

4.1 Arquitectura del árbol, hábito de crecimiento y calidad de la madera

La madera y sus defectos asociados

La madera y su calidad dependen estructuralmente de las características, distribución y tipo de tejido conformado por las células y sus inclusiones. Los defectos de la madera no son otra cosa que macro estructuras naturales tales como médula, ramas, corteza, conos, etc. y que en relación con los distintos tipos de uso que el hombre le dará, serán calificados como tales, dependiendo de la magnitud de su presencia, así como por ejemplo, un nudo vivo puede resultar atractivo en una pieza de madera a la vista, también puede ser considerada defecto si esta pieza será usada estructuralmente. Éstos dependen de la magnitud y agrupación de estos tejidos o macro estructuras en relación con la homogeneidad de la gran masa de tejidos que constituyen la pieza central de madera. Los elementos que definen el defecto son pocos y esencialmente los mismos: corteza, resina y médula considerados como incrustaciones e inclinación, viraje, longitud y densidad de la mal llamada "fibra". Una clara relación entre los defectos del trozo y sus pérdidas de clasificación como producto de la madera en referencia a su origen se muestra en las tablas siguientes:

Defectos del trozos	Desclasificación de productos
<i>Por hábitos de crecimiento y patrones específicos</i>	
Nudos	Grano inclinado. Bolsillos y líneas de resina y corteza. Holladuras. Fibra levantada. Mancha del nudo y pérdida de resistencia. Hoyos de nudos.
Engrosamiento nodal en el verticilo	Grano inclinado entre nudos. Agrupación de nudos.
Grano en espiral	Alabeo. Grano inclinado.
Madera juvenil	Pérdida de resistencia y estabilidad. Fibra espiralada.
Conicidad	Grano inclinado (excepto corte cónico)
Madera temprana y tardía	Grano levantado. Alabeo.
Madera de compresión	Alabeo. Pérdida de resistencia y estabilidad.
Duramen	Inestabilidad de resistencia y permeabilidad.

Relación entre defectos del trozo y desclasificación de productos.

<i>Por hábitos de crecimiento y aberración en los patrones de crecimiento</i>	
Hoyos de conos	Hoyos y acanaladuras.
Pecas	Manchas. Fibra espiralada.
Sinuosidad del fuste	Médula errática. Alabeo.
Curvatura	Madera de compresión. Fuste excéntrico. Grano inclinado.
Rajaduras internas y quiebres	Rajaduras y acebolladuras.
Bolsillos de resina	Bolsillos y vetas de resina.

Relación entre defectos del trozo por hábitos de crecimiento y aberración en los patrones de crecimiento y desclasificación de productos (continuación).

<i>Debido a factores externos</i>	
Microfracturas	Acebolladuras y roturas. Poca resistencia.
Lados secos	Madera muerta.
Stress	Rajaduras, quiebres, acebolladuras.
Pudrición, decoloración, descomposición	Bolsillos, huecos, decoloración.

Relación entre defectos del trozo debido a factores externos y desclasificación de productos (continuación).

La magnitud límite de los defectos de cada tipo de madera, en relación con su uso, depende del tamaño y escudaría de la pieza y difiere en cada país. Sin embargo en relación a los usos, es posible, resumirlos en la tabla siguiente tabla:

Tipo de defectos	Clase de madera
Número de nudos y distribución	Importante en madera estructural y madera a la vista.
Tamaño del nudo	Importante en madera estructural.
Tipo de nudo y hoyos de nudos y de conos	Importante en madera a la vista.
Grano inclinado, médula y corazón	Importante en madera estructural.
Densidad de la madera	Importante sólo en madera estructural.
Rectitud	Importante en madera estructural y madera a la vista.
Bolsillos de resina y corteza	Importante en madera a la vista.

Importancia de los defectos en relación con la clasificación de la madera.

Origen y ubicación de los defectos en el árbol

El origen de los defectos se explica en la arquitectura, crecimiento, y factores genéticos y ambientales del árbol. A continuación, se indican someramente los más importantes:

Nudos: Los nudos se originan de la conexión de la madera del fuste y de sus ramas. Mientras las ramas permanecen vivas y creciendo existirá siempre continuidad en el tejido leñoso entre éstas y el nudo, salvo cuando las ramas son muy agudas y vitales, en cuyo caso quedar la corteza atrapada entre dos tejidos creciendo en sentidos opuestos. A este tipo de nudo se denomina "vivo". Si la rama muere, ésta será absorbida por el crecimiento fustal, con discontinuidad de tejido leñoso en toda su periferia, dando origen a un nudo llamado "muerto", el que se caracteriza por estar completamente rodeada de corteza. Existe un tipo de nudo intermedio que se origina de las ramas moribundas, con características mixtas, esto es, nudos parcialmente vivos y muertos a la vez. No es fácil apreciar a simple vista, éste tipo de nudo ya que existe una graduación continua. Los muñones ocluidos de ramas podadas pueden generar madera muy defectuosa en su zona de oclusión, incluyendo corteza, resina, hoyos y desviaciones en la fibra en la zona del callo de oclusión. Los defectos de los nudos son aumentados por el tamaño, forma y agrupación de ellos en el verticilo. De acuerdo a Fielding (1960) existen patrones genéticos que explican positivas correlaciones entre la cantidad de verticilos por elongación anual en altura y, el número de conos producidos, el ángulo de las ramas, la rectitud del fuste y regularidad de ahusamiento en el fuste y, correlaciones negativas con la longitud del internudo y el diámetro de las ramas. La densidad inicial de la plantación favorece el control del tamaño de las ramas como se deduce del trabajo de Pederick y Abbott (1985), en que se aprecia la alta directa correlación existente entre el DAP y el tamaño de las ramas, como función de la distancia de plantación. A mayor distanciamiento se obtiene mayor

tamaño del árbol, pero también mayor tamaño de ramas. La poda y el raleo afecta el tamaño de las ramas por factores de competencia, principalmente por luminosidad. Según James y Tustin (1970), y Wrigth (1971), el raleo permite aumentar el crecimiento de las ramas vivas especialmente en la posición superior de la copa viva. Inglis (citado por Lavery, 1986) afirma que una vez que las ramas son " contenidas " no se verán "substancialmente" aumentadas bajo los actuales regímenes de raleo. Un alto índice de sitio como respuesta a la potencialidad de crecimiento del árbol en su ambiente favorece la elongación de los internudos, aún cuando también favorece el crecimiento de las ramas. El vigor de crecimiento del fuste está en directa relación al crecimiento de las ramas.

Grano en espiral: Las traqueidas o estructuras fundamentales del tejido leñosos son 50 a 100 veces más largas que anchas. El grano es la dirección del eje longitudinal de las traqueidas respecto al eje de crecimiento. El grano en espiral - el cual no es evidente externamente en la troza - , es un desvío que se produce en todo un anillo de crecimiento. Su origen es desconocido, y se asocia probablemente a la filotaxis de las acículas fustales en el floema (Harris,1973), las que influirían en el flujo de auxinas y como consecuencia el desvío del grano. Éste afecta fundamentalmente la madera juvenil y se encuentra entre los 2 y 4 anillos más cercanos a la médula. Es altamente heredable y su dirección desde la base al ápice es en contra de los punteros del reloj. Está presente en todo el fuste, con mayor incidencia en su base, declinando hacia el ápice. Su presencia no se considera muy importante y tiende a ser más frecuente en árboles delgados muy expuestos al viento.

Madera juvenil: La madera formada inmediatamente alrededor de la médula hasta una edad aproximada de 10 años se denomina madera juvenil. Se considera como defecto dado que en su constitución concurren varias características que hacen poco deseable este tipo de madera. En general presenta en relación con la madera madura: baja densidad, alta contracción longitudinal, baja resistencia, bajo porcentaje de madera tardía, mayor porcentaje de madera de compresión, mayor contenido de humedad, traqueidas más cortas, mayor ángulo de fibrillas, paredes celulares más delgadas, mayor diámetro del lumen, mayor contenido de hemicelulosa, mayor contenido de lignina, color más pálido. La inclusión de la médula, los nudos y las características arriba indicadas la hace poco atractiva especialmente por su excesiva contracción longitudinal y baja resistencia mecánica. La única manera de minimizar la producción de este tipo de madera es restringiendo la densidad al mínimo número de árboles o incluyéndola en piezas de madera madura, confinándola a su posición central.

Variación de las propiedades de la madera en el fuste: El crecimiento de la madera ocurre por agregaciones anuales de anillos de crecimiento o tejidos concéntricos sobre la madera ya formada, generando una sucesión de envoltentes (Cown,1980). Las características y ancho de estos anillos anuales varían en el fuste dependiendo de la altura a que se encuentra. El ancho de los anillos anuales es creciente en altura y parece estar definida por distintos factores. Van Laar (1973) concluye que es la biomasa de acículas la que controla el crecimiento radial a lo largo del fuste. Barker (1980) concluye que el estrés inducido por el viento parece redistribuir la formación de tejidos en el fuste. Las propiedades de la madera varían con la edad del correspondiente sector del fuste, teniendo la porción fustal superior siempre madera juvenil, en tanto la base tiene además madera madura, generando una graduación desde la médula hacia la corteza en densidad, longitud de fibra, espesor de paredes celulares, proporción de madera temprana y tardía, etc. La madera aserrada generará tanta variación en sus propiedades como sea su heterogeneidad de zonas de crecimiento incluídas en la pieza aserrada. Por esta razón, existen distintos patrones de aserrío que pretenden confinar las zonas del fuste a piezas de madera homogéneas.

Madera temprana y tardía: La formación de la madera en la estación de actividad del cambium vascular y diferenciación celular genera tempranamente traqueidas de delgadas paredes celulares de color pálido y, al finalizar, traqueidas de gruesa pared celular de color oscuro. Las diferencias en

densidad entre ambas son pronunciadas, las cuales se traducen en importantes propiedades asociadas con la resistencia mecánica. Bumber y Burley (1983) concluyen que existe una amplia variación en las propiedades de la madera en relación con la estación de su formación. Existen también cambios en la ubicación de los canales de resina longitudinales, siendo más abundantes en la madera temprana a edades iniciales, y más abundantes en la madera tardía a edades adultas, pasando por un período de equilibrio. Un defecto similar al anterior se produce en los canales resiníferos en árboles que crecen en laderas de fuerte exposición solar, concentrando mayores densidades de canales que en árboles menos expuestos. Las variaciones de densidad entre madera temprana y tardía en un anillo de crecimiento se conoce como "textura". La madera tardía tiene una densidad 50 - 75 % mayor que la madera temprana (Harris,1981).

Madera de compresión: Esta madera se forma siempre que exista un efecto de estrés, debido a inclinación, curvatura o movimiento de la copa. Se produce en la parte baja de la inclinación o curvatura y es la manera natural de corregir el defecto (Lewis y Ferguson,1993).En el fuste su presencia aumenta en la base y con la excentricidad. Las características de la madera de compresión, en relación con la madera normal son las siguientes: traqueidas más circulares en los espacios intercelulares, madera más oscura con color café rojizo, menor contenido de celulosa y mayor contenido de lignina, mayor densidad, mayor contracción longitudinal y menor contracción tangencial, diferente relación entre el ángulo de las microfibrilas y su contracción, variaciones en el ángulo de las microfibrilas en las capas S2 y S3 de la pared celular. Cown (1974) indica una gran incidencia de la madera de compresión en el incremento volumétrico de trozas basales para los 5 años inmediatos a una alta intensidad de raleo. Esto no se asocia a aumentos de excentricidad sino parece ser respuesta a un cambio ambiental debido posiblemente al aumento de producción de auxinas como un resultado del aumento del balanceo de los fustes por el viento. Harris (1972), considera que la madera de compresión es en muchos aspectos el defecto más "insidioso" comúnmente encontrado en la madera. Se ha encontrado comprometida hasta un 45 % del volumen, siendo más común en madera juvenil. Su madera es más débil que la normal y sus propiedades de contracción son notablemente distintas de la madera normal. Reduce fuertemente la resistencia de madera pulpería La extensión alcanzada por la madera de compresión, depende de complejos efectos de geotropismo natural y estabilidad silvicultural, tales como influencia en la ubicación, sitio, clima y cambios en el espacio de crecimiento. Su control por medios silvícolas es impracticable (Lewis y Ferguson,1993).

Duramen: La formación de duramen comienza entre los 12 y 15 años, llenando las células del centro del fuste con depósitos químicos (extractivos) y resina. Su formación es aproximadamente 50 % menor en la base y en árboles suprimidos. Sus causas son desconocidas. Su contenido de humedad es mucho menor que la albura y es relativamente impermeable sin que ello refleje una mayor durabilidad de la madera. El duramen afecta las propiedades mecánicas. El duramen es el estado funcional final al que llega la albura cuando cesa su actividad xilemática y sus cambios fisiológicos aparecen con la muerte de las células parenquimáticas. Según Bamber (1976) la formación de duramen está controlada por el volumen de albura más que por su edad.

Hoyos de cono: Los conos del fuste son yemas primordiales que se desarrollan en órganos reproductivos. Los conos del fuste causan considerables pérdidas si no es eliminado por el crecimiento fustal, generando hoyos en el fuste. La edad a la cual los árboles producen conos varía fuertemente con la localidad. Bannister (1962) define la edad entre los 7 y 26 años. Fielding (1960) indica para Australia que entre el 1 y 2 % de los árboles han comenzado a producir floración femenina a los 4 años. La extensión del sector fustal basal con presencia de conos fustales también varía de acuerdo a la localidad, edad, fenotipo, exposición, precipitación y sitio.

Pecas: Este defecto se origina en la conexión de acículas fustales, las cuales cuando caen, dejan una

huella en los anillos de crecimiento posteriores. Este defecto sólo degrada la madera en el cepillado, al levantar el grano o producir pequeñas fracturas en el secado y problemas en el acabado de las maderas. El defecto no es tan importante para prestar atención a su corrección silvícola o genética.

Sinuosidad: La sinuosidad del fuste es una deformación del crecimiento de los internodos juveniles. Está confinado a anillos de crecimiento de madera juvenil quedando escondido en fustes de gran tamaño (Jacobs, 1938). Es característico de árboles de hábito uninodal y de buenos sitios, especialmente aquellos fertilizados. Su problema se puede originar por desbalance de nutrientes. Los problemas asociados son: poca resistencia y desclasificación por médula incluida en las piezas centrales. La sinuosidad de la médula es una característica genéticamente controlable.

Curvatura: La curvatura del fuste es un defecto que se presenta asociado a edad temprana (curvatura basal). Su principal problema es la excentricidad del fuste, cantidad de madera de compresión y piezas con grano inclinado. Es un defecto serio que degrada la madera y baja el porcentaje de aprovechamiento de los trozos. Además aumenta el tiempo de volteo en aproximadamente un 30 %. La pérdida por aprovechamiento es menor en trozos de mayor diámetro. También genera alabeo.

Rajaduras internas y quiebres: Estos defectos se producen por estrés producto de vientos y sequías. Su forma más común son rajaduras radiales de uno o más metros a lo largo del fuste. Las rajaduras internas ocurren en madera temprana y pueden ser de tal magnitud que involucre varios anillos vecinos. El defecto es naturalmente recubierto con resina y tejido calloso, generando una zona manchada y se traduce en pérdidas de resistencia de la madera.

Bolsillos de resina: Son respuesta a una serie de daños. Somerville (1980) clasifica 3 tipos de bolsillos de resina en relación con su ocurrencia, tamaño y características de oclusión. Son originados por estrés y daño. Clifton (1969) señala una mayor presencia en zonas expuestas a fuertes vientos primaverales, ubicándose en la mitad baja del fuste por estar expuesto al mayor estrés de movimiento. La sequía es considerada una causa frecuente. En la zona de oclusión de ramas podadas, se produce acumulación de resina, mal llamado "bolsillo de resina". Las heridas de poda resinan mientras no se forma el tejido calloso que las recubren. Este proceso puede tomar desde 1 hasta más de 6 años. La inclusión de resinas está en directa relación con el tamaño, ángulo de la rama podada y longitud del muñón de poda. Éste puede incluir bolsillos de corteza.

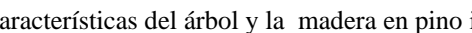
Microfracturas: Son fallas de compresión en el fuste bajo estrés por viento. Siguen normalmente una forma en espiral a distancias variables en el fuste. La estructura de la madera se rompe en puntos de falla y se producen distorsiones en el grano muy severo en la zona de recubrimiento de la falla. La madera se quiebra en el aserrío y su degradación es total debido a la pérdida de las propiedades normales.

Lados secos, estrés y pudriciones: Se deben a daño en el manejo de maquinarias de madereo sobre los árboles vivos, daños por golpes, descortezamiento y otros. También bruscas pérdidas de humedad en trozos y/o excesiva humedad que finaliza con la pudrición de los trozos. A veces ocurre por degradación natural de los trozos al ser dejados por mucho tiempo en el bosque.

Zonas de defectos en el árbol

La agregación de los defectos en el fuste como conjunto, define realmente su potencialidad de uso como madera.

Walker (1984), esquematiza esta agregación en la siguiente figura, en que se identifica los defectos y su ubicación en el fuste.



... alternativas metodológicas para la evaluación de la calidad de trozas en

El sistema se aplica antes de la cosecha y consiste en dos etapas, una de terreno y otra de proceso.

Códigos para la definición de la calidad por secciones del fuste

La especificación de calidad para cada una de las secciones del fuste sigue un sistema de decisiones

- Calidad general: La primera decisión si la sección tiene poda o no. En caso de no estar podada, decidir si tiene calidad internodal. Secciones de calidad internodal deben tener al menos el 60 %

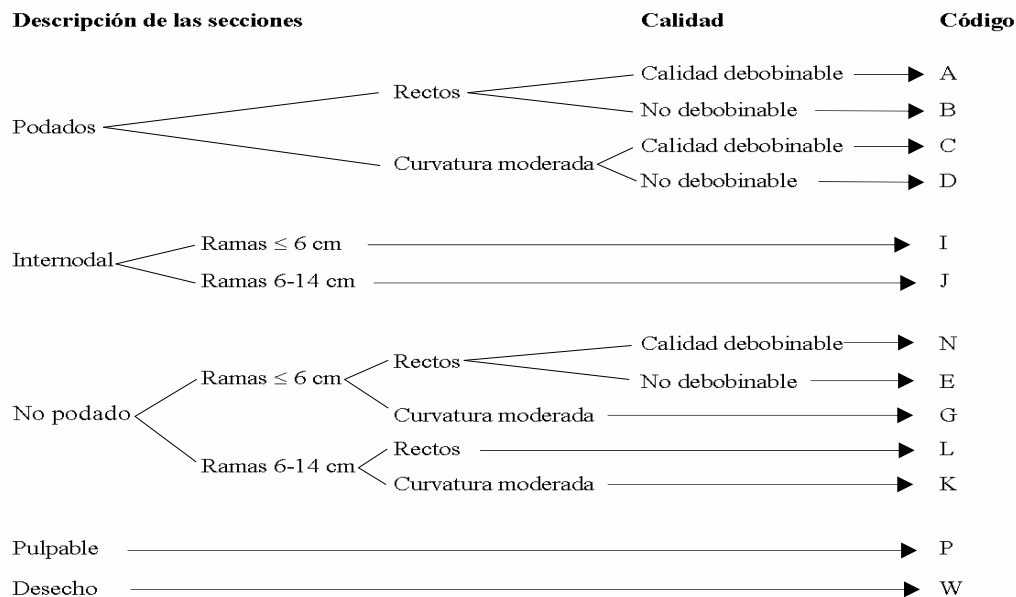
de su largo con internados de longitud mayor o igual a 60 cm. Si presenta defectos se baja su calidad a pulpable, y si no es comercial, a desecho.

- **Tamaño de ramas:** Existen tres categorías de ramas de acuerdo al diámetro de inserción de la rama más grande en el fuste: menor o igual a 6 cm, entre 6 y 14 cm, y mayor a 14 cm. Si el diámetro de la rama más grande es mayor a 14 cm, la sección se degrada a calidad pulpable o desecho.
- **Rectitud:** la definición del tipo de rectitud para una sección larga del fuste debe ser concordante con la calidad de rectitud de cualquier sub-sección más corta de ella. Existen tres categorías de rectitud: recta, moderadamente curvada, y curvada. Secciones rectas son clasificadas como clase de curvatura 1 y pueden ser usadas para trozas largas (más de 7,6 m) o cortas. Secciones con curvatura moderada sólo deben ser usadas para obtener trozas cortas, las cuales pueden ser clasificadas como de clase de curvatura 1. Las secciones muy curvadas, lo cual las transforma en no comerciales, son clasificadas como desecho. Secciones internodales por lo general se encuentran restringidas a la clase de curvatura 1, rectas.
- **Calidad debobinable:** Las secciones con una baja excentricidad, rectas y sin defectos superficiales son clasificadas como debobinales.

Una vez efectuadas las cuatro decisiones antes detalladas, todas las secciones del fuste quedan con su calidad especificada. Sin embargo, es necesario considerar información adicional para describir completamente la situación de cada árbol. Esta información se refiere a árboles multiflecha, ápices quebrados, o presencia de ramas de tamaño comercial.

Relación entre la calidad de las secciones y la calidad de las trozas

Previo al análisis computacional, los códigos para cada troza deben ser especificados. Un troza de una calidad específica sólo puede ser obtenida de una sección del fuste con un código de calidad que sea equivalente. Las equivalencias entre los códigos aumenta a medida que las calidad de la troza baja desde el tipo “P”, pasando por el tipo “S”, hasta el tipo “L”.



Esquema de decisiones jerárquicas para especificar las calidades de secciones del fuste.

Calidad de la Troza	Calidad de la Sección
P1, P2	A B C D
S1, S2, S3, S4	A B C D I N E G
L1, L2, L3, L4	A B C D I J N E G L K
I	I J
R	A B C D I J N E G L K P

Correspondencia entre calidad de trozas y secciones del fuste.

Calidad de la troza	Podado / No podado	Diámetro sección menor (cm)	Diámetro de la rama más grande (cm)	Clase de curvatura	Índice de internudo mínimo
P1	P	40 +	NA	1	NA
P2	P	30 – 39,9	NA	1	NA
S1	NP	40 +	6	1	NA
S2	NP	30 – 39,9	6	1	NA
S3	P-NP	20 – 29,9	6	1	NA
S4	P-NP	15 – 19,9	6	1	NA
L1	NP	40 +	14	1	NA
L2	NP	30 – 39,9	14	1	NA
L3	NP	20 – 29,9	14	1	NA
L4	NP	15 – 19,9	14	1	NA
I	NP	30 +	14	1	0,6
R	NP-P	10 +	NA	2	NA

Especificaciones para la clasificación de calidad de trozas en *Pinus radiata*. NA : no aplicable. El índice de internados se define como la suma de largos de internados mayores o igual a 0,6 m dividida por el largo total de la troza.

De la misma forma que para las secciones del fuste, se definen las características de las diferentes calidades de trozas posible de obtener de dichas secciones. La tabla XX presenta las definiciones de las distintas calidades de trozas para *Pinus radiata* en Nueva Zelanda. En este caso, las trozas tipo “S” pueden incluir secciones podadas, y las tipo “L” pueden incorporar secciones de ramas pequeñas y podadas. Las trozas tipo “P”, debobinables, sólo pueden incluir secciones de calidad A, C (debobinables podadas), I, N (debobinables industriales y de construcción), o I, J (debobinales internodales).

Este sistema es suficientemente flexible como para poder incorporar la definición de otros tipos de productos (trozas) y poder adaptarse a las cambiantes necesidades de los mercados forestales.

4.3. Trozado y simulación de trozado

Cuando se ha decidido talar un rodal o bosque, uno de los problemas dendrométricos más importantes que se debe resolver es el del trozado o segmentación del fuste para conseguir un conjunto de rollizos cuyo aprovechamiento comercial sea satisfactorio. Al respecto debe indicarse que el tema es en parte un problema dendrométrico, en lo que respecta al tema físico del aprovechamiento del árbol, en parte dasométrico, en lo que se refiere a la delimitación del área y forma de cosecha, y de planificación de cosecha, en lo que se refiere a la asignación óptima de los esquemas de trozado y formas de operación. En éste punto el interés se centra en los aspectos

físicos relacionados con el árbol, su forma, calidad y la manera operativa de evaluar las opciones de trozado.

Se entenderá por productos o rollizos aquellas secciones fustales que estén completamente definidas en el mercado en cuanto a su calidad de madera y a sus dimensiones físicas, tanto en lo que respecta a los diámetros extremos como el largo. Claramente, un producto debe estar completamente definido en términos de sus características para ser transado en el mercado.

Se entenderá por esquema de trozado un conjunto ordenado y jerarquizado de productos o trozos de tal manera que cualquiera sea la forma de trozar, manual o mecánico, el resultado siempre sea el mismo. Este debe ser un resultado determinístico, no sujeto a aleatoriedad. Para que ello se cumpla, debe aplicarse una regla de decisión inequívoca: dado el árbol sujeto y los productos jerarquizados del esquema de trozado la regla de decisión debe ser siempre la misma. (Corvalán, 1984)

Dado que la evaluación debe ser realizada de manera previa a la toma de decisiones es que se opta por la simulación de trozado, en la etapa de proceso de inventario y optimización de cosecha. A este proceso se llama simulación de trozado. Los componentes del simulador de trozado son: el perfil fustal y los productos integrantes del esquema de trozado. En términos prácticos los esquemas de trozado son muy simples: se jerarquizan los productos y se evalúa el rendimiento en el árbol sometido a esta regla. Cuando la faena es realizada manualmente la regla más práctica consiste en maximizar la cantidad de trozos a obtener a partir del tocón hasta el ápice (Corvalán, 1984). Cuando el trozado es mecanizado con un procesador de alta velocidad y es posible evaluar las posibles combinatorias del trozado se implementa un algoritmo de optimización económica, o bien, minimización de la pérdida física en el proceso. Los algoritmos respectivos utilizados son simuladores de trozado en inventarios forestales Simutroz (Corvalán 1984) y optimizadores de trozado en cosechadoras.

Para realizar una correcta evaluación de la forma fustal y de la calidad de los árboles es necesario disponer de sistemas de calificación y cuantificación objetivos de los árboles en pie tales como el sistema MARVL (Forest Research Institute, 1988), o bien una calificación de todo el árbol en términos de un índice que acote las opciones comerciales del árbol en relación con los trozos que se desea evaluar.

Otro componente básico es la forma fustal, la cual puede ser una ecuación única para el rodal, cuando se está evaluando el bosque en pie, o puede ser una forma flexible, dinámica y adaptativa cuando se está procesando con máquina, en la cual se mide la sección que se ha desramado y se estima la forma siguiente con un polinomio de tercer orden o superior para la estimación del siguiente segmento a desramar y trozar. En los sistemas de estimación en pie es muy importante utilizar funciones fustales que sean insesgadas en todo el perfil fustal dado que los resultados de la simulación de un producto son dependientes. Un error en la estimación de una porción del fuste puede conducir a errores de gran magnitud en el conjunto de la estimación de los productos.

Ejemplo de simulación de trozado: Considérese el siguiente caso de un árbol de pino insigne de 34 m de altura y 40 cm de DAP de calidad 1, esto es acepta todos los productos en cosecha. Se definen los siguientes productos:

Producto	Diámetro máx. (cm)	Diámetro mín. (cm)	Largo (m)	Calidad árbol
1	s.l.	16	12,3	1-2
2	s.l.	20	8,2	1-2
3	35	20	5,5	1-2
4	30	20	3,7	1-2
5	s.l.	16	4,1	1-4
6	30	8	2,44	1-5

Además, se definen los siguientes esquemas de trozado:

Esquema de trozado	<u>Productos</u>
1	1, 2, 3, 4, 5, 6
2	1, 5, 6
3	2, 5, 6
4	3, 5, 6
5	4, 5, 6
6	5, 6

A partir de una función de ahusamiento conocida y válida para la población se procede a simular el trozado de cada uno de los esquemas con el SIMUTROZ.

La salida gráfica que se muestra a continuación corresponde a las seis corridas de simulación del mismo árbol y se presenta para cada una de ellas indicando en cada troza el número del producto a obtener dentro del esquema de trozado. Así por ejemplo en la primera corrida de simulación que contiene los seis productos, se estima que se obtendrá 1 producto de primera prioridad, 1 producto de segunda prioridad y 3 productos de sexta prioridad. Análogamente para el segundo esquema de trozado se estima obtener 1 producto de primera prioridad, 2 productos de segunda prioridad y 3 productos de tercera prioridad. Nótese que las prioridades obviamente no corresponden a los mismos productos entre distintos esquemas.

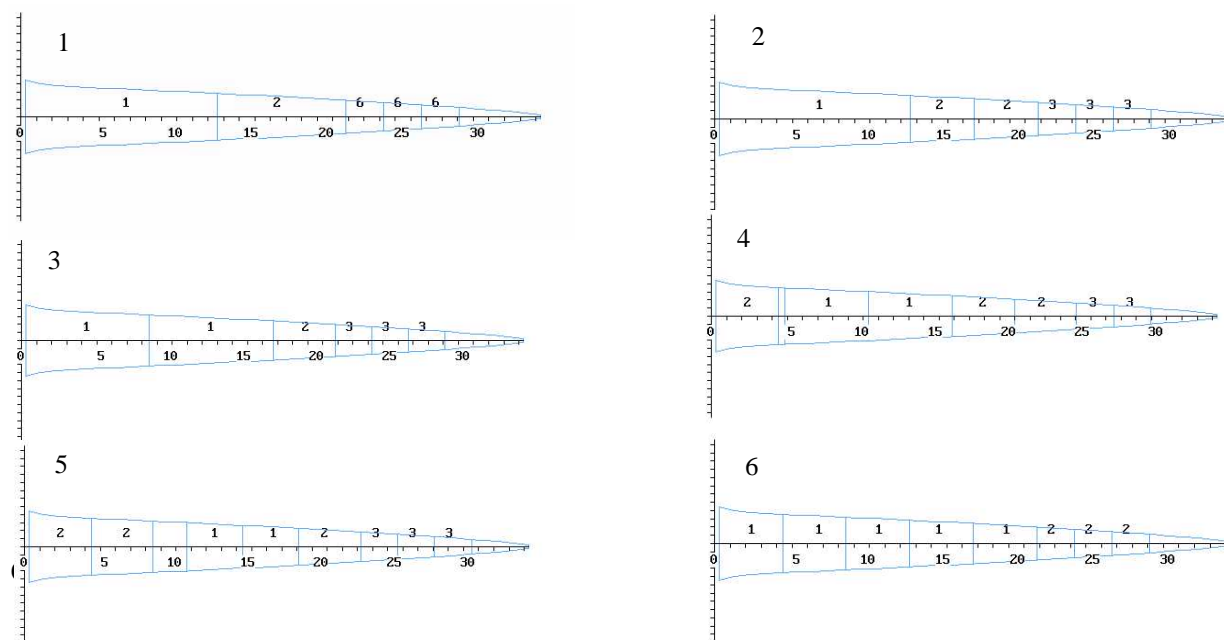


Figura XX: Seis esquemas de trozado posibles de aplicar sobre un mismo árbol

4.4. Funciones de Conversión

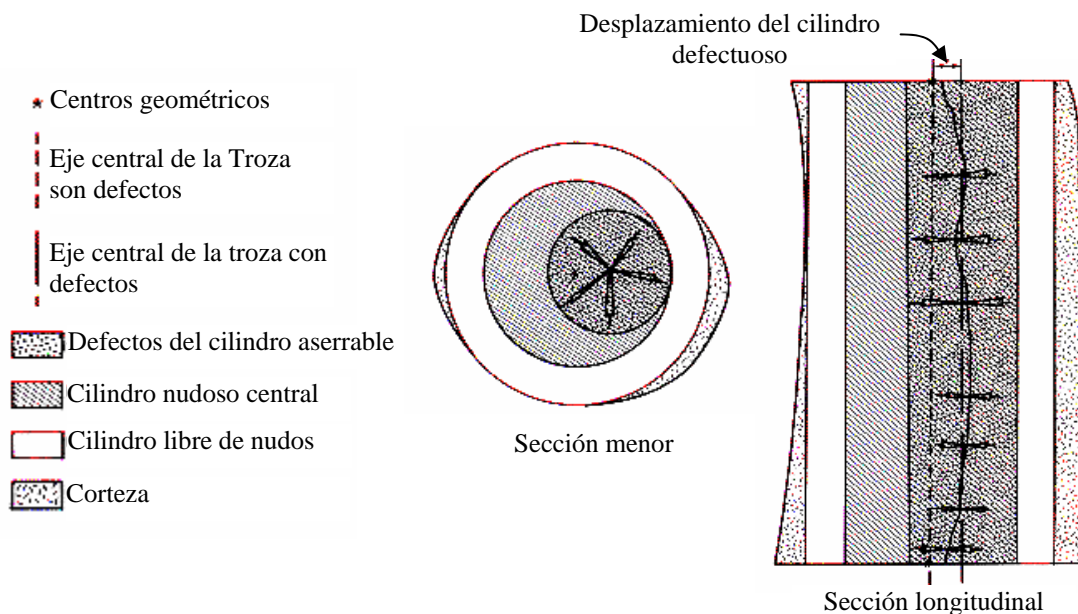
Se define una función de conversión como una expresión matemática que permite estimar la cantidad de un producto primario (debobinable, aserrable o pulpable) a partir de información de las características las trozas que se utilizan como materia prima en su elaboración. Estas características se relacionan con aspectos de tamaños, tales como el largo, el diámetro s/c de la sección menor, el espesor de corteza, etc., y de calidad, tales como la rectitud, la excentricidad, la presencia de nudos vivos y muertos, y otros defectos presentes en la troza.

A continuación se revisan algunas funciones de transformación para los productos más importantes de la industria forestal: madera debobinable, aserrable y pulpable.

Madera debobinable

La cantidad total de chapa a producir a partir de una troza debobinable puede ser estimada en función de tres variables:

- Tamaño de la troza: largo y diámetro de la sección más pequeña de la troza.
- Diámetro del cilindro residual: se refiere al tamaño final con que queda la troza después de haber efectuado el debobinado.
- Forma de troza: se refiere principalmente a la desviación longitudinal de rectitud y a la excentricidad de la sección de la troza.



Esquema de la influencia de los defectos sobre la productividad de la troza debobinable.
(Fuente: modificado de Kinimonth y Whitehouse, 1991).

La clave para poder ubicar la troza en el torno debobinador es la correcta determinación del diámetro redondeado de la troza, lo cual afecta su rendimiento. Este diámetro se logra eliminando las diferencias de tamaño entre las secciones mayor y menor de la troza dejando un diámetro único a lo largo del cilindro de madera. El total de volumen de chapa que se puede producir corresponde a la

diferencia entre el volumen del cilindro con diámetro redondeado y el volumen del cilindro residual. Trozas de igual tamaño pueden producir volúmenes de chapas muy distintos debido a diferencias de rectitud, excentricidad y perfil fustal.

Una buena forma de expresar la conversión es a través del llamado índice de rebobinado (I_{deb}), el cual ajusta el tamaño inicial de la troza (diámetro promedio de la sección menor s/c) por la proporción de troza disponible para producción de chapa:

$$I_{deb} = \frac{d_{sm}(mm)}{100} \cdot \frac{v_{red} - v_{res}}{v_{troza}}$$

Donde:

d_{sm} = diámetro menor de la sección menor s/c

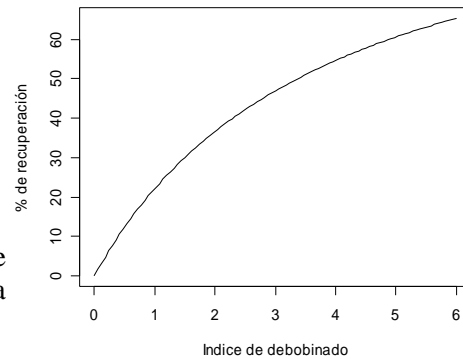
v_{red} = volumen del cilindro redondeado

v_{res} = volumen del cilindro residual

v_{troza} = volumen inicial de la troza

La relación entre el índice y el porcentaje de recuperación de trozas se muestra en la figura de la derecha. La ecuación es:

$$\% = \frac{I_{deb}}{0,036 + 0,0093 \cdot I_{deb}}$$



Relación entre el índice de debobinado y el porcentaje de recuperación de la troza

Para poder usar el índice es necesario estimar el diámetro de redondeo, el cual depende de la curvatura de la troza y de su excentricidad. La estimación del diámetro puede hacerse usando la siguiente expresión:

$$d_{red} = \frac{d_{sm}}{\varepsilon_{sm}} - R \qquad R = \frac{d_{sm}}{\varepsilon_{sm}} + 2 \cdot c - \frac{d_{med}}{\varepsilon_{med}}$$

Donde:

d_{red} = diámetro redondeado

d_{med} = diámetro promedio en la mitad de la troza

ε_{sm} = excentricidad de la sección menor

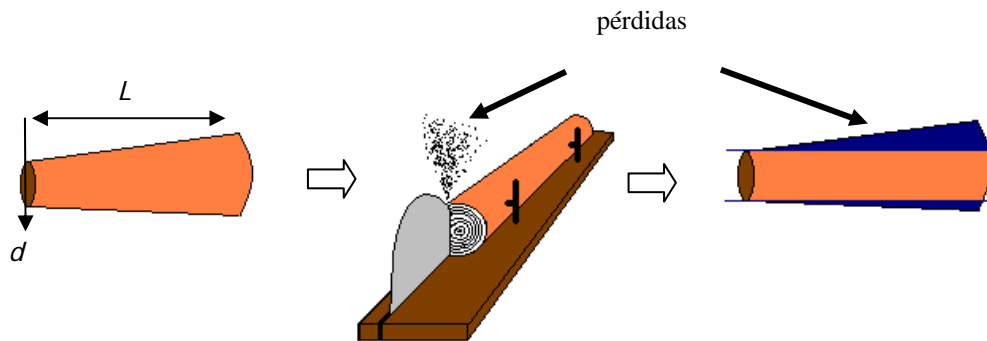
ε_{med} = excentricidad en la mitad de la troza

c = curvatura del fuste, calculada como la distancia (luz) desde la horizontal perfecta al borde de la troza, en la mitad de su longitud.

Cualquiera se la posición, la excentricidad se determina dividiendo el diámetro mayor por el menor. Cuando R es negativo se asume igual a cero.

Madera aserrable

Las funciones de transformación para madera aserrada son comúnmente referidas con el nombre de “reglas madereras”. Las reglas madereras se utilizan para estimar el volumen aserrado que se obtendrá de una troza aserrable, antes de pasar por el aserradero. Las variables descriptivas de la troza que mejor explican el volumen aserrado “ V_f ” son: el diámetro menor “ d ” (de la sección menor) y el largo de la troza “ L ”.



Esquema general del proceso de aserrío.

En general, existen tres tipos de métodos para obtener reglas madereras: métodos gráficos, métodos basados en fórmulas matemáticas y métodos que obtienen funciones basadas en datos reales tomados para aserrados específicos.

Métodos gráficos (Scribner)

Dibujo a escala de círculos de distintos diámetros (que representan los diámetros menores de las trozas). Se repite para todos los diámetros que sean necesarios. Los supuestos de cálculo pueden ser definidos por el usuario: pérdidas por tapas y cantoneras, contracción y ancho de corte.

En particular, la regla de Scribner utiliza el supuesto de trabajar con espesor de las piezas de una pulgada, un ancho de corte igual a un cuarto de pulgada y un largo de las piezas de 16 pies. Además, se asume circularidad de la sección menor y rectitud de la troza. Por último no considera el aprovechamiento de trozas con menor longitud.

Los volúmenes obtenidos utilizando los supuestos anteriores se ajustaron a una función llamada Scribner Decimal-C:

$$v = 0,79 d^2 - 2,0 d - 4$$

En donde:

v = volumen en pies madereros

d = diámetro menor de la sección menor en pulgadas

Para trozas de otra longitud (L'), el volumen se obtiene en forma proporcional: $v_L = \frac{L'}{16v}$

Reglas basadas en fórmulas matemáticas

- **Regla maderera de Doyle**

En donde:

v = volumen en pies madereros

d = diámetro menor de la troza en pulgadas

L = largo de la troza en pies.

$$v = \frac{(d-4)^2}{12} L(1-0,25)$$

$$v = \left(\frac{d-4}{4} \right)^2 L$$

La reducción en el diámetro se utiliza para compensar las pérdidas en tapas y cantoneras. El factor 0,75 se usa como estimación de pérdidas en el ancho de corte (25 %). Se ha comprobado que Doyle subestima para diámetros pequeños y sobrestima para diámetros grandes. Las estimaciones son ajustadas cuando $d=26-36$ pulgadas.

- **Regla maderera internacional**

En donde:

v = volumen en pies madereros

$$v = 0,22 d^2 - 0,71 d$$

d = diámetro menor de la troza en pulgadas

Se basa en los descuentos de volumen a partir de un cilindro inicial y trabaja con una longitud unitaria de cuatro pies. Asume que la troza es de sección circular y recta, una conicidad de 0,5 pulgadas cada cuatro pies, un ancho de corte de 1/8" y una reducción por contracción de 1/16". Además se asume que se obtienen sólo piezas de 1" de espesor. Para otros largos de trozas, manteniendo el resto de los supuestos, se generan las siguientes funciones:

$$8 \text{ pies de largo: } v = 0,44 d^2 - 1,20 d - 0,30$$

$$12 \text{ pies de largo: } v = 0,66 d^2 - 1,47 d - 0,79$$

$$16 \text{ pies de largo: } v = 0,88 d^2 - 1,52 d - 1,36$$

$$20 \text{ pies de largo: } v = 0,10 d^2 - 1,35 d - 1,90$$

- **Regla JAS (Japanese Agricultural Standard)**

Para trozas de largo menor a 6 m:
$$v = \frac{d^2 L}{10.000}$$

Para trozas de largo mayor o igual a 6 m:
$$v = \left(d + \frac{L'-4}{2} \right) \cdot L \cdot \frac{1}{10.000}$$

En donde:

v = volumen en metros cúbicos

d = diámetro en el extremo menor, en cm, aproximado al par inferior (ej.: 23,9 cm = 22 cm).

L = Largo en metros, aproximado a los 20 cm inmediatamente inferior de la medida real (ej.: 3,75 m = 3,6 m).

L' = Largo en metros, expresado en metros, despreciando los decimales.

Madera pulpable

Corresponde a trozos sólidos con o sin corteza de 2,44 m de largo y cuyo destino final es la producción de pulpa química o mecánica.

Los rollizos son apilados a orilla de camino en rumas estacadas de 1 m de alto por 2,44 m de largo y ancho variable. La unidad básica es el metro ruma que es el volumen de madera apilada y correspondiente a una ruma de trozos de 1 metro de alto por 1 metro de ancho y 2,44 m de largo. Por ello la medición de una ruma de madera pulpable es igual en metros ruma al largo de la pila.

La madera pulpable comercializa tanto en unidades de volumen como en unidades de peso.

Los aspectos básicos que interesa destacar son los factores de conversión desde las unidades apiladas (MR) a unidades de volumen cúbico (m^3). En general se considera bastante estable la relación $1 \text{ MR} = 1,66 \text{ m}^3 \text{ sólido}$.

Dada las pequeñas dimensiones de los rollizos y la gran cantidad de unidades que se comercializa, la cubicación se realiza sobre grandes medidas ya sea en cancha para carga, sobre camión o en cancha en destino final. Es común pesar la carga de los camiones para obtener los volúmenes de acuerdo con los distintos contenidos de humedad.

También se suele utilizar sistemas de cuibicación de cargas de camiones con métodos ópticos en que sistemas automatizados procesan los porcentajes de área que contienen secciones de madera y los huecos. Así resulta fácil el control y estimación de volumen cúbico.

Tipo de pulpa	Unidad	Volumen necesario en trozos (m^3)
Mecánica	1 ton métrica	2,5
Química	1 ton métrica	4,9
Sulfito	1 ton métrica	4,9
Sulfato	1 ton métrica	4,8
Disuelta (húmeda)	1 ton métrica	5,5
Semi-química	1 ton métrica	3,3

Factores de conversión a pulpa. (Fuente: INFOR, Manual N° 7)