

1.1 INTRODUCCIÓN

Durante la formación de ingenieros forestales se revisan un gran número de asignaturas, desde ciencias básicas hasta cursos profesionales. Existen disciplinas que son compartidas por otras carreras afines como la agronomía, la biología o la ingeniería civil. Sin embargo, existen otras disciplinas que sólo son propias de las Ciencias Forestales. Este último, es el caso de la mensura forestal, que junto a otras disciplinas como la silvicultura o la ordenación forestal, constituyen el núcleo básico de lo que se conoce como Ingeniería Forestal.

1.1.1. Propósito de las mediciones forestales

La utilización o conservación de los recursos forestales requiere de información de tipo cualitativa y cuantitativa respecto del estado de los mismos y de su evolución en el tiempo. En general, la mensura forestal genera información mayoritariamente de tipo cuantitativa, aunque a menudo mezclada con atributos cualitativos.

Una empresa forestal requiere saber cuanta madera aserrable, pulpable o debobinable contienen los árboles del bosque, o cuanto volumen por hectárea contiene un determinado rodal, o que cantidad de pies madereros se obtienen de una troza con diámetro “a” y largo “b”.

Para la elaboración del Plan de Manejo de un Parque Nacional se requiere saber la cantidad de superficie por tipos forestales y su ubicación geográfica (cartografía) de manera de poder asignar las categorías de uso que mejor cumplan con el objetivo de conservación del ecosistema del Parque.

Para la determinación de la calidad de los sitios forestales como habitat para avifauna es necesario correlacionar la concentración de aves con la densidad del bosque, el tamaño y densidad de las copas de los árboles, u otros atributos de la vegetación.

Son muchos los ejemplos que se podrían citar, pero se puede generalizar la idea estableciendo que la mensura forestal es, en conjunto con la cartografía y la teledetección, la herramienta básica para la evaluación y monitoreo del estado del bosque y de otros recursos vegetacionales.

1.1.2. Diferenciación entre Dendrometría, Dasometría e Inventarios Forestales

Las palabras dendrometría y dasometría provienen de la unión de las raíces griegas “dendron” (árbol) y “dason” (bosque) con la raíz “metria” (medición). De esta forma la dendrometría se refiere a la medición del árbol y la dasometría a la medición de bosques.

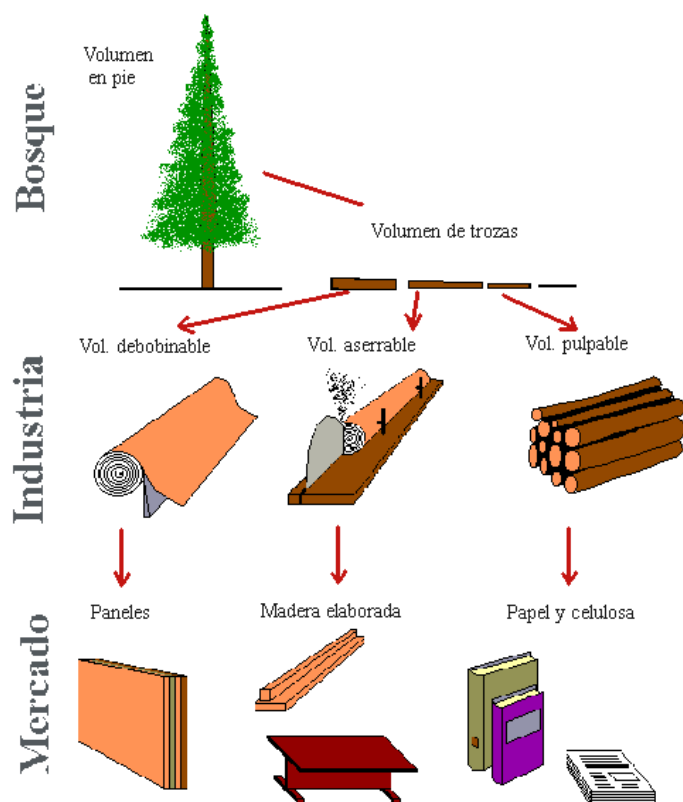
La dendrometría es la disciplina que se encarga de estudiar todas las variables de estado que definen al árbol, sus componentes y los productos que de él se originan (descripción estática). También incluye el estudio del crecimiento de los árboles a través de la evolución temporal de variables de interés como son los diámetros, alturas o volúmenes fustales (descripción dinámica).

La dasometría es la disciplina en la cual se estudian todas las variables de estado que definen al bosque. En general, se estudian los “parámetros de rodal” que dan cuenta de la situación general de un rodal usando la distribución de tamaños de los árboles (diámetros), la cantidad de área basal en el rodal, o la altura promedio de árboles de un mismo tamaño o diámetro fustal. Además incluye el estudio de la estructura y densidad de los bosques, las formas de evaluar la productividad de los sitios y la modelación del crecimiento de masas forestales.

Los inventarios forestales se encargan de la obtención de datos de terreno, principalmente vía aplicación de diseños de muestreo estadísticos, tanto de variables de estado de árboles (muestreo dendrométrico) como de variables de estado de masas forestales (muestreo dasométrico). Por ello, involucra la revisión de las nociones fundamentales de la teoría de muestreo y las principales aplicaciones en el ámbito forestal. En general, los dos grandes sub-temas bajo el marco de los inventarios forestales son el estudio de las unidades de muestreo a utilizar y el diseño de muestreo.

1.1.3. El rol de la dendrometría en la cadena productiva tradicional

El producto maderero final definirá cuán larga y compleja es la cadena productiva asociada a él a partir del árbol. Así por ejemplo una lámina de enchape debobinada tiene un largo proceso de pérdidas desde que está en el árbol como materia prima hasta que es integrado como parte de un tablero enchapado, en relación a la breve cadena productiva que se necesita para producir corteza, como cubre suelo en jardines. La identificación de todo el proceso productivo es vital para conseguir buenas estimaciones dendrométricas y dasométricas por cuánto no sólo basta definir el producto final sino que el proceso de conversión que le permite su obtención.



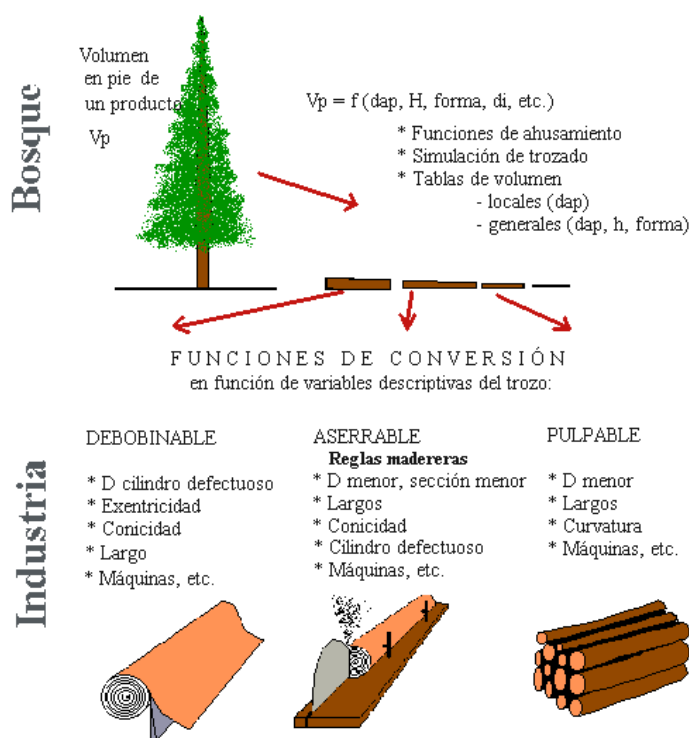
Por ejemplo, un tarugo de madera como producto final puede ser producido con distintos procesos de conversión mecánicos (taruguera, torno, moldurera) y cada uno a su vez requiere madera de distintas dimensiones como materias primas, y así sucesivamente hacia atrás hasta llegar al árbol.

Si se examina sólo este caso se llegará a la conclusión de que no basta saber sólo las características del árbol como materia prima y el producto final (tarugos) para cuantificar las pérdidas en el proceso, sino que además se requiere definir más objetivamente el proceso productivo -las máquinas y sus estándares de producción- para hacer inferencias correctas.

1.1.3.1 La función de pérdidas

Definido el o los productos finales y sus procesos de conversión respectivos, es posible entonces definir las funciones de pérdidas correspondientes. En general pueden tratarse como procesos independientes entre sí, y sujetos a errores de estimación. Se trata entonces de establecer las pérdidas en cada paso hasta llegar al proceso final. La función de pérdida es equivalente a establecer las funciones de productos, dado que lo que se intenta estimar es precisamente la recuperación (y por consiguiente, la pérdida) y sus factores asociados.

Las pérdidas se pueden clasificar básicamente de acuerdo al nivel en la cadena productiva en que se encuentra, así se puede observar con claridad que existen pérdidas en el proceso de volteo y/o de trozado, madereo y carguío hasta la entrada de los trozos como materia prima al próximo eslabón de la cadena productiva: una planta debobinadora o foliadora, un aserradero o una planta industrial de pulpa. De ahí hasta la salida del próximo eslabón de la cadena productiva se producirán nuevas pérdidas, y así sucesivamente, hasta llegar al consumo final.



1.3.1.2 Las funciones de productos

La estimación de productos depende de las características de la materia prima y de su proceso de transformación. Así por ejemplo una regla maderera es una función que estima el rendimiento de

un trozo aserrable como función de la conicidad, excentricidad, longitud y calidad de la madera así como de las pérdidas por corte y aserrío que permiten la obtención de la madera aserrada.

Aquí parece relevante indicar que las funciones de producción intentan estimar el producto final, como función de atributos de la materia prima respectiva. Así en un proceso de estimación de productos rollizos a partir de un árbol en pie, se utilizarán variables predictivas tales como el DAP, la altura total, algún indicador de forma, sitio, manejo o simplemente una función de ahusamiento.

En tanto en una troza debobinable se usará como predictor de rendimiento la excentricidad de la troza, su diámetro menor, el volumen, la conicidad y otros factores. De la misma manera las pérdidas quedan implícitas en la estimación del producto final.

1.1.4. Orden propuesto en éstos apuntes

Los apuntes de Dendrometría se ordenan de acuerdo a tres grandes grupos de temas:

- Introducción al estudio de la dendrometría
- Cronodendrometría y crecimiento de los árboles
- Descripción del árbol
- Productos de los árbol

La introducción considera la revisión de los conocimientos básicos a utilizar en el curso, la definición de los conceptos de medición, estimación y modelación, los principios básicos de medición de diámetros, alturas, los instrumentos para ello utilizados, y por último los conocimientos en estadística mínimos para poder entender y avanzar en el curso.

Los capítulos de cronodendrometría y crecimiento de árboles concentran sus contenidos en el estudio de la forma en que crecen los árboles para poder establecer las formas de medición y modelación más apropiadas. Se efectúa una revisión detallada de las técnicas de análisis de tallo, las cuales permiten analizar y modelar el comportamiento temporal de las variables de descriptivas de interés (diámetro, altura y volumen).

La descripción del árbol, involucra todos los temas referentes al estudio de los atributos y variables de estado que definen al árbol y sus componentes. Por su importancia en el ámbito forestal, debido a que determinan el tipo, cantidad y calidad de los productos a obtener en la cosecha forestal, se dedican varios temas al estudio de los diámetros fustales, su relación con las alturas fustales, la forma del fuste y su modelación a través de funciones de ahusamiento. Además, se dedica algún tiempo al estudio de la biomasa del árbol y sus componentes, y a la evaluación de copas y raíces. Se termina el capítulo con la descripción y análisis de los volúmenes fustales en pie, con y sin corteza.

Por último, para poder entender a cabalidad la relación existente entre los atributos y características de los árboles en pie con los productos finales, adquiribles en el mercado, se revisan los conceptos básicos en arquitectura de árboles, hábitos y calidades de la madera. Con los conceptos anteriores ya definidos se pasa al estudio de los criterios de trozado y simulación de trozado. Una vez definidas las trozas, se revisan las formas de transformación a productos finales, ya sea por estimación vía factores de conversión y ecuaciones de transformación, o a través de mediciones directas.

La organización de los apuntes tiene un enfoque operativo y se ha intentado ordenar los contenidos desde un punto de vista funcional, más cercano a la realidad en que se usa la dendrometría como herramienta de apoyo en todas las actividades forestales.

1.1.5 Simbología y Unidades de medida

En los diferentes capítulos de éstos apuntes se hace uso de una serie de abreviaciones, símbolos y unidades de medición que es necesario definir formalmente. Por ello, se presenta en primer lugar un listado de símbolos y, en segundo lugar, de las unidades de medición de uso común en mensura forestal.

1.1.5.1 Simbología

La tabla 1.2.1 presenta la simbología a ser usada durante el curso de dendrometría.

Tabla 1.2.1 : Simbología usada en dendrometría.

Simbología	Descripción
<i>D - Dap</i>	diámetro a la altura del pecho (1,3 m del suelo)
<i>d</i>	cualquier diámetro en el fuste
<i>d_h</i>	diámetro del fuste a la altura h
<i>Dt</i>	diámetro de tocón (0,3 m del suelo) [Dat]
<i>Dc</i>	diámetro de copa
<i>g</i>	área basal [$g = \pi r^2 = \pi/4 (D^2)$, con $r = D/2$]
<i>h</i>	cualquier altura en el fuste
<i>H</i>	altura total del árbol
<i>Hc</i>	altura de inicio de copa
<i>lc</i>	largo de la copa
<i>l</i>	largo de una troza del fuste
<i>v</i>	volumen
<i>E</i>	Edad del árbol
<i>q</i>	cuociente de forma
<i>f</i>	factor de forma
<i>B</i>	espesor de corteza
<i>s/c</i>	sin corteza
<i>c/c</i>	con corteza

1.1.5.2 Unidades de medición

Las unidades de medición se presentan ordenadas de acuerdo a la dimensión en que efectúan: de 1 dimensión (longitud), de 2 dimensiones (superficie) y de tres dimensiones (volumen). Adicionalmente, debido a su importancia en la actividad maderera, además del Sistema Métrico Decimal se hace referencia al Sistema Inglés.

Unidades de longitud

El metro¹, cuyo símbolo es **m** se usa como la unidad de referencia básica para la definición formal del resto de la unidades de medición.

Sistema Métrico Decimal

1 mm	: 1 milímetro	= 0,001 m
1 cm	: 1 centímetro	= 0,01 m
1 m	: 1 metro	
1 km	: 1 kilómetro	= 1.000 m

Sistema Inglés

1''	: 1 pulgada	= 2,54 cm ó 0,0254 m
1'	: 1 pie	= 30,48 cm ó 0,3048 m

Unidades de área

Sistema Métrico Decimal

1 ha	: 1 hectárea	= 100 m * 100 m = 10.000 m ²
1 km²	: 1 kilómetro cuadrado	= 1.000 m * 1.000 m = 1.000.000 m ² = 100 ha

Sistema Inglés

1 Acre	: 4.047 m ²	= 0,4047 ha
--------	------------------------	-------------

Unidades de volumen

Sistema Métrico Decimal

1 cm³	: 1 centímetro cúbico	= 0,000001 m ³
1 m³	: 1 metro cúbico	= 100 cm * 100 cm * 100 cm = 1.000.000 cm ³

Sistema Inglés

1 pie³	: 1 pie cúbico	= 0,3048 m * 0,3048 m * 0,3048 m = 0,0283 m ³
--------------------------	----------------	--

¹ En estricto rigor, un metro (1 m) se define como aquella longitud igual a 1/40.000.000 de la longitud del círculo formado por un meridiano estándar de la Tierra.

De madera aserrada:

1 pie maderero

$$= 1'' * 1' * 1' = 0,0254 \text{ m} * 0,3048 \text{ m} * 0,3048 \text{ m} = 0,002359 \text{ m}^3$$

1 pulgada maderera larga (nativo en Chile)

$$= 1'' * 10'' * 12' = 0,0254 \text{ m} * 10 * 0,0254 \text{ m} * 12 * 0,3048 \text{ m} = 0,02359 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, 1 pulgada maderera larga = 10 pies madereros.

1 pulgada maderera corta (pinera en Chile)

$$= 1'' * 10'' * 10,5' = 0,0254 \text{ m} * 10 * 0,0254 \text{ m} * 10,5 * 0,3048 \text{ m} = 0,02065 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, 1 pulgada maderera corta = 8,75 pies madereros.

De madera arrumada (en trozas)

$$1 \text{ metro ruma} = 1 \text{ m} * 1 \text{ m} * 2,44 \text{ m} = 2,44 \text{ m}^3 \quad (m^3 \text{ sólido}^2 \approx 1,66 \text{ m}^3)$$

$$1 \text{ metro estéreo} = 1 \text{ m} * 1 \text{ m} * 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^3 \quad (m^3 \text{ sólido} \approx (0,60 - 0,75) \text{ m}^3)$$

$$1 \text{ cuerda larga} = 4' * 4' * 10' = 4 * 0,3048 * 4 * 0,3048 * 10 * 0,3048 = 4,53 \text{ m}^3 \quad (m^3 \text{ sólido} \approx 3 \text{ m}^3)$$

$$1 \text{ cuerda corta} = 4' * 4' * 8' = 4 * 0,3048 * 4 * 0,3048 * 8 * 0,3048 = 3,62 \text{ m}^3 \quad (m^3 \text{ sólido} \approx 2,4 \text{ m}^3)$$

² m³ sólido quiere decir que se considera sólo el volumen ocupado por las trozas apiladas y no el espacio (aire) que se encuentra entre ellas.