDFs/Spanish/KR2_ES__4_.pdf
- México. (2021). *Reglas de operación 2021, programa apoyos para el desarrollo forestal sustentable, componente V: Protección Forestal (PF)*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Comisión Nacional Forestal. 8p.
- Müller, R. (1959). *Grundlagen der Forstwirtschaft, in Übersicht, Zahl, Tabelle, Regal; Vorschrift, Gesetz* Hannover: M&H. Schaper Verlag, (Alemania). 1257p.

- Oliver, R. (2015). Europe's changing tropical timber trade, baseline report of the independent marked monitoring initiative. Yokohama (Japan): International Tropical Timber Organization, Technical Series 45. 76p.
- Prodan, M. (1965). Holzmesselehre. Frankfurt a. M. (Alemania), Sauerlaender's Verlag. 644p.
- Prodan, M., Peters, R., Cox, F. (1997). Mensura forestal. San José (Costa Rica), IICA/GTZ. 586p.
- Richards, P. W.; Wals, R. P. D.; Baillie, I. C.; Greig-Smith, P. (1996). The tropical rain forest: an ecological study. 2.ed. Cambridge (Inglaterra), Cambridge University Press. 599p.
- Romahn de la Vega, C. F.; Ramírez-Maldonado, H. (2010). Dendrometría. Universidad Autónoma de Chapingo (México), División de Ciencias Forestales. 294p.
- Santamarta-Cerezal, J. J.; Naranjo-Borges, J. (2013). Ingeniería forestal y ambiental en medios insulares, técnicas y experiencias en las Islas Canarias. Tenerife (España), Colegio de Ingeniero de Montes. 649p.
- Scolforo, J. R. S. (2005). Biometria florestal, parte I: modelos de regressão lineal e não lineal; parte II: modelos para relação hipsométrica, volumem, afilamento, e peso de matéria seca. Lavras, (Brasil), Universidade Federal de Lavras/FAEPE. 352p.
- Sotolongo-Sospedra, R.; Geada-Lopez, G.; Cobas-Lopez, M. (2021). Mejoramiento genético forestal, texto para estudiantes de Ingeniería Forestal. Roma (Italia): FAO. 52p. [Mejoramiento Genético Forestal \(fao.org\)](http://fao.org)
- Speidel, G. (1984). Forstliche Betriebswirtschaftslehre. Hamburg (Alemania), Parey. 289p.
- Speidel, G. (1966). Economia florestal. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Escola de Florestas (Brasil). 167p
- Spurr, S. H. (1952). Forest inventory. New York (USA), Ronald Press. 476p.
- Tortorelli, L. 1956. Maderas y bosques argentinos. Buenos Aires (Argentina), Editorial ACME, SACI. 891 p.
- Valentin, J. L. (2000). Ecologia numérica, uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos. Rio de Janeiro (Brasil), Interciência. 117p.
- Vanclay, J. K. (1994). Modeling forest growth and yield: applications to mixed tropical forests. Wallingford (Inglaterra): CAB International. 312p.
- Vidal-Gonçalves, G. (2019). Dendrocronologia: princípios teóricos, práticos e aplicabilidade. Universidade de Évora, (Portugal), SIDEHUS. 16p.
- Wagner, R. G.; Colombo, S. J. (Eds.). (2001). Regenerating the Canadian forest: principles and practice for Ontario. Fitzhenry and Whiteside, Markham ON in co-operation with Ontario Minnesota. Natural Resources. 650p.

Wang, G.G.; Siemens, A.; Keenan, V.; Philippot, D. (2000). Survival and growth of black and white spruce seedlings in relation to stock type, site preparation and plantation type in southeastern Manitoba. *Forest Chronicle*, 76(5): 775–782.

Young, H. E.; Tryon Th. C. (1978). A national forest biomass inventory. Bucarest (Rumania), IUFRO Proceedings.