



Patricio EMANUELLI A.

Fabián MILLA A.

Alternativas de Productos Madereros del Bosque Nativo Chileno

Patricio Emanuelli A.
Fabián Milla A.

Alternativas de Productos Madereros del Bosque Nativo Chileno.

© 2006 Patricio Emanuelli A.
Fabián Milla A.
Ingenieros Forestales.

Inscripción N°
Santiago de Chile.

El presente libro no puede ser reproducido, transmitido o almacenado, ni en todo ni en parte, sea por procesos mecánicos, ópticos, químicos, electrónicos, electroópticos o por fotocopia, sin permiso de los autores.

ISBN N°

Primera Edición:
500 ejemplares, Febrero de 2006.

Impresión:
Litografía Valente Ltda.
Lira 1238,
Santiago de Chile.

Editor:
Conaf y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ).
ivaldes@conaf.cl

Asesoría Técnica:
Guillermo Reyes C.
Ingeniero de Ejecución Forestal.

Diseño y diagramación:
Alfonso Quiroz H.

Impreso en Chile / Printed in Chile.

Colaboradores:
Alejandro Canales Soto, CONAF Región del Bío-Bío - Miguel Angel Muñoz Parada, CONAF Región del Bío-Bío - Francisco Pozo Alvarado, CONAF Región del Bío-Bío - Jorge Quappe de la Maza, CONAF Región del Bío-Bío - Jaime Garrido Herrera, CONAF Región de Los Lagos - José Luis Moneva López, CONAF Región de Los Lagos - Manuel Soler Mayor, CONAF Oficina Central - Christian Mattausch, Cooperante DED.

Alternativas de Productos Madereros del Bosque Nativo Chileno.



Índice

Índice General

<i>Presentación</i>	11	Capítulo 5 MADERA PARA ENERGÍA	110
<i>Agradecimientos</i>	13	5.1 Biomasa para uso dendroenergético.	111
<i>Introducción</i>	15	5.2 Leña domiciliaria.	123
		5.2.1 Experiencia de producción de leña acreditada.	128
		5.2.2 Experiencia en certificación para el uso sustentable de la leña.	130
		5.2.3 Experiencia en la evaluación del funcionamiento de una empresa distribuidora de biomasa combustible domiciliaria.	131
Capítulo 1 ANTECEDENTES GENERALES	17	5.3 Carbón Vegetal.	133
1.1 El Recurso Forestal Nativo.	17	5.4 Pellets y briquetas.	142
1.2 Aspectos económicos de los productos del bosque nativo.	20	5.4.1 Pellets.	143
1.3 El mercado de productos provenientes del bosque nativo.	22	5.4.2 Briquetas.	148
		Capítulo 6 BIBLIOGRAFÍA	152
Capítulo 2 PRODUCTOS PRIMARIOS	26	ANEXOS	
2.1 Debobinado y Foliado.	27	Anexo 1 Norma HKS adaptada para la especie <i>Nothofagus obliqua</i> .	158
2.2 Aserrío.	35	Anexo 2 NCh 1970/1. Clasificación visual de madera latifoliada destinada a uso estructural (adaptado un grado E).	159
2.2.1 Aserrío industrial de trozas de Roble y Raulí.	37		
2.2.2 Aserrío tradicional de trozas de Roble y Raulí.	44		
2.2.3 Aserrío en aserradero móvil de trozas de Roble.	47		
2.3 Reaserrío.	51		
2.4 Durmientes.	54		
2.5 Pallets.	57		
2.6 Postes, polines y tutores.	60		
2.6.1 Elaboración de postes de Roble y Raulí.	61		
2.6.2 Elaboración de polines a partir de trozas de Roble.	63		
2.6.3 Elaboración de tutores a partir de trozas de Roble.	65		
2.6.4 Elaboración de polines a partir de trozas de Lingue.	65		
Capítulo 3 PRODUCTOS ELABORADOS	67		
3.1 Tableros Contrachapados.	68		
3.2 Tableros OSB.	71		
3.3 Envases de madera.	76		
3.4 Muebles Estilo terraza.	81		
Capítulo 4 TRATAMIENTOS DE LA MADERA	89		
4.1 Secado.	90		
4.1.1 Ensayos de secado de madera de Roble y Raulí.	93		
4.1.1.1 Prueba operacional de secado.	93		
4.1.1.2 Ensayo laboratorio secado Universidad del Bío-Bío, madera de 12 y 14 mm de espesor.	95		
4.1.1.3 Ensayo laboratorio secado Universidad del Bío-Bío, madera de 30 y 57 mm de espesor.	96		
4.1.1.4 Ensayo laboratorio secado Universidad del Bío-Bío, estabilización madera de 25 a 50 mm de espesor.	97		
4.1.2 Ensayos de secado de madera de Canelo.	98		
4.2 Impregnación.	99		
4.2.1 Impregnación de polines de Roble (<i>Nothofagus obliqua</i>) y Canelo (<i>Drimys winteri</i>).	102		
4.2.2 Impregnación de polines de Roble (<i>Nothofagus obliqua</i>) y Raulí (<i>Nothofagus alpina</i>).	104		
4.3 Impregnación Ignífuga.	107		

Índice de Cuadros

Capítulo 1 ANTECEDENTES GENERALES					
Cuadro 1	Distribución del bosque nativo por regiones.	18	Cuadro 28	Defectos que influyeron en la clasificación de las piezas de madera.	43
Cuadro 2	Superficie de Bosques artificiales (ha).	19	Cuadro 29	Tiempos promedios de proceso de aserrío por clase diamétrica.	43
Cuadro 3	Tipos forestales y subtipos forestales considerados desde la VII a XII regiones.	19	Cuadro 30	Detalle de costos involucrados en el proceso de aserrío.	44
Cuadro 4.	Superficie de bosque nativo potencialmente disponible para Manejo Sustentable, según Región y Tipo Forestal (ha).	19	Cuadro 31	Distribución diamétrica de la muestra de trozas aserrables.	44
Cuadro 5	Crecimientos promedio obtenidos a partir de experiencias del Proyecto CMSBN, Región del Bio-Bío.	21	Cuadro 32	Clasificación de trozas de Roble y Raulí según Norma HKS.	47
Cuadro 6	Rendimientos promedio obtenidos a partir de experiencias del Proyecto CMSBN, Región del Bio-Bío.	21	Cuadro 33	Número de piezas de madera extraídas por escuadría, según especie.	47
Cuadro 7	Estructura de costos de producción de materia prima estimada, a partir de experiencias del Proyecto CMSBN Región del Bio-Bío.	22	Cuadro 34	Aprovechamiento en madera aserrada según especie.	47
Cuadro 8	Antecedentes técnicos y económicos básicos de los productos del manejo sustentable del Bosque Nativo comercializados en la Región del Bio-Bío (Temporada 2003-2004).	24	Cuadro 35.	Aprovechamiento en madera aserrada obtenida del ensayo.	49
			Cuadro 36.	Volumen de trozas y madera aserrada total y lateral obtenida por clase de diámetro.	49
Capítulo 2 PRODUCTOS PRIMARIOS			Cuadro 37	Tiempos promedio por orden de troza en el proceso de aserrío.	51
Cuadro 9	Distribución diamétrica de la muestra de trozas debobinables.	30	Cuadro 38	Rendimiento del proceso de aserrío por clase de diámetro.	51
Cuadro 10	Clasificación de trozas por calidad según Norma HKS.	31	Cuadro 39	Escuadrías obtenidas en el aserrío para la madera lateral.	52
Cuadro 11	Defectos encontrados en las trozas de Roble y Raulí.	32	Cuadro 40	Volumen de la madera lateral utilizada en el proceso de reaserrío.	52
Cuadro 12	Aprovechamiento general del debobinado.	32	Cuadro 41	Aprovechamiento en madera reaserrada.	52
Cuadro 13	Aprovechamiento de la especie Roble, según calidad de troza.	33	Cuadro 42	Aprovechamiento del volumen laminado de madera aserrada.	53
Cuadro 14	Número de piezas por calidad y por especie.	33	Cuadro 43	Tiempos promedio del proceso de reaserrío por clase diamétrica.	54
Cuadro 15.	Tiempos promedios de proceso de debobinado por clase de diámetro de trozas.	33	Cuadro 44	Especificaciones generales y especificaciones de maderas componentes del pallet de distribución ST1 1000x1200.	58
Cuadro 16	Detalle de costos involucrados en el proceso de debobinado.	35	Cuadro 45	Exportación de pallets periodo 1995 – 2005.	61
Cuadro 17	Distribución diamétrica de la muestra de trozas aserrables.	37	Cuadro 46	Precio de venta y estructura de costos para la elaboración de pallets.	61
Cuadro 18	Escuadrías designadas para aserrío.	38	Cuadro 47	Producción de postes y polines por Región y especie, año 2000 (m ³ ssc)	61
Cuadro 19	Clasificación de trozas de Roble y Raulí según Norma HKS.	38	Cuadro 48	Clasificación de trozas de Roble y Raulí según Norma HKS.	62
Cuadro 20	Participación de los defectos encontrados en las trozas de Roble y Raulí.	38	Cuadro 49	Producto final obtenido (largo: 4,1 m).	62
Cuadro 21	Número de piezas de madera extraídas por escuadría, según especie.	40	Cuadro 50	Aprovechamiento en la elaboración de postes.	62
Cuadro 22	Aprovechamiento en madera aserrada según especie.	40	Capítulo 3 PRODUCTOS ELABORADOS		
Cuadro 23	Aprovechamiento de la especie Roble, según calidad de troza.	41	Cuadro 51	Producción de la industria de tableros y chapas, periodo 2003 – 2004.	69
Cuadro 24	Aprovechamiento de la especie Raulí, según calidad de troza.	41	Cuadro 52	Participación del tipo de producto en la producción nacional de tableros.	69
Cuadro 25	Aprovechamiento por clase diamétrica para la especie Roble según calidad de troza.	41	Cuadro 53	Volumen por especie destinada a la industria de tableros en el periodo 2003 – 2004.	69
Cuadro 26.	Aprovechamiento por clase diamétrica para la especie Raulí según calidad de troza.	41	Cuadro 54	Volumen por especie a nivel regional para la industria de tableros (2004).	69
Cuadro 27.	Número de piezas por calidad (Norma Chilena 1970/1) y por especie.	41	Cuadro 55.	Calidad de lámina por calidad de troza según Norma HKS.	71
			Cuadro 56	Detalle de costos involucrados en el proceso de terciados.	71

Índice

Índice de Cuadros

Cuadro 57	Costos variables de producción de tableros OSB y Contrachapados.	72	Cuadro 85	Valor de cada unidad energética generada a partir de diferentes combustibles (eficiencia de transformación 100%).	121
Cuadro 58	Costos estimados de producción de metros cúbicos de madera para envases de vino.	80	Cuadro 86	Valor de cada unidad energética generada a partir de diferentes combustibles, considerando la eficiencia de cada proceso.	122
Cuadro 59	Antecedentes económicos para la fabricación envases de vino.	80	Cuadro 87	Balance Energético Primario para Chile (en Teracalorías).	123
Cuadro 60	Evaluación del proyecto a 5 años (US\$).	80	Cuadro 88	Participación de energéticos en el Balance Energético Primario.	123
Cuadro 61	Clasificación de las mueblerías encuestadas en la Región del Bío-Bío.	82	Cuadro 89	Relación costo-caloría de los principales energéticos de uso doméstico.	124
Cuadro 62	Volumen de materia prima consumida mensualmente (pulgadas madereras), para la Región del Bío-Bío.	82	Cuadro 90	Distribución del consumo de dendrocombustibles a nivel regional. Año 1992.	124
Cuadro 63	Estructura de costos asociada a la elaboración de muebles estilo terraza.	84	Cuadro 91	Consumos medios por Habitante y Vivienda, Sector residencial (toneladas), 1992.	125
Capítulo 4	TRATAMIENTOS DE LA MADERA		Cuadro 92	Consumo per cápita de leña en la ciudad de Temuco, determinado por diversos autores.	126
Cuadro 64	Producción anual de madera seca, a través de los distintos procesos.	90	Cuadro 93	Precios promedio pagados por m ³ de leña en la ciudad de Temuco (\$).	126
Cuadro 65	Empresas por tamaño y capacidad instalada en la VIII región.	90	Cuadro 94	Procedencia de la leña comercializada en Puerto Montt.	127
Cuadro 66	Número de piezas, volumen y escuadría, según especie.	94	Cuadro 95	Equivalencia entre algunas unidades de comercialización de leña usadas en el país.	128
Cuadro 67	Programa de secado para Raulí en 12 a 14 mm de espesor.	96	Cuadro 96	Precios normalizados para distintos formatos de venta de la leña residencial.	128
Cuadro 68	Programa de secado para Raulí en 30 a 57 mm de espesor.	97	Cuadro 97	Estructura de costos de las alternativas de abastecimiento para la empresa en la ciudad de Concepción.	132
Cuadro 69	Retención obtenida por Roble y Canelo, Lote 1 y Lote 2.	103	Cuadro 98	Estructura de costos de las alternativas de abastecimiento para la empresa en la ciudad de Puerto Montt.	132
Cuadro 70	Análisis de costos para especie Roble.	103	Cuadro 99	Poder calorífico para diversos materiales empleados como combustibles.	134
Cuadro 71	Comparación con venta de polín de Pino.	103	Cuadro 100	Contenido de Carbono y otros elementos a diferentes temperaturas de carbonización.	135
Cuadro 72	Tiempos y presiones utilizadas en cada etapa del proceso de impregnación de madera nativa.	105	Cuadro 101	Proporciones de costos unitarios por actividad para la producción de carbón en base a hornos de ladrillo.	137
Cuadro 73	Variación del volumen de la solución en las etapas del proceso de impregnación de madera nativa.	105	Cuadro 102	Clasificación de tecnología usada en la fabricación del carbón.	137
Cuadro 74	Resultado estimado del tratamiento de impregnación de madera nativa.	105	Cuadro 103	Análisis comparativo de las diversas tecnologías utilizadas en el proceso de elaboración de carbón.	137
Capítulo 5	MADERA PARA ENERGÍA		Cuadro 104	Hornos de carbón implementadas por el Proyecto CMSBN en distintas zonas del país.	141
Cuadro 75	Sistemas de generación de energía eléctrica con biomasa.	112	Cuadro 105	Estructura de costos de producción de carbón para exportación (FOB).	142
Cuadro 76	Análisis elemental e inmediato, humedad y poder calorífico interior de los residuos forestales.	116	Cuadro 106	Resumen de inversiones del proyecto.	146
Cuadro 77	Clasificación de las astillas en los países nórdicos	117	Cuadro 107	Resumen de costos del proyecto.	146
Cuadro 78	Calidades de astilla.	117	Cuadro 108	Precios de venta para diferentes utilidades esperadas.	146
Cuadro 79	Factores de conversión de MR a metro cúbico sólido (m ³ ssc).	117	Cuadro 109	Variación del Costo Unitario para distintos valores de la materia prima y horizontes de planificación.	147
Cuadro 80	Factores de conversión de metro ruma con corteza a metro cúbico estéreo de astillas.	117	Cuadro 110	Flujos de caja neto para un periodo de 5 años.	147
Cuadro 81	Superficie de Bosques artificiales por región y participación nacional.	119	Cuadro 111	Variación de VAN y TIR para distintos precios de la materia prima.	147
Cuadro 82	Superficie de bosque nativo según Tipo Forestal, Región y Participación (ha).	119	Cuadro 112	Ficha técnica de las briquetas.	148
Cuadro 83	Energía potencial disponible y potencia instalada teórica asociada al recurso bosque nativo.	120	Cuadro 113	Modelos de briquetadoras de rodillo.	151
Cuadro 84	Precios combustibles Julio – Agosto 2005 (US\$/MMBTU).	120			

Índice de Figuras

Capítulo 1 ANTECEDENTES GENERALES

Figura 1	Superficie de bosque a nivel nacional por tipo y estructura.	17
Figura 2	Superficie total cubierta de Bosque Nativo entre la VII y XII regiones.	19
Figura 3	Superficie de Bosque Nativo separado por tipo de bosque entre la VII y XII regiones.	19
Figura 4.	Existencias madereras en el Bosque Nativo por Tipo de Madera.	21
Figura 5	Consumo y flujo de productos en la Industria Primaria de Pino radiata y Especies Nativas año 2004.	21
Figura 6	Flujo de productos en la Industria Primaria de Pino radiata y Especies Nativas año 2004 por tipo de producto.	21

Capítulo 2 PRODUCTOS PRIMARIOS

Figura 7	Torno debobinador en proceso de corte.	28
Figura 8	Máquina defoliadora.	28
Figura 9	Posibles direcciones de corte en el debobinado y el foliado.	28
Figura 10	Trozas debobinables de Roble y Raulí evaluadas en el estudio.	30
Figura 11	Distribución espacial de la línea de producción.	30
Figura 12	Salida del macerado de las trozas debobinables de Roble y Raulí evaluadas en el estudio.	31
Figura 13	Cilindrado de las trozas debobinables de Roble y Raulí.	31
Figura 14	Clasificación de láminas. a) Cara, b) Trascara y c) Alma.	31
Figura 15	a) Grieta central en troza debobinable, producto del desplazamiento de médula. b) Defecto en láminas de madera nativa derivado de troza agrietada.	32
Figura 16	Láminas secas de madera nativa.	32
Figura 17	Trozas aserrables de Roble y Raulí evaluadas en los ensayos.	36
Figura 18	Distribución espacial línea de producción.	36
Figura 19	Salida sierra múltiple marca FAB, compuesta por sierras circulares de 4,2 mm de espesor.	39
Figura 20	Esquema de corte según diámetro menor.	39
Figura 21	Sierra huincha de brazo radial, marca INDUMET de 5 pulgadas de ancho y 2 mm de espesor.	39
Figura 22	Canteadora marca MIT de tres sierras circulares de 400 mm de diámetro y 4,2 mm de espesor.	39
Figura 23	Madera resultante del proceso de aserrío.	40
Figura 24	Detalle defectos en madera aserrada obtenida del ensayo.	42
Figura 25	Trozas aserrables de Roble y Raulí evaluadas en el estudio.	45
Figura 26	Vista banco aserradero, sector Balsadero Callaqui.	45
Figura 27	Sierra canteadora de 126 cm de diámetro.	45
Figura 28	Transformación de la troza en basa por la sierra canteadora.	45
Figura 29	Sierra dimensionadora de 47 cm de diámetro.	45
Figura 30	Transformación de la basa en piezas de madera aserrada.	45
Figura 31	Bigote de chino y cambio de forma de la cicatriz producto del aumento del diámetro del tronco.	46

Figura 32	Madera resultante del proceso de aserrío.	46
Figura 33	Trozas aserrables de Roble evaluadas en el estudio.	46
Figura 34	Troza con déficit isoperimétrico en la cara menor (troza 8)	48
Figura 35	Aserradero Móvil Wood Myzer LT 40 HD C34.	48
Figura 36	Esquema de corte utilizado según diámetro menor y secuencia de los cortes efectuados.	48
Figura 37	Madera resultante del proceso de aserrío.	48
Figura 38	Volumen de madera total y madera lateral por clase diamétrica.	48
Figura 39	Vista del aprovechamiento de una troza aserrable.	50
Figura 40	Vista de reaserradora ECASO.	50
Figura 41	Diagrama de línea de producción de proceso de reaserrío.	50
Figura 42	Piezas de madera reaserrada.	53
Figura 43	a) Proceso de reaserrío de madera lateral. b) Proceso de reaserrío de lampazos.	53
Figura 44.	Durmientes de madera instalados en líneas férreas.	55
Figura 45.	Dimensiones de durmientes y sus respectivas tolerancias.	55
Figura 46	Esquema de obtención de un durmiente de 10" de ancho y 6" de espesor.	57
Figura 47	Ejemplos de pallets de plataforma simple y doble.	59
Figura 48	Elementos constitutivos de un pallet.	59
Figura 49	Dimensiones de un pallet.	59
Figura 50	Diagramas del pallet de distribución ST 1 1000 x 1200 (valores en mm).	59
Figura 51	Destino país de la producción de postes y polines, año 2000 y 1999.	60
Figura 52	Detalle de las trozas utilizadas en la prueba de elaboración de postes.	63
Figura 53	Manipulación de las trozas a la salida del descortezador.	63
Figura 54	Postes de Roble y Raulí.	63
Figura 55	Detalle de troza utilizada en la prueba de elaboración de polines.	63
Figura 56	Proceso de cilindrado de las trozas.	63
Figura 57	Detalle de polín descortezado.	64
Figura 58	Proceso de cilindrado de las trozas.	64
Figura 59	Detalle de la madera después del descortezado o cilindrado.	64
Figura 60	Detalle de las trozas utilizadas en la prueba de elaboración de tutores.	64
Figura 61	Comparación tutores de roble descortezados respecto a las trozas sin elaborar.	64
Figura 62	Detalle de la selección de tutores. A la izquierda tutores seleccionados, a la derecha tutores rechazados.	64
Figura 63	Detalle de las trozas de Lingue utilizadas en la prueba de elaboración de polines.	66
Figura 64	Defecto en el descortezado de troza de Lingue producto de su forma.	66

Capítulo 3 PRODUCTOS ELABORADOS

Figura 65	Encoladora de rodillos paralelos.	70
Figura 66	Madera nativa encolada y lista para ser prensada.	70

Índice de Figuras

Figura 67	a) Láminas de mejor calidad (cara). b) Láminas de calidad intermedia (trascara). c) Láminas de menor calidad (alma).	70	Figura 111	Curva de secado para raulí de 12 a 14 mm.	95
Figura 68	Muestra de terciado elaborado a partir de madera nativa.	70	Figura 112	Materia prima utilizada para el ensayo y cámara de secado empleada.	97
Figura 69	Vista general de tableros OSB.	73	Figura 113	Curva de secado para raulí de 30 a 57 mm.	97
Figura 70	Tasa de Operación de la industria del OSB.	73	Figura 114	Materia prima para el ensayo de secado y cámara de secado utilizada.	98
Figura 71	Producción de Tableros OSB, Estados Unidos y Canadá.	73	Figura 115	Presencia de grietas post secado en madera de Raulí utilizada en el ensayo.	98
Figura 72	Producción de tableros OSB a nivel mundial.	73	Figura 116	Resultados principales de secado artificial de Canelo.	98
Figura 73	Consumo de tableros contrachapados y OSB en el mercado de Norteamérica.	73	Figura 117	Impregnación a presión con sales hidrosolubles tipo CCA.	101
Figura 74	Producción de tableros OSB en Chile.	73	Figura 118	Comparación de la retención respecto a la N Ch 819 Of. 96.	102
Figura 75	Proceso de Producción del OSB.	74	Figura 119	Vista del cilindro de impregnación.	105
Figura 76	Volúmenes de Pino radiata, Alamo y de especies nativos consumidos históricamente por LP Chile S.A.	74	Figura 120	Detalle de las trozas utilizadas en la prueba de elaboración de polines.	105
Figura 77	Consumo Total y de Especies Nativas de LP Chile S.A. Periodo 2001-2005.	74	Figura 121	Descortezado de las trozas.	105
Figura 78	Tipo de embalaje: Tapa clavada.	77	Figura 122	Detalle de la madera después del descortezado y cilindrado.	105
Figura 79	Tipo de embalaje: Baúl o Estuche.	77	Figura 123	Detalle de los polines previo a la impregnación.	105
Figura 80	Tipo de embalaje: Dominó.	77	Figura 124	Vista de los tarugos obtenidos en el muestreo y enviados para análisis al laboratorio de Fundación Chile.	106
Figura 81	Línea de producción general para la fabricación de envases de madera para botellas de vino de selección.	78	Figura 125	Vista general probetas.	106
Figura 82	Proceso de aserrío.	78	Figura 126	Dimensiones probetas de ensayo.	108
Figura 83	Proceso de reaserrío de madera lateral.	78	Figura 127	Vista general probetas post proceso de secado.	108
Figura 84	Proceso de secado de madera para envases.	78	Figura 128	Probetas después del proceso de cepillado.	108
Figura 85	Proceso de cepillado de madera seca.	79			
Figura 86	Proceso de lijado de madera seca y cepillada.	79			
Figura 87	Proceso de dimensionado.	79			
Figura 88	Cajas – envases de vino.	79	Capítulo 5 MADERA PARA ENERGÍA		
Figura 89	Madera seca de Roble.	82	Figura 129	Clasificación de las Energías Renovables.	111
Figura 90	Sierra circular marca RIDGID.	82	Figura 130	Fuentes de obtención de Biomasa.	111
Figura 91	Cepilladora marca RYOBI.	82	Figura 131	Diagrama de aplicaciones energéticas de la biomasa.	113
Figura 92	Proceso de producción cubierta de mesa.	83	Figura 132	Diagrama proceso de producción de electricidad.	113
Figura 93	Proceso de trozado de la madera.	83	Figura 133	Diagrama solución Industrial Convencional y de Cogeneración.	115
Figura 94	Pérdida de madera.	83	Figura 134	Energía y crecimiento en Chile 1970-2002.	119
Figura 95	Proceso de canteado.	84	Figura 135	Precio promedio de los principales combustibles utilizados a nivel residencial (US\$/MMBTU).	121
Figura 96	Vista de final del proceso de fresado.	84	Figura 136	Precio promedio de los principales combustibles utilizados a nivel industrial (US\$/MMBTU).	121
Figura 97	Proceso de producción piezas de la base de la mesa.	84	Figura 137	Costos de combustible y de generación a partir de distintos insumos energéticos.	122
Figura 98	Proceso de producción de patas de la mesa.	84	Figura 138	Representación de un metro estéreo.	127
Figura 99	Ficha Técnica Mesa Cuadrada.	86	Figura 139	Representación de una vara.	127
Figura 100	Ficha Técnica Silla.	86	Figura 140	Vista de tacos de lenga.	127
Figura 101	Ficha Técnica Piso.	87	Figura 141	Vista de astillas de roble.	129
Figura 102	Ficha Técnica Banqueta.	87	Figura 142	Vista de canastos de leña en la IX región.	129
Figura 103	Ficha Técnica Maceteros Octogonales.	88	Figura 143	Sacos de leña producida por Energía Verde S.A.	129
Figura 104	Ficha Técnica Jardinera.	88	Figura 144	Medición de metro ruma de madera nativa para elaboración de leña.	130
			Figura 145	Vista general Cancha de Acopio Inspector Fernández, IX región.	130
Capítulo 4 TRATAMIENTOS DE LA MADERA			Figura 146	Estructura productiva teórica empresa abastecedora de leña	133
Figura 105	Secado artificial en cámara.	91	Figura 147	Carbonera cubierta con arena en la comuna de Longaví, VII región.	135
Figura 106	Secado natural al aire libre.	91			
Figura 107	Defectos de la madera producto del proceso de secado.	93			
Figura 108	Materia prima utilizada para el ensayo de secado.	95			
Figura 109	Madera de Raulí empallada para el secado.	95			
Figura 110	Materia prima utilizada para ensayo de secado. Raulí 12 y 14 mm de espesor.	95			

Índice de Figuras

Figura 148	a) Esquema del aspecto externo de una parva tradicional. b) Ordenamiento de madera para la construcción de una parva. c) Producción de carbón en parva tradicional.	138
Figura 149	a) Esquema de fosa para procesar carbón. b) Fosa para elaboración de carbón.	138
Figura 150	Horno de colmena.	139
Figura 151	Horno de media naranja.	139
Figura 152	Horno metálico transportable.	139
Figura 153	Proceso de carga de horno metálico portátil.	140
Figura 154	Horno de carbón de ladrillo en proceso de producción.	140
Figura 155	Sacos de carbón de aproximadamente 25 kg almacenados para su venta.	140
Figura 156	Bolsas de carbón de 2,5 kg listas para la venta en supermercados.	140
Figura 157	Carbón producido en horno metálico transportable previo al proceso de envasado.	140
Figura 158	Tipos de pellets.	143
Figura 159	Bosque de lenga manejado con madera volteada sin uso.	144
Figura 160	Trozos aserrables de Lenga en Magallanes.	144
Figura 161	Desechos de aserrío de lenga en Magallanes.	144
Figura 162	Diagrama de flujo proceso productivo.	144
Figura 163	Briquetas.	148
Figura 164	Interior de una planta briquetadora.	148
Figura 165	Sistema de briquetado con extracción de material de silos.	149
Figura 166	Sistema de briquetado con tanque de almacenamiento para virutas y aserrín secos.	149
Figura 167	Cadena de producción de briquetas a partir de leña de desecho.	150
Figura 168	Modelos DH500-28x2 y DH300-20.5.	151

PRESENTACIÓN

El objetivo compartido de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), al ejecutar el Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo (PCMSBN) y de la Cooperación Alemana al apoyar su realización, es repetir el éxito alcanzado por el sector forestal, con el fomento de la forestación, haciéndolo extensivo al recurso nativo. Desgraciadamente, las condiciones de partida no son iguales para el bosque nativo y las plantaciones forestales. Para el bosque nativo, no existen aún instrumentos de fomento por parte del Estado a través de los incentivos y ni siquiera se cuenta con un explícito apoyo en forma de una política sectorial lo que finalmente conlleva a su desvalorización como recurso económico.

El éxito de las plantaciones forestales, trajo aparejado un gradual reemplazo de uso de maderas nativas por la maderas de pino y eucalipto. Esto en sí debería llevar, según los conceptos internacionalmente reconocidos, a una disminución de la presión sobre el bosque nativo lo que finalmente redundaría en una mejor conservación de este invaluable recurso. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la implementación de conceptos teóricos lleva a resultados muchas veces inesperados. Así fue también en el caso del bosque nativo, que en el transcurrir de este proceso terminó perdiendo su valor económico y como todo lo que no tiene valor para el ser humano, se convirtió en objeto de descuido y degradación.

Reconociendo que la desvalorización económica es el problema principal que afecta al bosque nativo, el PCMSBN enfocó sus esfuerzos en revertir el proceso de degradación, propiciando las buenas prácticas asociadas a un manejo sustentable del recurso, pero ellas serían al menos inútiles y estériles si no estuvieran complementadas con el fomento de la comercialización de los productos del manejo sustentable del bosque nativo y de este modo incluir el recurso en el desarrollo económico de los propietarios de bosque, de las comunas, de las regiones y del

país. Una exitosa comercialización de productos provenientes del bosque nativo, significa principalmente la diversificación de los productos, en este caso se aborda los productos madereros sin desconocer la relevancia de los productos forestales no madereros sobretodo en las economías locales.

En los más de 10 años de trabajo conjunto entre CONAF, la Cooperación Alemana, los pequeños y medianos propietarios de bosques, las empresas y el sector académico, el PCMSBN se dio cuenta de que, entre otras, una de las razones por las que no se comercializa y procesa la madera nativa, se debe al desconocimiento tecnológico, o a la pérdida de conocimiento debido al reemplazo por madera de pino y eucalipto proveniente de plantaciones, lo que ha afectado los potenciales usos de madera nativa. Como parte de su trabajo en las cinco regiones del sur de Chile, el proyecto trató de llenar este vacío con un número considerable de experiencias pilotos en el ámbito tecnológico en búsqueda de mejorar el aprovechamiento del recurso disponible.

La mayoría de las experiencias apuntaban a solucionar un problema específico, que los propietarios del bosque tuvieron con la comercialización de su recurso, o las empresas elaboradoras con nuevos productos, como por ejemplo: producir durmientes de hualle en vez de pellín; aserrar trozos de diámetros pequeños; producir postes y polines de especies nativas en vez de pino; remplazar la producción artesanal de carbón vegetal por la que se obtiene a partir de hornos metálicos y de ladrillo; mejorar el proceso de secado de varias especies, etc.

Esperamos, que esta recopilación de múltiples experiencias realizadas en alianzas público-privadas con empresas y el sector académico ayudarán a mejorar el uso integral del recurso maderero nativo y contribuirán así, al mejoramiento ambiental, social y económico de la vida de propietarios de bosque nativo.

Dr. Stepan Uncovsky

Asesor Principal
Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

Manuel Soler M.

Coordinador Nacional
Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Corporación Nacional Forestal (CONAF).

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo brindado al Doctor Stepan Uncovsky, Asesor Principal de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ) para el Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo y a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) en el nombre del Señor Manuel Soler Mayor, Coordinador Nacional del mismo proyecto, por su constante respaldo a esta iniciativa.

Asimismo, se agradece en forma especial al Señor Guillermo Reyes C., por su colaboración técnica al tema. A la Señora Inés Valdés por su dedicación para la materialización de éste y al Señor Alfonso Quiroz por el profesionalismo impuesto al diseño gráfico de esta publicación.

Por último, los autores desean realizar un reconocimiento especial a las siguientes empresas que aportaron decididamente a la inquietud de concretar estas experiencias y sistematizar sus resultados:

- Maderas Impregnadas Preserva Ltda.,
en particular a su propietario don Alvaro Franzani Donoso.
- Embalajes Standar S. A.,
en la persona de su Gerente General don Jorge Daroch
y su Gerente de Desarrollo don Luis Ignacio Rojas.
- ESPUCON S. A.,
a su propietario don Felix Herrera Pérez.
- Energía Verde S. A.,
a don Jaime Zuazagoitia, Gerente General, y don Alejandro Pacheco, Jefe de Combustibles.
- Louisiana Pacific Chile,
a don Arturo Nannig, Gerente de Finanzas y Administración
y don Víctor Alvarez, Subgerente de Abastecimiento.
- Mardones -B.P.B. Creosote Treaters S.A.,
a don Gonzalo Mardones, Gerente General.

INTRODUCCIÓN

El acelerado crecimiento del sector forestal nacional, que queda demostrado en el notable incremento de las exportaciones desde 2.206 millones de dólares en el año 2001 a 3.397 millones de dólares en el año 2004, lo que equivale a un crecimiento del 54,0% en términos de valor exportado y corresponde a 3,4 millones de metros cúbicos de productos primarios y 6,4 millones de toneladas de pulpa y productos elaborados en el 2004, se basa casi exclusivamente en las plantaciones exóticas (99% del monto exportado), que a la fecha cubren una superficie de aproximadamente 2,1 millones de hectáreas en el país.

Por otra parte, el bosque nativo a nivel nacional cubre una superficie de 13,4 millones de hectáreas mientras que su aporte a las exportaciones forestales, y por ende a la auspiciosa posición del sector forestal chileno, es marginal y decreciente toda vez que mientras el año 2001 el monto exportado fue de 48,9 millones de dólares y explicaba el 2,2% del monto total exportado por el sector, el año 2004 el monto descendió a 35,2 millones de dólares y explicó sólo el 1,0% del monto total con 86 mil metros cúbicos de madera en trozas, lo que corresponde a menos del 3% del volumen total exportado por el país en dicho año.

El contraste entre ambas situaciones planteadas es evidente y las causas de este hecho son múltiples y variadas, entre ellas se cuentan diferencias en cuanto a: accesibilidad, productividad del recurso, estructura de propiedad, marco regulatorio y medidas de fomento, conocimiento técnico, niveles de heterogeneidad del recurso, entre otras.

En este escenario, los profesionales que trabajan desde 1997 en el Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo CONAF-KfW-GTZ-DED (Proyecto CMSBN), -una iniciativa de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) que cuenta con el apoyo concertado de tres instituciones alemanas: el Instituto de Crédito para la Reconstrucción KfW, el Servicio Alemán de Cooperación Social-Técnica DED y la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica GTZ- en su permanente contacto con los propietarios y con el recurso mismo, han ido convergiendo hacia la conclusión de que una de las piezas clave para avanzar en el desarrollo del subsector bosque nativo en Chile es la comercialización de los productos que genera necesariamente un manejo sustentable del recurso nativo. Lo anterior, asociado principalmente a la premisa de "dar valor" a los bosques naturales y con ello aspirar a mejorar el estado actual del recurso de modo que a futuro pueda entregar en su totalidad los bienes y servicios que de él se demandan.

La ampliación del concepto de un país forestal, incorporando la riqueza nativa, pasa necesariamente por la difusión de herramientas técnicas que apunten a clarificar los antecedentes básicos para análisis más profundos y a su vez, ofrezcan una base para su discusión. Es aquí donde se materializa la necesidad de sistematizar y documentar las experiencias e iniciativas en diversos ámbitos del trabajo con el bosque nativo y sus propietarios que ha desarrollado el Proyecto CMSBN a través de su ejecución, y que en este caso aborda la temática de aprovechamiento comercial de los productos provenientes del Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

El presente documento muestra los resultados obtenidos en varios ámbitos de la producción maderera forestal ligada al bosque nativo, con énfasis en el aprovechamiento de madera juvenil proveniente de renovales, partiendo en usos tan tradicionales como la elaboración de productos primarios a través del aserrío y debobinado, pasando por el análisis de productos con mayor elaboración como tableros, envases y muebles estilo terraza y culminando en las opciones de utilización relacionadas con el uso de madera nativa para fines energéticos, tema de especial interés en la actualidad debido tanto a la problemática energética del país como a la necesidad de modernizar y profesionalizar la producción, comercialización y utilización de los insumos dendroenergéticos que genera el bosque nativo en el país. Adicionalmente, se presentan experiencias relacionadas con algunos tratamientos de la madera como secado e impregnación, que intentan entregar un mayor valor agregado a los productos y a su vez mejorar sus características físico mecánicas para usos más sofisticados.

Las experiencias que se exponen en esta publicación son una pequeña parte de los antecedentes que ha generado el Proyecto CMSBN y en definitiva, buscan aportar conocimientos adicionales en el uso de los productos resultantes de las intervenciones silvícolas del bosque natural bajo criterios de sustentabilidad. Si bien la escala en que se han desarrollado no es operacional, sí es claro que la tecnología y forma de operación en cada una de estas pruebas corresponden a la misma utilizada habitualmente para la madera de Pino radiata, lo que permite establecer un patrón de comparación tanto en los aspectos técnicos del proceso como en los aspectos económicos derivados del mismo. En la práctica, con este documento se espera contribuir con otro insumo técnico para la valorización y manejo sustentable de nuestro recurso nativo.

Capítulo 1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 El Recurso Forestal Nativo.

De los 75,7 millones de hectáreas que constituyen la superficie continental de Chile del orden de 15,6 millones de hectáreas (21%) están cubiertas por bosque. De este bosque 13,4 millones de hectáreas (85,9%) corresponden a bosques nativos mientras que las plantaciones ocupan una superficie de 2,1 millones de hectáreas (13,6%), (Figura 1), (CONAF–CONAMA–BIRF, 1999).

Según la clasificación de estructura utilizada, un 44,5% del bosque nativo correspondería a Bosque Adulto, un 26,7% a Renoval, un 22,4% a Bosque Achaparrado y sólo un 6,4% a Bosque Adulto Renoval. Desde una perspectiva de potencial intervención en el corto plazo, bajo criterios de manejo sustentable, son de importancia las 4.447.671 ha que corresponden a las estructuras Renoval y Bosque Adulto Renoval.

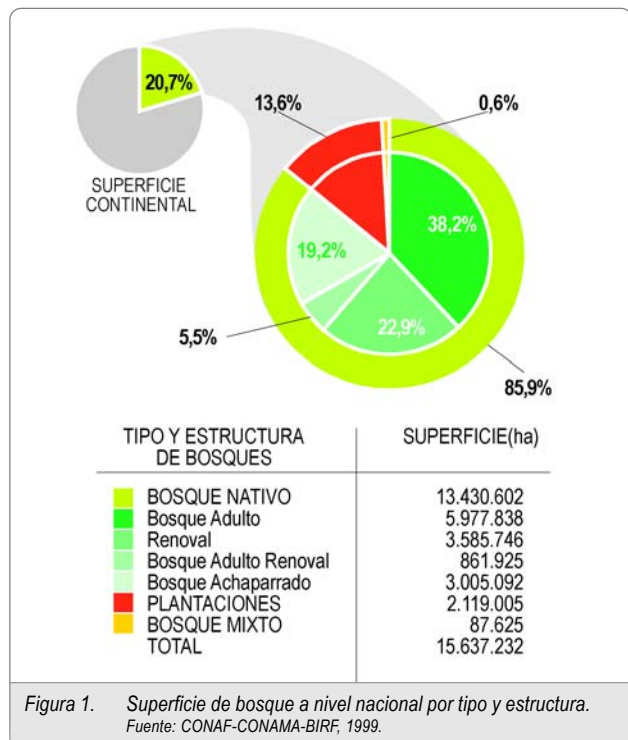


Figura 1. Superficie de bosque a nivel nacional por tipo y estructura. Fuente: CONAF–CONAMA–BIRF, 1999.

Una parte importante de la propiedad de este recurso pertenece al Estado, a través del denominado “Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado” conocido con la sigla SNASPE. Las estadísticas indican que el recurso forestal administrado por el SNASPE alcanza a 3,9 millones de ha, que corresponden a un 29% de la superficie cubierta de bosques en el territorio nacional. Esta cifra es una de las más altas del mundo expresada por habitante.

Los bosques nativos de Chile se clasifican en su mayoría como bosques templados debido a que se encuentran fuera de las regiones tropicales y están sujetos a bajas temperaturas invernales, que en muchas ocasiones son limitantes para el crecimiento arbóreo. Estas formaciones se ubican aproximadamente entre el Río Maule y Tierra del Fuego. Al Norte del río Maule se localizan los denominados bosques esclerófilos, que se separan de los anteriores por presentar productividades comparativamente inferiores y encontrarse en ambientes semiáridos de tendencia mediterránea, donde el factor limitante del crecimiento arbóreo no lo constituye la temperatura, sino la larga sequía de verano.

Para efectos prácticos de manejo forestal, la clasificación de los bosques nativos de Chile se realiza en base a la tipificación hecha por Donoso (1981), donde se reconocen 12 Tipos Forestales. En esta clasificación, los criterios para la determinación de los Tipos y Subtipos Forestales se han basado, principalmente, en la estructura y composición florística de los estratos dominantes de los bosques (CONAF–GTZ, 1998). Estos Tipos Forestales son: Esclerófilo, Palma chilena, Roble-Hualo, Ciprés de la cordillera, Roble-Raulí-Coihue, Lenga, Araucaria, Coihue-Raulí-Tepa, Siempreverde, Alerce, Ciprés de las Guaitecas y Coihue de Magallanes. Con la excepción de los Tipos Forestales Esclerófilo y Palma Chilena, todos cuentan con la participación de al menos una especie del género *Nothofagus*.

Los tipos forestales con mayor participación en la superficie del bosque nativo son el Siempreverde (30,9%), Lenga (25,3%), Coihue de Magallanes (13,4%) y Roble-Raulí-Coigüe (10,9%). Dentro de estos Tipos Forestales las especies que tienen una

Capítulo 1

Antecedentes Generales

mayor abundancia son el Coihue, Tapa, Lengua y Roble las que concentran más del 45% de las existencias.

Otro aspecto de relevancia es que de las 13,4 millones de hectáreas de bosque nativo en nuestro país, el 97,6% se encuentra sólo en 6 regiones, en distribución desde la VII a XII región, (Cuadro 1).

La región con mayor superficie de bosque nativo es la Undécima, con más del 35% de la superficie nacional; le siguen las regiones Décima (26,9%) y Décimo Segunda (19,6%), abarcando las tres más del 82% de toda la superficie de bosque nativo del país.

En el área geográfica comprendida entre la VII y XII regiones las masas boscosas están representadas por bosques templados con predominio de especies del género *Nothofagus* (Figuras 2 y 3). No obstante, se trata en una alta proporción de bosques de segundo crecimiento y achaparrados, a excepción de las regiones X a XII en las cuáles existe una considerable proporción de bosques adultos.

Existen dos categorías especialmente interesantes para efectos de manejo forestal sustentable. Estas son: bosque adulto y renoval. Ambas categorías evidencian una alta proporción de material primario que sólo se puede destinar a usos como biocombustible y astillas, permitiendo de paso la extracción de árboles de menor calidad para dar paso a un mayor crecimiento y expansión de los individuos de mejores características, lo que propicia un mejoramiento futuro de la calidad de los productos para extracciones proyectadas a mediano y largo plazo.

Otro aspecto interesante de considerar es la existencia entre la VII y XII regiones de otros tipos de formaciones boscosas, como lo son los bosques artificiales, que se asocian a procesos de manejo, aprovechamiento y comercialización bastante dinámicos en la economía nacional. Estos se concentran en las regiones VII, VIII y IX (Cuadro 2).

Para aproximarnos a la superficie potencialmente disponible para el manejo sustentable entre la VII y XII regiones, a los 13,1 millones de hectáreas existentes se debe descontar las superficies que, según criterios técnicos, ambientales y de propiedad del recurso, no podrían ser intervenidas en el corto plazo. Estas superficies son: la superficie de Áreas Silvestres Protegidas (Parques Nacionales y Reservas Nacionales), superficie de bosque nativo con estructura Bosque Achaparrado, superficie de bosque nativo con altura menor a 8 metros, superficie de bosque nativo con Cobertura "Abierto", superficie de bosque nativo en pendientes mayores a 60% y la superficie de bosque nativo en zonas de protección (buffer cursos de agua: 30 m a ambos lados de la rivera). Además, se debe considerar,

Cuadro 1. Distribución del bosque nativo por regiones.

Región	Superficie (ha)	Participación (%)
I	7.299	0,05
II	0	0,00
III	0	0,00
IV	1.610	0,01
V	95.313	0,71
RM	93.454	0,70
VI	118.013	0,88
VII	370.330	2,76
VIII	786.208	5,85
IX	908.501	6,76
X	3.608.873	26,87
XI	4.815.532	35,85
XII	2.625.469	19,55
Total	13.430.602	100,00

Fuente: CONAF-CONAMA-BIRF, 1999.

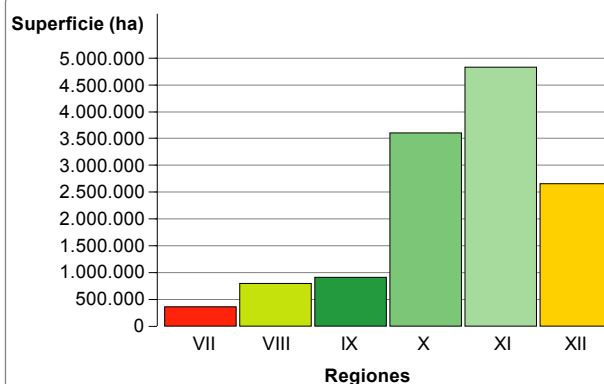


Figura 2. Superficie total cubierta de Bosque Nativo entre la VII y XII regiones.

Fuente: CONAF-CONAMA-BIRF, 1999.

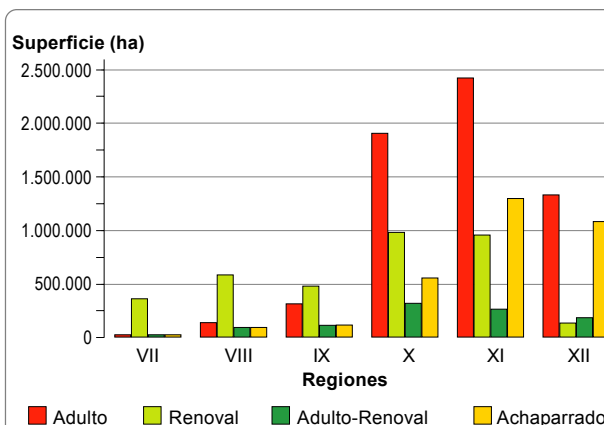


Figura 3. Superficie de Bosque Nativo separado por tipo de bosque entre la VII y XII regiones.

Fuente: CONAF-CONAMA-BIRF, 1999.

Cuadro 2. Superficie de Bosques artificiales (ha).

Tipo de Bosque	Regiones					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Plantación Forestal	413.335,5	939.420,2	359.906,2	196.356,6	7.108,8	10,47
Bosque Mixto	12.292,2	38.294,2	19.074,1	15.272,5	914,1	27,02
Total	425.627,7	977.714,4	378.980,3	211.629,1	8.022,9	37,49

Fuente: CONAF-CONAMA-BIRF, 1999.

Cuadro 3. Tipos forestales y subtipos forestales considerados desde la VII a XII regiones.

Región	Tipo forestal	Subtipos
VII	Roble Raulí Coihue	Todos
VIII	Roble Raulí Coihue Coihue Raulí Tepa	Todos Todos
IX	Roble Raulí Coihue Coihue Raulí Tepa Siempreverde	Todos Todos Renoval de Canelo
X	Roble Raulí Coihue Coihue Raulí Tepa Siempreverde	Todos Todos Renoval de Canelo
XI	Coihue de Magallanes Lenga	Coihue de Magallanes Lenga / Lenga Coihue común / Lenga Coihue de Magallanes
XII	Coihue de Magallanes Lenga	Coihue de Magallanes Lenga / Lenga Coihue común / Lenga Coihue de Magallanes

Cuadro 4. Superficie de bosque nativo potencialmente disponible para Manejo Sustentable, según Región y Tipo Forestal (ha).

Región	Tipos Forestales						
	Coihue de Magallanes	Coihue - Raulí - Tepa	Lenga	Roble - Rauli - Coihue	Roble-Hualo	Siempre-verde	Total
VII	0,00	0,00	0,00	84.375,31	76.907,46	0,00	161.282,77
VIII	0,00	40.198,26	0,00	290.044,28	0,00	0,00	330.242,54
IX	0,00	62.729,84	0,00	270.150,72	0,00	5.131,45	338.012,01
X	0,00	281.026,77	0,00	245.122,06	0,00	96.835,17	622.984,00
XI	226.025,79	0,00	469.814,18	0,00	0,00	0,00	695.839,97
XII	228.668,98	0,00	630.634,93	0,00	0,00	0,00	859.303,90
Total	454.694,77	383.954,88	1.100.449,11	889.692,38	76.907,46	101.966,61	3.007.665,20

en cuanto a composición, aquellos tipos forestales (y subtipos forestales correspondientes) de menor complejidad para el manejo (Cuadro 3).

Efectuando los descuentos indicados, en forma secuencial, a partir de las bases de datos digitales del Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile se llega a una superficie potencialmente disponible para manejo sustentable de 3.007.665,20 ha (Cuadro 4). Se evidencia un aumento progresivo en la superficie potencialmente intervenible en la medida que se avanza a las regiones más australes de nuestro

país, existiendo en la XII región 2,6 veces más superficie de bosque nativo que en la VIII región. A nivel de tipo forestal, es el tipo forestal Lenga el de mayor participación en cuanto a superficie (36,6%), seguido cercanamente por el tipo forestal Roble-Raulí-Coihue (29,6%). Este último es el que tiene una mayor frecuencia en cuanto presencia en el área geográfica comprendida entre la VII y XII regiones, ya que se encuentra en 4 de estas 6 regiones.

En cuanto al rendimiento esperado para esta superficie de bosque nativo, Berg y Grosse (2005), señalan un crecimiento del orden

Capítulo 1

Antecedentes Generales

de los 7,5 m³/ha/año para bosques nativos desde la VII hasta la X regiones, no así para bosque nativo entre la XI y XII en los que mencionan un crecimiento anual de los 3,5 m³/ha. En el caso particular de la Región del Bío-Bío, la experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo entrega importantes antecedentes de crecimiento y rendimientos para distintas etapas de desarrollo de rodales del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue sobre la base de intervenciones silvícolas realizadas con propietarios adscritos al Proyecto en las cuales se ha cuantificado los volúmenes extraídos, principalmente en la realización de cortas intermedias (Cuadros 5 y 6).

Es factible asumir entonces, en términos muy conservadores, que el crecimiento de esta masa boscosa es del orden de 5 m³/ha/año en promedio, con lo que el crecimiento total de la masa alcanzaría a aproximadamente 15 millones de m³/año, equivalente a la disponibilidad de madera a ser cosechada aplicando la condición fundamental de sustentabilidad forestal: no extraer más que el crecimiento acumulado en un periodo de tiempo determinado.

1.2 Aspectos económicos de los productos del bosque nativo.

La existencia de madera sólida que presentan los bosques nativos entre la V y XII regiones se elevarían sobre los 1.050 millones de m³, de los cuales un 53% correspondería a combustible, un 34% a madera aserrable y 13% a madera industrial (Figura 4). De este volumen cerca del 67% (703.500 m³) se encontraría entre la VII y X regiones, área que, de acuerdo a sus condiciones de accesibilidad, infraestructura vial, portuaria e industrial, tendrían las mejores posibilidades de incorporar el recurso a la economía nacional.

Durante el año 2004 el sector forestal chileno exportó un total de US\$ 3.396,6 FOB lo que significó una participación del 10,6% en el total de las exportaciones del país (INFOR, 2005). Esta cifra reafirma la ya conocida importancia del sector forestal dentro de la economía nacional, situación basada casi en su totalidad en las plantaciones de especies exóticas y contrasta paralelamente con la escasa participación del subsector nativo en estos logros.

A nivel del mercado nacional durante el año 2004 la industria primaria consumió del orden de 31,9 millones de m³ sólidos de trozas de los cuales 25,7 millones de m³ correspondieron a Pino radiata (80,6%) y solo 0,62 millones de m³ fueron de especies nativas (2,0%) (Figura 5).

En cifras concretas, a nivel nacional el año 2004, el consumo

total de trozas de madera nativa en la industria primaria fue de 623.700 m³ ssc. De estos 418.500 m³ ssc se destinaron a la producción de madera aserrada, 197.000 m³ ssc como materia prima para la producción de tableros y chapas, 7.000 m³ ssc correspondieron a trozas exportadas y 1.200 m³ ssc correspondieron a embalajes.

La principal fuente de consumo de trozos nativos fue durante el 2004 la producción de madera aserrada (67%) seguida de la producción de tableros y chapas (32%). Asimismo, la producción de madera aserrada fue destinada fundamentalmente al mercado nacional, lo que implica niveles de precios bastante reducidos por unidad de volumen, mientras que los tableros y chapas fueron exportadas en un 14% de su producción.

Llama la atención que en rubros en donde no se requieren altos estándares de calidad de materias primas, como tableros, embalajes y polines, exista una escasa o nula producción a partir de maderas nativas, ya que siempre se aduce que el bosque nativo no genera trozos de calidad, pero curiosamente es la madera aserrada la que representa los mayores consumos de trozas.

En cuanto a los productos generados, se obtuvo con esta materia prima 176.800 m³ de madera aserrada que en un 89% se destinó a consumo nacional, 2.700 m³ de astillas (proveniente de desechos de madera aserrada) de las cuales un 100% se destinó a consumo nacional; 83.300 m³ de tableros y chapas con un 86% del volumen destinado al mercado interno y 7.000 m³ de trozas de exportación (INFOR, 2005), (Figura 6).

Adicionalmente, es necesario incluir en el consumo de maderas nativas los volúmenes asociados a la producción de leña que es la actividad que ocupa la mayor cantidad de madera del bosque nativo. De acuerdo a los antecedentes aportados por el Proyecto Sistema de Certificación para el Uso Sustentable de la leña en Valdivia (2005) el consumo de leña a nivel nacional se elevaría a 12 millones de m³ anuales de los cuales 8 millones (67%) corresponderían a bosque nativo. Por lo anterior, el consumo total de maderas nativas, utilizadas tanto en la industria primaria como en combustible ascendería a 8,7 millones de m³, lo que implica que del orden del 92% de la madera que se extrae de los bosques nativos son utilizadas como combustibles lo que conlleva un mínimo de valor agregado y precios de venta muy reducidos.

Es obvio que la ausencia de un manejo técnico adecuado del recurso nativo contribuye a su deterioro y degradación. En la práctica, la falta de un manejo sustentable económicamente atractivo del bosque nativo se ha convertido en su principal amenaza. Esta ausencia de manejo ha provocado que la escasa producción y exportación de madera nativa se concentre en

Cuadro 5. Crecimientos promedio obtenidos a partir de experiencias del Proyecto CMSBN, Región del Bio-Bío.

Etapas de crecimiento	Composición	Crecimiento (m ³ /ha/año)
Brinzales	RO-RA-CO	8,00
Latizales Bajos	RO-RA-CO	10,00
Latizales Altos	RO-RA-CO	12,00
Adulto	RO-RA-CO	8,00

RO-RA-CO: Roble-Raulí-Coihue.

Cuadro 6. Rendimientos promedio obtenidos a partir de experiencias del Proyecto CMSBN, Región del Bio-Bío.

Etapas de crecimiento	Composición	Rendimiento Intervención (m ³ /ha)
Brinzales	RO-RA-CO	30
Latizales Bajos	RO-RA-CO	90
Latizales Altos	RO-RA-CO	125
Adulto	RO-RA-CO	150

RO-RA-CO: Roble-Raulí-Coihue.

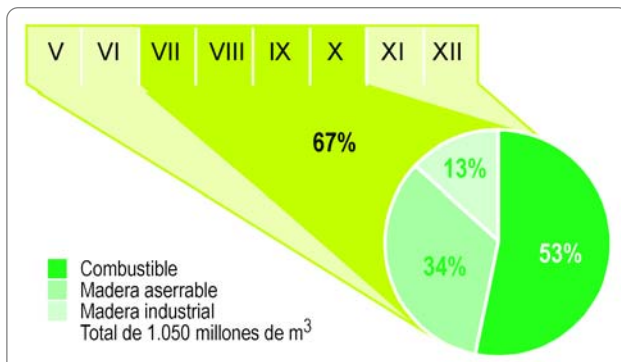


Figura 4. Existencias madereras en el Bosque Nativo por Tipo de Madera.

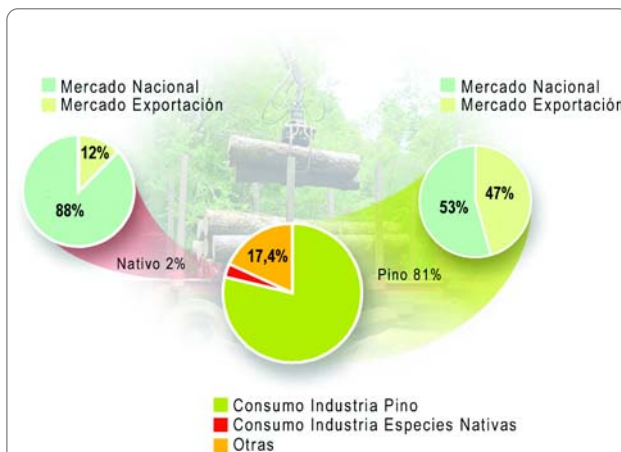


Figura 5. Consumo y flujo de productos en la Industria Primaria de Pino radiata y Especies Nativas año 2004. Fuente: INFOR, 2005.

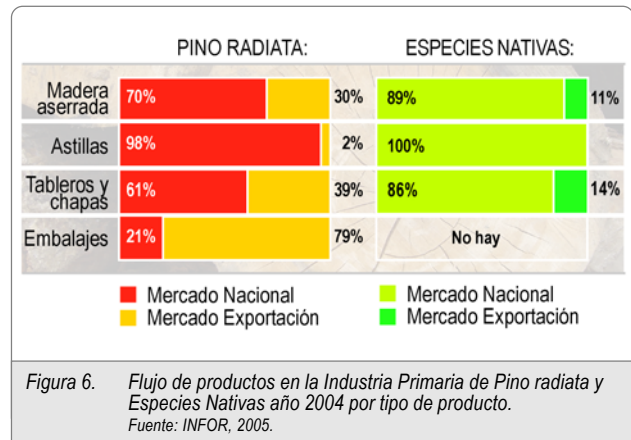


Figura 6. Flujo de productos en la Industria Primaria de Pino radiata y Especies Nativas año 2004 por tipo de producto. Fuente: INFOR, 2005.

productos de bajo valor, como son las astillas y la leña. En un bosque manejado se producen también estos bienes, pero en menor proporción, favoreciendo la obtención de productos nobles como madera aserrable y debobinable. En bosques manejados, la madera para astillas, leña y carbón debe provenir de residuos de la cosecha forestal, y de árboles con problemas sanitarios. Estos productos de desecho siempre existirán, pero con prácticas silvícolas adecuadas su volumen será reducido en comparación con la obtención de productos nobles que son parte del objetivo del manejo forestal.

Finalmente, la consecuencia social de la falta de manejo es el empobrecimiento y descapitalización de los propietarios del bosque y la falta de fuentes de trabajo con relación a este importante recurso (Souter, 2000).

Contrariamente a la impresión general de la mayoría de las personas, el manejo del bosque nativo produce impactos positivos no sólo en el largo plazo, sino también en el corto plazo. Uno de estos impactos es a nivel social, con la creación de nuevas fuentes laborales.

Las empresas forestales proporcionan empleo, directa e indirectamente, en formas bien conocidas, como por ejemplo, labores de delimitación, inventarios, marcaciones, cosecha parcial, regeneración, guardabosques, protección, administración, transporte, etc. En algunos países, esas empresas representan casi una quinta parte del empleo total del sector manufacturero. Además, cifras recientes indican que las pequeñas industrias forestales rurales son la fuente principal de empleo para una proporción comprendida entre el 20 y el 30% de la fuerza de trabajo rural de muchos países en desarrollo. La proporción de los ingresos en efectivo obtenidos por la población rural de esas empresas puede ser considerable, llegando en algunos casos a más del 50%. Esto es especialmente importante para las personas pobres y los campesinos sin tierra, que

Capítulo 1

Antecedentes Generales

dependen en alto grado de esas empresas y que obtienen la mayor parte de sus ingresos de ellas (www.fao.org).

Esta situación es particularmente interesante para la zona sur del país (desde la VII a XII regiones), en donde en el medio rural viven aproximadamente 1.300.000 habitantes, un 26% de la población total de esta área, en donde la tasa de desocupación llega en promedio a un 6,2%, lo que implica para el sector rural un número aproximado de 81.000 personas sin trabajo.

Parte importante del empleo generado por el sector forestal en el país, se encuentra en la VIII región (www.chilnet.cl), donde se concentra aproximadamente el 41% de las empresas forestales. Esta cifra se ve reflejada en que la ocupación forestal en esta región alcanza las 48.949 personas, de las cuales el 36% (17.622 personas) se dedica a actividades de extracción y silvicultura, un 53% (25.943 personas) y un 11% en los servicios directos tales como la investigación, la docencia y asesorías, la protección, el control del recurso, la comercialización y el transporte. En particular el segmento de la industria forestal se subdivide en 45% (11.674 personas) de mano de obra para la industria de transformación primaria y 55% (14.269 personas) para la industria de transformación secundaria (INFOR, 2000).

Según un estudio encomendado por el Proyecto CMSBN y realizado por Souter (2000), en el cual estima el empleo directo, es decir, las jornadas necesarias para ejecutar actividades primarias en el manejo de bosque nativo, considerando los estándares normales de una empresa privada, en sólo 5 años proponía intervenir como promedio 100 mil ha anuales, generando 40.000 empleos permanentes. Adicionalmente, en el citado estudio se señala que la calidad de los empleos iría mejorando a medida que el sector se desarrollara.

En otro estudio, también enmarcado dentro de las actividades del Proyecto CMSBN, realizado por Reyes (2001), donde establece un supuesto de manejo para renovales en distintos estados de desarrollo de 10.000 hectáreas anuales en la Región del Bío-Bío, al cabo de 4 años de operación se estimó la creación de 906 empleos permanentes sólo en la actividad primaria del bosque.

Si analizamos la situación de abastecer un volumen de unos 235.000 m³ de madera nativa para un grupo integrado de empresas en la VIII región, se estima que se generarían unos 290 empleo directos, más unos 580 empleos indirectos, para el desarrollo de empresas de transporte, comercialización de productos, entre otros servicios (Milla, 2004).

Como experiencia concreta en este sentido está el Proyecto CMSBN en la Región del Bío-Bío, en el cual las ejecuciones de

los planes de ordenación elaborados han generado hasta el año 2004 un volumen de 60 mil m³ de madera nativa comercializada. Esto localmente tiene impactos a nivel social, ambiental y económico. Lo anterior en cifras se concreta en alrededor de 1,2 millones de dólares por concepto de comercialización de productos y alrededor de 1.800 hectáreas manejadas en forma sustentable, mientras que en el ámbito social, se contabiliza una cifra del orden de 48 mil jornadas de trabajo en la temporada (Pozo, 2005).

Con respecto a los costos asociados a la producción de materia prima proveniente de bosques nativos, la experiencia del Proyecto CMSBN en la Región del Bío-Bío indica que cerca del 40% de los costos corresponderían a actividades de transporte y carguío, seguido por las actividades propias de manejo como volteo, madereo y arrumado de productos que representa del orden del 28% del costo total de producción por unidad de volumen (Cuadro 7).

Cuadro 7. Estructura de costos de producción de materia prima estimada, a partir de experiencias del Proyecto CMSBN Región del Bío-Bío.

Actividad	Valor
Volteo-Madereo-Arrumado	US\$ 8,6 / mr(*)
Carguío	US\$ 1,3 / mr
Transporte	US\$ 10,5 / mr
Gestión y Acreditación	US\$ 1,9 / mr
Valor de la Madera	US\$ 8,2 / mr
Total	US\$ 30,5 / mr

(*) : Metro ruma
580\$/US\$

Fuente: Elaboración Propia.

1.3 El mercado de productos provenientes del bosque nativo.

La diversidad de situaciones ecológicas, socioeconómicas y culturales existentes a lo largo del país no permite generalizar un diagnóstico en relación a la utilización del recurso nativo. En términos muy globales la función de producción del bosque nativo en general incluye madera debobinable, aserrable e industrial destinada esta última a la producción de astillas, de leña y de carbón vegetal (CONAF-GTZ, 1996), además de los productos no madereros asociados a la existencia y utilización de estos bosques, ello sin entrar a analizar las restantes funciones ambientales y sociales que obviamente el bosque es capaz de ofrecer y que también generan bienes y servicios asociados.

El bosque nativo en general, y los renovales en particular, es

capaz de satisfacer una buena cantidad de demandas por materias primas para la producción primaria y secundaria. De hecho, el balance forestal determinado por Altamirano (1995) para el año 1990, concluyó que el aprovechamiento en ese periodo correspondió solo a un 50% del crecimiento productivo de la masa boscosa, debido a que la cosecha se concentró en las áreas cercanas a las redes camineras; producto de esto el crecimiento se acumuló en sectores menos accesibles y buena parte de aquel se perdió a causa de procesos naturales.

Si se considera el tipo de bosque y la estructura que éste posea, los propietarios de Bosque Nativo son capaces de ofrecer volúmenes siempre limitados de distintos tipos de productos, estos son:

- Trozos debobinables.
- Trozos aserrables.
- Trozos pulpables (madera industrial).
- Leña.
- Carbón vegetal.
- Productos Forestales no-madereros.

Las proporciones de cada producto se sitúan de acuerdo a la situación local en términos de tipo de bosque, accesos a mercados, requerimientos monetarios de los propietarios, infraestructura vial de los predios y capacidad de gestión del propietario.

Teniendo en consideración tanto el estado de desarrollo de los bosques nativos, el estado de conservación de los mismos en las áreas en donde ha trabajado el Proyecto CMSBN, entre la VII y XI regiones principalmente, y la capacidad de gestión para la actividad forestal ha sido posible verificar que en las regiones VII, VIII, IX y X es posible completar esta función de producción básica, es decir, en la VII región la participación de la leña y el carbón es absolutamente prioritaria mientras que en la X región la producción de trozos aserrables es mucho más común.

En cuanto a los oferentes, la diferencia de las características de oferta entre pequeños y medianos propietarios se encuentra principalmente dada por la mayor capacidad de gestión para la producción que poseen estos últimos y por el hecho de que, en general, su recurso está menos intervenido y presenta una mejor posibilidad de extraer productos de mejor calidad.

En cuanto a la demanda por productos provenientes del manejo

sustentable de bosque nativo esta es, por decir lo menos, escasa. Es posible encontrar algunas industrias mayores que consumen materia prima nativa especialmente en la X y XI regiones como Maderas Aysén, Inbossa, Tantauco, Forestal Neltume Carranco S.A., TEMSA, Consorcio Maderero S.A., Forestal Lautaro, Novaland y Louisiana Pacific Chile S.A., esta última una de las más importantes con un consumo anual de 100.000 mr. Las restantes, son de mucho menor tamaño y con requerimientos volumétricos poco significativos en atención a la oferta potencial existente.

Si bien existen hoy en día experiencias empresariales con maderas nativas en una amplia gama de productos desde la exportación de trozos aserrables hasta la confección de muebles, la gran mayoría de estas iniciativas son de muy pequeña escala lo que se puede corroborar al estudiar las cifras de consumo de madera en trozos presentadas con anterioridad.

Una primera barrera que es necesario franquear para iniciar el proceso de búsqueda de mercados es desmentir una serie de creencias negativas en relación a la madera nativa: que es mucho más cara, que su calidad es poco uniforme, que viene defectuosa (tiene muchos nudos o torceduras) o dañada (por hongos o insectos), que su abastecimiento puede resultar incierto y esporádico, que es difícil de trabajar.

Una experiencia concreta de apertura de mercados para el recurso forestal nativo lo constituye la iniciativa del Proyecto CMSBN relacionada con la comercialización de productos provenientes del manejo sustentable del bosque nativo en la Región del Bío-Bío y en la Región de Los Lagos, posteriormente. De acuerdo a los resultados preliminares obtenidos en la VIII región, existe una gama de productos que pueden constituirse en la base para la valorización del bosque nativo en la zona, partiendo de los trozos debobinables de bajas dimensiones (1,2 m de largo); trozos aserrables (con largos de 2,1 m a 3,2 m) para la producción de madera aserrada destinada a las industrias de embalajes, durmientes, madera dimensionada y elaborada; trozos delgados (de 2,44 m de largo y 3-4" de diámetro) para la elaboración de polines con y sin impregnación; madera industrial para la elaboración de tableros y; madera combustible para su utilización industrial y/o doméstica a la forma de leña y carbón vegetal. Para estos productos se ha logrado contactar hasta el año 2005 a más de 60 empresas consumidoras, de las cuales 15 aceptan de inmediato convenios de abastecimiento. Otro número importante de empresas estuvieron dispuestas a derribar los mitos con respecto al uso de la madera nativa, mediante la realización de estudios y ensayos de diferentes productos que dicen relación a la generación de debobinado y posterior elaboración de tableros contrachapados, madera aserrada, secado, impregnación y cilindrado de postes, polines y tutores, y

Capítulo 1

Antecedentes Generales

Cuadro 8. Antecedentes técnicos y económicos básicos de los productos del manejo sustentable del Bosque Nativo comercializados en la Región del Bio-Bío (Temporada 2003-2004).

Tipo Producto	Lugar de recepción		Producto			Valores (\$/m ³)		
	Región	Ciudad	Especie	Largo (m)	Diámetro Mínimo (cm)	Precio	Costos	Margen
Trozos Aserrables	VII	Talca	Roble	2,4	20	40.000	12.333	27.667
Trozos Aserrables	VIII	Coronel o Lirquén	Roble-Raulí	2,1	24	22.000	10.667	11.333
Trozos Aserrables	VIII	Coronel o Lirquén	Roble-Raulí	3,1 y 4,1	28	29.000	10.667	18.333
Trozos Aserrables	X	Paillaco	Roble	3,5	35	34.650	14.333	20.317
Trozos Aserrables	X	Paillaco	Roble	3,0	30	27.300	14.333	12.967
Trozos Aserrables	X	Paillaco	Roble	2,5	25	18.900	13.667	5.233
Trozos Aserrables	X	Paillaco	Raulí	3,5	35	36.750	14.333	22.417
Trozos Aserrables	X	Paillaco	Raulí	3,0	30	28.350	14.333	14.017
Trozos Aserrables	X	Paillaco	Raulí	2,5	25	19.950	13.667	6.283
Postes y Polines	VIII	Los Ángeles	Roble-Raulí	3,0	10 a 15	13.310	6.667	6.643
Postes y Polines	VIII	Los Ángeles	Roble-Raulí	4,0	10 a 15	15.017	6.667	8.350
Postes y Polines	VIII	Los Ángeles	Roble-Raulí	2,44	6 a 12	9.333	6.667	2.666
Madera Tableros	X	Camino Lanco-Panguipulli	RO-RA-CO	2,44	10	5.333	3.333	2.000
Leña Industrial	VIII	Chillán, Yumbel, Mulchén	RO-RA-CO	1,22	10	8.947	6.800	2.147
Leña Industrial	IX	Los Sauces	RO-RA-CO	1,22	10	9.760	7.133	2.627

RO-RA-CO: Roble-Raulí-Coihue.

finalmente la elaboración de muebles terraza y envases de madera para vinos.

En relación a los niveles de precios y características técnicas de los productos demandados por las industrias el Cuadro 8 muestra algunas cifras referenciales para la temporada 2003-2004 que se acordaron en base a convenios específicos para el abastecimiento por parte de destinatarios del Proyecto CMSBN en la Región del Bio-Bío. El precio de los trozos aserrables varía entre 19 y 40 mil \$/m³ dependiendo de las especificaciones técnicas requeridas y el lugar de recepción. Las especies más solicitadas son Roble y Raulí mientras que el diámetro mínimo mayor es de 35 cm y el largo máximo de 4,1 m.

En particular, en la VIII región la ocupación de los bosque nativos en función de su producción es mucho más amplia, quizás, producto que se encuentra en constantes niveles de desafíos tecnológicos con respecto a lo que pasa con la madera proveniente de las plantaciones que existen en la zona, además de una pujante iniciativa por parte de los propietarios del bosque nativo.

Paralelamente, en la IX región el Proyecto CMSBN ha trabajado desde el año 2003 en la implementación práctica de medidas tendientes a incorporar a la economía los productos del manejo sustentable del bosque nativo a través de un modelo que no difiere en lo substancial de lo aplicado en la VIII o X regiones y en el fondo se centra en el fortalecimiento del componente de interconexión entre la oferta y la demanda, lo que se materializa

con la creación e instalación de “facilitadores de comercio” que son profesionales forestales contratados por el Proyecto CMSBN y cuya función es, en primer término identificar la demanda de diversos productos para posteriormente colaborar con los propietarios adscritos al Proyecto en la concreción de ventas de los productos disponibles.

La IX región cuenta con tres Facilitadores de Comercio, de los cuales uno tiene dedicación exclusiva al tema de la leña, tópico sumamente sensible en la región por sus efectos sociales y ambientales.

Paralelamente, en enero de 2003 la IX región suscribió un Convenio de colaboración con la empresa Mardones-BPB S.A. destinado a implementar un Proyecto Piloto de análisis de factibilidad técnica y económica y posterior producción de durmientes impregnados provenientes de renovales manejados bajo criterios de sustentabilidad, en especial de Roble (Hualle). Tradicionalmente, en la confección de durmientes se han utilizado renovales maduros de árboles con duramen del bosque nativo. El empleo de la madera de renovales permite llevar a cabo el raleo necesario y evitar la explotación de los rodales maduros.

Asimismo, se crea en la zona de Curarrehue un área adicional que ha demostrado una alta dinámica comercial y que además se financia directamente con aportes de privados, bajo la supervisión técnica del Proyecto CMSBN. En términos de cifras, las Áreas de Desarrollo de Curarrehue comercializaron en la temporada 2003-2004 del orden de 2.900 m³ de madera en trozos

de los cuales cerca de 1.700 m³ correspondieron a durmientes labrados o aserrados con un precio muy conveniente para los propietarios. En total, se lograron ingresos para los propietarios que superaron los US\$ 200.000 en esta temporada, valor sumamente importante para las economías familiares de la zona.

En una tendencia similar, durante el año 2004 la X región inició un proceso análogo al seguido por la Región del Bío-Bío, en orden a identificar oferentes y demandantes de productos primarios de bosque nativo de modo de establecer los nexos necesarios para incentivar el comercio basado en los principios básicos del Manejo Sustentable de los bosques.

Si bien la superficie de bosque nativo en la Región de Los Lagos es ampliamente superior a la existente en las regiones VIII y IX, la actividad comercial, al igual que en las citadas regiones, es reducida y se basa fundamentalmente en el mercado de la leña que mueve un volumen anual del orden de 4 millones de m³.

En consecuencia, es posible asegurar que es factible encontrar una serie de opciones de producción en base a madera proveniente del manejo sustentable del bosque nativo, cuya concreción depende de diversos factores entre los que se cuentan: la seguridad del abastecimiento de la materia prima, las características técnicas de dicha materia prima, la implementación de procesos productivos más modernos que permitan un mejor aprovechamiento de la madera nativa y obviamente las condiciones de mercado reflejadas principalmente en los niveles de precio tanto de materia prima como de los productos finales a obtener.

En base a lo señalado, en los siguientes capítulos se presentan una serie de experiencias realizadas en el marco del Proyecto CMSBN en distintas regiones del país con especial énfasis en la Región del Bío-Bío, relacionadas con algunas de las opciones de aprovechamiento factibles de implementar para valorizar el bosque nativo y en especial los renovales.

Capítulo 2 PRODUCTOS PRIMARIOS

Dentro de las formas de producción más elementales asociadas a los bosques nativos, el primer aprovechamiento comercial industrial que se efectúa de la madera se logra mediante su transformación mecánica sencilla, asociada a variados tipos de elementos de corte, en piezas de madera libre de corteza generalmente de forma poliédrica y sección cuadrada o rectangular, aunque también a veces es útil para algunas aplicaciones la forma cilíndrica. Estas piezas, constituyen la materia prima base para convertir a la madera en trozas en un producto de uso consuntivo con mayor nivel de complejidad y por lo tanto mayor valor agregado.

En términos globales este aprovechamiento es clasificado en el marco de la denominada “industria primaria de la madera”, que es la que concentra el mayor volumen y valor de la producción maderera del país, tanto a nivel de las maderas exóticas como nativas.

Como procesos asociados a esta industria primaria destacan el debobinado y el aserrío, que resultan ser las industrias con una mayor exigencia en relación a la calidad y dimensiones de las trozas, principalmente en cuanto a diámetro menor, que servirán de insumo en el respectivo proceso de transformación. En el primero se logra como producto final láminas de madera de muy bajo espesor que posteriormente pueden ser usadas en la industria del contrachapado o en la industria de los envases de madera. En el aserrío la madera resultante es la que puede tener más variados usos y

aplicaciones, según las escuadrías y calidad de las piezas dimensionadas resultantes, pero la primera de estas es el uso de las basas centrales de una troza para la elaboración de durmientes; asimismo se puede dar el reaserrío de madera aserrada de mayor tamaño a piezas de madera de menor escuadría y largos útiles en la confección de pallets.

Un tercer proceso es el de cilindrado de trozas con la finalidad de mejorar la sección circular de ellas y constituir un producto que puede no ser tan exigente en cuanto a la magnitud de la sección transversal de la troza, pero sí lo es en cuanto a la forma de ella, para hacer factible su utilización. Con estas es posible generar postes, polines o tutores, clasificación que hace referencia al tamaño, en diámetro y longitud, del producto final esperado.

En las páginas siguientes, se analizan aspectos generales de cada una de estas industrias de transformación, y los procesos asociados a estos tipos de aprovechamiento primario. Se incluyen en ellas, aspectos técnicos y económicos de algunas experiencias prácticas al respecto para los procesos de debobinado, aserrío, reaserrío y cilindrado de trozas de madera proveniente del manejo sustentable de nuestros bosques nativos. Los antecedentes expuestos, permitirán al lector contar con elementos básicos para analizar la conveniencia de cada uno de los procesos estudiados, siempre en el marco de las condiciones establecidas en cuanto a materia prima y maquinaria utilizada en el proceso de transformación.

2.1 Debobinado y Foliado.

El proceso de debobinado tiene su principal aplicación en la fabricación de tableros contrachapados de diferentes espesores, cuyo uso principal se encuentra fundamentalmente en la línea de muebles modulares, viviendas y en la producción de embalajes (cajones) aplicada a la exportación de frutas.

El debobinado para la obtención de chapas requiere del uso de trozas con diámetros, en lo posible uniformes, mientras que para el caso del foliado es necesario normalmente preparar basas o cuarterones.

Como alcances técnicos específicos en relación a la preparación de las trozas a debobinar, estas deben ser sometidas normalmente a un descortezado, trozado y calentamiento.

La aplicación del calentamiento de la madera en el debobinado se traduce en una mayor flexibilidad o aceptación de esfuerzos de flexión y por lo tanto, menos fracturas que llevado el proceso en frío. Este efecto es más importante en especies de mayor densidad (coihue, eucaliptus) y en aquellos casos en que se pretende debobinar o foliar en espesores mayores.

La temperatura produce un cambio dimensional en la madera, con una dilatación en el sentido radial y una contracción en el sentido tangencial -fenómeno apreciable sobre los 65°C- siendo variable según sea la especie. En aquellos casos donde aparecen grietas en la médula o en la superficie, no sería conveniente superar esta temperatura.

En el caso de maderas duras, es usual el proceder en primer lugar con el descortezado de trozas de longitudes mayores, luego con el calentamiento de las trozas y, finalmente con el trozado, previo al debobinado. Esta secuencia tiene como ventaja un calentamiento rápido por no existir la corteza que es un buen aislante térmico, sin embargo, favorece la formación de grietas en los extremos. Se requiere en este caso, un descortezado continuo, piscinas de tamaños mayores, una manipulación más costosa y cuidados para que las trozas descortezadas no capten arena, tierra y otros elementos perjudiciales para el torno debobinador.

En especies blandas que no presentan mayores dificultades de grietas en los extremos, se prefiere comenzar con un descortezado, para continuar con el trozado y finalmente el calentamiento. Esta secuencia facilita la manipulación y traslado de las trozas hacia la piscina y el torno debobinador por el menor largo de ellas.

El foliado en cambio, caracterizado por la obtención de chapas

por cortes rectos de una cuchilla, se emplea un dimensionamiento inicial de las trozas (trozado), para continuar con el aserrío, obteniéndose una basa que posteriormente pasa al proceso de calentamiento. El trozado requerido se efectúa de varias formas, desde el uso de sierras manuales, motosierras, sierras circulares trozadoras automáticas o cadenas trozadoras, también automatizadas.

Especial cuidado debe tenerse en el corte por debobinado, efectuándose perpendicular al eje longitudinal. En caso contrario, pueden surgir dificultades en la toma con las grifas que sujetan la troza al existir menos profundidad de agarre en los extremos o variabilidad en el ancho de la chapa con pérdidas innecesarias de madera.

Otros aspectos importantes en relación a defectos en la troza se refieren a la presencia de nudos y deformación a lo largo de ella, conocido como arqueadura.

Se aconseja utilizar en el debobinado diámetros no menores a 250–300 mm. En cambio, para cortes directos en trozas utilizando foliadora o mitad de trozas (medio círculo) debobinado desplazado, se sugiere sobre 380 mm. En el foliado de un cuarto de troza debe considerarse un diámetro mínimo de 500 mm.

Tanto el proceso de debobinado como el de foliado presentan ventajas y desventajas, dada la modalidad de corte y características de la madera a procesar (trozas y basas). Sin embargo, los dos sistemas tienen muchos aspectos técnicos en común. Estas unidades están expuestas a fuertes esfuerzos ejercidos por el cuchillo y la barra de presión sobre la madera, constituyendo ambos elementos las partes vitales que conforman el equipo, llámese torno debobinador o foliadora.

La barra de presión, ubicada inmediatamente sobre el cuchillo, presiona la troza mientras gira o, en el caso de la foliadora, en el momento que se efectúa el corte, reduce la formación de grietas en la chapa, evita las rajaduras en los extremos y controla su espesor.

Como consecuencia, su posición y tolerancias en relación al cuchillo son de extrema importancia ya que incide además en la calidad de la superficie (rugosidad), profundidad de las grietas, características en la cara interior de la chapa y en el correcto espesor.

Una innovación de interés con el objeto de obtener un mejor aprovechamiento de la madera, es el uso de grifas telescópicas, que permiten debobinar a un diámetro final bastante reducido, dependiendo de la especie y largo de la troza. En este sistema actúan las grifas primarias hasta un cierto diámetro del

Capítulo 2
Productos Primarios

debobinado para, posteriormente, ser reemplazadas por otras menores, continuándose el debobinado hasta un diámetro mínimo.

Así como en los tornos debobinadores existen las grifas, las máquinas foliadoras disponen también de sistemas hidráulicos para el accionamiento de los sujetadores de la basa denominados comúnmente “perros”. Estos, permiten fijar la basa fuertemente, evitando su movimiento en el corte.

Las Figuras 7 y 8 muestran la posición de estos dos elementos correspondientes a una debobinadora y una foliadora, respectivamente.

Ambos métodos presentan similitudes desde el punto de vista de la teoría del corte, siendo válidas las relaciones de ángulos y diferentes aberturas entre el cuchillo y la barra de presión.

Una diferencia menor, es en relación a la preparación de la superficie de corte del cuchillo (cara que se rectifica), el cual es ligeramente cóncavo para el torno debobinador y recto en la foliadora.

Por otro lado, la barra de presión utilizada en el debobinado corresponde al tipo fija, mientras que en el caso del foliado se utiliza la de tipo rodillo.

Algunas ventajas en el debobinado son: la no necesidad de un cerrado previo, siendo suficiente el dimensionado al largo, mayor producción por la continuidad del proceso de alta velocidad, uniformidad dimensional en el ancho y espesor, esfuerzos moderados en la entrada y salida del cuchillo y dado el corte con dirección tangencial, los nudos aparecen en su misma dimensión.

Como aspectos negativos puede mencionarse una sola

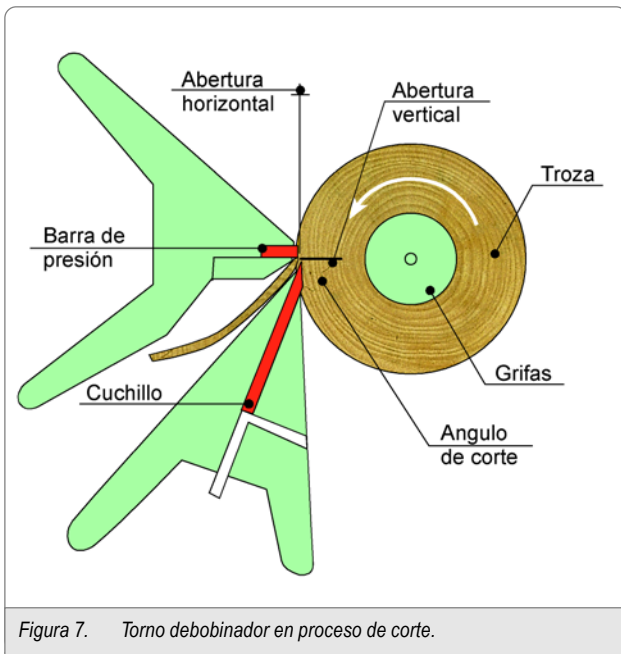


Figura 7. Torno debobinador en proceso de corte.

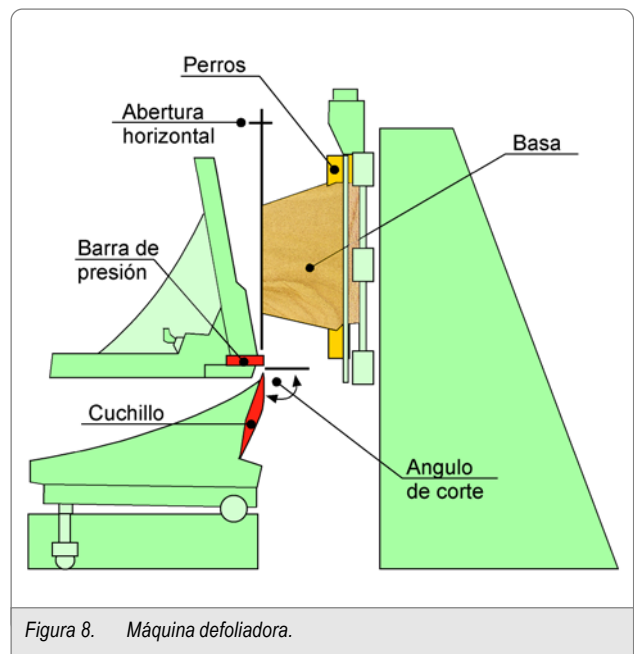


Figura 8. Máquina defoliadora.

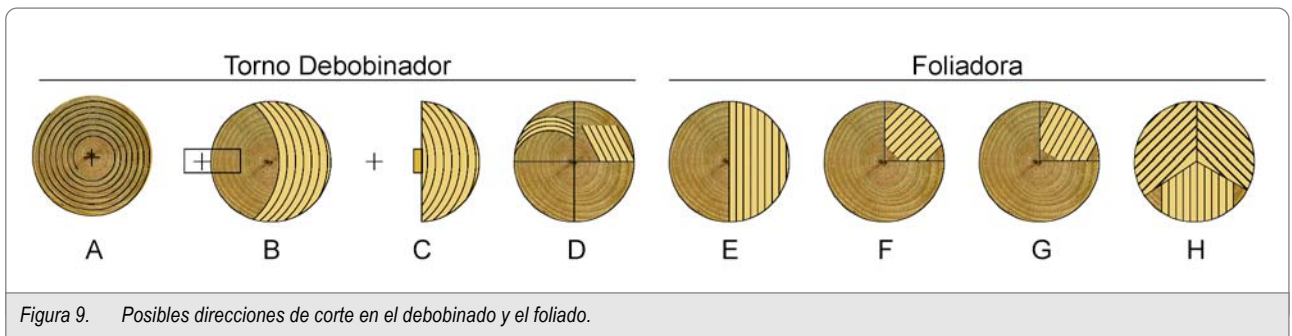


Figura 9. Posibles direcciones de corte en el debobinado y el foliado.

exposición de caras decorativas y tendencias a una curvatura de la chapa por su característica de corte, intensificándose con diámetros menores.

El foliado presenta una gran flexibilidad para lograr chapas con la mejor exposición de caras decorativas y una uniformidad de figuras por la secuencia ordenada de los cortes. Sin embargo, es necesario previo al foliado, procesar la troza para obtener la basa.

Otras ventajas comparativas se refieren a la obtención de chapas rectas y a una tendencia a menores rajaduras en los extremos de dichas basas en el proceso de calentamiento.

Ambos métodos permiten también obtener similares calidades de terminación en el corte, encontrándose que sus características de movimientos diferentes (alternativo y continuo) no son un factor de tanta importancia. Existe consenso en que la uniformidad en el espesor y la obtención de superficies lisas depende de una regulación apropiada de las aberturas, calidad y preparación de los cuchillos, calidad de la troza y calentamiento de las trozas o basas más que del método de corte.

En la fabricación de contrachapado donde no es importante la superficie decorativa (industria de la cajonería y vivienda y como chapa central para contrachapados decorativos) se emplean direcciones de corte obtenidos en el debobinado. En esta técnica pueden citarse las siguientes direcciones de corte (Figura 9).

- Chapas con dirección paralela a los anillos: Debobinado (A).
- Chapas que presentan en el centro figuras con cortes paralelos a los anillos y en los extremos figuras formando ángulo: Debobinado descentrado (B) y Debobinado descentrado con media troza (C).
- Chapas con cortes mixtos: paralelo a los rayos y perpendicular a ellos en un cuarto de troza (D).

La característica común en todos estos cortes es la curvatura.

En el método por foliado se presentan varias modalidades en la dirección, cuyo denominador común es el corte recto, distinguiéndose como las más importantes las siguientes:

- Foliado de media troza (E).
- Foliado de un cuarto de troza a 45° (F).

- Foliado de un cuarto de troza a un ángulo mayor de 45° (G).
- Foliado combinado (H).

En cuanto a las especies utilizadas para estos procesos en Chile se tiene que la producción de chapas se realiza fundamentalmente a partir de trozas de álamo, tepa, lingue, coihue y eucaliptus, siendo estas tres últimas de gran atractivo por su color veteadado. Sin embargo, la disponibilidad cada vez más reducida de estas especies, y el gran consumo que puede preverse a futuro, justifican el uso del pino insigne.

Se puede agregar que uno de los productos que ha experimentado una extraordinaria demanda en los últimos años, ha sido la fabricación de cajones para frutas de exportación (Gutiérrez, 1987) alcanzando los 269.162 m³ en el año 2002 (INFOR, 2003).

En cuanto al consumo de madera en troza industrial, la industria cajonera el año 2004 a nivel nacional utilizó 223.000 m³ de madera de los cuales el 83,5% correspondió a Pino radiata. El consumo de especies nativas no superó el 0,52%. A nivel de la Región del Bío-Bío se utilizaron 68.674 m³ de madera en troza, exclusivamente de la especie Pino radiata (INFOR, 2005).

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Se presenta a continuación los resultados de una experiencia de debobinado de trozas de Roble y Raulí provenientes de un renoval del Tipo Forestal Roble Raulí Coihue de la Región del Bío-Bío. Esta se llevó a cabo en la empresa Embalajes Standar S.A., ubicada en la ruta Los Ángeles-Santa Fe, y tuvo por objetivo principal determinar el grado de aprovechamiento de trozas de madera nativa en volumen bruto de madera debobinada. En términos de objetivos específicos se planteó:

1. Clasificar la calidad de las trozas de madera de bosque nativo, en función de los estándares existentes.
2. Determinar el volumen de las trozas y de los productos debobinados, para establecer el nivel de aprovechamiento.
3. Realizar una caracterización cualitativa de la madera debobinada obtenida.
4. Establecer las etapas críticas del proceso de debobinado de trozas de Roble y Raulí.

Capítulo 2

Productos Primarios

La materia prima utilizada para elaborar las láminas debobinadas correspondió a 87 trozas: 16 de Raulí y 71 de Roble, ambas cortadas a 1,22 m de largo, cuyos diámetros menores variaron de 22 a 34 cm sin corteza (Cuadro 9), (Figura 10).

En relación al proceso productivo, en primer lugar la línea de producción consta de un pozo, el cual lleva 5 años de uso y posee un volumen de 100 m³ de agua caliente entre 85 y 95 grados Celsius. Le siguen dos tecleros uno para carga y otro para descarga de trozos y el torno debobinador marca COLOMBO-CREMONA, Italiano compuesto por un motor principal de 22 kw, con largo de bancada de 2 m. Seguido de este torno se encuentran dos dimensionadoras de láminas (Figura 11).

Técnicamente, se procedió a introducir las trozas en el pozo,

Cuadro 9. Distribución diamétrica de la muestra de trozas debobinables.

Diámetro menor (cm)	Roble	Raulí	Total
22	3	2	5
24	11	3	14
26	20	5	25
28	16	3	19
30	16	0	16
32	4	0	4
34	1	3	4
Total	71	16	87
Volumen JAS (m³)	1,428	6,420	7,848

donde permanecieron los paquetes conformados por trozas de distintos diámetros, un promedio de 9 horas (Figura 12). Las trozas fueron extraídas del macerado, descortezadas y llevadas al torno en el cual se procedió a extraer láminas de 1,1 mm, 1,2 mm, 1,3 mm, 1,4 mm, 1,5 mm, 1,8 mm y 2,0 mm de espesor (Figura 13). La lámina mediante cadenas es llevada a la dimensionadora principal para extraer láminas enteras de 1.200 mm de ancho y 1.290 mm de largo. El rechazo es llevado a la dimensionadora de aprovechamiento donde se obtienen medias láminas de 650 mm de ancho y 1.290 mm de largo; y tercios de láminas de 430 mm de ancho y 1.290 mm de largo.

Para el proceso en cuestión el personal implicado es el siguiente: tres descortezadores, un operador del teclero, un operador del



Figura 10. Trozas debobinables de Roble y Raulí evaluadas en el estudio.

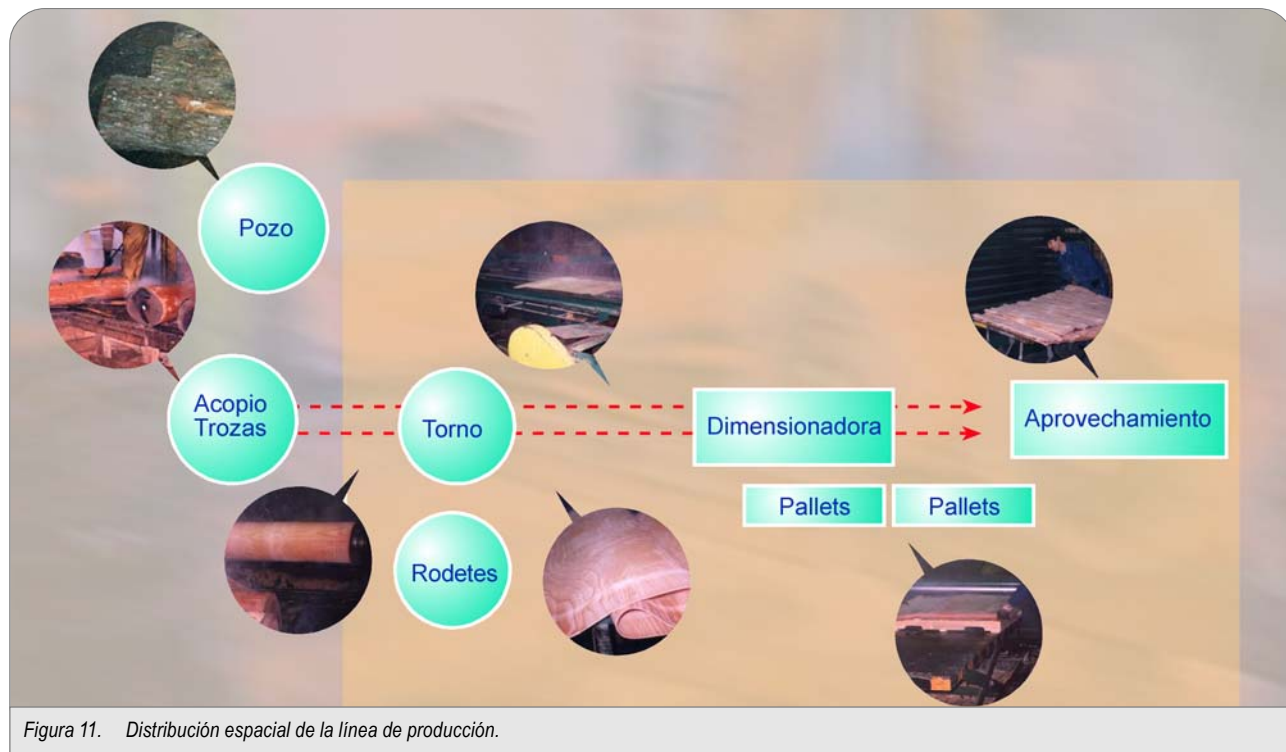


Figura 11. Distribución espacial de la línea de producción.

torno, dos operadores por dimensionadora y dos ordenadores de láminas.

Una vez realizado el proceso en el torno y las láminas dimensionadas para su aprovechamiento, se procedió al proceso de secado, que consta de un secador de malla marca GOTPERT, Argentino, de 6 metros de ancho por 22 metros de largo, compuesto por nueve motores de 9,3 kw de potencia. La temperatura al interior del secador es de 130 °C, con una velocidad de aire de 3 m/s. Para regular el secado se maneja la velocidad y presión de la secadora.

Para la caracterización de las trozas, estas se individualizaron



Figura 12. Salida del macerado de las trozas debobinables de Roble y Raulí evaluadas en el estudio.



Figura 13. Cilindrado de las trozas debobinables de Roble y Raulí.



Figura 14. Clasificación de láminas. a) Cara, b) Trascara y c) Alma.

con un número y se evaluó las variables dendrométricas, como es el largo de la troza, diámetro menor y diámetro mayor. Los diámetros fueron medidos sin corteza; en ambos casos se midieron 2 diámetros por cara para obtener un promedio. Se utilizó la norma HKS en su clasificación.

Individualizada cada troza con una marca permanente, y evaluadas sus características dendrométricas cuantitativas y cualitativas, se logró identificar cada troza a lo largo del proceso de transformación. Con ello es posible cuantificar el rendimiento del proceso de debobinado y relacionar la clasificación de los trozos y la presencia de defectos en ellos, con la clasificación de la madera procesada y los defectos que en ella se identifiquen.

Para la caracterización de las láminas debobinadas se utilizó el mismo criterio que emplea la empresa para *Pinus radiata*. Esta clasificación se basa en la posición de la lámina al ser utilizada para la producción de terciado (Figura 14):

- a) Cara: lámina libre de defecto.
- b) Trascara: lámina que le es permitido la presencia de algunos defectos tales como nudos vivos sin límites, nudo muerto (máximo 2 o 3), rajaduras en extremos.
- c) Alma: lámina que no presenta un límite para los defectos mencionados en la calidad anterior.

Clasificadas las trozas según la norma HKS se tiene que la calidad de las trozas de Raulí se concentra en la categoría B con un 81,2%, seguido en menor porcentaje por la calidad C con 18,8%. En cambio Roble presenta la mayor concentración en la calidad B con 62,2%, seguido por la calidad A con un 22,5%, y por último con 11,3% la calidad C. Lo anterior nos indica que la calidad de las trozas para ambas especies es de regular a buena (Cuadro 10).

Cuadro 10. Clasificación de trozas por calidad según Norma HKS.

Diámetro menor (cm)	Número de trozas según calidad					Total
	Raulí		Roble			
	B	C	A	B	C	
22	2	-	-	3	-	5
24	3	-	-	8	3	14
26	4	1	4	13	3	25
28	2	1	1	13	2	19
30	-	-	10	6	-	16
32	-	-	-	4	-	4
34	2	1	1	-	-	4
TOTAL	13	3	16	47	8	87
	16		71			87

Capítulo 2

Productos Primarios

Cuadro 11. Defectos encontrados en las trozas de Roble y Raulí.

Defectos	Roble		Raulí	
	Nº de trozas	Participación (%)	Nº de trozas	Participación (%)
Diámetro	13	18,3	2	12,5
Nudo vivo	8	11,3	1	6,3
Nudo muerto	5	7,1	1	6,3
Conicidad	2	2,8	1	6,3
Curvatura	5	7,1	1	6,3
Bigote de chino	19	26,8	6	37,5
Desplazamiento de médula	5	7,1	3	18,8
Pudrición	2	2,8	-	-
Gusanera	2	2,8	-	-
Abultamiento	-	-	1	6,3
Sin defecto	10	14,1	-	-
Total	71		16	

Cuadro 12. Aprovechamiento general del debobinado.

	Roble	Raulí
Volumen trozas (m ³ JAS)	6,420	1,428
Volumen debobinado (m ³)	3,452	0,749
Rendimiento (%)	53,8	52,5

Como se aprecia en el Cuadro 11 los bigotes de chino para Roble y Raulí encabezan la lista de defectos con 26,8% y 37,5% respectivamente.

El defecto mencionado anteriormente, se encuentran dentro de una secuencia cronológica según Avilés y Henle (1994), esta es: rama verde, rama seca, herida en el fuste provocada por el desprendimiento de una rama, protuberancia como consecuencia de la cicatrización y bigote de chino como señal terminal del proceso de cicatrización resultado del crecimiento del diámetro.

El segundo defecto descalificador encontrado para Roble corresponde al bajo diámetro de las trozas para ser incorporado a la calidad inmediatamente superior, con un 21,3% de ocurrencia. Esto se debe a que las trozas provienen de un raleo, en donde se extraen de preferencia los diámetros menores, entre otras características.

Para Raulí el segundo defecto descalificador, en orden de importancia, es el desplazamiento de la médula (18,8%). Gil y Herranz (1996), plantean que los árboles ubicados en las laderas de las montañas desarrollan crecimiento excéntrico de la médula, estos individuos producen una madera dura, que libera tensiones en el secado, lo que origina grietas (Figura 15). Para el proceso de debobinado, estas grietas centrales son causales de defectos en las láminas extraídas de la porción de la troza afectada por la grieta, lo que las descalifica para ser parte visible en la producción de terciados.

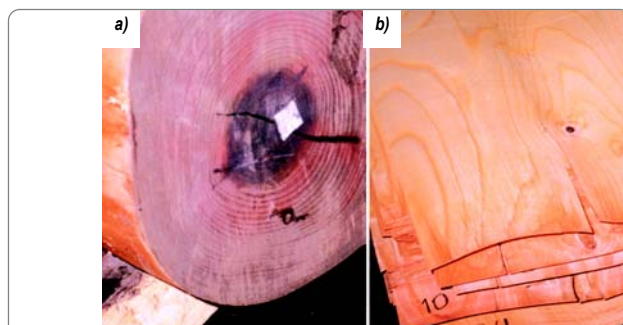


Figura 15. a) Grieta central en troza debobinable, producto del desplazamiento de médula. b) Defecto en láminas de madera nativa derivado de troza agrietada.



Figura 16. Láminas secas de madera nativa.

Es pertinente decir en términos de aprovechamiento en madera debobinada, que de las trozas de Roble y Raulí se obtuvieron láminas de 1.290 mm de longitud, con espesores que variaron de 1,1 a 2,0 mm. El ancho de la lámina varió en tres medidas: 1.200 mm para láminas enteras, 650 mm para medias láminas y 430 mm para tercios de láminas.

El rendimiento en volumen fue de un 53,8% para Roble y de un 52,5% para Raulí (Cuadro 12).

Cuadro 13. Aprovechamiento de la especie Roble, según calidad de troza.

Calidad de la troza	Volumen (m ³)			Aprovechamiento (%)
	Troza	Lámina	Desecho	
A	1,637	0,959	0,678	58,6
B	4,144	2,167	1,977	52,3
C	0,639	0,326	0,313	51,0
	6,420	3,452	2,968	53,8

Cuadro 14. Número de piezas por calidad y por especie.

Especie	Número de trozas	Número de láminas	Participación (%)		
			Cara	Trascara	Alma
Roble	71	1.342	24,6	48,7	26,7
Raulí	16	243	23,9	46,6	29,5
Total	87	1.585	24,3	47,7	28,1

En el Cuadro 13 se puede observar que la calidad de las trozas de Roble afectan directamente el rendimiento, ya que una mejor calidad de troza marca un mayor aprovechamiento.

En cuanto al proceso de secado de láminas, este fue el empleado normalmente para *Pinus radiata*. El esquema de secado fue sobre la base de dejar las láminas entre un 5% y un 7% de humedad. Para lograr este objetivo la velocidad empleada para el proceso varió de 26,7 a 30,9 metros por minuto y 156 a 158 r.p.s.

En este proceso surge un problema al dejar un contenido de humedad de un 5% en las láminas, ya que estas tienden a enrollarse o agrietarse (Figura 16). Luego el defecto es corregido modificando el contenido de humedad final al 10%.

Al realizar el proceso de secado, la lámina tiende a reducir su largo, Roble con 8,9% de contracción y Raulí un 6,1%. *Pinus radiata* presenta un valor intermedio el cual corresponde a un 7,0% de contracción en las láminas.

Una vez secadas las láminas se procede a la clasificación visual de la madera laminada, con respecto a la posición de esta en la elaboración de terciados, la calidad se distribuye según especie de la manera indicada en el Cuadro 14.

Tanto Roble como Raulí presentan el mayor porcentaje de láminas en la calidad Trascara, con 48,7% para Roble y 46,6% para Raulí, seguido por calidad Alma con un 26,7% para Roble y 29,5% para Raulí y por último calidad de lámina Cara con un 24,6% para Roble y 23,9% para Raulí.

La presencia de grietas en la cara de la troza, generadas por el

Cuadro 15. Tiempos promedios de proceso de debobinado por clase de diámetro de trozas.

Clase diámetro (cm)	Tiempo promedio por troza (min, seg)
22	2' 10"
24	2' 20"
26	2' 35"
28	2' 39"
30	2' 43"
32	3' 17"
34	3' 26"

prolongado tiempo en cancha de acopio, generaron grietas en las láminas extraídas, las cuales al presentarse degradaban de calidad Cara a Alma o Trascara.

En lo que concierne al estudio de tiempo, al realizar el proceso de debobinado de las 87 trozas, se requirió de un total de 5 horas 50 minutos, el tiempo efectivo de trabajo fue de 5 horas 20 minutos, obteniéndose 30 minutos de tiempo muerto, el cual se desglosa de la siguiente manera: 20 minutos de desayuno y 10 minutos de mantención. Un análisis de los tiempos por clase de diámetro permite inferir que el tiempo promedio de debobinado por troza aumenta a medida que aumenta la clase diamétrica, no superando los 3 minutos y 30 segundos (Cuadro 15).

En términos del tiempo involucrado en el proceso productivo, el cual afecta directamente el rendimiento por jornada de trabajo, la etapa crítica más importante detectada en el proceso corresponde a la discontinuidad por el abastecimiento de trozas. Esto a causa que durante el estudio se producía una demora significativa en el tiempo de espera que se necesitaba para llevar el seguimiento completo de

Capítulo 2

Productos Primarios

la troza, como era requerido para evaluar el aprovechamiento. En condiciones normales de trabajo esto no ocurre.

El proceso de secado requirió de 4 horas y 20 minutos, donde el tiempo efectivo de trabajo fue de 4 horas 10 minutos, obteniéndose 10 minutos de tiempos muertos, los cuales corresponden a calibración de maquinaria.

Como elementos importantes a considerar en la producción de láminas de madera nativa, específicamente de Roble y Raulí, la calidad de las trozas a emplear en el proceso productivo debe evaluarse en relación a la rectitud de estas y su diámetro, como variables cuantitativas, y a la existencia de nudos, desviación de la médula y grietas, como variables cualitativas. En relación a este último defecto, es importante minimizar el tiempo transcurrido entre la corta del árbol y su ingreso a la línea de producción o, como alternativas, almacenar las trozas en cancha con riego y/o aplicar algún producto químico en las caras, a fin de evitar la aparición de grietas.

Respecto al secado de las láminas, no es práctico esperar niveles de humedad similares a los requeridos para *Pinus radiata*, ya que niveles tan bajos conllevan a una pérdida de calidad de las láminas que se traduce en importantes proporciones de estas que pasan a constituir material de rechazo. La calibración de la cámara de secado debe apuntar a manejar la temperatura y/o la velocidad de circulación de las láminas a fin de obtener un producto con un contenido de humedad del orden del 10%.

Adicionalmente a los antecedentes técnicos asociados al proceso de elaboración de láminas debobinadas de Roble y Raulí, se recopiló en esta experiencia los antecedentes básicos para estimar los costos asociados al proceso productivo.

En cuanto a la materia prima requerida esta fue de de 7,848 m³ JAS con un valor unitario de 24.700 \$/m³ JAS.

El consumo total de energía eléctrica en el proceso de debobinado fue de 80 HP (60 kw/hora) y el de agua de 100 m³. Si se considera que el precio de la energía eléctrica es de 80 \$/kw, el valor del consumo por hora es de \$ 4.800, y el valor del consumo de agua es de \$ 5.700 considerando un precio de 570 \$/ m³. En tanto en la línea de secado el consumo de energía eléctrica es de 84 kw/hora, con un valor de 6.720 \$/hora.

En términos del personal involucrado este fue el siguiente:

Debobinado:

- tres descortezadores,
- un operador del tecla, un operador del torno,
- dos operadores por dimensionadora y

- dos ordenadores de láminas.

Secado:

- un operador,
- dos abastecedores y
- dos extractores de las láminas secas

El salario estimado para los operadores de máquinas es de 220.000 \$/mes, el de los obreros de 150.000 \$/mes y el del Jefe de Área de 520.000 \$/mes

Esto da un total en mano de obra de 2.000.010 \$/mes (66.667 \$/turno de ocho horas) para el debobinado, y de 819.990 \$/mes (27.333 \$/turno de ocho horas) para el secado

Adicionalmente es necesario considerar que para realizar el proceso de debobinado de las 87 trozas, se requirió de un total de 5 horas 50 minutos, esto es 0,729 turnos. El tiempo efectivo de trabajo es de 5 horas 20 minutos, obteniendo 30 minutos de tiempo muerto, el cual se desglosa de la siguiente manera: 20 minutos de desayuno y 10 minutos de mantención. El proceso de secado, en tanto, requirió de 4 horas y 20 minutos, o sea 0,542 turnos. El tiempo efectivo de trabajo fue de 4 horas 10 minutos, obteniéndose 10 minutos de tiempos muertos, los cuales corresponden a calibración de maquinaria.

En base a todos estos antecedentes se establece que el costo total para el debobinado de los 7,848 m³ JAS, es decir para generar 4,18 m³ de madera en láminas, fue de \$ 371.584 (Cuadro 16).

Esto implica un costo promedio para el proceso de 47.348 \$/ m³ JAS en trozas, valor por el cual se obtiene 0,532 m³ de madera en láminas. De este valor \$ 24.700 corresponden a la materia prima por lo que el costo del proceso en sí es de 22.640 \$/ m³ JAS. Debe tenerse presente que este valor no refleja el costo del proceso en condiciones operacionales debido a que se trató de un ensayo, en el cual todas las operaciones son más lentas por los cuidados a tener en el registro de la información y la evaluación que se hace del rendimiento en cada una de las etapas.

Si bien en Chile existe una amplia experiencia en la industria del debobinado con especies nativas, la importancia de los ensayos presentados en este punto está dada por las características de la materia prima utilizada, es decir, trozos cortos de 1,22 m, diámetros pequeños desde 22 cm hacia arriba y finalmente madera proveniente de renovales, lo que implica la ampliación de las posibilidades de abastecimiento de un industria de este tipo por la abundancia de este tipo de recurso entre la VII y X región. Si lo anterior se asocia a la tecnología utilizada, la misma empleada en la actualidad para procesar Pino radiata, es esperable que a corto o mediano plazo puedan incorporarse al subsector bosque nativo líneas de producción

Cuadro 16. Detalle de costos involucrados en el proceso de debobinado.

Item	Valor unitario (\$/unidad)	Consumo (unidades)	Valor turno (\$)	Total (\$)	Participación (%)
Materia prima (m ³)	24.700	7,848	-	193.846	52,17
Costo variable maquinaria debobinado (kw/hora)	80	60	38.400	27.994	7,53
Costo fijo maquinaria debobinado (15% Costos variables)	12	60	5.760	4.199	1,13
Agua (m ³)	570	100	57.000	57.000	15,34
Mano de obra debobinado (mes)			66.667	48.600	13,08
• Operadores	220.000	4	29.333		
• Obreros	150.000	4	20.000		
• Jefe Area	520.000	1	17.333		
Costo variable maquinaria secado (kw/hora)	84	60	40.320	21.853	5,88
Costo fijo maquinaria secado (15 % Costos variables)	13	60	6.048	3.278	0,88
Mano de obra secado (mes)			27.333	14.815	3,99
• Operadores	220.000	1	7.333		
• Obreros	150.000	4	20.000		
TOTAL				371.584	100,00

que utilicen las materias primas de él en esta industria, con la consecuente expansión de las alternativas de comercialización para los propietarios.

2.2 Aserrió.

La industria del aserrió está conformada por aserraderos que pueden ser de muy diversos tamaños. Las más pequeñas son unidades fijas o portátiles constituidas por una sierra principal circular, un sencillo carro portatrozos y una canteadora doble accionadas por un motor de gasolina o diesel y manejadas por uno o dos trabajadores. Las más grandes son estructuras permanentes, disponen de equipos mucho más elaborados y especializados y pueden emplear a más de 1.000 trabajadores.

En función del tamaño de la empresa y del clima de la región, las operaciones pueden realizarse en el interior o al aire libre. Aunque el tipo y el tamaño de los trozos determinan en gran medida el tipo de equipos necesarios, éstos varían también considerablemente en función de la antigüedad y las dimensiones de la instalación.

En un aserradero típico los trozos se almacenan en tierra, en masas de agua próximas a la empresa o en estanques construidos para tal fin. Para ello se clasifican según su calidad, especie u otras características. En las áreas de almacenamiento en tierra suelen utilizarse fungicidas e insecticidas si los trozos van a permanecer

almacenados mucho tiempo hasta su transformación.

El proceso de aserrió se inicia con la nivelación de los extremos de los trozos con una sierra trozadora ya sea antes o después del descortezado y como paso previo a la elaboración posterior. El descortezado puede realizarse por varios métodos. Entre los mecánicos cabe citar el desenrollo periférico, en el que se hacen girar los trozos presionándolos contra cuchillas; el descortezado anular, en el que se presionan puntas de herramientas contra el tronco; la abrasión por rozamiento de la madera, que se consigue batiendo los troncos entre sí en un tambor giratorio; y la utilización de cadenas para arrancar la corteza. El descortezado puede realizarse también por medios hidráulicos, utilizando chorros de agua de alta presión. Los trozos obtenidos tras el descortezado y demás operaciones del aserradero se trasladan de una operación a la siguiente por medio de un sistema de transportadores, cintas y rodillos. En los aserraderos grandes, estos sistemas pueden ser bastante complejos.

La primera fase del aserrado, también conocida como trozado primario, se realiza en la sierra principal o sierra de cabecera. Esta es una sierra de cinta o sierra circular estacionaria de gran tamaño que se utiliza para cortar el tronco longitudinalmente.

El trozo avanza y retrocede a través de ella mediante un carro móvil que puede hacerlo girar para obtener el corte óptimo. Otras veces se emplean varias sierras de cinta, especialmente con los trozos

Capítulo 2

Productos Primarios

más pequeños. Los productos de la sierra de cabecera son un cuerpo de troza (el centro cuadrado del trozo), una serie de cantos (los bordes externos redondeados del trozo). En los aserraderos es cada vez más normal utilizar rayos láser y rayos X como guías visuales y de corte a fin de optimizar el aprovechamiento de la madera y el tamaño y tipo de productos producidos.

En el trozado secundario o reaserrío, el cuerpo de troza y los grandes tablones o lampazos se transforman en productos de dimensiones funcionales. Para estas operaciones suelen utilizarse sierras de varias hojas paralelas: por ejemplo, sierras circulares cuádruples o una batería de sierras, circulares o de guillotina. Para cortar los tablones a un ancho prefijado se utilizan canteadoras, compuestas al menos por dos sierras paralelas, y para cortar a un largo prefijado se utilizan retestadoras. El canteado y retestado suelen realizarse utilizando sierras circulares, aunque las canteadoras son a veces sierras de cinta.



Figura 17. Trozas aserrables de Roble y Raulí evaluadas en los ensayos.

Tras su elaboración en el aserradero, los productos se clasifican y seleccionan según sus dimensiones y calidad y se apilan manual o mecánicamente, para su preparación al proceso de secado.

En los procesos de aserrío se puede emplear una serie de Normas asociadas principalmente a la clasificación de maderas. En este sentido y en forma de ejemplo existe una adaptación para nuestro país de la Norma HKS para *Fagus sylvatica* ⁽¹⁾, que establece cinco categorías de clasificación de calidad de trozas (A, B, C, D, E), según estándares de cantidad de defectos, diámetros, conicidad, contenido de humedad, etc.

Otra Norma participante en los procesos de aserraderos es la Norma Chilena NCh1970/1 (INN, 1978), que dice relación con la clasificación visual de madera latifoliada destinada a uso estructural.

En Chile la industria del aserrío es la segunda más importante desde el punto de vista de los productos forestales luego de la celulosa, y su evolución ha sido rápida y caracterizada principalmente por una gran explosión en lo concerniente al número de establecimientos, propietarios, diferentes tamaños, tipos y calidad de tecnologías y productos entregados (Campos y Cerda, 2001).

La producción de madera aserrada en Chile el año 2004 (INFOR, 2005), tuvo una variación de un 14,4% respecto del año anterior, llegando a los 8.015 miles de m³. De este total el 96,7% corresponde a madera aserrada de la especie Pino radiata y sólo el 2,2% a madera aserrada de especies del



Figura 18. Distribución espacial línea de producción.

(1) Avilés y Henle (1994) señalan que la norma alemana HKS para *Fagus sylvatica*, debe ser adaptada para las especies Roble – Raulí – Coihue asociándole características propias de la especie, por lo que se debió realizar algunas modificaciones, ya que existen defectos característicos de *Fagus sylvatica* que no son relevantes para *Nothofagus obliqua* y *Nothofagus alpina*.

Cuadro 17. Distribución diamétrica de la muestra de trozas aserrables.

Clase diamétrica (cm)	Roble	Raulí	Total
14	1	0	1
16	8	1	9
18	14	8	22
20	9	7	16
22	11	7	18
24	10	2	12
26	5	0	5
Total	58	25	83
Volumen JAS (m³)	2,445	5,963	8,408

bosque nativo (176,8 miles de m³).

El consumo de trozas en la industria del aserrío, también sufrió una variación a su favor que alcanzó un 13,1% con un volumen total de 15.510 miles de m³ para el año 2004. Para el caso de las maderas nativas el consumo de trozas fue 418,5 miles de m³, lo que indica un rendimiento promedio de los procesos de 42,2%, por debajo del rendimiento promedio asociado a la especie Pino radiata que alcanza al 51,9% dado que el consumo en trozas para esta especie fue de 14.911 miles de m³ en el año 2004.

Del total de la producción de madera aserrada en el país en el año 2004, el 63,1% fue generado por la Región del Bío-Bío, aportando un total de 5.053,6 miles de m³. En términos del consumo de madera en trozas esta misma región participa con 9.610,4 miles de m³, lo que equivale al 61,9%. De este valor, un 99,7% corresponde a *Pinus radiata* y un 0,16% a especies nativas (15,1 miles de m³).

A nivel más local, la Región del Bío-Bío tiene gran importancia en el mercado nacional de este rubro, pues del total de empresas en el rubro del aserrío distribuidas en el territorio nacional, el 67% se localizaba en esta región, concentrando el 71% de la capacidad instalada, (Campos y Cerda 2001).

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

La importancia del aserrío como proceso primario generador de opciones de producción para propietarios de bosque nativo de segundo crecimiento, impulsó a los profesionales del Proyecto CMSBN en la Región del Bío-Bío a realizar una serie de ensayos que permitieran determinar las distintas opciones de aprovechamiento de este recurso en particular para el Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue.

Estas experiencias se llevaron a cabo durante las temporadas 2003 y 2004 y contemplaron la utilización de trozas de Roble y Raulí, bajo distintos escenarios que corresponden a diferentes

tipos de instalaciones o aserraderos, a saber:

- Aserradero industrial
- aserradero tradicional
- aserradero móvil o portátil.

En cada una de estas experiencias se contó con materia prima basada en trozos de la especie Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb) Oerst) y Raulí (*Nothofagus alpina*) (Figura 17). Los trozos utilizados fueron obtenidos del predio Los Esteros, Lote A, ubicado en la comuna de Quilaco, Provincia de Bío-Bío. El bosque corresponde al tipo forestal Roble – Raulí – Coigue, subtipo Roble – Raulí con especies tolerantes (Lara *et al*, 1993, citado por Donoso y Lara, 1999). La intervención silvícola realizada correspondió a un raleo. Cabe mencionar que la masa boscosa no había sido manejada con anterioridad, por lo tanto, la calidad de los individuos extraídos no correspondió a la superior del rodal.

2.2.1 Aserrío industrial de trozas de Roble y Raulí.

Esta experiencia corresponde al aserrío de trozas en la planta de la empresa Embalajes Standar S.A., ubicada en la ruta Los Ángeles - Santa Fe. El objetivo principal de este ensayo fue determinar el grado de aprovechamiento de las trozas en volumen bruto de madera aserrada. En términos de objetivos específicos se plantearon los siguientes:

1. Clasificar la calidad de las trozas de madera de bosque nativo, en función de los estándares existentes.
2. Determinar el volumen de las trozas y de los productos aserrados, para establecer el nivel de aprovechamiento.
3. Realizar una caracterización cualitativa de la madera aserrada obtenida.
4. Establecer las etapas críticas del proceso de aserrío de trozas de Roble y Raulí.

La muestra utilizada para elaborar las piezas de madera aserrada correspondió a 83 trozas: 25 de Raulí y 58 de Roble. La longitud de las trozas fue de 2,50 m, y el rango diamétrico varió de 14 a 26 cm sin corteza para Roble y de 16 a 24 cm para Raulí, considerando el diámetro menor de la troza. Con estos datos se determinó el volumen de la troza, a través de la fórmula JAS (Prodan *et al.*, 1997), (Cuadro 17).

La línea de producción de la empresa Embalajes Standar S.A. (Figura 18), consta de un descortezador de rodillo marca FAB remodelado el año 2001, compuesto de dos rodillos. Un twin, marca FAB, año 2001, con dos motores de 40 HP y 1.400 rpm,

Capítulo 2

Productos Primarios

Cuadro 18. Escuadrías designadas para aserrió.

Espesor(pulgadas)	Ancho(pulgadas)	Espesor(pulgadas)	Ancho(pulgadas)	Espesor(pulgadas)	Ancho(pulgadas)
½	4	2	3	3	3
1	2	2	4	3	4
1	3	2	6	-	-
1	4	-	-	-	-
1	5	-	-	-	-
1	6	-	-	-	-

Cuadro 19. Clasificación de trozas de Roble y Raulí según Norma HKS.

Diámetro menor (cm)	Raulí		Roble		TOTAL
	B	C	B	C	
14	-	-	-	1	1
16	-	1	-	8	9
18	-	8	1	13	22
20	3	4	5	4	16
22	6	1	6	5	18
24	2	-	7	3	12
26	-	-	5	-	5
TOTAL	11	14	24	34	83
	25		58		

Cuadro 20. Participación de los defectos encontrados en las trozas de Roble y Raulí.

Defectos	Raulí		Roble	
	(Nº trozas)	(%)	(Nº trozas)	(%)
Diámetro	28	48,3	15	60,0
Nudo vivo	14	24,1	3	12,0
Nudo muerto	2	3,4	-	-
Conicidad	5	8,6	4	16,0
Curvatura	1	1,7	-	-
Bigote chino	4	6,9	3	12,0
Pudrición	3	5,2	-	-
Gusanera	1	1,7	-	-
Total	58		25	

compuesta de dos sierras circulares de 800 mm de diámetro y 7 mm de espesor. Seguido se encuentra una sierra múltiple marca FAB, año 2001, con dos motores de 75 HP y 1.400 rpm, compuesta de un carrete con sierras circulares de 4,2 mm de espesor. A continuación dos huinchas de brazo radial, marca INDUMET, remodeladas el 2001 por FAB, con un motor de 50 HP y 1470 rpm, compuesta de una huincha banda de 5 pulgadas de ancho y 2 mm de espesor (Figura 19). Por último, una canteadora marca MIT, con un motor de 50 HP. Está compuesta de tres sierras circulares de 400 mm de diámetro y 4,2 mm de espesor.

En primer lugar se procedió a descortezar las trozas, las cuales fueron llevadas al twin, donde son transformadas en semibasa, el ancho de corte realizado a cada troza, fue el máximo posible de efectuar según esquema de corte para el diámetro menor

(Figura 20). Esta semibasa es arrastrada mediante cadenas giratorias y llevada a la sierra múltiple, donde se dimensiona su espesor. Los lampazos generados por el twin y la sierra múltiple son arrastrados a las huinchas de brazo radial, para realizar el aprovechamiento de estos (Figura 21). Por último, estas piezas son llevadas a la canteadora para dimensionar el ancho de la pieza (Figura 22).

Para el proceso en cuestión el personal implicado es el siguiente: un operador del twin, dos operadores en sierra múltiple, dos operadores por huincha radial de banda, dos ordenadores de lampazos, dos personas en aprovechamiento y tres personas en empaque.

En función del eventual destinatario final del producto a obtener se requirió de piezas de madera de diversas escuadrías (Cuadro 18).

En términos de resultados en primer lugar se generó la clasificación de las trozas aserrables aplicando la norma alemana HKS para *Fagus sylvatica* (Cuadro 19).

La calidad de las trozas se concentra en la clase C con un 56% para Raulí y un 59% para Roble, seguida por la calidad B con un 44% para Raulí y un 41% para Roble. No se encontraron trozas en las otras calidades, lo que indica que la calidad de las trozas es de regular a buena. Diferentes son los resultados aportados por Cerda (2002), en cuyo estudio al clasificar trozas aserrables de Roble estas se concentran en la calidad C, seguido por la calidad D y E; a continuación la calidad B y por último, en infima



Figura 19. Salida sierra múltiple marca FAB, compuesta por sierras circulares de 4,2 mm de espesor.



Figura 21. Sierra huincha de brazo radial, marca INDUMET de 5 pulgadas de ancho y 2 mm de espesor.

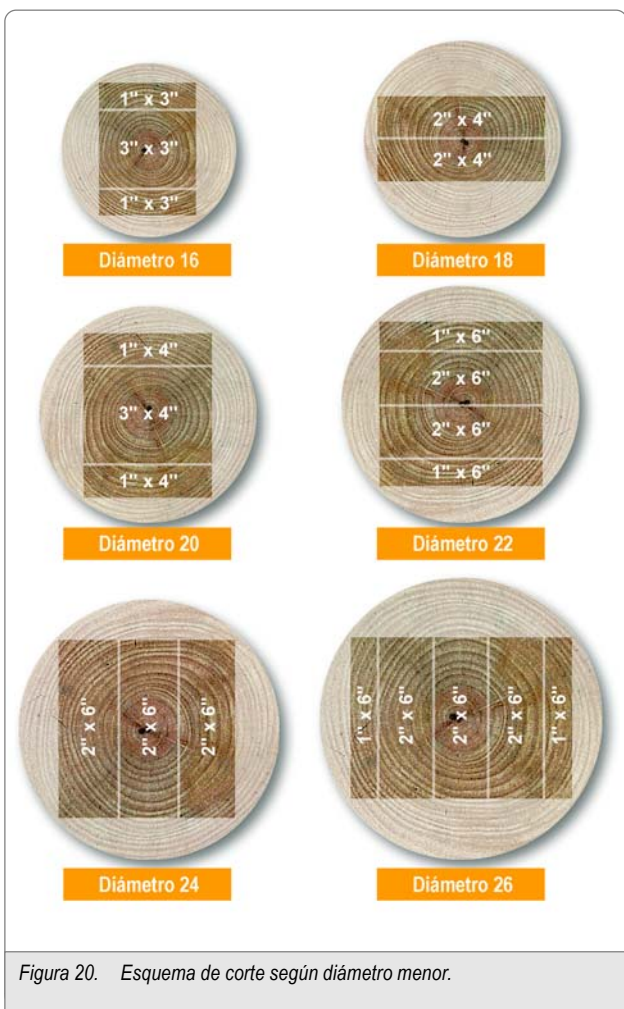


Figura 20. Esquema de corte según diámetro menor.



Figura 22. Canteadora marca MIT de tres sierras circulares de 400 mm de diámetro y 4,2 mm de espesor.

proporción la calidad A. La razón de estas diferencias está en que las trozas evaluadas en el presente estudio pasaron por un proceso de preselección en terreno, principalmente en cuanto a diámetro, forma y rectitud. En comparación con el estudio de Avilés y Henle (1994), en que los árboles muestra correspondían a "árboles cosecha", los resultados de clasificación de trozas son similares a los aquí presentados.

En relación a los defectos encontrados en las trozas, el bajo diámetro de estas, tanto para Roble como para Raulí, encabeza la lista de defectos. Esto se debe a que las trozas provienen de un raleo, en donde se extraen de preferencia diámetros menores, entre otras características (Cuadro 20).

Los siguientes defectos importantes son, para Roble: nudos vivos (24,1%), conicidad (8,6%) y bigote de chino (6,9%). Para Raulí se tienen los mismos tres defectos, pero en diferente orden de importancia: conicidad con 16,0%, y nudo vivo y bigote de chino con 12,0%. Los defectos mencionados anteriormente, se encuentran dentro de una secuencia cronológica según Avilés y Henle (1994), esta es: rama verde, rama seca, herida en el fuste provocada por el desprendimiento de una rama, protuberancia como consecuencia de la cicatrización y bigote de chino como señal terminal del proceso de cicatrización resultado del crecimiento en diámetro.

Capítulo 2

Productos Primarios

Cuadro 21. Número de piezas de madera extraídas por escuadría, según especie.

Escuadrías (pulgadas)	Roble			Raulí		
	Número de piezas	Volumen		Número de piezas	Volumen	
		(pm)	(m ³)		(pm)	(m ³)
½ x 4	55	7,6	0,177	36	5	0,116
1 x 2	21	2,9	0,068	5	0,7	0,016
1 x 3	42	8,8	0,203	29	6	0,140
1 x 4	85	23,6	0,548	26	7,2	0,168
1 x 5	4	1,4	0,032	2	0,7	0,016
1 x 6	39	16,3	0,377	13	5,4	0,126
2 x 3	10	4,2	0,097	0	0	0
2 x 4	23	12,8	0,297	24	13,3	0,310
2 x 6	65	54,2	1,258	16	13,3	0,310
3 x 3	4	2,5	0,058	0	0	0
3 x 4	14	11,7	0,271	5	4,2	0,097
Total	362	145,8	3,386	156	55,9	1,298

(pm) : pulgadas madereras

Cuadro 22. Aprovechamiento en madera aserrada según especie.

	Roble	Raulí
Volumen trozas (m ³ JAS)	5,997	2,413
Volumen madera aserrada (m ³)	3,386	1,298
Rendimiento (%)	56,5	53,8

Johnston (1989) indica, que los nudos son las secciones de ramas que se hallan incluidas dentro del tronco, ocasionan un grano irregular y disminuyen la resistencia de la madera.

Para evaluar el aprovechamiento de las trozas de Roble y Raulí se obtuvieron las piezas de madera aserrada indicadas en el Cuadro 21. El espesor varía de 1/2 a 3 pulgadas y el ancho de 2 a 6 pulgadas (Figura 23).

En el Cuadro 22 se resume el aprovechamiento por especie, alcanzando Roble un 56,5% de rendimiento y Raulí un 53,8% con respecto al volumen total de las trozas. Al respecto, Antiman y Henríquez (1993), analizando madera de Roble proveniente de bosques sin tratamiento silvícola (sector Jauja, comuna de Collipulli) obtuvieron un 45% de aprovechamiento en madera aserrada. Troncoso (2002) en cambio, para trozas de Roble provenientes de un primer raleo en renovales de la comuna de Quilaco, provincia de Bío-Bío, obtuvo un 39,1% de volumen aprovechable. El mejor resultado obtenido en este estudio, con respecto a los mencionados, se debe a la mejor calidad de las trozas, y a la utilización de un proceso de aserrío más eficiente, tanto en el número de maquinarias involucradas en la línea de producción, como en el nivel tecnológico de las mismas.



Figura 23. Madera resultante del proceso de aserrío.

Tanto para Roble como para Raulí, existe una relación directa entre el rendimiento en madera aserrada y la calidad de la troza utilizada en el proceso (Cuadros 23 y 24). Para las clases de trozas de mejor calidad se tiene un mayor rendimiento en términos de madera aserrada.

Al analizar el rendimiento por clase de diámetro, la especie Roble (Cuadro 25), no presenta una tendencia que indique alguna relación entre las dos variables. Para ambas calidades de trozas el aprovechamiento por clase diamétrica presenta un comportamiento quebrado.

Para Raulí (Cuadro 26) no se presenta una tendencia clara en la calidad de troza B, pero sin embargo, para la calidad de troza C se encontró una tendencia descendente, la cual varía desde 65,6% a un 48,6% de aprovechamiento, con el rendimiento más alto en las trozas de menor diámetro.

En cuanto a la clasificación de las piezas de madera aserrada y aplicando la Norma Chilena 1970/1, la calidad de las piezas de

Cuadro 23. Aprovechamiento de la especie Roble, según calidad de troza.

Calidad de la troza	Número de trozas	Volumen (pm)		Aprovechamiento promedio (%)
		Trozas	Aserrado	
B	24	130,6	74,9	57,3
C	34	126,1	70,0	55,5

(pm) : pulgadas madereras

Cuadro 24. Aprovechamiento de la especie Raulí, según calidad de troza.

Calidad de la troza	Número de trozas	Volumen (pm)		Aprovechamiento promedio (%)
		Trozas	Aserrado	
B	11	54,3	29,4	54,1
C	14	51,0	26,5	52,0

(pm) : pulgadas madereras

Cuadro 25. Aprovechamiento por clase diamétrica para la especie Roble según calidad de troza.

Diámetro menor	Calidad de troza B				Calidad de troza C			
	Número de Trozos	Volumen (pm)		Aprovechamiento (%)	Número de Trozos	Volumen (pm)		Aprovechamiento (%)
		Trozas	Aserrado			Trozas	Aserrado	
14	-	-	-	-	1	2,0	1,3	61,7
16	-	-	-	-	8	21,2	8,8	41,3
18	1	3,3	2,0	60,2	13	43,5	26,0	59,8
20	5	20,7	11,8	57,1	4	16,5	9,9	60,1
22	6	30,0	18,3	61,1	5	25,0	14,4	57,5
24	7	41,7	22,6	54,2	3	17,9	9,7	54,1
26	5	34,9	20,1	57,7	-	-	-	-
Total	24	130,6	74,9	57,3	34	126,1	70,0	55,5

(pm) : pulgadas madereras

Cuadro 26. Aprovechamiento por clase diamétrica para la especie Raulí según calidad de troza.

Diámetro menor	Calidad de troza B				Calidad de troza C			
	Número de Trozos	Volumen (pm)		Aprovechamiento (%)	Número de Trozos	Volumen (pm)		Aprovechamiento (%)
		Trozas	Aserrado			Trozas	Aserrado	
16	-	-	-	-	1	2,6	1,7	65,6
18	-	-	-	-	8	26,8	14,0	52,1
20	3	12,4	6,0	48,7	4	16,5	8,4	50,8
22	6	30,0	16,9	56,5	1	5,0	2,4	48,6
24	2	11,9	6,4	53,7	-	-	-	-
Total	11	54,3	29,4	54,1	14	51,0	26,5	52,0

madera se distribuye de la manera indicada en la Cuadro 27.

Tanto Roble como Raulí presentan la mayor cantidad de piezas de madera en la calidad 5, con una participación del orden del 90% del número de piezas obtenido. Esto nos entrega una madera de aspecto regular y débil al perder parte de sus propiedades mecánicas (Miranda y Salinas, 2000).

Un análisis más exhaustivo de los defectos que influyeron

Cuadro 27. Número de piezas por calidad (Norma Chilena 1970/1) y por especie.

Calidad	Roble	Raulí	Total
1	3	6	9
2	3	4	7
3	8	4	12
4	20	5	25
5	328	137	465
Total	362	156	518

Capítulo 2

Productos Primarios



Figura 24. Detalle defectos en madera aserrada obtenida del ensayo.

directamente en la clasificación de la madera se presenta en el Cuadro 28.

Se puede apreciar que tanto para Roble como para Raulí los defectos más importantes corresponden a nudos muertos con 39,2% para Roble y 53,2% para Raulí, y corteza incluida con un 29,3% para Roble y 23,7% para Raulí. Los nudos muertos, al ser de pequeño tamaño (0,5 a 2,0 cm) no tienen una gran influencia en la pérdida de propiedades físicas de la madera. La corteza es otro defecto que se puede eliminar ajustando su escuadría. Por lo tanto, ambos son defectos que pueden ser remediados, pudiendo ajustarse la calidad de la pieza de madera a una categoría mayor (Figura 24).

Respecto al estudio de tiempos, el proceso de aserrío de las 83 trozas requirió de 10 horas con 40 minutos. El tiempo efectivo de trabajo fue de 8 horas con 4 minutos, con 2 horas y 36 minutos de tiempos muertos; estos se desglosan de la siguiente manera: 1 hora 51 minutos utilizados en la mantención y abastecimiento tardío de trozas, 15 minutos en desayuno y 30 minutos en almuerzo.

Los tiempos promedios de procesamiento total de la troza y del cambio de sierra por clase diamétrica se presenta en el Cuadro 29.

Se pudo observar que el tiempo promedio de aserrío por troza se mantiene cercano a 3 minutos, no influyendo que el diámetro aumente. El tiempo por cambio de sierras aumenta a medida que aumenta la clase diamétrica, esto se debe a que a medida que aumenta el diámetro se necesita de mayor número de sierras, regido por el esquema de corte utilizado.

En términos del tiempo involucrado en el proceso productivo, el cual afecta directamente el rendimiento por

jornada de trabajo, la etapa crítica más importante detectada en el proceso de aserrío corresponde a la discontinuidad por el abastecimiento de trozas. Esto a causa que durante el estudio se producía una demora significativa en el tiempo de espera que se necesitaba para llevar el seguimiento completo de la troza como era requerido para evaluar el aprovechamiento. En condiciones normales de operación esta demora sería significativamente menor dado que para el caso de *Pinus radiata*, el máximo rendimiento por jornada de trabajo es de 900 trozas de 2,44 metros de longitud y diámetros entre 16 y 26 cm.

El tiempo perdido en el cambio de sierras, debido al cambio de esquema de corte por clase diamétrica, es la segunda etapa crítica del proceso. Este se puede reducir en la medida que exista una buena clasificación de la madera, por diámetro menor, antes de entrar en el proceso productivo.

Las principales conclusiones obtenidas de la experiencia en este proceso fueron las siguientes:

- La calidad de las trozas analizadas fue de regular a buena, concentrándose estas en la calidad C, con un 56% para Raulí y un 59% para Roble, seguido por la calidad B, con un 44% para Raulí y un 41% para Roble.
- Para Roble y Raulí, el bajo diámetro menor de las trozas fue la principal variable que limitó la clasificación de las trozas a categorías superiores al aplicar la norma HKS modificada.
- El rendimiento del proceso de aserrío para la especie Roble fue de 56,5% y para Raulí de 53,8%.
- Se obtuvo un mayor rendimiento aserrable en las trozas de mejor calidad. Para Roble un 57,3% para calidad B y 55,5% para calidad C; para Raulí un 54,1% para calidad B y 52,0% para calidad C.
- Tanto Roble como Raulí presentan la mayor cantidad de piezas de madera en la calidad 5, al aplicar la Norma Chilena 1970/1. Of 88.
- Tanto para piezas de Roble como Raulí los principales defectos de las piezas de madera corresponden a nudos muertos y corteza incluida.
- El rendimiento en madera libre de defectos, en relación al volumen total del trozo, fue de 21,8% para Roble y de 26,4% para Raulí.

Cuadro 28. Defectos que influyeron en la clasificación de las piezas de madera.

Defectos	Roble					Raulí							
	Nº de Piezas	Participación de piezas en grados de calidad (%)					Nº de Piezas	Participación de piezas en grados de calidad (%)					
		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
Nudo muerto	142	-	-	-	-	39,2	83	-	-	-	-	-	53,2
Pudrición	43	-	-	-	-	11,9	14	-	-	-	-	-	9,0
Galerías	32	-	-	-	-	8,8	2	-	-	-	-	-	1,3
Nudo vivo	6	0,8	-	0,6	-	0,3	7	3,8	-	-	0,6	-	-
Corteza	131	-	0,8	1,1	5,0	29,3	49	-	2,6	2,6	2,6	-	23,7
Bolsillo	3	-	-	-	0,3	0,6	1	-	-	-	-	-	0,6
Grieta	2	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rajadura	3	-	-	-	0,3	0,6	-	-	-	-	-	-	-
	362						156						

Cuadro 29. Tiempos promedios de proceso de aserrio por clase diamétrica.

Diámetro menor (cm)	Tiempo promedio por troza (min, seg)	Tiempo por cambio de sierra (min, seg)
16	3' 25"	13' 06"
18	3' 21"	14' 40"
20	3' 15"	14' 50"
22	3' 01"	14' 50"
24	3' 15"	15' 00"
26	3' 04"	16' 30"
General	3' 14"	14' 50"

Adicionalmente a los antecedentes técnicos asociados al proceso de aserrio de madera de Roble y Raulí, se recopiló en esta experiencia los antecedentes básicos para estimar los costos asociados al proceso productivo.

En cuanto a la materia prima requerida esta fue de de 8,408 m³ JAS con un valor unitario de 18.700 \$/m³ JAS.

El consumo total de energía eléctrica en el proceso de aserrio fue de de 430 HP (321 kw/hora) con un costo estimado de 25.680 \$/hora, para un precio de 80 \$/kw, vale decir \$ 205.440 para un turno de ocho horas de duración.

En términos del personal involucrado este fue el siguiente:

- un operador del twin,
- dos operadores en sierra múltiple,
- dos operadores por huincha radial de banda,

- dos ordenadores de lampazos,
- dos personas en aprovechamiento y
- tres personas en empaque.

El salario estimado para los operadores de máquinas es de 220.000 \$/mes, el de los obreros de 150.000 \$/mes y el del Jefe de Área de 520.000 \$/mes

Esto da un total en mano de obra de 2.670.000 \$/mes y de 89.000 \$/turno de ocho horas.

Para realizar el proceso de aserrio de las 83 trozas, se requirió de 10 horas con 40 minutos, lo que es equivalente a 1,33 turnos de 8 horas. El tiempo efectivo de trabajo fue de 8 horas con 4 minutos, con 2 horas y 36 minutos de tiempos muertos; estos se desglosan de la siguiente manera: 1 hora 51 minutos utilizados en la mantención y abastecimiento tardío de trozas, 15 minutos en desayuno y 30 minutos en almuerzo.

Capítulo 2

Productos Primarios

Cuadro 30. Detalle de costos involucrados en el proceso de aserrió.

Item	Valor unitario (\$/unidad)	Consumo (unidades)	Valor turno (\$)	Total (\$)	Participación (%)
Materia prima (m ³)	18.700	8,408	157.230	157.230	26,66
Costo variable maquinaria (kw/hora)	80	321	205.440	273.235	46,33
Costo fijo maquinaria (15% Costos variables)	12	321	30.816	40.985	6,95
Mano de obra (mes)			89.000	118.370	20,07
• Operadores	220.000	5	36.667		
• Obreros	150.000	7	35.000		
• Jefe Area	520.000	1	17.333		
TOTAL				589.820	100,00

Cuadro 31. Distribución diamétrica de la muestra de trozas aserrables.

Clase diamétrica (cm)	Roble	Raulí	Total
14	1	3	4
16	4	2	6
18	1	1	2
20	6	-	6
22	1	1	2
24	1	-	1
Total	14	7	21
Volumen JAS (m³)	1,201	0,458	1,659

2.2.2 Aserrió tradicional de trozas de Roble y Raulí.

Esta experiencia corresponde al aserrió de trozas en un aserradero tradicional (banco aserradero ubicado en el predio de faena de extracción de trozos). El objetivo principal fue determinar el grado de aprovechamiento de las trozas en volumen bruto de madera aserrada. En términos de objetivos específicos se planteó:

1. Clasificar la calidad de las trozas de madera de bosque nativo, en función de los estándares existentes.
2. Determinar el volumen de las trozas y de los productos aserrados, para establecer el nivel de aprovechamiento.
3. Realizar una caracterización cualitativa de la madera aserrada obtenida.

La muestra utilizada para elaborar las piezas de madera aserrada correspondió a 1 metro ruma de madera de Roble y Raulí. Este equivale a 21 trozas: 7 de Raulí y 14 de Roble. La longitud nominal de las trozas fue de 2,50 m, y el rango diamétrico varió de 14 a 24 cm sin corteza para Roble y de 14 a 22 cm para Raulí considerando el diámetro menor de la troza. El diámetro promedio fue de 17,9 cm. Con estos datos se determinó el volumen de la troza, a través de la fórmula JAS (Prodan *et al*, 1997), (Cuadro 31), (Figura 25).

El proceso fue realizado en un banco aserradero ubicado en el mismo predio (Figura 26). La línea de producción consta de dos sierras circulares: una sierra canteadora de 126 cm de diámetro y 7 mm de ancho de corte (Figuras 27 y 28), y una sierra dimensionadora de 47 cm de diámetro y 4 mm de ancho de corte (Figuras 29 y 30). De la primera se obtienen las basas realizando dos o tres cortes a cada troza, dependiendo de su diámetro. De la segunda se obtienen las piezas de madera de acuerdo a las

En base a todos estos antecedentes se establece que el costo total para el aserrió de los 8,408 m³ JAS, es decir para generar 4,641 m³ de madera aserrada, fue de \$ 589.820 (Cuadro 30).

Esto implica un costo promedio para el proceso de 70.142 \$/ m³ JAS en trozas, valor por el cual se obtiene 0,532 m³ de madera aserrada. De este valor \$ 18.700 corresponden a la materia prima por lo que el costo del proceso en sí es de 51.442 \$/ m³ JAS. Debe tenerse presente que este valor no refleja el costo del proceso en condiciones operacionales debido a que trató de un ensayo, en el cual todas las operaciones son más lentas por los cuidados a tener en el registro de la información y la evaluación que se hace del rendimiento en cada una de las etapas. Como patón de referencia está la operación normal del aserradero en el aserrió de trozas de Pino radiata, en donde el máximo rendimiento registrado por jornada de trabajo es de 900 trozas de 2,44 metros de longitud y diámetros entre 16 y 26 cm. Esto es que ingresan 86,4 m³ JAS y se obtienen 47,69 m³ de madera aserrada (2.020,6 pulgadas madereras) en un turno de trabajo. Asumiendo que para madera nativa el rendimiento normal de operación fuera de un 75% del rendimiento con Pino radiata se puede estimar un costo por proceso de aserrió de 6.325 \$/ m³ JAS.



Figura 25. Trozas aserrables de Roble y Raulí evaluadas en el estudio.



Figura 26. Vista banco aserradero, sector Balsadero Callaqui.



Figura 27. Sierra canteadora de 126 cm de diámetro.



Figura 28. Transformación de la troza en basa por la sierra canteadora.



Figura 29. Sierra dimensionadora de 47 cm de diámetro.



Figura 30. Transformación de la basa en piezas de madera aserrada.

escuadrías requeridas. No existe elaboración de diagramas de corte, siendo la experiencia del operador relevante para obtener el máximo aprovechamiento de las trozas. El funcionamiento de la línea de producción requiere de 5 personas: 2 operadores (uno por cada sierra), 1 acomodador de la madera aserrada, 1 acarreador de lampazos y 1 paleador de aserrín.

Aplicando la norma HKS, se determinó que la calidad de las trozas se concentra en la clase C con un 85,7% para Raulí y un 71,4% para Roble, lo que indica que la calidad de las trozas fue de regular a mala. Los principales defectos encontrados en las trozas fueron presencia de nudos vivos, nudos muertos

Capítulo 2

Productos Primarios



Figura 31. Bigote de chino y cambio de forma de la cicatriz producto del aumento del diámetro del tronco.



Figura 32. Madera resultante del proceso de aserrío.



Figura 33. Trozas aserrables de Roble evaluadas en el estudio.

y bigote de chino. Estos se encuentran dentro de una secuencia cronológica según Avilés y Henle (1994), esta es: rama verde, rama seca, herida en el fuste provocada por el desprendimiento de una rama, protuberancia como consecuencia de la cicatrización y bigote de chino como señal terminal del proceso de cicatrización resultado del crecimiento en diámetro (Figura 31). El siguiente defecto en importancia fue la curvatura de las trozas. La mala calidad evaluada se debe fundamentalmente a que las trozas provienen de un raleo, en donde se extraen principalmente árboles con diámetros pequeños y con problemas de forma y/o sanitarios, entre otras características (Cuadro 32).

En cuanto al aprovechamiento de las trozas de Roble y Raulí se obtuvieron las piezas de madera aserrada indicadas en el Cuadro 33. El espesor varió de 1 a 2 pulgadas y el ancho de 3 a 6 pulgadas (Figura 32).

El aprovechamiento verificado para Roble fue de un 51,05% mientras que para Raulí se comprobó un rendimiento de 43,89% con respecto al volumen total de las trozas (Cuadro 34). Antimán y Henríquez (1993), analizando madera de Roble proveniente de bosques sin tratamiento silvícola (sector Jauja, comuna de Collipulli), obtuvieron un 45% de aprovechamiento en madera aserrada. Troncoso (2002), en cambio, para trozas de Roble provenientes de un primer raleo en renovales de la comuna de Quilaco, provincia de Bío-Bío, obtuvo un 39,1% de volumen aprovechable.

Al aplicar la Norma Chilena 1970/1, todas las piezas de madera aserrada corresponden a la calidad 5. Esto significa una madera de aspecto regular a malo y débil al perder parte de sus propiedades mecánicas por la presencia de nudos o pudriciones (Miranda y Salinas, 2000).

Un análisis de los defectos que influyeron directamente en la clasificación de la madera indica que los defectos de mayor aparición, y que descalificaron las piezas aserrables obtenidas, son presencia de nudos muertos y corteza incluida. Le siguen la evidencia de pudrición y presencia de galerías.

Hecha una clasificación visual por el encargado del aserradero, muchas de las piezas calificaron como “buenas” en función de su escuadría y el posible uso a que se les destine. Las piezas de mayor escuadría con presencia de corteza, pueden ser reaserradas a escuadrías menores eliminando el defecto. Aquellas con presencia de nudos muertos, y en función del tamaño del nudo, pueden ser utilizadas en la construcción para piezas a la vista, ya que este defecto mejora la estética del material y es del gusto de los clientes de quienes construyen en madera.

Cuadro 32. Clasificación de trozas de Roble y Raulí según Norma HKS.

Diámetro menor (cm)	Raulí		Roble			TOTAL
	B	C	B	C	D	
14	-	3	-	1	-	4
16	1	1	1	3	-	6
18	-	1	-	1	-	2
20	-	-	2	3	1	6
22	-	1	-	1	-	2
24	-	-	-	1	-	1
TOTAL	1	6	3	10	1	21
	7		14			

Cuadro 33. Número de piezas de madera extraídas por escuadría, según especie.

Escuadrías (pulgadas)	Roble			Raulí		
	Número de piezas	Volumen		Número de piezas	Volumen	
		(pm)	(m³)		(pm)	(m³)
1 x 3	4	0,83	0,019	-	-	-
1 x 4	6	1,67	0,039	6	1,67	0,039
1 x 5	12	4,17	0,097	1	0,35	0,008
1 x 6	2	0,83	0,019	-	-	-
2 x 3	1	0,42	0,010	-	-	-
2 x 4	3	1,67	0,039	7	3,89	0,090
2 x 5	23	15,97	0,371	4	2,78	0,064
2 x 6	1	0,83	0,019	-	-	-
Total	52	26,39	0,613	18	8,68	0,201

(pm): pulgadas madereras.

Cuadro 34. Aprovechamiento en madera aserrada según especie.

	Roble	Raulí	Total
Volumen trozas (m³ JAS)	1,20	0,46	1,66
Volumen madera aserrada (m³)	0,61	0,20	0,81
Rendimiento (%)	51,05	43,9	49,06

Las principales conclusiones de la experiencia fueron:

- La calidad de las trozas analizadas fue de regular a mala, concentrándose estas en la calidad C, tanto para Raulí como para Roble.
- Para Roble y Raulí, el bajo diámetro menor de las trozas fue la principal variable que limita la clasificación de las trozas a categorías superiores al aplicar la norma HKS modificada.
- El rendimiento del proceso de aserrío para la especie Roble fue de 51,05% y para Raulí de 43,89%.
- Tanto Roble como Raulí presentan la totalidad de las piezas de madera en la calidad 5, al aplicar la Norma Chilena 1970/ 1. Of 88.

- Una clasificación visual acorde con el potencial uso de la madera aserrada nativa permitirá mejorar los resultados en cuanto a la clasificación de la madera aserrada.

En el ensayo se utilizó un volumen total de 1,659 m³ JAS con un valor unitario de 11.332 \$/m³ JAS, esto implica que el costo total de la materia prima fue de \$ 18.800. Por otra parte, el costo del servicio de aserrío fue de 400 \$/pulgada maderera. Con ello el costo total del ensayo fue de \$ 32.000, de los cuales el 58,75% corresponde a materia prima y el 41,25% restante al procesamiento de la madera.

2.2.3 Aserrío en aserradero móvil de trozas de Roble.

Esta experiencia se llevó a cabo con el objetivo de determinar los tiempos y rendimientos en aserrío de trozas de Roble en un aserradero móvil de producción continua con sierra huincha.

El tipo de madera utilizada para elaborar las piezas de madera aserrada correspondió a 10 trozas de Roble (Figura 33).



Figura 34. Troza con déficit isoperimétrico en la cara menor (troza 8)



Figura 35. Aserradero Móvil Wood Myzer LT 40 HD C34.



Figura 37. Madera resultante del proceso de aserrío.

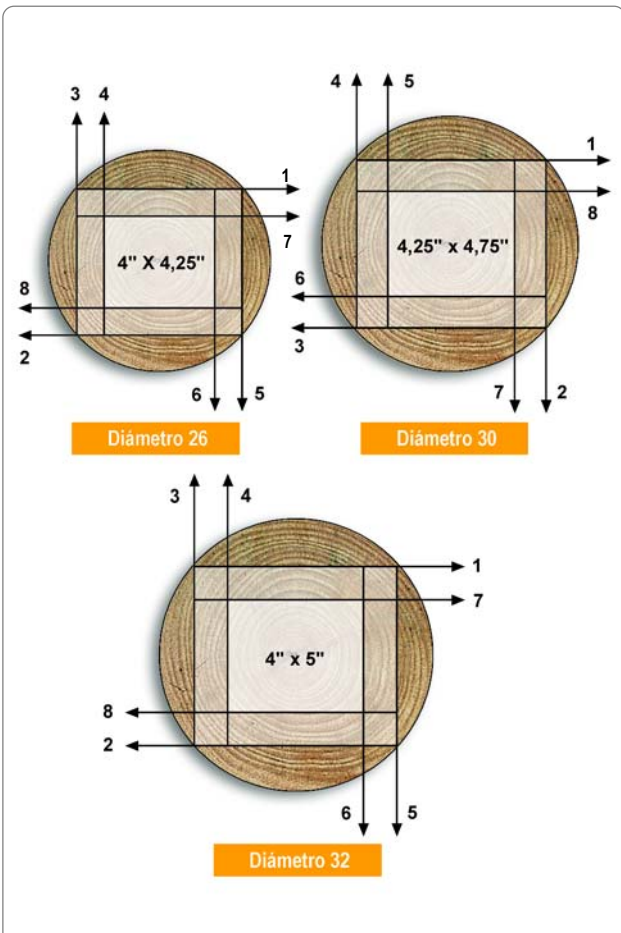


Figura 36. Esquema de corte utilizado según diámetro menor y secuencia de los cortes efectuados

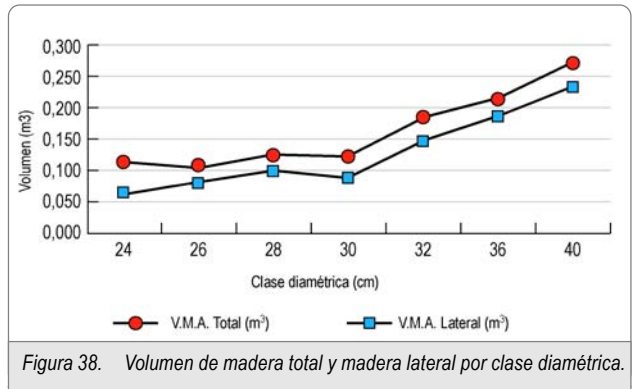


Figura 38. Volumen de madera total y madera lateral por clase diamétrica.

La longitud de las trozas fue de 2,44 m, y el rango diamétrico varió de 26 a 42 cm sin corteza, considerando el diámetro menor de la troza. La forma y rectitud de las trozas corresponde a las necesarias para utilizarlas en un proceso de aserrío. La clasificación visual hecha por el operario del aserradero corresponde a "Buena", a excepción de la troza identificada con el número 8, la que presenta un marcado déficit isoperimétrico en la cara menor (Figura 34).

La línea de producción para el proceso de aserrío consta de un

Cuadro 35. Aprovechamiento en madera aserrada obtenida del ensayo.

Troza N°	Diámetro (cm)	Volumen Troza (m³ ssc) JAS	V.M.A. (m³) *		Aprovechamiento (%)	
			Total	Lateral	V.M.A. Total	V.M.A. Lateral
1	32	0,246	0,164	0,132	66,6	53,8
2	32	0,246	0,196	0,155	79,9	63,3
3	40	0,384	0,270	0,231	70,4	60,3
4	36	0,311	0,207	0,175	66,5	56,2
5	26	0,162	0,104	0,077	64,0	47,5
6	30	0,216	0,121	0,089	56,1	41,4
7	36	0,311	0,213	0,194	68,5	62,4
8	30	0,216	0,125	0,088	58,0	40,5
9	28	0,188	0,124	0,099	65,8	52,4
10	24	0,138	0,107	0,064	77,7	46,6
Total		2,418	1,632	1,305	67,5	54,0

* V.M.A: Volumen de Madera Aserrada.

Cuadro 36. Volumen de trozas y madera aserrada total y lateral obtenida por clase de diámetro.

Clase Diamétrica (cm)	N° de Trozas	Volumen Troza (m³) JAS	V.M.A. (m³)	
			Total	Lateral
24	1	0,138	0,107	0,064
26	1	0,162	0,104	0,077
28	1	0,188	0,124	0,099
30	2	0,216	0,123	0,088
32	2	0,246	0,180	0,144
36	2	0,311	0,210	0,185
40	1	0,384	0,270	0,231

aserradero móvil Wood Mizer LT 40 HD C 34, motor bencinero, compuesta de una sierra huincha de 11/2" x 2 mm, en que las trozas se manejan hidráulicamente desde un mando de control (Figura 35).

El funcionamiento de la línea de producción requiere en el proceso de aserrío de una mano de obra compuesta por cuatro personas: un jefe, un operador y dos ayudantes.

Por medio del aserradero móvil de sierra huincha, las trozas fueron transformadas en semibasa, realizando cinco cortes para separar la madera central de la madera lateral. El ancho de corte realizado a cada troza, fue el máximo posible de efectuar según su diámetro menor (Figura 36), quedando la eficiencia del proceso sujeta a la experiencia del operario.

De las trozas de Roble se obtuvieron piezas de madera aserrada cuyo espesor varió de 3 a 4,75 pulgadas y el ancho de 4 a 6,5 pulgadas para la madera central; y de 1 a 5,25 pulgadas de espesor y 4 a 13,5 pulgadas de ancho para la madera lateral (Figura 37).

Realizado el cálculo del volumen por troza y el volumen aserrado de madera total y madera lateral, se procedió a calcular el

porcentaje de aprovechamiento para la madera aserrada en relación al volumen de troza por clase diamétrica dado por la norma JAS (Cuadro 35).

El aprovechamiento en relación al volumen de madera total y lateral alcanzó un total de 67,5% y un 54,0% respectivamente, con respecto al volumen total de trozas. El volumen total de trozas alcanza a 2,418 m³ ssc, mientras el volumen aserrado de madera total fue de 1,632 m³ y de madera lateral fue de 1,305 m³ (Cuadro 36).

La Figura 38 muestra una tendencia a aumentar el volumen aserrado de madera total y lateral, a medida que aumenta la clase diamétrica. No obstante, en ambos casos se aprecia una caída en la tendencia inversamente proporcional en la clase diamétrica 30. Esto ocurre por la mala calidad de la troza (troza 8), en cuanto a la forma de su sección en el diámetro menor para una de las dos trozas correspondiente a esta clase diamétrica.

Por otra parte, el tiempo efectivo de trabajo en el aserrío fue de 2,1 horas. Los tiempos promedios de procesamiento total de la troza y del cambio de sierra por clase diamétrica se

Capítulo 2

Productos Primarios

presentan en el Cuadro 37 en el que se puede observar que el tiempo promedio de aserrío por troza se mantiene cercano a 11 minutos, no influyendo que el diámetro aumente. El cambio de sierra se produjo cada dos trozas, siendo el tiempo promedio por cambio de sierra de 6 minutos. El aserradero cuenta solo con una sierra, por lo tanto este proceso se produce por el desgaste de ella.

Según estos antecedentes el rendimiento real del proceso de aserrío fue de 8,97 m³/hora, mientras que de madera aserrada lateral es de 7,09 m³/hora. Se evidencia, según la experiencia, que existe una tendencia a aumentar el rendimiento en las clases diamétricas mayores (Cuadro 38).

El diámetro de la troza es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrío, demostrándose que en la medida que el diámetro aumenta también se incrementa el rendimiento en el proceso; por lo tanto el procesamiento de trozas de pequeñas dimensiones implica bajos niveles de rendimiento y menor ganancia en los aserraderos.

No obstante, el planteamiento de que las trozas de pequeñas dimensiones conducen a la reducción de los principales indicadores técnico-económicos de los aserraderos es sólo parcialmente válido pues, realizando una óptima selección de la maquinaria y de los equipos, es posible reducir la influencia negativa en los indicadores.

Para efectos de contar con antecedentes relacionados a los costos del proceso de aserrío se señala que las horas de trabajo corresponden a 2,1 con una producción de 1,6 m³ de madera total y 1,3 m³ de madera aserrada lateral. Para el funcionamiento del aserradero se necesitaron 4 litros de bencina, cuyo costo fue de 560 \$/litro. La mano de obra compuesta de 1 operador, 1 jefe y 2 ayudantes obtuvo un costo total por jornada de trabajo de 17.500 \$/jornada.

El costo de operación total alcanza a \$ 7.859, desglosado en \$ 4.594 por concepto de mano de obra, \$ 2.240 por concepto de combustible y \$ 1.025 por efecto de depreciación y mantenimiento (15%). Por lo tanto el costo del proceso por unidad de madera producida es de 4.912 \$/m³ de madera aserrada total y de 6.045 \$/m³ de madera aserrada lateral.

Los rendimientos verificados a través de la implementación de los distintos ensayos realizados en el marco del Proyecto CMSBN indican la factibilidad técnica asociada al aprovechamiento de madera juvenil de roble y raulí para la producción de madera aserrada de calidad media. Si bien es posible encontrar en los resultados expuestos una serie de defectos de la madera obtenida, no es menos cierto que se requiere avanzar en la clasificación de los trozos tanto en el bosque como en la propia planta de procesamiento, tarea con la cual se mejoraría substancialmente la calidad de los productos finales.



Figura 39. Vista del aprovechamiento de una troza aserrable.



Figura 40. Vista de reaserradora ECASO.



Figura 41. Diagrama de línea de producción de proceso de reaserrío.

Interesante también es recalcar que los costos involucrados en los procesos de aserrío, en general, y en particular a nivel de grandes aserraderos para la madera de renovales no difieren en forma significativa con aquellos que se verifican para el procesamiento de Pino radiata, situación que puede ser una gran oportunidad al momento de introducir más masivamente la madera aserrada de renovales, al menos en el mercado nacional, para fines estructurales.

2.3 Reaserrío.

Si se continuara el proceso de la línea de producción de una industria de aserraderos, la siguiente etapa se compone de maquinaria que está dispuesta para cortar piezas aserradas,

llamadas reaserradoras.

El objetivo que persigue este proceso es el de dimensionar en menor escuadría la madera aserrada, lográndose piezas con espesores similares a los proporcionados a las láminas obtenidas de un proceso de debobinado o foliado, pero mediante la acción de un corte por sierra huincha. También es posible aumentar el aprovechamiento en volumen de la troza aserrable ya que en el reaserrío es posible incorporar la madera lateral desechada en el aserrío (lampazos), en la medida que su espesor y ancho permitan obtener piezas de madera utilizables (Figura 39).

La madera obtenida de este proceso puede ser utilizada para la elaboración de envases de madera, como por ejemplo cajas de vino de exportación, cajas de chocolate u otras que otorgan mayor valor agregado al producto que contiene.

Cuadro 37. Tiempos promedio por orden de troza en el proceso de aserrío.

Troza N°	Diámetro (cm)	Tiempo aserrío (minutos)	Tiempo cambio sierra (minutos)
8	30	10	
2	32	8	
3	40	11	8
9	28	18	
10	24	10	
7	36	14	4
6	30	9	
5	26	8	
1	32	13	
4	36	13	
Total		114	12

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

La experiencia se llevó a cabo con una reaserradora ECASO de 15 HP, motor eléctrico, compuesto de una sierra huincha (Figura 40). Se utilizó en esta prueba la madera lateral y las tapas o lampazos obtenidos en la prueba de aserrío con un aserradero móvil Wood Mizer LT 40 HD C 34 descrita en el punto 2.2.3.

La línea de producción considera para efectos del ensayo el ingreso de madera lateral y lampazos a fin de obtener láminas para una posterior elaboración (Figura 41).

Cuadro 38. Rendimiento del proceso de aserrío por clase de diámetro.

Clase Diamétrica (cm)	Troza N°	Tiempo de aserrío (hora)	V.M.A. (m³) *		Rendimiento (m³/hora)	
			Total	Lateral	V.M.A. Total	V.M.A. Lateral
24	10	0,2	0,107	0,064	0,64	0,39
26	5	0,1	0,104	0,077	0,78	0,58
28	9	0,3	0,124	0,099	0,41	0,33
30	6	0,2	0,121	0,089	0,81	0,60
30	8	0,2	0,125	0,088	0,75	0,53
32	1	0,2	0,164	0,132	0,76	0,61
32	2	0,1	0,196	0,155	1,47	1,17
36	4	0,2	0,207	0,175	0,95	0,81
36	7	0,2	0,213	0,194	0,91	0,83
40	3	0,2	0,270	0,231	1,47	1,26
Total		1,9	1,632	1,305	8,97	7,09

* V.M.A: Volumen de Madera Aserrada.

Capítulo 2

Productos Primarios

Cuadro 39. Escuadrias obtenidas en el aserrio para la madera lateral.

Clase Diámetro (cm)	Troza N°	Central		Pieza 1		Pieza 2		Pieza 3		Pieza 4		Pieza 5		Pieza 6	
		Espesor (pulg)	Ancho (pulg)	Espesor (pulg)	Ancho (pulg)	Espesor (pulg)	Ancho (pulg)	Espesor (pulg)	Ancho (pulg)	Espesor (pulg)	Ancho (pulg)	Espesor (pulg)	Ancho (pulg)	Espesor (pulg)	Ancho (pulg)
24	10	4,75	5,75	2,00	5,00	3,75	8,25	-	-	-	-	-	-	-	-
26	5	4,00	4,25	2,00	4,25	3,00	4,25	3,00	9,25	-	-	-	-	-	-
28	9	3,75	4,25	1,75	6,25	3,75	5,00	4,00	8,25	-	-	-	-	-	-
30	6	4,25	4,75	2,00	6,75	2,75	4,75	2,75	11,00	-	-	-	-	-	-
30	8	4,00	6,00	1,25	8,00	1,50	5,75	2,00	5,75	3,00	8,50	-	-	-	-
32	1	4,00	5,00	2,00	4,00	2,00	8,00	3,75	4,25	4,00	11,00	-	-	-	-
32	2	4,00	6,50	1,50	6,75	2,00	10,75	3,00	11,00	5,25	6,50	-	-	-	-
36	4	4,25	4,75	2,75	7,50	3,00	4,25	4,00	12,00	4,25	7,00	-	-	-	-
36	7	3,00	4,00	1,00	4,00	1,50	5,00	1,75	5,00	4,00	8,00	4,25	8,25	4,50	8,00
40	3	4,05	5,50	1,50	13,50	2,00	7,50	2,00	7,50	3,00	5,50	3,50	7,50	4,00	13,50

Cuadro 40. Volumen de la madera lateral utilizada en el proceso de reaserrio.

Clase diamétrica (cm)	Troza N°	PIEZA 1 (pm)	PIEZA 2 (pm)	PIEZA 3 (pm)	PIEZA 4 (pm)	PIEZA 5 (pm)	PIEZA 6 (pm)
24	10	0,68	2,10	-	-	-	-
26	5	0,58	0,86	1,88	-	-	-
28	9	0,74	1,27	2,24	-	-	-
30	6	0,92	0,89	2,05	-	-	-
30	8	0,68	0,58	0,78	1,73	-	-
32	1	0,54	1,08	1,08	2,98	-	-
32	2	0,69	1,46	2,24	2,31	-	-
36	4	1,40	0,86	3,25	2,02	-	-
36	7	0,27	0,51	0,59	2,17	2,38	2,44
40	3	1,37	1,02	1,02	1,12	1,78	3,66
	TOTAL	7,86	10,63	15,13	12,33	4,16	6,10

Cuadro 41. Aprovechamiento en madera reaserrada.

Troza N°	Clase diamétrica (cm)	Volumen Troza (m³ ssc) JAS	Volumen Laminado Madera Aserrada(m³)	Volumen Laminado Lampazos (m³)	Aprovechamiento (%)	
					Volumen Laminado Madera Aserrada	Volumen Laminado Lampazos
1	32	0,246	0,119	0,023	48,2	9,5
2	32	0,246	0,129	0,035	52,4	14,3
3	40	0,384	0,190	0,051	49,6	13,2
4	36	0,311	0,146	0,038	46,8	12,2
5	26	0,162	0,053	0,043	32,9	26,4
6	30	0,216	0,076	0,030	35,2	13,8
7	36	0,311	0,157	0,047	50,5	15,0
8	30	0,216	0,072	0,032	33,4	14,7
9	28	0,188	0,086	0,026	45,6	13,7
10	24	0,138	0,046	0,021	33,3	15,2
	Total	2,418	1,074	0,345	44,4	14,3

En el Cuadro 39 se indica el espesor y ancho de todas las piezas obtenidas para la madera lateral del proceso de aserrío y en el Cuadro 40 el volumen correspondiente a cada una de estas piezas de madera aserrada.

Se desecha en este ensayo de reaserrío la basa central pues la madera resultante será usada, posterior al secado, en la elaboración de envases de vino para los cuales una de las restricciones es el uso de madera de mayor estabilidad dimensional. Las 39 piezas de madera lateral varían de 1 a 5,25 pulgadas de espesor y de 4 a 13,5 pulgadas de ancho, el largo de todas las piezas es de 2,44 m.

El volumen de madera central descontado corresponde a 13,89 pulgadas madereras, quedando un volumen para reaserrío de 56,20 pulgadas madereras, en donde la pieza de mayor volumen alcanza a las 3,66 pulgadas madereras (4,00" x 13,50") y la de menor volumen a 0,27 pulgadas madereras (1,00" x 4,00").

Las piezas de madera aserrada lateral se reaserraron en espesores de 12 y 14 mm y con ancho de 110 a 280 mm y largo de 2,44 m; y del aprovechamiento de lampazos se obtuvieron piezas de 12 a 14 mm de espesor y 60 a 230 mm de ancho, con largo variable según la forma del lampazo (Figura 42).

Realizado el cálculo del volumen por troza, el volumen laminado de madera aserrada y el volumen laminado de lampazos, se procedió a calcular el porcentaje de aprovechamiento para la madera reaserrada en relación al volumen de troza dado por la norma JAS.

El Cuadro 41, muestra el aprovechamiento para la situación estudiada en relación al volumen laminado de madera aserrada, la cual alcanzó un total de 44,4%, con respecto al volumen total de trozas; y el volumen laminado de lampazos que alcanzó un 14,3%, también en relación al volumen

total de las trozas. El volumen total de trozas alcanza a 2,418 m³ ssc, mientras el volumen laminado de madera aserrada fue de 1,074 m³ y el volumen laminado de lampazos fue de 0,345 m³ (Figura 43).

El Cuadro 42 muestra el aprovechamiento en relación al volumen de madera aserrada lateral, madera de la cual fueron extraídas las piezas para el laminado de madera aserrada.

El aprovechamiento total fue de un 81,4% para el volumen laminado de madera aserrada en relación al volumen de madera



Figura 42. Piezas de madera reaserrada.

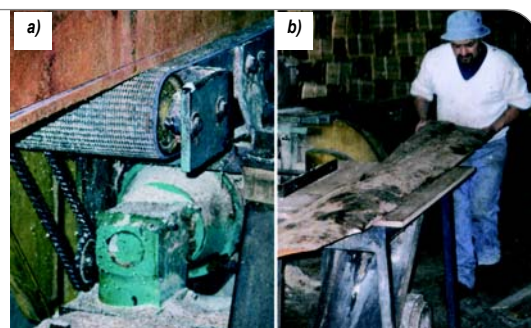


Figura 43. a) Proceso de reaserrío de madera lateral. b) Proceso de reaserrío de lampazos.

Cuadro 42. Aprovechamiento del volumen laminado de madera aserrada.

Clase Diamétrica (cm)	Troza N°	Volumen Madera Aserrada Lateral (m ³)	Volumen Laminado Madera Aserrada (m ³)	Aprovechamiento (%)
24	10	0,064	0,046	71,3
26	5	0,077	0,053	69,3
28	9	0,099	0,086	86,9
30	6	0,089	0,076	85,4
30	8	0,088	0,072	82,5
32	2	0,155	0,129	82,9
32	1	0,132	0,119	89,7
36	7	0,194	0,157	80,9
36	4	0,175	0,146	83,2
40	3	0,231	0,190	82,3
Total		1,305	1,074	81,4

Capítulo 2

Productos Primarios

aserrada lateral, lo que implica un muy buen rendimiento, siendo mínima la pérdida de volumen por proceso de reaserrío.

Cabe considerar en este análisis que el volumen de madera central (basas no reaserradas) fue de 0,327m³ y si se asume para este volumen el mismo nivel de aprovechamiento en reaserrío (81,4%) se obtendría teóricamente un volumen de madera laminada de 0,266 m³. Si se adiciona todo el volumen laminado se llega a un rendimiento del 69,7% para este proceso en relación al volumen total de la troza.

El tiempo efectivo de trabajo en el proceso de reaserrío de madera fue de 2,55 horas. Los tiempos promedios de procesamiento para la madera aserrada y el tiempo de laminado de lampazos se presentan en el Cuadro 43.

En el Cuadro 43 se puede observar que el tiempo promedio de laminado de las piezas aserradas se mantiene cercano a los 10 minutos mientras que el tiempo de laminado de lampazos se mueve en torno a los 6 minutos.

Como antecedentes básicos en relación a los costos en el proceso de reaserrío, las horas de trabajo corresponden a 2,55 con una producción de 1,1 m³ de laminado de madera aserrada y 0,3 m³ de laminado de lampazos. Para el funcionamiento del aserradero se consumieron 28,70 kw de electricidad, cuyo costo fue de 80 \$/kw. La mano de obra compuesta de 1 operador, 1 jefe y 1 ayudante generó un costo total por jornada de trabajo de 13.500 \$/jornada.

El costo total de operación para el ensayo fue de \$7.589, desglosado en \$4.303 de costo por concepto de mano de obra; \$2.296 por concepto de consumo de electricidad, y de \$ 990 por efecto de depreciación y mantención (15%). Por lo tanto el costo del proceso por unidad de madera producida fue de 5.421 \$/m³ de madera laminada (78% de madera aserrada y 22% de aprovechamiento de lampazos).

Finalmente, mirado desde el punto de vista de pequeños emprendimientos destinados al reaserrío, parece ser, de acuerdo a los resultados obtenidos, muy interesante en términos económicos realizar este tipo de proceso debido, por una parte, al mayor rendimiento en madera aserrada que se obtiene al poder incluir como material aserrable aquellas porciones de las trozas que para otros productos corresponderían a desechos, y, por otra parte, al mayor valor en el mercado que puede alcanzar la madera con un mayor grado de elaboración. De este modo, buscando los nichos de mercado convenientes y efectuando un aprovechamiento integral de las trozas aserrables de la madera de renovales, es posible obtener una interesante rentabilidad en el procesamiento de la madera obtenida del manejo sustentable del bosque nativo.

2.4 Durmientes.

Se llama durmientes o traviesas a las piezas de madera de sección rectangular o casi rectangular que se tienden atravesadas para servir de apoyo a los rieles de las vías férreas (Figura 44).

Los durmientes pueden hacerse tanto de maderas duras como de maderas blandas, destinándose estos últimos para diferentes propósitos y empleándose bajo diversas condiciones (http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/x5349s/x5349s03.htm).

En Chile actualmente existe una experiencia bastante exitosa en el ámbito del suministro de los durmientes de especies forestales latifoliadas nativas para la industria ferroviaria, minera, vial y portuaria, llevada a cabo por la empresa Mardones – BPP Creosote Treaters S.A., quien en conjunto con el Proyecto CMSBN, han fomentado el establecimiento de un poder comprador de durmientes provenientes de áreas de manejo de renovales desde la VII a X región de Chile.

Cuadro 43. Tiempos promedio del proceso de reaserrío por clase diamétrica.

Clase Diamétrica (cm)	Troza N°	Tiempo Laminado Pieza Aserrada (minutos)	Tiempo Laminado Lampazos (minutos)
24	10	4	4
26	5	7	4
28	9	7	4
30	6	9	3
30	8	9	9
32	1	8	3
32	2	11	10
36	4	14	6
36	7	20	7
40	3	8	6
Total		97	56

El proceso de elaboración de durmientes de madera principalmente proveniente de bosques nativos y según la experiencia de la mencionada empresa, comienza con el secado natural de la madera durante seis meses, seguido de un segundo proceso de secado más breve, que se realiza a través de una cámara de vacío. Luego, se esteriliza para que la madera quede sin hongos ni larvas de insectos, con lo que se impide su pudrición. Finalmente, se le aplica una inyección de aceite llamado creosota, que la impermeabiliza y la sella.

Este proceso se utilizó por primera vez en Londres en 1838, y hoy tiene un amplio uso en Canadá, México, Estados Unidos, Japón, Alemania y otros países europeos. En cuanto al riesgo ambiental, se sostiene que es mínimo pues la creosota se

impregna en la madera y no pasa al medio ambiente. Además, es una sustancia biodegradable pues es alimento para cierta cepa de bacterias, que se aplican en el caso de un eventual accidente con el producto (www.elbosquechileno.cl/41mardones.html).

En la experiencia llevada a cabo en conjunto entre el Proyecto CMSBN y Mardones – BPB Creosote Treaters S.A. se ha trabajado con un grupo importante de especies nativas, entre las que se encuentran: Roble (*Nothofagus obliqua*), Roble Maulino (*Nothofagus glauca*), Coihue (*Nothofagus dombeyi*), Coihue de Chiloé (*Nothofagus nitida*), Ulmo (*Eucryphia cordifolia*) y Tineo (*Weinmannia trichosperma*).

Las principales características técnicas de los durmientes comunes para vías férreas de pasajeros (Clase I) de la empresa de Ferrocarriles del Estado de Chile (EFE) al momento de ser aceptados por el poder comprador, tienen relación con que la madera debe ser sana, libre de defectos de magnitud tal que debiliten su resistencia mecánica.

Las dimensiones más comunes de durmientes son 6"x10"x2,75 m y 6"x10"x1,80 m con una tolerancia de 3/4" para el espesor y ancho y 5 cm para el largo de las piezas (Figura 45).

A partir de estos antecedentes es posible determinar que el volumen de las piezas son del orden de 4,25 pm y 2,79 pm en trozos respectivamente, de acuerdo a sus largos.



Figura 44. Durmientes de madera instalados en líneas férreas.

	Espesor	Ancho	Largo
Mínimo	6 "	10 "	2,75 m
Máximo	6 ¾ "	10 ¾ "	2,80 m

	Espesor	Ancho	Largo
Mínimo	6 "	10 "	1,80 m
Máximo	6 ¾ "	10 ¾ "	1,85 m

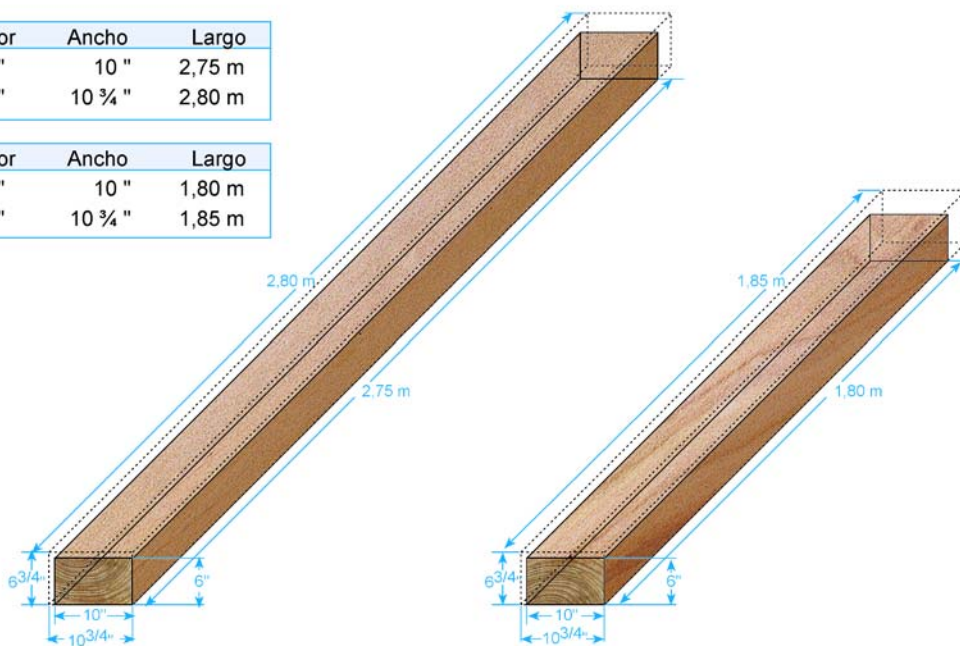


Figura 45. Dimensiones de durmientes y sus respectivas tolerancias.

Capítulo 2

Productos Primarios

En cuanto a los durmientes especiales distintos a los comunes mencionados anteriormente (uso en puentes por ejemplo), no se aceptan medidas inferiores a las nominales, en cuanto a las sobredimensiones, estas pueden sobrepasar máximo un $\frac{3}{4}$ " sobre su dimensión especificada.

Según Ipinza (2004), el Instituto Forestal ha generado un estudio que determina que los durmientes de madera nativa son tan apropiados como los provenientes de bosques plantados e incluso más convenientes que los de hormigón para ser utilizados en el trazado de vías férreas en nuestro país (www.webinfor/tapa/noticias/2004/octubre/18_10_cod215.html). El estudio realizado demuestra que las condiciones de resistencia en tramos de alta velocidad hacen de este material un recurso idóneo, así también como los ventajosos costos de reposición, creación de nuevos tramos y mantención de la vía. Respecto a este último punto los resultados están a la vista, pues hoy todavía contamos con este tipo de durmientes, a pesar de haberse realizado sólo el 10% de la mantención que debió haberse hecho, los durmientes de madera nativa aún están ahí, a la vista de los numerosos usuarios del tren y en plena operación.

Algunos otros estudios (Mattausch, 2003) concluyen que es posible la producción de durmientes impregnados confeccionados con maderas de renovals nativos si es que se genera la posibilidad de alternativas de comercialización para la madera aserrada subproducto de la confección de durmientes. Además, en Chile los durmientes de madera tienen un costo 4 veces más barato que los durmientes de hormigón.

La madera nativa ha aportado desde siempre al desarrollo del ferrocarril en Chile y esta es una excelente oportunidad para que este importante medio de transporte le devuelva la mano y una empresa grande como EFE debiera ser quien lidere y promueva este desarrollo, igualando los estándares utilizados en países europeos, donde se inclinan por este tipo de durmientes (www.webinfor/tapa/noticias/2004/octubre/18_10_cod215.html).

En Chile, los durmientes de madera soportan más del 94 por ciento del tráfico de carga y pasajeros. En carga, actualmente son parte de los nuevos ferrocarriles de Codelco El Teniente y de Celulosa Arauco, en las cercanías de Valdivia, que mantendrán un alto tráfico y deberán transportar pesadas cargas. Ambos proyectos involucraron inversiones de más de 2 mil millones de dólares en su conjunto. En el caso de El Teniente, se trata de un ferrocarril cuyo tráfico es de alta intensidad y contempla la operación de modernas locomotoras alemanas sin tripulación, las que han sido recientemente adquiridas (<http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=0118122003021X0140040>).

En términos de mercado, la empresa Mardones – BPB Creosote Treaters S.A., luego de varios años de aplicación, ha logrado posicionar ampliamente el producto en el mercado nacional, e incluso se exporta una parte de la producción a Sudáfrica, Nueva Zelanda, Perú y Colombia. Por otra parte, según estimaciones de la misma empresa, este producto logra multiplicar por 5 el valor de la madera en relación a la producción de madera nativa para su uso a la forma de combustible (leña).

Un análisis del esquema de obtención de durmientes a partir de trozas de madera nativa, permite señalar que, asumiendo una pérdida por ancho de corte y margen de seguridad de 2 cm por lado, el diámetro mínimo del trozo sería de 34 cm (Figura 46). Lo anterior bajo el supuesto de forma circular perfecta y buena tecnología, y técnica, de corte.

El volumen de madera del durmiente será de 0,1064 m³ para un largo de 2,75 m en tanto que el volumen comercial (cubicación JAS) es de 0,3237 m³. La mínima pérdida de volumen es entonces de 0,2173 m³, o sea un rendimiento en aserrío cercano al 33%, bajo condiciones ideales lo que sería bastante inferior al rendimiento habitual en aserradero para el proceso de maderas nativas, el que en promedio no supera el 42,2% según los antecedentes presentados por INFOR (2005).

Los mercados alternativos para las trozas que constituyen la materia prima en la elaboración de durmientes, detectados por el PCMSBN en el año 2004 estarían dados por las empresas Consorcio Maderero, que recepciona en Coronel (VIII región) trozas de 3,10 m de largo y diámetro menor superior a 28 cm a un precio de 29.000 \$/m³; la empresa TEMSA, que compra en Talca (VII región) trozos de 2,4 m y diámetro menor entre 21 y 36 cm a 40.000 \$/m³ y la empresa Novaland, ubicada en Pichirpulli (X región), que recepciona trozas de 3,0 m de largo y diámetro menor mínimo de 30 cm (clasificada como calidad 2) a 28.350 \$/m³.

Tomando esta última alternativa como opción de venta del trozo del cual se puede obtener un durmiente, el valor referencial que recibiría el propietario por cada trozo de 34 cm sería de \$ 9.177, mientras que el valor por cada durmiente sería de \$ 6.800. El precio pagado por durmientes por la empresa Mardones – BPB Creosote Treaters S.A en la Décima región es de 1.600 \$/pulgada maderera.

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

En lo relativo a la elaboración de durmientes, el PCMSBN ha desarrollado un trabajo conjunto con propietarios de la IX región y la

empresa Mardones – BPB Creosote Treaters S.A. En este marco en enero del año 2003 se estableció un convenio de cooperación entre CONAF Región de la Araucanía y la empresa mencionada con la finalidad de analizar la potencialidad de la madera de renovales en la elaboración de durmientes. Entre otros aspectos se incorpora en este acuerdo la necesidad de dar formalidad a un mercado consumidor de productos forestales de especies nativas, que históricamente ha sido manejado a través de organizaciones poco transparentes, traducándose en un daño al productor primario, y la necesidad de realizar estudios tecnológicos para la utilización de durmientes provenientes de renovales del bosque nativo.

A este último respecto, en una primera etapa se elaboró una muestra con durmientes obtenidos de trozas de roble de renovales del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue de la región, y se analizó, en forma práctica, sus propiedades físico mecánicas por parte de la empresa Mardones-BPB Creosote Treaters S.A., se establecieron las siguientes conclusiones preliminares (Mattausch, 2003):

- Se comprobó que la producción de durmientes impregnados confeccionados con madera de renovales es viable.
- La calidad de la madera rolliza necesaria para la producción puede ser disminuida aún más, sobre todo en lo referente a su nudosidad.
- La cantidad de madera aserrada debe ser mejorada en favor de los propietarios de bosque (a través del uso de diámetros menores).
- Es necesario encontrar un mercado para el subproducto madera aserrada.
- Es necesario evaluar en forma más rígida las características del producto, así como el mejoramiento de la línea de tratamiento (evitar daños como consecuencia del proceso de impregnación).

Dados los buenos resultados de la primera fase de estudio, principalmente en cuanto a que la confección de durmientes puede desarrollar un interesante segmento del mercado para los propietarios de bosque nativo, y recogiendo las recomendaciones planteadas se avanza a una siguiente etapa en la cual se profundiza de manera práctica en el terreno los aspectos silvícolas y se plantean pruebas de laboratorio para las características técnicas de la madera.

En esta segunda etapa se plantea un abastecimiento de más de 250 durmientes a la empresa, en condiciones especiales de mercado ya que se trata de un producto nuevo a elaborar por parte de los propietarios de bosques, y se busca con el mecanismo de precio incentivar su fabricación. Nuevamente es

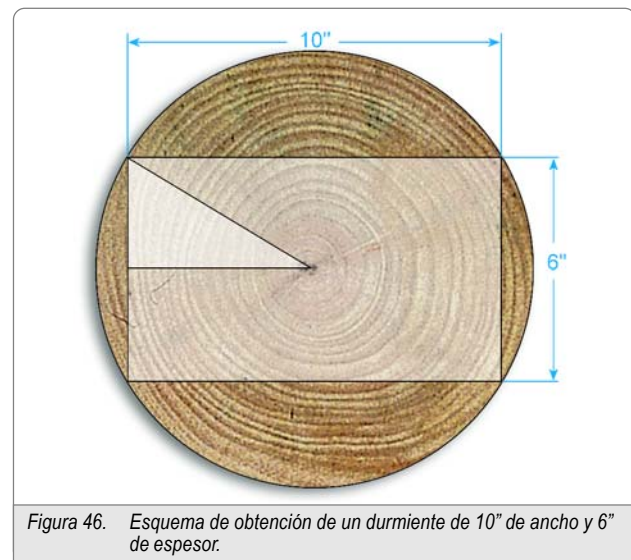


Figura 46. Esquema de obtención de un durmiente de 10" de ancho y 6" de espesor.

posible recolectar datos técnicos, económicos y silvícolas con ayuda de pruebas adecuadas, realizadas durante todo el proceso de producción en el bosque y luego en los terrenos de la empresa. Se encarga a la USACH (Universidad de Santiago) realizar un análisis científico de las características mecánicas de los durmientes impregnados.

La relevancia de contar con la información de los análisis de laboratorio radica en que es la primera vez que se ocupa la madera joven de los renovales (roble hualle) en la producción de durmientes. Tradicionalmente, la confección de durmientes se ha hecho con renovales maduros con árboles con duramen del bosque nativo.

2.5 Pallets.

Según la norma ISO 445 el pallet se define como una plataforma rígida horizontal de dimensiones compatibles con el manejo y transporte de carga en camiones y vehículos de horquillas de alzamiento, usado como una base de ensamblaje, apilamiento, almacenamiento, manejo y transporte de cargas.

El pallet es el medio más eficaz para consolidar, almacenar y distribuir cualquier tipo de producto acondicionado en cajas u otro tipo de envase. Por esta razón, la importancia que toma en el ámbito mundial el uso adecuado del pallet es notable, al permitir mejorar la productividad en toda la cadena logística de distribución y, por lo tanto, disminuir los costos de transferencias.

Los pallets sirven para juntar paquetes en una sola unidad de carga, lo que facilita su manipulación y control. Para fijar las mercancías

Capítulo 2

Productos Primarios

sobre la paleta, se suelen utilizar láminas de plástico envolvente o de adherencia térmica.

La clasificación de los pallets está dada por la capacidad de carga del diseño del pallet en kilogramos, asumiendo una carga uniformemente distribuida. La Norma ISO 445 hace referencia a la clasificación de los distintos tipos de pallets, la cual se estructura según la conformación de sus plataforma, el número de entradas y la característica de ser o no reversibles (Figura 47).

Los elementos que conforman un pallet son la cubierta, el ensamble inferior de la cubierta, el piso, las entradas, las tablas, el yugo, las traviesas, el chaflán y los tacos (Figura 48).

Otra forma de clasificarlos corresponde a la asociada con el uso que de ellos se haga. Así tenemos:

Pallet desechable: Puesto en viaje, está descartado para ser considerado en otro ciclo de uso.

Pallet reusable: Destinado para múltiples ciclos de uso.

Pallet cautivo: Su utilización tiene un límite o está hecho para un ciclo o uso determinado dentro de una empresa o sistema cerrado.

Pallet intercambiable: Pallet que puede ser recambiado por uno similar previo acuerdo.

Pool de pallets: Recambio de pallets en circuito abierto.

En cuanto al tamaño, las dimensiones de los pallets se encuentran dadas principalmente por las siguientes tres

componentes:

Longitud (L): Dimensión de la cubierta en la dirección de las tablas y de las traviesas.

Ancho (W): Dimensión de la cubierta a la derecha de la longitud.

Contralto (H): Dimensión del plano vertical de la cubierta.

En un perfil general la Figura 49 muestra en forma gráfica lo que serían estas dimensiones.

Para efectos de ilustración en el Cuadro 44 y en la Figura 50 se presenta las especificaciones generales, especificaciones de maderas de componentes y diagrama para el modelo de pallet de distribución ST1 1000 X 1200, para pool abiertos. Este pallet ha sido especialmente diseñado y aprobado por el comité de pallets ECR Chile, para ser usado como estándar en la distribución a supermercados y distribuidores mayoristas.

El aseguramiento de la calidad de fabricación de los pallets se logra mediante ensayos que evalúan la capacidad de carga de diferentes diseños de pallets. Estos están contenidos en las normas ISO 8611. Algunas de estas pruebas son la inspección de materiales, ensayos estáticos (apilamiento, flexión), test de impacto y test de caída sobre la esquina.

Para analizar el uso del pallet en el país, ECR Chile realizó el año 2000 un estudio dirigido a tres rubros del mercado nacional: proveedores, supermercados y distribuidores. Asimismo, se diferenció la situación de propiedad del pallet utilizado, generándose dos segmentos para este mercado: los pallets

Cuadro 44. Especificaciones generales y especificaciones de maderas componentes del pallet de distribución ST1 1.000x1.200.								
Especificaciones generales	Especificaciones de maderas componentes (mm)							
Pallet de 1.000 mm x 1.200 mm	Cubiertas		Travesaños		Tacos		Pisos	
Pallet de tacos de cuatro entradas	4 externas	18x140x1.000	3 traviesas	23x120x1.200	6 externas	89x120x190,5	3 interiores	18x120x920 chaflán
Fabricado en madera de pino radiata chileno	4 internas	18x89x1.000			3 centrales	89x120x95	2 externos	18x140x1.000 chaflán
Para uso de pool abierto, almacenaje y manipulación interna	1 central	89x140x1.000						

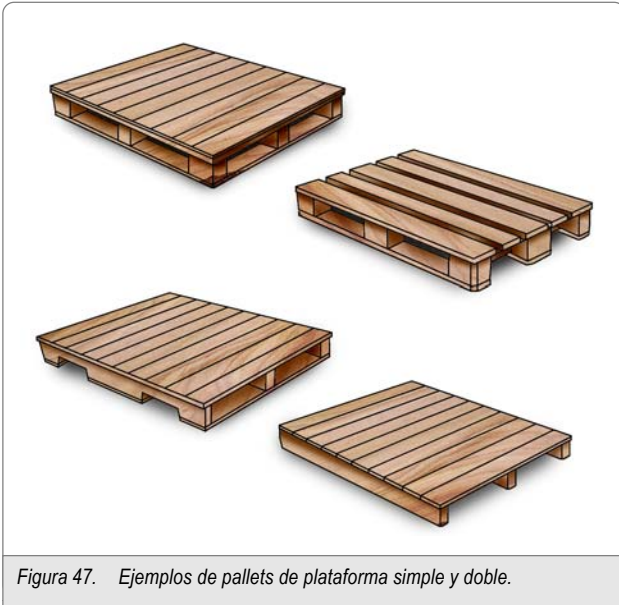


Figura 47. Ejemplos de pallets de plataforma simple y doble.

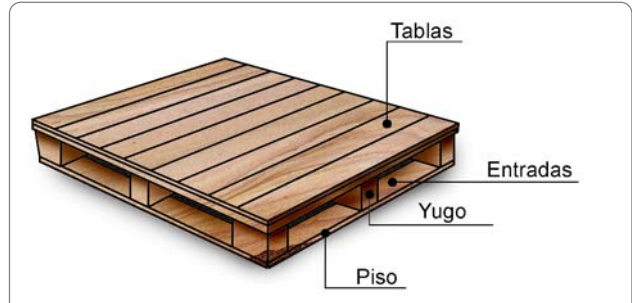


Figura 48. Elementos constitutivos de un pallet.

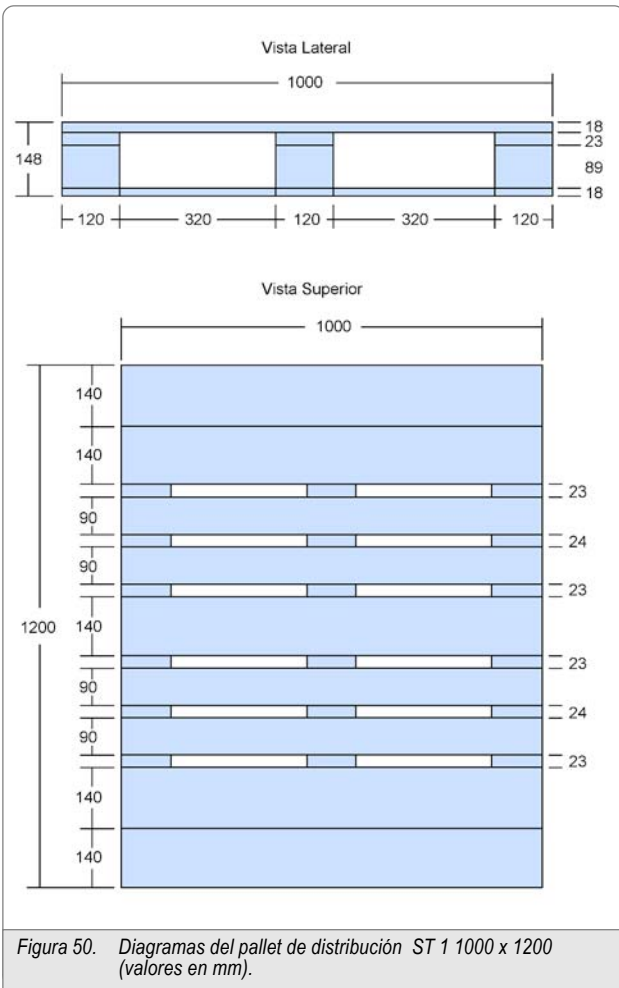


Figura 50. Diagramas del pallet de distribución ST 1 1000 x 1200 (valores en mm).

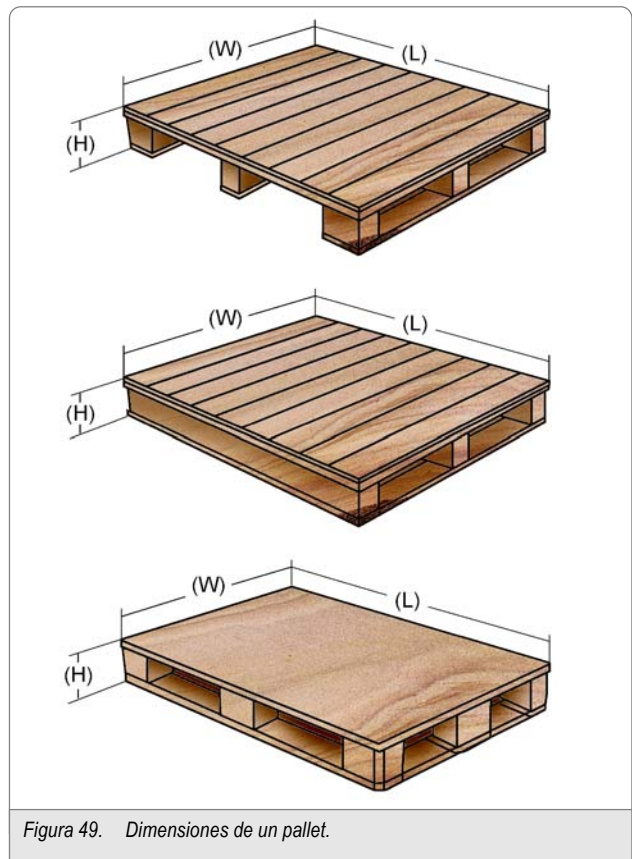


Figura 49. Dimensiones de un pallet.

Capítulo 2

Productos Primarios

administrados y adquiridos por cada empresa y los pallets de propiedad de un tercero, que los arrienda.

Los resultados indicaron la existencia de un total de 444.156 unidades de pallet en el mercado analizado. De estos, el 77% son propiedad de las empresas y el 23% son arrendados a terceros. De los de propiedad de las empresas un 3% se encuentran en reparaciones y un 1% ya han cumplido su vida útil. En cuanto a la utilización de la medida estándar 1.000 x 1.200, un 94% de los encuestados la utiliza.

El pallet es, definitivamente, la unidad de manejo de carga de mayor uso, tanto por parte de los supermercados como de los proveedores. En efecto, un 33% de los distribuidores y mayoristas lo usa como unidad de despacho, independiente de la capacidad usada. En un rango similar, los proveedores efectúan un 32% de los despachos vía pallet (www.ecrchile.cl).

En el ámbito internacional y relativo a las exportaciones, desde 1995 a 2004 la exportación de pallets ha mostrado una tendencia a un incremento continuo con un monto de exportación el año 2002 de 13,7 millones de US\$ FOB y el año 2004 de 12,9 millones de US\$ FOB. En términos de participación en el mercado exportador este rubro aportó el 2,07% del monto total de exportaciones de la industria secundaria de la madera el año 2002 y el 1,25% el año 2004 (Cuadro 45).

En relación a las especificaciones de los pallets usados en las exportaciones a Japón y Estados Unidos, según el componente de que se trate, las medidas tipo para las piezas de madera son:

12 mm x 88 mm x 1.066 mm
15 mm x 88 mm x 1.016 mm
15 mm x 138 mm x 1.016 mm
35 mm x 88 mm x 1.220 mm

Las tolerancias aceptadas son de + 2 mm para el espesor, + 3 mm para el ancho y de -2 mm para el largo. En cuanto a la calidad de la madera se acepta toda pieza que no tenga problemas de resistencia mecánica (prueba del quiebre). El contenido de humedad de la madera debe estar entre 18% y 30%. En términos de precios en el mercado nacional esta madera tiene un valor aproximado de 200 US\$/m³ puesta en puertos de la Octava región.

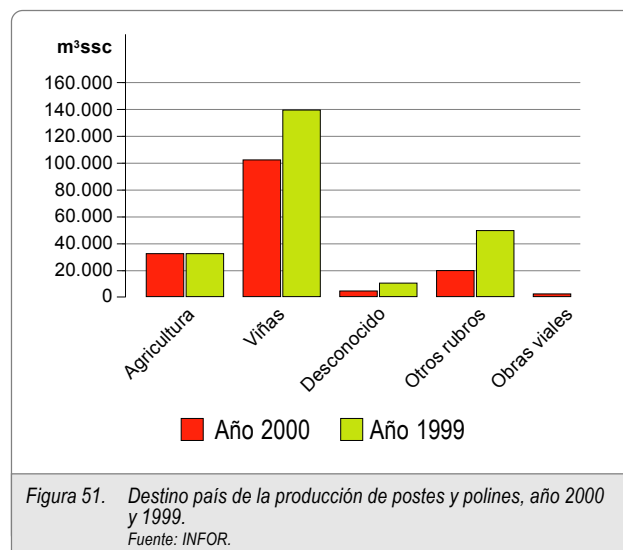
Una aproximación de los costos involucrados en la elaboración de pallets, considerando una empresa ubicada en las cercanías de la ciudad de Concepción y la adquisición de los trozos desde predios con bosque nativo en las provincias de Ñuble o Bío-Bío, permite establecer que el 61% de los costos corresponden a la adquisición de la materia prima y el 39% a los costos de transformación (Cuadro 46).

En base de estos antecedentes es posible estimar la conveniencia económica de la elaboración de pallets en base a madera nativa, la que técnicamente presenta ventajas respecto a los pallets de madera de Pino radiata u otras maderas blandas. Una de estas ventajas es la mayor durabilidad estimándose que la duración de un pallet de madera nativa es a lo menos el doble de la duración de un pallet de madera de Pino radiata.

Dado el aumento del comercio internacional, así como del nivel de consumo en el país, el mercado para el producto pallets, y los embalajes en general, se presenta como promisorio abriendo posibilidades para madera aserrada de bajas dimensiones y pocas exigencias en cuanto a calidad. Más aún si se considera que este producto puede complementar la producción, y por ende el margen de utilidad, de productos de mayor exigencia en cuanto a escuadrías y calidad, como por ejemplo la producción de durmientes o madera aserrada, pudiendo obtenerse la madera para pallets de aquella parte del árbol, o de la troza, que pasaría a constituir desecho para ese producto específico. Con este aprovechamiento secundario en aserrío, o más bien reaserrío de tapas y basas de menor escuadría, se aumenta el rendimiento en el procesamiento de la madera mejorando sustancialmente el valor agregado del recurso forestal nativo, sobretodo si el aprovechamiento se efectúa en una línea de producción integrada.

2.6 Postes, polines y tutores.

Estos productos son llamados formalmente madera redonda puesto que es un tipo de madera dimensionada que no sufre modificación en su estructura, conservando su forma natural concéntrica. Dentro de este grupo se encuentran principalmente



maderas utilizadas en el sector agrícola y eléctrico (postes de transmisión eléctrica).

Se definen los postes como un trozo de madera de longitud superior a 4 metros y entre 200 a 260 milímetros de diámetro. La troza a utilizar debe ser de muy buena forma cilíndrica y principalmente se obtiene de la parte basal del tronco del árbol. Por su parte, los polines son principalmente usados por la industria frutícola y corresponden a un trozo de madera de unos 80 a 120 milímetros de diámetro y 2 metros de largo, de forma cilíndrica y que principalmente proviene de la parte superior del

árbol. Finalmente, los tutores son trozos de no más de 60 milímetros ni menos de 40 milímetros de diámetro. Cumplen una función principalmente en la industria frutícola y de guía en el desarrollo de una planta (www.papelnet.cl; www.madera.stockergroup.com).

Con respecto al mercado nacional de postes y polines se tiene que la producción en el año 2000 fue de 210.966 m³ ssc, de los cuales el 80,9% se destinaron al mercado interno y 19,1% se exportaron. Del total producido, un 97,18% correspondió a *Pinus radiata*, 1,62% a *Eucalyptus spp.* y un 1,20% a *Pseudotsuga menziesii* (Pino oregón). En el año 2000 la producción de postes y polines disminuyó en 37.815 m³ ssc respecto del año 1999, es decir fue un 15% menor (www.infor.cl), (Cuadro 47).

La producción de postes y polines orientada al mercado interno el año 2000 se concentró en el sector de viñas, cuyo consumo fue de 104.092 m³ ssc, representando el 60,97% del consumo total. Otros destinos fueron agricultura con 32.828 m³ ssc (19,23%), otros rubros con 29.163 m³ ssc (17,08%), obras viales con 1.592 m³ ssc (0,93%) y 3.061 m³ ssc con uso desconocido (intermediarios, detalle, etc.) (1,79%) (Figura 51).

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Las experiencias prácticas en este tema se realizaron en el marco del Proyecto CMSBN Región del Bio-Bío, en conjunto con la empresa Maderas Impregnadas Preserva Ltda.; en su planta ubicada en la ciudad de Los Ángeles. Se efectuaron ensayos de elaboración de postes, polines y tutores utilizando trozas de las especies Roble, Raulí y Lingue obtenidas de intervenciones silvícolas aplicadas a distintos estados de desarrollo en predios adscritos al Proyecto.

2.6.1 Elaboración de postes de Roble y Raulí.

Para esta prueba se utilizaron 40 trozas de madera nativa: 27 de Roble y 13 de Raulí, con diámetros menores entre 160 y 260

Cuadro 45. Exportación de pallets periodo 1995 – 2005.

Año	Monto Exportación (Miles US\$ FOB)	Monto Exportación Total Industria Secundaria (Miles US\$ FOB)
1995	1.068,2	189.875,4
1996	4.206,0	264.585,9
1997	3.554,3	354.700,9
1998	5.046,4	323.810,8
1999	8.767,2	482.911,5
2000	12.151,5	489.116,0
2001	9.764,5	539.599,4
2002	13.719,1	662.618,6
2003	13.699,8	672.095,7
2004	12.928,8	1.036.397,6

FUENTE: INFOR, 2005

Cuadro 46. Precio de venta y estructura de costos para la elaboración de pallets.

	\$/pm	\$/m ³	US\$/m ³
Precio compra trozos aserrables	1.150	23.000	37,1
Costos transformación	725	29.000	46,8
Costo aserrió	300	12.000	19,4
Costo secado	300	12.000	19,4
Costo tratamientos	50	2.000	3,2
Costo transporte puerto	75	3.000	4,8
Precio pallets FOB (620 \$/US\$, septiembre de 2004)	3.100	124.000	200,0

Cuadro 47. Producción de postes y polines por Región y especie, año 2000 (m³ssc).

Especie	V	R.M.	VI	VII	VIII	IX	Total
<i>Pinus radiata</i>	15.078	26.281	37.237	87.958	37.601	866	205.021
<i>Eucalyptus spp.</i>	2.588	835					3.423
<i>Pseudotsuga menziesii</i>						2.522	2.522
Total	17.666	27.116	37.237	87.958	37.601	3.388	210.966

Fuente: INFOR.

Capítulo 2

Productos Primarios

Cuadro 48. Clasificación de trozas de Roble y Raulí según Norma HKS.					
Diámetro menor (cm)	Raulí		Roble		TOTAL
	B	C	B	C	
16	-	-	-	2	2
18	-	5	-	4	9
20	2	2	4	3	11
22	2	-	8	-	10
24	2	-	4	-	6
26	-	-	2	-	2
TOTAL	6	7	18	9	40
	13		27		

Cuadro 49. Producto final obtenido (largo: 4,1 m).			
	Roble	Raulí	Total
Diámetro de 160 mm	15	10	25
Diámetro de 180 mm	11	2	14
Rechazo	1	0	1

Cuadro 50. Aprovechamiento en la elaboración de postes.			
	Roble	Raulí	Total
Volumen trozas (m ³ JAS)	9,699	4,064	13,763
Volumen postes (m ³)	4,766	2,276	7,042
Rendimiento (%)	49,1	56,0	51,2

mm y longitud de 4,1 m (Figura 52). Esta madera provenía del predio Los Peumos Lotes a, b y c, de la comuna de Quilleco, provincia del Bío-Bío.

Aplicando la norma HKS, se obtuvo la clasificación presentada en el Cuadro 48. La calidad de las trozas se concentra en la clase B para Roble, con un 67% de participación, mientras que para Raulí se reparten igualmente las calidades B y C. No se encontraron trozas en las otras calidades, lo que indica que la calidad de las trozas es de regular a buena.

El proceso productivo consiste en el descortezado y cilindrado de las trozas, realizado hasta que se alcance el diámetro exigido para el producto terminado, que en este caso se proyectaba inicialmente en 180 mm. El descortezado se realizó en una máquina marca Morbark y el cilindrado en una máquina acondicionada por Hamdorf S.A., ambas empleadas habitualmente en el proceso de madera de *Pinus radiata*.

Las trozas de mayor diámetro fueron descortezadas y cilindradas, mientras que aquellas de diámetros menores fueron sólo cilindradas. Esto porque, dada la distribución diamétrica de la muestra, no es posible obtener sólo un producto final de 180 mm, destinándose la trozas de menor diámetro (bajo 200 mm) a la obtención de postes de 160 mm.

Se realizó un muestreo de 13 trozas (de un total de 18), por un periodo de tiempo cercano a una hora de trabajo, lapso en el cual se registraron los tiempos involucrados en el proceso. El tiempo promedio de descortezado fue de 3 minutos y 2 segundos para un diámetro promedio de las trozas de 230 mm. Los tiempos extremos fueron de 1 minuto y 10 segundos, como mínimo, y 6

minutos y 50 segundos, como máximo. En el periodo de evaluación se produjeron dos lapsos de demoras: uno de 18 minutos y otro de 4 minutos y 30 segundos, ambos por mantención de la máquina descortezadora. Con ello el tiempo efectivo de trabajo corresponde a un 63,7% del tiempo de estudio y las demoras a un 36,3%.

La principal diferencia, en comparación al proceso normal de madera de *Pinus radiata*, está en la manipulación de las trozas por parte de los operarios, ya que para la madera nativa, al ser de mayor densidad, esta operación resulta bastante más dificultosa por el mayor peso, aún en largos inferiores (Figura 53). Para postes de *Pinus radiata* de 7,6 m de largo y diámetros menores del orden de 280 mm, el tiempo promedio de descortezado es de 2 minutos y 30 segundos, no registrándose valores superiores a 3 minutos. Para la elaboración de madera nativa esta dificultad podría ser salvada con la incorporación de algún sistema mecánico de transporte de trozas o con un descortezador de mayor potencia.

El tiempo máximo registrado para el descortezado (6' 50"), corresponde a una troza que presentaba una curvatura extrema, defecto que finalmente fue la causal de su rechazo en el proceso de elaboración de postes.

Para el proceso de cilindrado los tiempos involucrados fueron similares a los que se tiene para la madera de *Pinus radiata*. La única complicación detectada dice relación con los restos de corteza en aquella madera de bajo diámetro de la que se trató de obtener un producto final de 180 mm. Este defecto fue superado cilindrando esta madera a 160 mm (Cuadro 49) (Figura 54).

El rendimiento de la elaboración fue de un 51,2% en promedio,



Figura 52. Detalle de las trozas utilizadas en la prueba de elaboración de postes.



Figura 53. Manipulación de las trozas a la salida del descortezador.



Figura 54. Postes de Roble y Raulí.



Figura 55. Detalle de troza utilizada en la prueba de elaboración de polines.

destacando el rendimiento de Raulí, con un 56%, por sobre el de Roble, que alcanzó sólo un 49,1%. El bajo rendimiento de Roble se explica porque la troza rechazada del proceso productivo fue de esta especie. Si se descuenta ese volumen ($0,544 \text{ m}^3$), puesto que en condiciones normales de operación así se haría, el rendimiento de Roble sube a un 52,0% (Cuadro 50).

En términos generales la clasificación de las trozas con la norma HKS no es la más adecuada para el proceso de elaboración al que son sometidos los postes, ya que de los defectos indicados en la norma, sólo el diámetro de las trozas en relación al producto a obtener, la excentricidad de estas y su curvatura, son los elementos importantes para obtener un poste de buena calidad. Nudos, presencia de ramas, bigotes de chino y otros, no inciden en el producto final, ya que son eliminados por el descortezado y/o cilindrado. Una buena clasificación en despacho y recepción, basada en los puntos indicados, sería suficiente para mejorar el proceso productivo. Para mejorar el rendimiento en la etapa de descortezado sería recomendable incorporar un sistema mecánico para la manipulación de las trozas o, en su defecto, utilizar un descortezador de mayor potencia. La misma observación es válida para la etapa de cilindrado.

2.6.2 Elaboración de polines a partir de trozas de Roble.

Para la prueba de elaboración de polines el volumen de madera utilizado correspondió a aproximadamente 1 metro ruma de madera de las especies *Nothofagus obliqua* (Roble) y *Nothofagus alpina* (Raulí), procedente del predio Hijueta Primera Agua de la localidad de Loncopangue, comuna de Quilaco. Las trozas presentaban un diámetro menor de 75 a 100 mm, con un largo de 2,44 metros (Figura 55).

El proceso productivo consiste en el descortezado y cilindrado de las trozas de Roble y Raulí utilizadas en la prueba. Algunas de las trozas fueron descortezadas y otras cilindradas, ya que los procesos no son consecutivos sino alternativos (Figura 56).



Figura 56. Proceso de cilindrado de las trozas.



Figura 57. Detalle de polín descortezado.



Figura 61. Comparación tutores de roble descortezados respecto a las trozas sin elaborar.



Figura 58. Proceso de cilindrado de las trozas.



Figura 62. Detalle de la selección de tutores. A la izquierda tutores seleccionados, a la derecha tutores rechazados.



Figura 59. Detalle de la madera después del descortezado o cilindrado.

En opinión de los encargados de la planta al comparar con el proceso normal de las trozas de Pino, no hubo mayor diferencia en el proceso de descortezado, como pudiese pensarse dada una mayor dureza de las maderas nativas. Esto porque la madera utilizada en la prueba es de baja edad. En cuanto a los defectos que se presentaron, estos son los habituales en ocurrencia y magnitud a los que se presentan en un proceso normal de operación (Figura 57).

Respecto al cilindrado la opinión es la misma que la del descortezado: no hay mayores diferencias respecto a la misma operación con madera de pino (Figura 58). Habría que hacer notar que esto es válido para madera de las condiciones del ensayo, en cuanto a calidad de las trozas (forma y sanidad), así como en lo relativo a su edad (dureza) (Figura 59).



Figura 60. Detalle de las trozas utilizadas en la prueba de elaboración de tutores.

Como resultado de la fabricación de polines de Roble y Raulí los procedimientos pueden efectuarse sin mayor modificación a las prácticas operacionales normales y a costos similares a los utilizados para madera de *Pinus radiata*. Solo debe procurarse que se utilice madera de buena calidad, ya sea en su forma y sanidad, además de ser madera blanda o de albura, lo que provendría principalmente de renovales.

2.6.3 Elaboración de tutores a partir de trozas de Roble.

Se utilizó en esta prueba aproximadamente 1 metro ruma de madera de Roble, procedente de la localidad de Loncopangue, comuna de Quilaco. La trozas presentaban un diámetro menor de 45 a 65 mm, con un largo de 2,44 metros (Figura 60).

Para el descortezado se utilizó la misma máquina y herramientas que se emplean en el procesamiento de la madera de *Pinus radiata*, con la concurrencia de dos operarios para el proceso: el operador de la descortezadora y un ayudante.

El tiempo total en el proceso de descortezado de 100 trozas fue de 35 minutos, incluidos los tiempos complementarios. Con estos antecedentes se estima que en una jornada normal de trabajo de 8 horas, de las cuales se consideran 6 horas de tiempo efectivo de trabajo, es posible elaborar aproximadamente 1.200 tutores, cifra muy similar a lo normalmente procesado en el caso del empleo de materia prima de *Pinus radiata* (Figura 61). Luego, en términos de descortezado, el procesamiento de la madera de renovales de Roble no requeriría de una tecnología especial, o diferente a la actualmente instalada. Más aún, la apreciación de los operadores de la maquinaria utilizada sólo hacen referencia a una mayor dificultad para la manipulación de las trozas debido a su mayor peso y corteza más lisa, al compararla con las trozas de Pino, y a problemas en la forma de estas. Preliminarmente estos mismos aspectos y consideraciones son planteados por el administrador de la planta.

En relación al aprovechamiento y seguido de la etapa del descortezado, único proceso necesario para la elaboración de tutores, ya que la máquina utilizada permite también un cilindrado superficial de las trozas, se efectuó una clasificación del producto obtenido.

Sobre la base de 100 tutores elaborados el administrador de la planta, estableció cuales de ellos constituían un producto que cumplía con los estándares de la empresa para la función a la que es destinado actualmente el producto elaborado a partir de madera de *Pinus radiata* y siguiendo las pautas dadas por el mercado para este (Figura 62). El resultado final de esta selección indica que existe un rechazo de 60 trozos, fundamentalmente por problemas de arqueadura simple y doble arqueadura, la que, si bien no dificulta mayormente el proceso de descortezado, sí produce un producto final que no alcanza

la rectitud del producto actual.

Cabe señalar que las trozas ingresadas al proceso corresponden en general a la forma de los trozos de bajo diámetro extraídos en las intervenciones silvícolas que se efectúan en los renovales en estado fustal en el marco del Proyecto CMSBN en la Región del Bío-Bío. Luego, pensando en incorporar esta materia prima a la fabricación de polines, ya que actualmente sólo puede usarse para la fabricación de carbón y leña, con el consecuente más bajo valor de mercado, se plantea:

1. Dar un mayor sobre diámetro a las trozas a elaborar e incluir en el proceso el uso de una cilindadora, a fin de corregir en este segundo proceso los defectos de curvatura de las trozas. Esto implicaría bajar los rendimientos del proceso y aumentar los costos de elaboración, por lo que la adopción de esta alternativa pasa por la evaluación económica en la que son gravitantes el precio de venta del producto y el costo de la materia prima.
2. Generar la materia prima necesaria a partir de intervenciones que se efectúen en rodales en estados de desarrollo previos al de fustal, como son latizal bajo o brinzal, en los cuales a causa de la alta competencia entre los individuos la forma (sección transversal) y rectitud (sección longitudinal) de estos, permitiría elaborar de mejor manera el producto a partir de la madera resultante de clareos tardíos o raleos tempranos, material que hoy constituye un desecho.
3. Elaborar tutores de menor longitud (menor a 2 metros), a fin de obtener un mayor volumen de materia prima con las condiciones exigidas por la empresa. Esta opción sería aplicable en la medida que el mercado acepte o requiera un producto de longitudes inferiores a 2 metros.
4. Generar opciones de intervenciones silvícolas, o esquemas de manejo, que apunten a manejar un dosel inferior sometido a un nivel de competencia tal que permita mejorar la rectitud de los individuos que lo componen. El objetivo de este dosel sería aprovechar mejor el sitio y generar materia prima para tutores.

2.6.4 Elaboración de polines a partir de trozas de Lingue.

Se utilizó en el proceso un volumen de aproximadamente 4 metros ruma de madera de *Persea lingue* (Lingue), procedente de la localidad de Loncopangue, comuna de Quilaco. Las trozas

Capítulo 2

Productos Primarios

presentaban un diámetro menor de 75 a 100 mm, con un largo de 2,44 metros (Figura 63).

Para el descortezado se utilizó la misma máquina y herramientas que se emplean en el procesamiento de la madera de *Pinus radiata*, con la concurrencia de dos operarios para el proceso: el operador de la descortezadora y un ayudante.

En relación al tiempo empleado en este proceso, mediante la evaluación de 10 trozas elegidas al azar, se logró establecer un promedio de 18 segundos en el descortezado de cada troza. El tiempo mínimo registrado fue de 10 segundos y el máximo, para aquellas trozas con mayor curvatura o presencia de nudos, fue de 30 segundos.

De acuerdo a los malos resultados que se obtuvieron preliminarmente en el proceso y dado que la calidad de las trozas era homogénea, sólo se procesó un total de 60 trozas a las cuales no se le realizó el cilindrado dado que todas constituían producto de rechazo en relación a los estándares exigidos actualmente para el mercado para este producto elaborado a partir de trozas de *Pinus radiata* (Figura 64).

La calidad de las trozas de Lingue evaluadas corresponde a la forma, rectitud y existencia de nudos de los trozos que se extraen en las intervenciones que se efectúan en los renovales del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue de la Región del Bío-Bío.

Una de las observaciones realizadas por los operadores de la descortezadora dice relación con la mayor dureza de esta especie en relación a las trozas de *Pinus radiata*, lo que hace más lento el proceso, adicionalmente a los problemas de rectitud, forma y presencia de nudos.

Son válidas en este caso las mismas sugerencias planteadas para la elaboración de tutores de Roble, adicionalmente se propone para esta especie efectuar una intensiva selección en terreno de las trozas que constituirían la materia prima a procesar.

En suma, la elaboración de postes de roble y/o raulí puede constituirse en una buena opción para la incorporación al mercado de trozas de buena calidad dependiendo del precio que se fije para la adquisición de la materia prima toda vez que este tipo de trozas competirá fuertemente con aquellas destinadas a los procesos de aserrío.

Por otra parte la confección de polines y tutores sería una opción adicional para las trozas de menores dimensiones solo si es



Figura 63. Detalle de las trozas de Lingue utilizadas en la prueba de elaboración de polines.



Figura 64. Defecto en el descortezado de troza de Lingue producto de su forma.

posible aplicar esquemas silvícolas que apunten por una parte a homogeneizar la materia prima en cuanto a sus especificaciones técnicas, materializadas principalmente a través del largo y la rectitud, y por otra parte a expandir las superficies factibles de intervenir para lograr asegurar el abastecimiento permanente de este tipo de productos, ya que el rendimiento para obtener un volumen interesante es bastante reducido por los bajos diámetros del material requerido.

Capítulo 3 PRODUCTOS ELABORADOS

La industria de los productos madereros comprende diversas conversiones de la madera en productos sólidos, es así que a partir de los productos primarios, como la madera aserrada o láminas, es posible la transformación a productos con mucho mayor valor agregado como lo son los tableros, partes y piezas para muebles o los muebles en sí.

Sin duda, que en el desarrollo de la actividad industrial maderera de nuestro país el avance apunta a posicionarse, además del mercado de los commodities, en el mercado de los productos elaborados de la madera. De esta situación no se puede estar al margen si se piensa en el aprovechamiento comercial, en un marco de sustentabilidad de las maderas nativas, las que si bien hoy no presentan en términos generales una calidad adecuada para la generación de grandes volúmenes de productos elaborados de alto valor, ya sea esto por forma, tamaño o sanidad de las trozas, sí es posible indagar sobre algunas aplicaciones que no presentan elevados estándares de exigencia en cuanto a la materia prima utilizada para su elaboración.

Un análisis preliminar de la situación actual de la industria secundaria de la madera en el país, en cuanto a la utilización industrial que se realiza en la actualidad de los recursos forestales nativos y de las mejores propiedades de la madera de bosques nativos en relación con la de Pino radiata, para aplicaciones en que el aspecto del producto final juega un rol preponderante, nos ha llevado a incluir bajo la denominación de este capítulo el análisis de productos como los tableros contrachapados, los tableros OSB, los envases secundarios, específicamente

apuntado a los envases para los productos de la industria vitivinícola de exportación, y los muebles, en particular los muebles estilo terraza. Dentro de estas temáticas, especial atención merece la principal industria forestal asociada al bosque nativo en la actualidad en el país que es la relacionada con la elaboración de tableros OSB (Oriented Strand Board), no solo por la demanda estable de materia prima sino también, por el éxito de introducción al mercado nacional de sus productos, lo que ha llevado a los inversionistas involucrados en esta industria, a materializar una segunda planta de producción de tableros en la IX región del país.

Dado que alcanzar los márgenes de rentabilidad de los productos elaborados por sobre los productos primarios, implica resolver los vacíos para que se cumplan las condiciones necesarias para su fabricación, se incluye en este capítulo, junto con la información técnica y económica general de cada uno de los procesos, el resultado de algunas experiencias vinculadas con el aprovechamiento de la madera de renovales del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue generada a partir de intervenciones silvícolas realizadas por destinatarios del Proyecto CMSBN.

Con los antecedentes recopilados, y teniendo presente que en general, ellos fueron obtenidos en ensayos con características operacionales, es posible contar con la información básica necesaria para comenzar a despejar algunas interrogantes sobre la viabilidad de cada uno de estos procesos, en términos de variables técnicas y económicas.

Capítulo 3

Productos Elaborados

3.1 Tableros Contrachapados.

En la industria de los tableros se distinguen tres grandes categorías: tableros de contrachapado, tableros de partículas y tableros de fibra (Teschke, 1987).

Se agrupan bajo el término tableros de partículas los materiales laminados fabricados a partir de pequeños trozos de madera, como astillas, escamas, hebras o tiras, y bajo el término tableros de fibra los paneles fabricados con fibras de madera, incluidos los tableros duros, los tableros de fibras de densidad media (MDF) y los tableros aislantes. Se llama contrachapado al panel constituido por tres o más chapas pegadas con cola. El término se aplica asimismo a los paneles con un núcleo compuesto por listones de madera maciza y a los tableros de partículas revestido de chapa por ambos lados.

Para producir los paneles contrachapados se forma una chapa de entre 0,25 y 5 mm, se le aplica una capa de resina a base de formaldehído por medio de un rodillo o pulverizador, y se coloca entre dos chapas sin encolar con su grano en dirección perpendicular. El conjunto pasa después a una prensa caliente, donde se somete a presión y calor para solidificar la resina. Los adhesivos a base de resina fenólica son muy utilizados para fabricar contrachapado de madera blanda destinada a soportar duras condiciones de servicio, como es el caso de la construcción de edificios y barcos. Los adhesivos a base de resinas de urea se utilizan mucho para fabricar contrachapado de madera dura para muebles y paneles interiores; estos pueden reforzarse con resina melamínica para aumentar su resistencia. Posteriormente los paneles se cortan a la medida adecuada utilizando sierras circulares y se alisan utilizando grandes lijadoras de cinta o rotativas. También puede realizarse un mecanizado adicional para dar al contrachapado características especiales. En algunos casos, se añaden a las colas plaguicidas tales como clorofenoles, lindano, aldrín, heptacloro, cloronaftalenos y óxido de tributilzina, o se trata con ellos la superficie de los paneles. Otros tratamientos superficiales implican la aplicación de aceites ligeros derivados del petróleo (para paneles de encofrado), pinturas, tinturas, lacas y barnices.

En relación a la manufactura de tableros de partículas y de tableros de fibra estos están compuestos por elementos de madera de varios tamaños, desde grandes escamas u obleas hasta fibras, unidas por colas resinosas o por la unión natural entre las fibras. En el proceso más sencillo, los tableros se fabrican en dos fases. La primera fase es la producción de los elementos, directamente a partir de los troncos enteros o bien como subproducto residual de otros ámbitos de la industria maderera, como los aserraderos. La segunda fase es su recombinación en forma de planchas o paneles utilizando adhesivos químicos.

Los tableros de partículas propiamente tal y los tableros de escamas se elaboran con pequeños elementos de madera y se destinan en general a la elaboración de paneles de chapa de madera o laminados de plástico para la fabricación de muebles, armarios y otros productos de madera. Los tableros de obleas y de hebras se elaboran con partículas más grandes (virutas y hebras de madera, respectivamente) y se utilizan principalmente para aplicaciones estructurales.

Antes de elaborar las planchas o paneles, es preciso clasificar los elementos por su tamaño y calidad, y después secarlos por medios artificiales controlando estrictamente la humedad. Los elementos secos se mezclan con un adhesivo y se extienden en mantas. Se utilizan tanto resinas de formaldehído fenólico como de formaldehído ureico. Como ocurre con el contrachapado, las resinas fenólicas se utilizan más con paneles destinados a aplicaciones que requieren durabilidad en condiciones adversas, mientras que las de urea-formaldehído se emplean para aplicaciones interiores, menos exigentes. Las resinas de melamina-formaldehído también aumentan la durabilidad, pero son más caras.

Los paneles se unen para formar planchas por medio de una resina termoestable que se solidifica en una prensa caliente en un proceso similar a la elaboración del contrachapado. Posteriormente los paneles se enfrían y se recortan a medida. En caso necesario, se utilizan lijadoras para el acabado superficial, por ejemplo, en los tableros reconstituidos que han de recubrirse con una chapa de madera o laminado plástico.

Los tableros de fibra (incluidos los tableros aislantes, los de fibra de densidad media (MDF) y los tableros duros) son paneles compuestos por fibras de madera enlazadas. Para producir las fibras, se reducen a pasta pequeños troncos o astillas de madera de forma similar a lo que se hace para producir pasta para la industria papelera. En general, se utiliza un proceso de desfibrado mecánico por el que se remojan las astillas en agua caliente y después se trituran mecánicamente. Para fabricar tableros duros es mejor utilizar especies latifoliadas, mientras que las coníferas son mejores para los tableros aislantes. Los procesos que intervienen en el desfibrado tienen un efecto químico menor sobre la madera triturada, eliminando una pequeña cantidad de lignina y otros materiales extraíbles.

Pueden utilizarse dos procesos diferentes, húmedo y seco, para unir las fibras y producir los paneles. En el proceso húmedo, se distribuye una lechada de pasta y agua sobre un tamiz para formar una manta que después se prensa, se seca, se corta y se labra. Los tableros elaborados por procesos húmedos se unen gracias a componentes de la madera parecidos a los adhesivos y a la formación de enlaces de hidrógeno. El proceso seco es

similar, excepto en que las fibras se distribuyen sobre la manta tras la adición de un ligante (ya sea una resina termoestable, una resina termoplástica o un aceite secante) para que se unan las fibras. Por lo general, se utilizan resinas de fenol-formaldehído o urea-fomaldehído.

En Chile la industria más tradicional de tableros ha sido la del contrachapado, fundamentalmente de Álamo, Tapa, Lingue, Coihue y Eucalipto, siendo estas tres últimas de gran atractivo por su color veteado. Sin embargo, la disponibilidad cada vez más reducida de madera adecuada de las especies nativas, sumado al aumento del consumo, justifican el uso del Pino radiata.

En los años 2003 y 2004 la producción nacional de tableros fue de 1.582.000 m³ y 1.743.000 m³ respectivamente, de los cuales el mayor volumen (cerca del 40%) correspondió a tableros de fibra (Cuadro 51).

En términos de productos finales, la mayor participación en la industria corresponde al tablero MDF, seguido del tablero contrachapado. El de menos desarrollo fue el tablero OSB (Cuadro 52).

Para abastecer la industria de tableros y chapas, el consumo total de trozas el año 2003 fue de 1.551,3 Mm³ ssc y el año 2004 de 1.813,5 Mm³ ssc. La mayor parte de este volumen correspondió a la especie *Pinus radiata* con un 85,44% el año 2003 y 87,38% el año 2004. El consumo de madera nativa alcanzó a un 13,8% el año 2003 y a un 10,8% el año 2004 (Cuadro 53).

La mayor proporción de Pino radiata es aportada por la VIII región, con casi un 83% del volumen total, en tanto que para la especie Eucalipto la región con más volumen aportado fue la IX con un 43,8% (Cuadro 54). Para el caso de especies nativas, la totalidad del volumen se distribuye entre la IX y XI regiones, siendo la X la que concentra el mayor aporte con un 80,5% del total. Las

especies nativas que abastecen la industria de tableros corresponden principalmente a: Coihue, Tapa, Roble, Lengua, Raulí, Laurel y otras (INFOR, 2005).

Cuadro 51. Producción de la industria de tableros y chapas, periodo 2003 – 2004.

Tipo de tablero	Producción (miles m ³)	
	Año 2003	Año 2004
Tableros de partículas	351	382
Tableros de fibra	762	845
Contrachapados	469	516
Total Tableros	1.582	1.743
Chapas de madera	61	79
TOTAL	1.643	1.822

Fuente: INFOR, 2005.

Cuadro 52. Participación del tipo de producto en la producción nacional de tableros.

Producto	Año 2003 (%)	Año 2004 (%)
Hardboard	4,86	4,88
MDF	38,95	38,91
Partículas	20,15	19,79
OSB	5,50	5,52
Contrachapados	26,98	26,77

Cuadro 53. Volumen por especie destinada a la industria de tableros en el periodo 2003 - 2004.

Especie	Año 2003 (miles m ³ ssc)	Año 2004 (miles m ³ ssc)
Pino	1.325,5	1.584,7
Eucalipto	10,4	6,9
Nativas	214,6	197,0
Otras especies	0,8	24,9

Fuente: INFOR, 2005.

Cuadro 54: Volumen por especie a nivel regional para la industria de tableros (2004).

Especie	Volumen por Región (m ³)					TOTAL
	VII	VIII	IX	X	XI	
Pino Radiata	-	1.314.645	115.338	154.709	-	1.584.692
Eucalipto	300	1.500	3.019	2.065	-	6.884
Nativas	-	-	37.455	158.703	858	197.016
Otras exóticas	-	-	-	24.900	-	24.900
TOTAL	300	1.316.145	155.812	340.377	858	1.813.492

Fuente: INFOR, 2005.

Capítulo 3

Productos Elaborados

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

A partir de láminas de madera debobinada de Roble y Raulí obtenidas de un ensayo en la empresa Embalajes Standar S.A., se procedió a la elaboración de terciados en un proceso de contrachapado que consta de una máquina encoladora de rodillos paralelos (Figura 65), y de una prensa marca INDUMET que trabaja a una temperatura entre 100 y 110°C a una presión de 120 a 130 (libra/pg²), por un periodo de 2 minutos y con una capacidad máxima de 45 terciados por carga (Figura 66).

La línea de producción de terciado parte posterior al secado de las láminas, las que se estabilizaron en un contenido de humedad de entre 5% y 10%. Secas las láminas éstas son introducidas en la encoladora, donde se ordena y junta la cantidad necesaria de láminas según el espesor que se le quiera dar al terciado. El paquete de láminas es llevado a la prensa donde por medio de presión y temperatura, se unen en forma definitiva las láminas dando origen al terciado.

Para tener antecedentes de la capacidad real de elaboración de terciados a partir de madera nativa es relevante la clasificación de las láminas según la posición de esta en el producto final (cara, trascara o alma) (Figura 67). Al respecto, en el Cuadro 55

se presenta un análisis de las calidades de láminas según calidad de troza considerando una muestra de 40 trozas para Roble y de 16 para Raulí.

No se presenta una tendencia que indique que una mejor calidad de troza entregará un mayor porcentaje de láminas de mejor calidad. De hecho ocurre una tendencia inversa para la calidad de lámina cara con respecto a la calidad de troza. En efecto las láminas de calidad trascara son las de mayor participación (alrededor del 50%), seguidas por las láminas de calidad alma (alrededor del 25%).

En el ensayo se elaboraron contrachapados de 3, 5 y 7 láminas para formar tableros de 3,2 mm, 3,6 mm y 3,9 mm, así como de 9 mm, 12 mm y 16 mm de espesor con 1.200 mm de ancho y 1.210 mm de largo (Figura 68).

Además de los antecedentes técnicos del proceso de elaboración de terciados de Roble y Raulí, se recopiló información básica para estimar los costos asociados al procesamiento de los 4,18 m³ de madera en láminas.

El consumo de energía en la línea de producción para el proceso de terciado es de 40 kw/hora lo que resulta en un costo de 3.200 \$/hora, para un valor de 80 \$/kw.



Figura 65. Encoladora de rodillos paralelos.



Figura 66. Madera nativa encolada y lista para ser prensada.



Figura 67. a. Láminas de mejor calidad (cara).
b. Láminas de calidad intermedia (trascara).
c. Láminas de menor calidad (alma).

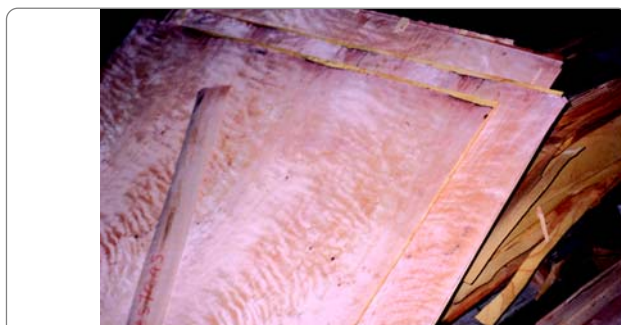


Figura 68. Muestra de terciado elaborado a partir de madera nativa.

La mano de obra involucrada fue de un operador y un ayudante con un salario para los operadores de máquinas es de 220.000 \$/mes y de los obreros de 150.000 \$/mes se tiene un costo de 370.000 \$/mes (12.333 \$/turno de ocho horas).

El proceso completo requirió de 4 horas y 20 minutos, o sea 0,542 turnos.

En base a estos antecedentes se establece que el costo total para la elaboración de terciado a partir de láminas de madera de Roble y Raulí fue de \$ 22.641 para el proceso de 4,18 m³ de madera en láminas (7,848 m³ JAS) (Cuadro 56).

Esto implica un costo promedio para el proceso de 5.417 \$/m³ de madera en láminas (2.885 \$/m³ JAS en trozas). Este valor debe tomarse con precaución ya que el proceso no se desarrolló en condiciones de operación normal, sino que bajo condiciones de un ensayo.

Desde el punto de vista práctico el ensayo de elaboración de Tableros Contrachapados constituye una buena demostración de la capacidad de los renovales nativos para generar materia prima con la calidad necesaria para la obtención de chapas, sobretodo al homologar prácticamente la totalidad de las variables a lo que se realiza en la actualidad con madera de Pino radiata, es decir, tanto la materia prima utilizada como la tecnología e insumos empleados respondieron a las mismas

especificaciones técnicas.

El resultado indica, aunque con ajustes en algunos procedimientos, que tanto la calidad final de los productos como los costos que se desprenden de la elaboración de este tipo de tableros con madera de renovales puede ser perfectamente competitivo teniendo como referencia el Pino radiata, de tal manera que en la medida que se asegure un abastecimiento estable y de calidad será posible materializar emprendimientos en esta línea de producción.

3.2 Tableros OSB.

El tablero de partículas orientadas (Oriented Strand Board: OSB) surge comercialmente a principios de 1980 como respuesta a una baja disponibilidad de materia prima, con las características de diámetro y rectitud de fuste, requerida por la industria del contrachapado estructural en EEUU.

La gran ventaja que posee el tablero OSB sobre su más cercano competidor el tablero contrachapado es que posee menores costos en cuanto a materia prima, ya que no existen mayores exigencias respecto del diámetro o rectitud de los trozos, pudiendo emplearse desechos del proceso de aserrijo, principalmente cantoneras y tapas. Actualmente la madera que están utilizando las empresas de OSB en el mundo provienen

Cuadro 55. Calidad de lámina por calidad de troza según Norma HKS.

Calidad Trozo	Roble				Calidad Trozo	Raulí			
	Cara %	Trascara %	Alma %	Total láminas		Cara %	Trascara %	Alma %	Total láminas
A	24,8	52,2	23,0	274	-	-	-	-	-
B	25,4	50,5	24,1	398	B	22,4	53,1	24,5	192
C	33,7	60,2	6,0	83	C	23,5	39,2	37,3	51

Cuadro 56. Detalle de costos involucrados en el proceso de terciado.

Item	Valor unitario (\$/unidad)	Consumo (unidades)	Valor turno (\$)	Total (\$)	Participación (%)
Costo variable maquinaria terciado (kw/hora)	80	40	25.600	13.875	61,28
Costo fijo maquinaria terciado (15 % Costos variables)	12	40	3.840	2.081	9,19
Mano de obra terciado (mes)			12.333	6.685	29,52
• Operadores	220.000	1	7.333		
• Obreros	150.000	1	5.000		
TOTAL				22.641	100,00

Capítulo 3

Productos Elaborados

Cuadro 57. Costos variables de producción de tableros OSB y Contrachapados.

Item costo variable	OSB	Contrachapados	Diferencia US\$ / m ³
Madera	35	82	47
Adhesivo	81	98	17
Total costos	116	180	64

Fuente: Fuller, 1985, citado por INFOR (1987)

de bosques de corta rotación, lo que sin duda es una gran ventaja ante el tablero contrachapado que debe esperar un tiempo muy alto de rotación de sus bosques para alcanzar los diámetros que necesita. Por otra parte el rendimiento de estas industrias oscila entre el 80 y 90% en comparación con el 30% de la industria de contrachapados (Vidaurre, 1988).

Técnicamente el tablero OSB es un producto derivado de la madera de concepción técnica avanzada, elaborado a partir de virutas de madera, las cuales son unidas mediante una cola sintética; las virutas son posteriormente prensadas sometiénolas a unas presiones y temperaturas determinadas. Las virutas que conforman el tablero van dispuestas en capas perfectamente diferenciadas y orientadas: las capas exteriores son orientadas generalmente en dirección longitudinal mientras que las virutas de las capas internas son orientadas en dirección perpendicular a la longitud del tablero (Figura 69).

Las virutas son cortadas tangencialmente a partir de los troncos de madera previamente descortezados, por medio de cuchillas dispuestas en tambores rotatorios, introducidos estos troncos en dirección longitudinal; las partículas obtenidas en el proceso anterior tienen un ancho aproximado de 75 mm, siendo posteriormente reprocesadas hasta tener un tamaño final típico entre 5 y 10 mm de ancho y de 100 a 120 mm de largo, esta longitud siempre en dirección de la fibra.

Una vez secas las virutas son encoladas con una resina sintética por medio de un proceso de pulverización, siendo ésta del tipo Fenol-Formaldehído (PF), Urea-Formaldehído-Melamina (MUF), Di-isocianato (PMDI) o la mezcla binaria de las anteriores. En Europa lo más común es encontrar una mezcla de resinas, las del tipo PMDI para las virutas de la capa media mientras que las MFU se destinan a las capas externas.

Las principales ventajas del tablero OSB residen en el campo de sus propiedades mecánicas, que están directamente relacionadas con la geometría de las virutas así como con su orientación en el tablero. Aunque el OSB está constituido de virutas relativamente largas, su superficie es maciza y relativamente lisa, pudiendo ser mejorada cuando se lija, sin

perder el aspecto estético característico único del OSB.

La densidad del tablero varía dependiendo de cada producto, concretamente de la especie de madera utilizada en su producción y de las condiciones de fabricación. La densidad típica del tablero se sitúa entre 600 y 680 kg/m³. Así, por ejemplo, un tablero de dimensiones 2.400 mm x 1.200 mm x 12 mm pesará aproximadamente 20 kg y utilizando madera de Roble o Pino necesita para su fabricación alrededor de 22.621 gramos de hojuelas (Pino, 2002; Freire, 2002; Pecho, 2004).

Debido a sus propiedades físico-mecánicas y la orientación de sus virutas, el tablero OSB es un producto particularmente indicado para aplicaciones estructurales en la construcción, siendo éste utilizado de forma importante como soporte para pavimentos, revestimiento de paredes y de tejados estructurales. Sin embargo el tablero OSB no sólo se aplica en la construcción estructural, es también ampliamente utilizado como forro para tejados, en la producción de embalaje industrial, en la fabricación de cajas para camiones, como material para encofrado (www.synergy-bo.com). Existen diversos tipos de tableros OSB para diferentes niveles de soporte de carga estructural y condiciones ambientales.

Estados Unidos es el mayor productor de tableros OSB en el mundo, seguido de Canadá y Europa. A fines de 1995, un total de 46 plantas se encontraban en actividad en Norte América, localizándose 32 de éstas en Estados Unidos y 14 en Canadá. La expansión ha sido evidente si se compara con las 13 industrias existentes en 1980 (Codina, 1998).

En las Figuras 70 y 71 se observa la producción y capacidad de tableros OSB para los dos más grandes mercados en los últimos años. En la Figura 72 se observa la producción mundial de este producto para el año 1998.

El consumo de tableros OSB en Norte América ha ido en un progresivo aumento ocupando casi el 50% del total del mercado en el año 1998 (Figura 73).

En Chile la producción de este tipo de tablero todavía es baja



Figura 69. Vista general de Tableros OSB.

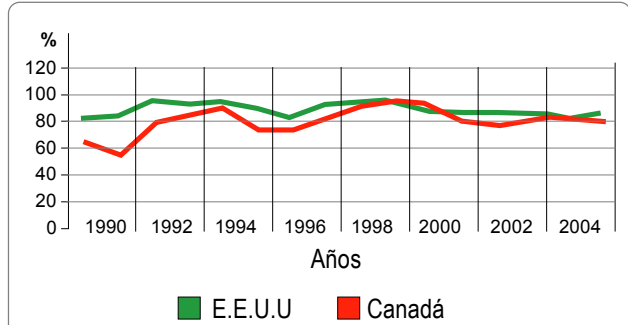


Figura 70. Tasa de Operación de la industria del OSB.
Fuente: www.sitiomadera.cl

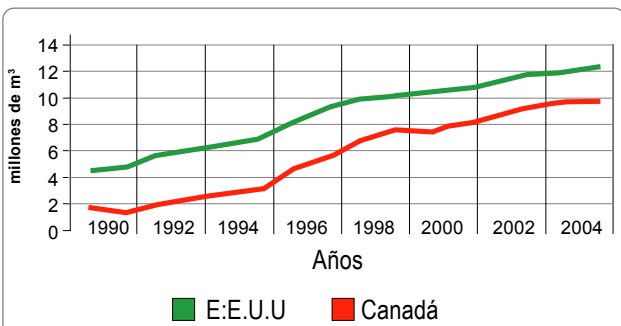


Figura 71. Producción de Tableros OSB, Estados Unidos y Canadá.
Fuente: www.sitiomadera.cl

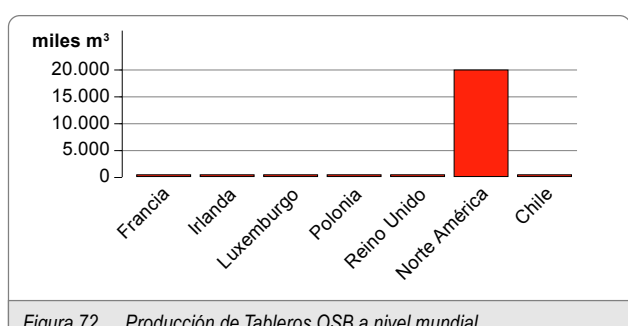


Figura 72. Producción de Tableros OSB a nivel mundial.
Fuente: Adaptado desde www.osb-info.org

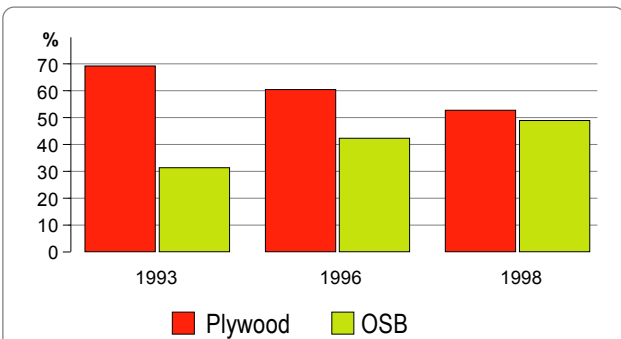


Figura 73. Consumo de tableros contrachapados y OSB en el mercado de Norteamérica.
Fuente: www.sba-osb.com

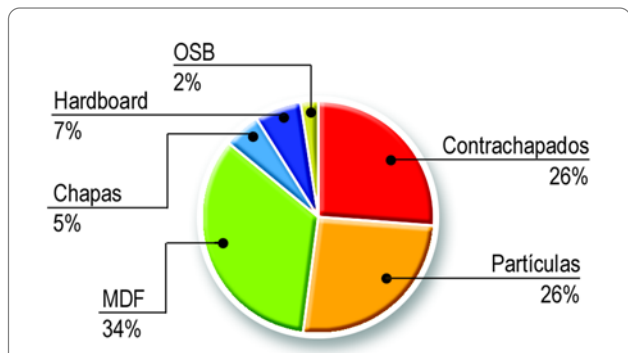


Figura 74. Producción de tableros en Chile.
Fuente: INFOR. (2003b)

con respecto a los tableros tradicionales, no superando el 2% de la producción total de tableros el año 2002 (Figura 74).

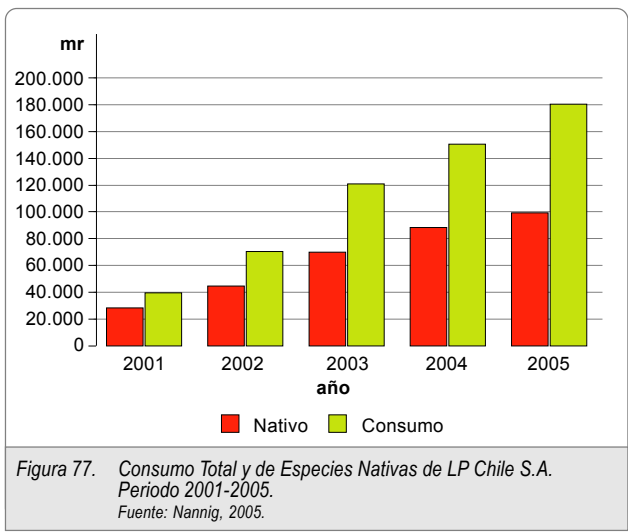
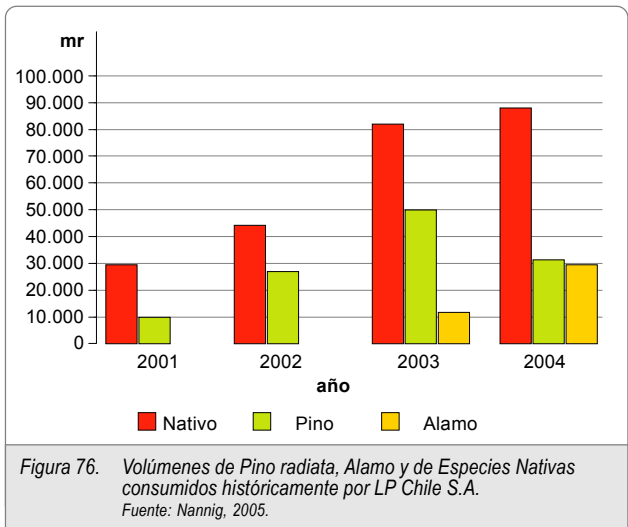
Con respecto a los costos, estudios efectuados por Fuller (1985) citado por INFOR (1987), muestran que los costos de producción de los tableros OSB son claramente inferiores en relación a los contrachapados (Cuadro 57). En 1990 se señala que la producción de contrachapados para espesores de 9 mm en varias plantas de Estados Unidos, ocasionó en promedio costos variables de 180 US\$/m³. En cambio, para las industrias de OSB

fueron de 116 US\$/m³, es decir un 60% más bajos. Sin embargo uno de los ítems que hace aumentar los costos variables de producción de los tableros OSB, lo constituye el ítem de adhesivo con cerca de un 70% de dichos costos (Pino, 2002).

Para la confección del tablero deben considerarse el tipo de especie a utilizar (por la densidad de ésta), la formulación del adhesivo (razón de encolado, porcentaje de sólidos del adhesivo), el contenido de humedad objetivo, densidad objetivo del tablero, dimensiones, y contenido de humedad de las hojuelas secas.



Figura 75. Proceso de Producción del OSB.
 Fuente: LP Chile S.A.



Bajo estos criterios considerando un tablero comercial de dimensiones 1,22m x 2,44m x 11mm, con uso de adhesivo fenol formaldehído a un contenido de humedad final de 8%, densidad objetivo de 650 kg/m³, se estima que se necesitan 22.621 gramos de hojuelas secas al 4% de humedad, asumiendo una pérdida en el proceso de secado, encolado y formado del colchón del 5%. Si se utiliza como materia prima Roble, cuya densidad es de 613 kg/m³, tenemos para este tablero un volumen de 0,037 m³.

El volumen de madera utilizable por trozo para este tipo de proceso de acuerdo a la regla JAS, considerando un diámetro promedio de 8 cm y un largo de 4 m es de alrededor 0,0256 m³. Con un rendimiento por proceso de fabricación del 80%, se tiene que por cada trozo se obtiene el 55% de un tablero comercial.

En Chile destaca, por su relación con el aprovechamiento del recurso forestal nativo, la producción de la empresa estadounidense Louisiana Pacific Chile S.A.; filial de Louisiana Pacific Corporation, que fue la primera industria en producir tableros OSB en América Latina, con una inversión de 40 millones de dólares. Actualmente Louisiana Pacific Corporation concentra el monopolio para este tipo de producto con una producción mundial de 5,5 millones de m³ y ventas de US\$ 3,3 billones anuales. Louisiana Pacific Chile S.A., se ubica en Panguipulli, Décima región, e inició su operación en septiembre del 2001 y tiene una capacidad de producción de 120.000 m³ al año de tableros OSB, destinados en un 82,5% al consumo nacional. Para nuestro país el principal mercado de los tableros OSB lo constituye el sector de la construcción, compitiendo con el tablero contrachapado, el cual es considerado como el antiguo líder del sector de los paneles de madera de calidad estructural (Figura 75).

Su abastecimiento de madera lo realiza de Pino radiata, Alamo y especies nativas, entre la Octava y Décima regiones, con un consumo total de madera el año 2004 de aproximadamente 150.000 metros ruma (225.000 m³ ssc) de los cuales cerca del 52% corresponde a especies nativas, vale decir, del orden de 80.000 mr (Figura 76). En la mezcla de maderas nativas, destacan principalmente: Roble, Coihue, Radal y Tapa (www.lpchile.cl).

Para el año 2005 se proyecta un consumo total de 180.000 mr de madera en trozas, de los cuales 100.000 mr corresponderían a madera nativa (Figura 77).

Si bien en la actualidad la utilización de madera nativa es del 52% del total de materia prima, el proceso productivo permite la incorporación en la mezcla de especies que conforman el tablero de hasta un 80% de maderas duras, lo que indica que para el año 2005 el potencial de consumo de trozas de madera nativa alcanzaría a 144.000 mr.

En este mismo ámbito, relevante es que la compañía estadounidense productora de paneles Louisiana Pacific (LP Chile) anunciara la puesta en marcha de un fuerte plan de inversiones con base en Chile, lo cual significaría duplicar su actual producción en nuestro país. Esto se materializará a través de la instalación de una nueva planta a construirse en las cercanías de la comuna de Lautaro, IX región, y tendrá una capacidad anual de 160 millones de m² de paneles OSB en base a maderas de especies nativas. La compañía se convertirá así en el mayor consumidor industrial en Chile de esta madera. CONAF Región del Bío-Bío en un trabajo conjunto con la Cooperación Técnica Alemana, GTZ en el marco de una medida Pública Privada apoyó a LP Chile con el diseño

de la factibilidad de abastecimiento con madera nativa proveniente del manejo sustentable de bosques de pequeños y medianos propietarios en el área de influencia del proyecto de inversión, es decir entre la VIII y X regiones. Este proyecto de inversión se considera relevante para el desarrollo sustentable del subsector bosque nativo ya que se estima que a partir del manejo de aproximadamente 40.000 ha aportará del orden de 2.000 empleos anuales solo en la componente silvícola generando ingresos para pequeños y medianos propietarios del orden de 15 millones de dólares anuales.

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Durante el año 2003, CONAF Región del Bío-Bío en conjunto con la Cooperación Técnica Alemana, en el marco de un Proyecto específico de comercialización de productos nativos provenientes del manejo sustentable del bosque nativo gestionaron la suscripción de un convenio de colaboración para el abastecimiento con madera de renovales de la VIII región con Louisiana Pacific Chile (LP Chile), en el cual los propietarios pequeños y medianos adscritos al Proyecto CMSBN en la región contarían con un nuevo poder comprador para madera pulvable destinada a la elaboración de Tableros OSB establecido por LP Chile. Las características principales del producto son las siguientes:

- Especies Roble, raulí, coihue, tepa, laurel, ulmo, tino y lingue.
- Largo 2,44 metros.
- Diámetros entre 10 y 60 centímetros.
- Sanidad No se acepta madera con pudrición.
- Curvaturas La flecha máxima, no debe ser superior a 10 centímetros.
- Ganchos Los ganchos deben ser cortados a nivel del fuste.

La principal innovación en esta gestión la constituyó el trabajo con una Operadora Técnico Comercial, entidad privada, cuya función se enfocó en la acreditación de que los productos comercializados a LP Chile cumplieran por una parte con la normativa legal correspondiente y por otra, que procedieran de predios manejados con los criterios de sustentabilidad definidos al interior del Proyecto CMSBN.

Capítulo 3

Productos Elaborados

Bajo esta modalidad en la temporada 2004-2005 se lograron comercializar del orden de 7.000 metros ruma, mientras que en la temporada 2005-2006 se espera llegar a un volumen superior a los 20.000 metros ruma. La fuerte alza en los volúmenes comercializados está dada fundamentalmente por la confianza adquirida por los propietarios hacia esta modalidad de gestión y adicionalmente por el nivel de compromiso y transparencia técnica y financiera demostrada por la empresa.

3.3 Envases de madera.

La industria elaboradora de embalajes es parte de la industria forestal secundaria. La producción nacional es relativamente menor a productos como madera aserrada, pulpa, papel y cartón, entre otros. Esta industria se genera en respuesta a la demanda por embalajes necesarios para cierto tipo de productos que requieren una adecuada protección, fácil manipulación, transporte, almacenamiento seguro y una conveniente identificación y comunicación.

Desde el punto de vista estético, el producto ofrece mayor valor agregado a aquellos que lo contienen debido principalmente a su presentación y calidad. Estos productos son mejor valorados en los mercados internacionales. Los embalajes de madera en particular, son destinados fundamentalmente a los productos hortofrutícolas, industriales y embalajes de lujo (Quirós, 2004).

La comercialización de los envases de madera en Chile corresponden principalmente a envases finos para la industria del vino, cajas y bandejas para el mercado de los chocolates, y cajas para productos alimenticios y cigarrillos. Hasta hoy, la fabricación de estos productos se ha realizado principalmente con madera de especies exóticas.

Actualmente, más de un 50% de los envases y embalajes producidos en el país están destinados al mercado externo, lo que en el año 2003 representó unos US\$ 83 millones en envases en forma directa; cifra que representa el 6% del valor producido, mientras que las exportaciones de envases como producto secundario o acompañante superaron los US\$ 800 millones (<http://www.estrategia.cl/histo/200310/20/ambito/vase.htm>).

En el año 2003, la producción de envases y embalajes fue del orden de las 1.321.000 toneladas, equivalentes a US\$ 1.403,7

millones. (<http://www.estrategia.cl/histo/200310/20/ambito/vase.htm>).

Por otra parte, las exportaciones de la industria del vino presentaron un crecimiento de un 12,8% en el período comprendido entre los meses de mayo de 2003 y abril de 2004, comparadas con las exportaciones del período anterior de los años 2002 y 2003. En términos de volumen, se anotó una variación positiva de 4,7%, llegando a 25,05 millones de cajas de 9 litros, generando un alza de 12,4% en el valor (596,8 millones de dólares) y de un 7,4% en el precio promedio (23,82 dólares por caja) (www.vinasdechile.cl).

Para el año 2006, a través de un estrategia denominada "Vino Chile" que contempla la incorporación de nuevas Cepas (Malbec, Pinot Noir y Carmenère) la industria vinícola tiene proyectado aumentar las exportaciones a 1.000 millones de dólares (www.vinasdechile.cl).

La emergente industria del vino ha generado la formación de mercados a partir de actividades complementarias, dando inicio a nuevas unidades de producción, tanto industriales como artesanales. La fuerte inversión realizada y las crecientes exigencias en calidad y sanidad han impulsado una competitiva industria proveedora de bienes y servicios. Dentro de estas empresas proveedoras se encuentra una diversa gama de productos: cubas de acero inoxidable, toneles de madera, cristalerías, corchos, cápsulas, etiquetas, embalajes de cartón y madera, maquinarias como cosechadoras de uvas, embaladoras, involucadoras y paletizadoras del producto final.

La utilización de los embalajes de madera por parte de la industria vitivinícola se orienta tanto al mercado nacional como internacional. Las características de estos embalajes producidos para el mercado nacional son principalmente para una, dos y tres botellas, siendo ofrecidos a empresas que los utilizan principalmente como obsequio para sus clientes y proveedores en ciertos períodos del año, en cambio los embalajes de madera para exportación son principalmente para seis y doce botellas.

La mayoría de las viñas desarrollan vinos "Ultra Premium" e "Iconos", con precios que van desde los US\$ 14 a los US\$ 50 la botella, los cuales en algunos casos se asocian a embalajes de madera. Normalmente los vinos que poseen altos costos permiten la utilización de estos embalajes, presentando un producto final de mayor valor agregado y a su vez permiten un largo período de almacenamiento, una mejor protección y presentación.

La principal característica de los embalajes, está dada por la cantidad de botellas que contengan, los cuales en su interior deber poseer separadores que aseguren las botellas en su traslado.

Los embalajes se fabrican con maderas de diferentes espesores. Los más utilizados son: 8; 10 y 13 mm, los que deben asegurar tanto la estabilidad del embalaje, como soportar los apilados en los largos traslados a los lugares de destino.

Las especies más usadas son Pino radiata, Raulí, Alerce, Mañío y Lenga, siendo la madera de Pino radiata la más utilizada. Por su parte Raulí, Lenga, Mañío y Alerce se asocian a los embalajes de menor número de botellas ya que son destinados a promociones y obsequios a clientes.

Estos embalajes presentan variados diseños, donde los más utilizados son:

Embalaje tapa clavada:

es una caja donde la cara superior es independiente (tapa). Una vez que se embalan las botellas, la tapa se clava en sus orillas. Se utilizan principalmente para embalajes de seis y doce botellas (Figura 78).



Figura 78. Tipo de embalaje: Tapa clavada .



Figura 79. Tipo de embalaje: Baúl o Estuche.

Embalajes tipo baúl o estuche:

es una caja cuya tapa superior esta unida por medio de dos bisagras y posee un broche que lo cierra. Son utilizados en embalajes de una, dos, tres, cuatro y seis botellas (Figura 79).

Embalaje tipo dominó:

es una caja cuya tapa se introduce en su parte superior por medio de ranuras. Son utilizadas en embalajes de una, dos y tres botellas (Figura 80).

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Con la disponibilidad de madera que posee la Región del Bío-Bío es posible obtener materia prima para la fabricación de envases primarios y secundarios de madera y además, evaluar la posibilidad de aprovechar de manera más eficiente la materia prima utilizada en otros procesos productivos que desechan importantes proporciones de materia prima por la naturaleza propia de las líneas de producción.

En este contexto, la Corporación Nacional Forestal Región del Bío-Bío y la empresa ESPUCON S.A. desarrollaron una experiencia denominada "Elaboración de envases para vinos a partir de madera aserrada seca de Roble (*Nothofagus obliqua*)" incorporando a este ensayo además una evaluación económica.

Como es de conocimiento general, en la fabricación de algunos productos como madera aserrada o vigas y durmientes, es posible acceder al aprovechamiento de la madera lateral que no es utilizada en el producto principal pero que sin embargo, posee las dimensiones necesarias y características adecuadas para ser utilizada en la fabricación de envases de madera.

Para la fabricación de envases secundarios de madera nativa



Figura 80. Tipo de embalaje: Dominó.

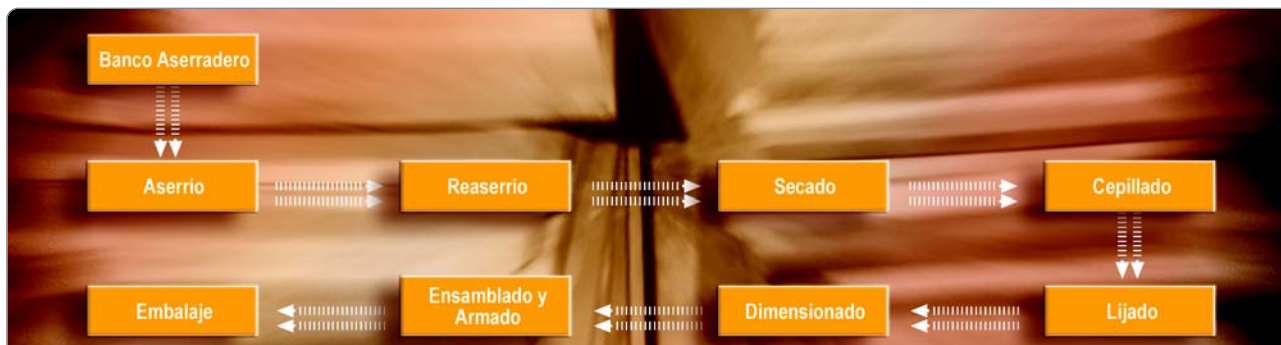


Figura 81. Línea de producción general para la fabricación de envases de madera para botellas de vino de selección.



Figura 82. Proceso de aserrio.



Figura 83. Proceso de reaserrío de madera lateral.



Figura 84. Proceso de secado de madera para envases.

se necesita incorporar una línea de producción que incluya los subprocesos que se indican en la Figura 81.

Para generar el proceso de fabricación de envases de vino (cajas), fue necesario pasar previamente por las etapas propias de elaboración de madera, a saber: aserrio, reaserrío y secado de piezas. A continuación estas piezas se cepillaron y lijaron para dar un mayor acabado a la superficie de las secciones para finalmente, generar el proceso de dimensionado de las piezas que están de acuerdo con el diseños de las cajas de vino.

El aserrio corresponde a los cortes iniciales de los rollizos de

madera para obtener lampazos, tapas y basas (Figura 82). Durante este proceso es de importancia la obtención de madera lateral que fue utilizada en la fabricación de las cajas de madera. Para lograr esto es necesario innovar en un nuevo sistema productivo a objeto de obtener madera lateral con escuadrías lo suficientemente grandes de manera que permitan su aprovechamiento posterior. La madera central fue utilizada en otros productos.

El reaserrío de la madera es el procesamiento secundario de las basas y tapas obtenidas en la actividad anterior (Figura 83). Este proceso se debe incorporar a la línea de producción porque permite que la materia prima final posea escuadrías del orden de 12 a 14 mm de espesor para la fabricación de las cajas de madera.

Desde el momento en que la madera comienza a ser procesada en el aserrio, pierde humedad en forma natural. Para que la madera no se deforme y las variaciones estacionales no causen cambios dimensionales, es preciso que esta se encuentre seca para ser transformada en procesos posteriores (Figura 84). En particular, las bajas dimensiones de la madera necesaria para la elaboración de envases secundarios hacen necesario aplicar un buen tratamiento de secado que permita mantener la estabilidad



Figura 85. Proceso de cepillado de madera seca.



Figura 86. Proceso de lijado de madera seca y cepillada.



Figura 87. Proceso de dimensionado.



Figura 88. Cajas – envases de vino.

dimensional de las piezas utilizadas a fin de que no se produzcan deformaciones una vez ensamblados los envases.

El cepillado consiste en acondicionar la madera de acuerdo a las escuadrías finales (12 a 14 mm de espesor) y prepararla para el dimensionado (Figura 85).

El lijado permite eliminar las aristas naturales producidas por la fibra que sobresale de la superficie. Tras el proceso de cepillado. En esta etapa es necesario que la madera quede completamente lisa, tal cual como será presentada al consumidor (Figura 86).

El dimensionado es el proceso para dar las escuadrías finales a las piezas componentes para su comercialización (Figura 87). Para la fabricación de los envases, el dimensionado debe desarrollarse de acuerdo al diseño de las cajas previstas para el ensayo en ejecución.

La culminación de la línea productiva está dada por el ensamblado y armado, en esta etapa se fabrica el producto final que se comercializará (Figura 88). Para la fabricación de los envases de madera existen distintos diseños de cajas y además, se tiene la alternativa de comercialización de las cajas armadas o desarmadas, así como distintos sistemas

de unión de las piezas, a fin de hacer los envases más estéticos y firmes.

Considerando que esta línea de productos es importante en un mercado pujante y vigoroso como es la producción y exportación vitivinícola, se considera relevante exponer una evaluación económica referencial para la fabricación de este tipo de productos. En ella se consideraron como indicadores de rentabilidad los índices usualmente estimados para este tipo de proyectos: Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno.

Para desarrollar la evaluación económica, a nivel de perfil en un periodo de 5 años, se asumieron los siguientes antecedentes básicos:

- Se cuenta con abastecimiento de materia prima permanente y de las características requeridas para la fabricación de envases de madera.
- Se cuenta con las capacidades tecnológicas para desarrollar una nueva línea de producción, en las instalaciones de alguna empresa del rubro maderero en la Región del Bío-Bío.
- El mercado de los envases tanto para ser comercializados

Capítulo 3

Productos Elaborados

en forma directa como para complementar productos de exportación, se incrementará en los próximos años.

- Los precios de la materia prima puesta en planta, no variarán considerablemente en los próximos años (aproximadamente 45 US\$/m³).

Cuadro 58. Costos estimados de producción de metros cúbicos de madera para envases de vino.		
Item	Valor	Unidad
Materia prima	95,79	US\$ / m ³ mpcv
Aserrío	10,00	US\$ / m ³ mpcv
Reaserrío	12,00	US\$ / m ³ mpcv
Secado	20,00	US\$ / m ³ mpcv
Cepillado	7,00	US\$ / m ³ mpcv
Lijado	3,00	US\$ / m ³ mpcv
Dimensionado	20,00	US\$ / m ³ mpcv
Ripiado	8,00	US\$ / m ³ mpcv
Armado	46,00	US\$ / m ³ mpcv
Costos directos	222,30	US\$ / m ³ mpcv
Unitarios	1,28	US\$ / caja
Costos Indirectos*	0,09	US\$ / caja
Costos administración**	0,13	US\$ / caja
Costo Total Unitario	1,50	US\$ / caja

Mpcv: madera para cajas de vino

* Control de calidad, embalaje y otros (7 %) ** 10%

- El rendimiento en los procesos de aserrío y reaserrío de la materia prima es de un 45%, requiriéndose aproximadamente 2,2 m³ de madera en trozos para generar 1 m³ de madera aserrada para envases o cajas para botellas de vino.
- Se consideró un envase tipo de 2 botellas que utiliza un volumen de 0,00245 m³ de madera por unidad.
- Los costos de los procesos de transformación son similares a los actuales para la madera de *Pinus radiata*.
- La producción anual de vinos embotellados el año 2004 fue de 186 millones de litros, proyectado sobre la base de una exportación de 31 millones en los meses de enero y febrero de 2004 (www.vinasdechile.com).
- De la producción anual de vinos embotellados, un 5% corresponde a vinos finos a ser exportados en envases de madera de bosque nativo.

Sobre esta base los costos estimados preliminarmente para la producción de cada metro cúbico de madera para envases de vino son los indicados en el Cuadro 58.

Cuadro 59. Antecedentes económicos para la fabricación envases de vino.			
Producción anual vinos embotellados		186.000.000	litros
Producción vinos finos	5%	9.300.000	litros
Volumen vino por envase		1,5	litros / caja
Envases requeridos mercado vinos finos		6.200.000	cajas
Margen de utilidad	30%	0,45	US\$ / caja
Precio de Venta		1,94	US\$ / caja
Inversión estimada		80.000.000	\$
Valor de desecho		10%	
Tasa de descuento o alternativa		12%	

Cuadro 60. Evaluación del proyecto a 5 años (US\$).						
ITEM	0	1	2	3	4	5
Participación mercado (%)		10%	10%	15%	15%	20%
Producción Anual (cajas)		620.000	620.000	930.000	930.000	1.240.000
Inversión	-137.931					
Egresos		-927.179	-927.179	-1.390.768	-1.390.768	-1.854.357
Ingresos		1.205.332	1.205.332	1.807.998	1.807.998	2.410.664
Valor de Desecho						13.793
FCN	-137.931	278.153	278.153	417.230	417.230	570.100
FCN Acumulado		140.222	418.375	835.605	1.252.835	1.822.935

FCN: Flujo de Caja Neto.

Los antecedentes básicos para calcular los flujos de caja se muestran en el Cuadro 59.

En base a estos antecedentes se proyectan los flujos de caja que se presentan en el Cuadro 60, considerando una evaluación a 5 años de duración del proyecto.

La evaluación económica a nivel de perfil arroja un Valor Actual Neto de US\$ 1.087.308, mientras que la Tasa Interna de Retorno se eleva a 212%, lo que indica la alta rentabilidad de esta opción de inversión debido principalmente a la baja inversión involucrada y el atractivo margen operacional que se presenta.

La condición de utilización de madera lateral para la elaboración de envases secundarios para la industria vitivinícola nacional implica la necesidad obvia de contar previamente con un proceso primario que utilice la madera central de trozos aserrables para otros fines y paralelamente se cumpla la característica de complementariedad que presenta la elaboración de envases a partir de la madera lateral.

Es claro que a partir de una utilización integral de la madera resultante del manejo sustentable de los bosques nativos y en particular de los renovales, se abren posibilidades de utilización que hasta la fecha no han sido completamente adoptadas ya sea por falta de conocimiento técnico al respecto por no contar con los abastecimientos adecuados de materia prima.

3.4 Muebles Estilo Terraza.

El rubro muebles representa el 8% del valor de la producción forestal (alrededor de US\$ 300 millones) y sólo 2% de las exportaciones forestales, las que en 2003 llegaron a US\$ 52 millones. De este último monto, Estados Unidos absorbe compras por US\$ 41,2 millones es decir, el 85% del total de las ventas. A ese mercado apuntan justamente compañías como Centec, Copihue, Bernarda Wood Products y Magasa, especializándose en partes para mueblería. Otros destinos que comienzan a abrirse son España y Francia y en el ámbito latinoamericano las principales ventas se realizan a Bolivia, Argentina y Perú, además de algunos países centroamericanos. Concretamente durante el 2002, se abrieron 12 nuevos mercados, entre ellos países como Costa Rica, Israel, Suiza y Mozambique (http://www.corma.cl/destacados/destacados_40.html).

Se estima que el 70% de la producción nacional de muebles

utiliza la especie pino radiata, ya sea como madera sólida o reconstituida (tablero de fibra). El resto utiliza maderas provenientes del bosque nativo, especialmente Raulí, Coihue, Lengua y Mañío.

La mayor parte de los muebles que se utilizan en Chile son contruidos de madera o de sus derivados como son los paneles de partículas, de fibra, contrachapados y otros. A su vez, considerando el mercado de las grandes fábricas, el 30% de los muebles que se fabrican corresponden a muebles para el hogar, 19% a muebles de oficina, 16% muebles de cocina y 11% partes y piezas para muebles.

Existen diversos factores que figuran como ventajas comparativas y competitivas para desarrollar más aún esta industria, principalmente en Estados Unidos. Los principales son: la existencia de materia prima a bajos precios, abundante y de buena calidad; y el costo de mano de obra calificada que está en una relación de 1 a 7 con respecto a Estados Unidos (Navarrete, 2002).

Hoy, la industria del mueble en Chile cuenta con aproximadamente 2.500 unidades productivas, desde el modesto taller con características artesanales hasta la mediana y gran fábrica. La mayor parte se ubica en las regiones I, II, VIII, IX, X, XII y especialmente en las regiones V y Metropolitana, siendo esta última la que genera el 75% de la producción del país, con más del 60% de las empresas existentes en el país.

Para el caso particular de la Octava región, en un estudio realizado el año 2003 por la Corporación Nacional Forestal Región del Bío-Bío, en el marco del Proyecto CMSBN, se logró identificar 34 mueblerías en las ciudades de Concepción, Chillán y Los Ángeles. Estas, al no estar agrupadas en una base de datos formal, se identificaron en forma individual mediante recorridos visuales y datos verbales, lo que no garantiza que sean necesariamente las mueblerías más grandes de la región, pero sí que constituyan las más conocidas, ya sea por su ubicación o por el manejo publicitario que ellas hacen. Para poder clasificar las mueblerías con algún criterio técnico en cuanto a su importancia en el mercado, se tomó como referencia el consumo total de madera nativa, el cual en todos los casos va íntimamente ligado a su infraestructura. Según este criterio se observaron mueblerías "pequeñas" que son aquellas en las cuales el volumen de materia prima utilizada no sobrepasa las 400 pulgadas por mes, las que utilizan entre las 400 y 1.300 pulgadas por mes, son consideradas "medianas". Cabe destacar que ninguna de las mueblerías visitadas, de las que consumen madera nativa, califican para ser

Capítulo 3
Productos Elaborados

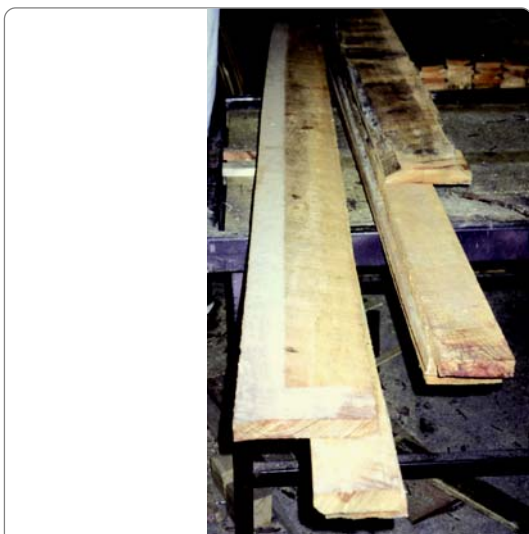


Figura 89. Madera seca de Roble.

denominadas como “grandes” (Cuadro 61).

Se logró establecer un consumo de madera nativa aserrada total de 5.880 pulgadas maderas por mes, en donde el 50,51% se localiza en el sector de Concepción y el 30, 86% en el sector de Chillán. En términos de las especies utilizadas el primer lugar de preferencia lo tiene Raulí (43,11%), seguido por Roble (24,31%) y Coihue (13,52%) (Cuadro 62).

Con respecto a las escuadrías para la adquisición de la materia prima, estas abarcan un sin número de medidas, compartiendo el criterio de que todas las dimensiones por menores que sean sirven en la pequeña mueblería. Quienes sí presentan una mayor exigencia son las mueblerías medianas, para las cuales escuadrías mayores constituyen mejores posibilidades.

En términos de precios pagados por la materia prima, este varía para Raulí entre 3.500 y 11.000 \$/pulgada maderera, según la escuadría, el contenido de humedad y el grado de duraminización



Figura 90. Sierra circular marca RIDGID.



Figura 91. Cepilladora marca RYOBI.

Cuadro 61. Clasificación de las mueblerías encuestadas en la Región del Bio-Bio.

Sector	Clasificación			TOTAL
	Pequeña	Mediana	Grande	
Concepción	9	4	0	13
Los Ángeles	11	1	0	12
Chillán	5	4	0	9
TOTAL	25	9	0	34

Cuadro 62. Volumen de materia prima consumida mensualmente (pulgadas madereras), para la Región del Bio-Bio.

Sector	Especies utilizadas									Total
	Roble	Rauli	Coihue	Mañío	Alerce	Lingue	Lenga	Olivillo	Laurel	
Concepción	165	1255	650	300	0	200	200	200	0	2.970
Los Ángeles	285	690	80	25	0	5	5	0	5	1.095
Chillán	980	590	65	90	90	0	0	0	0	1.815
Total Región	1430	2535	795	415	90	205	205	200	5	5.880

de la madera. Para Roble el rango de precios fue de 1.500 a 8.000 \$/pulgada maderera.

El total de las mueblerías encuestadas que utilizan madera nativa en sus procesos, no participa como abastecedor de piezas y partes para otro tipo de manufacturas, sino que se trata de pequeños o medianos empresarios de productos terminados ya sean muebles de hogar, puertas o ventanas.

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

La relevancia relativa del mercado de la producción de muebles impulsó al Proyecto CMSBN a buscar opciones de aprovechamiento y procesamiento con mayor valor agregado para la madera aserrada de renovales nativos lo que se concretó en una experiencia práctica de confección de muebles de terraza a modo de ensayo. En esta experiencia llevada a cabo por la Corporación Nacional Forestal Región del Bío-Bío y la empresa ESPUCON S.A. se utilizó madera seca de Roble (*Nothofagus obliqua*) proveniente de bosques nativos de la provincia de Bío-Bío (Figura 89), para la confección de muebles estilo terraza.

El objetivo principal fue determinar los tiempos y rendimientos en la elaboración de muebles de estilo terraza, entre los que se encuentran: mesas, sillas, pisos, banquetas, maceteros y jardineras. Junto con ello se desarrolló una ficha técnica de cada uno de los productos posibles de elaborar.

La maquinaria utilizada en el proceso de confección de muebles estilo terraza, corresponde a un banco de sierra circular marca RIDGID modelo TS 24 R, motor eléctrico de 0,75 kw de 1 HP con 2.800 rpm. Sierra Malcita de 7 1/4" x 5/8" N° D – 03436, diente de hebilla, correa plana, corte 0,079", con 8.300 rpm como máximo (Figura 90). Además se utilizó una cepilladora marca RYOBI 3/4 H8 con 8.000 revoluciones por minuto, de 10", modelo AP 10 N 1350 W, dos cuchillos montados en vidia, su regulación es en forma manual (Figura 91). En términos de mano de obra, se consideró el trabajo de un solo operario.

Con respecto al proceso productivo, este se describe a continuación, a modo de ejemplo, mediante la elaboración de una mesa cuadrada en estilo de mueble para terraza (Figura 92).

Anterior a la elaboración de la mesa cuadrada se acondicionó el lugar de trabajo, este procedimiento tuvo una duración de 15 minutos, la posterior clasificación de maderas duró 8 minutos.

El volumen inicial de madera para trabajar en este proceso fue de 0,055 m³ lo que equivale a 2,36 pulgadas madereras, cuyo tiempo de trozado tuvo una duración de 4,3 minutos (Figura 93).

De las 19 piezas obtenidas, 14 de ellas generaron un volumen aprovechable de 0,042 m³, lo que equivale a 1,79 pulgadas madereras; y las 5 restantes que corresponden a pérdida (Figura 94) y generan un volumen de 0,009 m³, lo que equivale a 0,37 pulgadas madereras. Sin embargo, esta pérdida puede ser

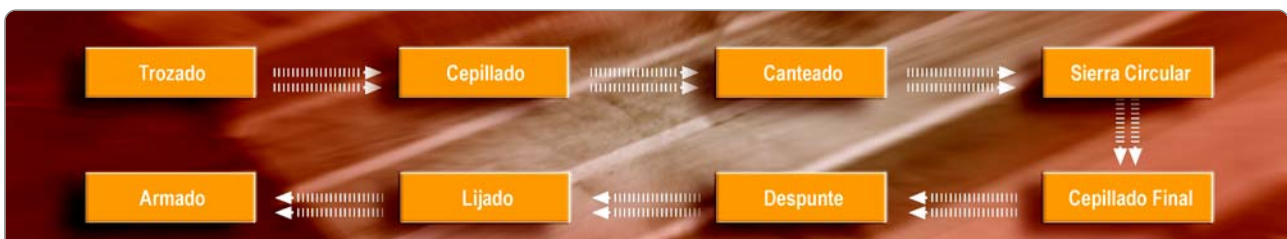


Figura 92. Proceso de producción cubierta de mesa.



Figura 93. Proceso de trozado de la madera.



Figura 94. Pérdida de madera.

Capítulo 3
Productos Elaborados



Figura 95. Proceso de canteado.

reutilizada para la confección de una silla u otro mueble de menor tamaño, así como también en la confección de jardineras.

El tiempo de cepillado para uniformar el espesor de las piezas fue de 17 minutos, el tiempo de canteado fue de 6,5 minutos (Figura 95), el tiempo para generar el ancho con la sierra circular fue de 6,6 minutos, el tiempo de cambio de sierra fue de 2,2 minutos, el tiempo en que se aproxima al espesor con la misma sierra fue de 11,4 minutos.



Figura 96. Vista de final del proceso de fresado.

Para generar la cubierta de la mesa se tomaron 15 piezas las que tuvieron un espesor de 20 mm, un ancho entre 70 y 80 mm; y un largo de 950 mm. El tiempo de cepillado final tuvo una



Figura 97. Proceso de producción piezas de la base de la mesa.



Figura 98. Proceso de producción de patas de la mesa.

Cuadro 63. Estructura de costos asociada a la elaboración de muebles estilo terraza.

Item	Costo por tipo de mueble (\$)						
	Silla	Mesa cuadrada	Piso	Banqueta	Jardinera	Macetero chico	Macetero grande
Materia prima	561	2.006	459	1.037	323	87	106
Aserrío	264	944	216	488	152	41	50
Secado	792	2.832	648	1.464	456	122	150
Reaserrío	231	826	189	427	133	36	44
Cepillado	198	708	162	366	114	31	38
Materiales	370	1.322	302	683	213	57	70
Armado y terminaciones	1.316	2.000	714	862	250	222	303
COSTO TOTAL	3.731	10.638	2.691	5.327	1.641	596	761
Precio de venta estimado	4.851	13.829	3.498	6.925	2.133	774	989

duración de 6,7 minutos mientras que el tiempo de despunte se elevó a 4,5 minutos. Después de este proceso las 15 piezas quedaron con un espesor de 16 mm, un ancho entre 70 y 80 mm; y un largo entre 880 y 900 mm; generando un volumen de 0,017 m³ lo que equivale a 0,73 pulgadas madereras.

El tiempo de lijado para dar curva a las piezas de madera que se encuentran ubicadas en los extremos de la mesa tuvo una duración de 4,4 minutos; proceso que se realizó mediante una sierra huincha trifásica. Asimismo, el tiempo de fresado tuvo una duración de 8,25 minutos (Figura 96).

Con respecto a las dos piezas que conforman la base de la mesa que se obtuvieron de madera del rechazo inicial (Figura 97), tuvieron un espesor de 18 mm, un ancho de 20 mm y un largo de 880 mm; generando un volumen de 0,001 m³ que equivale a 0,03 pulgadas madereras.

El tiempo de armado de la cubierta de la mesa tuvo una duración de 23,9 minutos; y se utilizaron 27 tornillos por lado para fijar la cubierta.

Se tuvo que realizar nuevamente una pieza de madera de 18 mm de espesor, 20 mm de ancho y 880 mm de largo, generando un volumen de 0,0003 m³ lo que equivale a 0,01 pulgadas madereras.

Las 4 piezas que conforman las patas de la mesa tienen un espesor de 18 mm, un ancho de 70 mm y un largo de 100 mm, que genera un volumen de 0,001 m³ que equivale a 0,02 pulgadas madereras (Figura 98). El tiempo de trozado tuvo una duración de 0,5 minutos; el proceso de cepillado tuvo una duración de 2,8 minutos; el proceso de canteado tuvo una duración de 2 minutos; el paso por la sierra circular para dar el ancho tuvo una duración de 4,1 minutos; el tiempo de cepillado final tuvo una duración de 4,2 minutos; el tiempo de despunte tuvo una duración de 0,2 minutos; y por último el paso por la sierra, el lijado y las perforaciones tuvo una duración de 15,6 minutos más un tiempo adicional de demora de desconexión eléctrica que tuvo una duración de 23 minutos.

En base a estos antecedentes, y los registrados para el resto de los muebles confeccionados, se elaboraron fichas técnicas con las principales variables de interés asociadas al proceso de fabricación de muebles terraza (ver las páginas siguientes).

En términos de costos asociados al proceso de fabricación de estos muebles, se tiene la estructura de costo y precio de venta estimado para cada uno de ellos indicada en el Cuadro 63. Para la estimación de los costos se ha utilizado como valores de referencia la adquisición de la materia prima madera de roble en

trozas a 18.700 \$/m³ JAS y el valor de una jornada de trabajo a 5.000 \$/jornada. Para los servicios previos a la elaboración se ha utilizado los estándares existentes en el mercado para madera de este tipo, esto es el secado en 1.200 \$/pulgada maderera, el aserrió en 400 \$/pulgada maderera, el cepillado en 300 \$/pulgada maderera y el reaserrió (trozado y dimensionado) en 350 \$/pulgada maderera. Para la estimación del precio de venta se ha asumido una utilidad para la fabricación del 30% por sobre los costos.

Sin duda que los precios de venta estimados hacen a estos productos altamente competitivos en comparación con los que actualmente es posible encontrar en las grandes cadenas distribuidoras, sobre todo en relación a su calidad y el material de que están contruidos, ya que en el mercado la mayoría de los muebles terraza que existen se fabrican en buena parte de metal y, cuando presentan madera, esta es principalmente de maderas blandas, como el Pino radiata.

Los antecedentes obtenidos en este ensayo permiten asegurar que existen opciones de aprovechamiento de la madera aserrada de renovales nativos que permiten darle a esta materia prima un alto valor agregado a partir de un equipamiento básico de bajo costo generando productos competitivos en la medida que las terminaciones sean de calidad.

Lo anterior implica que pequeñas y medianas empresas pueden involucrarse en esta alternativa productiva con bajas inversiones y en la medida que la materia prima esté disponible es factible incorporarse al mercado nacional que en la actualidad importa este tipo de muebles a precios muy superiores a los que se puede lograr con la producción nacional basada en renovales nativos.

Finalmente, como en la mayoría de las industrias nuevas, la agrupación de productores con un objetivo común permitirán a mediano y largo plazo incursionar en mercados más sofisticados en términos de normas de calidad, volúmenes demandados y plazos de entrega para materializar eventuales exportaciones, con la consecuente mejora de rentabilidad para los productores.

- Escuadrías : Espesor de 16 a 18 mm; ancho de 20 a 80 mm; largo de 100 a 900 mm
- Número de piezas : 25
- Volumen inicial de madera : 2,36 pulgadas madereras
- Volumen final de madera : 0,76 pulgadas madereras
- Aprovechamiento : 32,2 %
- Tiempo : 2,5 horas
- Rendimiento : 2 a 3 mesas/jornada

Ficha Técnica Mesa Cuadrada



Figura 99a.
Vista frontal mesa cuadrada terminada.



Figura 99b.
Vista posterior mesa cuadrada terminada.

Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Número de piezas	Volumen (m³)
16	80	900	13	0,0150
16	70	880	2	0,0020
18	20	880	1	0,0003
18	20	880	2	0,0006
18	70	100	4	0,0005
18	70	495	1	0,0006
18	50	420	1	0,0004
		415	1	
Total			25	0,0194

- Escuadrías : Espesor de 10 a 18 mm; ancho de 35 a 60 mm; largo de 340 a 850 mm
- Número de piezas : 20
- Volumen inicial de madera : 0,66 pulgadas madereras
- Volumen final de madera : 0,30 pulgadas madereras
- Aprovechamiento : 45,2 %
- Tiempo : 1,8 horas
- Rendimiento : 3,8 sillas/jornada

Ficha Técnica Silla



Figura 100a.
Vista frontal silla terminada.



Figura 100b.
Vista posterior silla terminada.

Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Número de piezas	Volumen (m³)
10	65	410	9	0,002
20	40	850	2	0,001
20	40	430	2	0,001
18	35	340	3	0,001
18	60	340	4	0,001
Total			20	0,007

- Escuadrías : Espesor de 10 a 40 mm; ancho de 40 a 64 mm; largo de 300 a 440 mm
- Número de piezas : 17
- Volumen inicial de madera : 0,54 pulgadas madereras
- Volumen final de madera : 0,26 pulgadas madereras
- Aprovechamiento : 48,3 %
- Tiempo : 1 hora
- Rendimiento : 7 pisos/jornada

Ficha Técnica Piso



Figura 101a.
Vista frontal piso terminado.



Figura 101b.
Vista lateral piso terminado.

Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Número de piezas	Volumen (m ³)
10	65	400	6	0,002
40	40	440	4	0,003
20	40	300	2	0,000
20	40	320	1	0,000
20	60	300	4	0,001
Total			17	0,007

- Escuadrías : Espesor de 15 a 35 mm; ancho de 35 a 60 mm; largo de 310 a 860 mm
- Número de piezas : 18
- Volumen inicial de madera : 1,22 pulgadas madereras
- Volumen final de madera : 0,47 pulgadas madereras
- Aprovechamiento : 38,5 %
- Tiempo : 1,2 horas
- Rendimiento : 5,8 banquetas/jornada

Ficha Técnica Banqueta



Figura 102a.
Vista frontal banqueta terminada.



Figura 102b.
Vista lateral banqueta terminada.

Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Número de piezas	Volumen (m ³)
15	60	860	6	0,005
35	35	430	4	0,002
20	60	310	3	0,001
20	40	310	2	0,000
20	40	745	1	0,001
20	60	720	2	0,002
Total			18	0,011

<ul style="list-style-type: none"> ○ Macetero Chico ○ Escuadrías : Espesor 15 mm; ancho 60 mm; largo 180 mm ○ Número de piezas : 8 ○ Volumen inicial de madera : 0,102 pulgadas madereras ○ Volumen final de madera : 0,056 pulgadas madereras ○ Aprovechamiento : 55,1 % ○ Tiempo : 0,35 horas ○ Rendimiento : 20 a 25 maceteros/jornada 					<ul style="list-style-type: none"> ○ Macetero Grande ○ Escuadrías : Espesor 15 mm; ancho 70 mm; largo 180 mm ○ Número de piezas : 8 ○ Volumen inicial de madera : 0,125 pulgadas madereras ○ Volumen final de madera : 0,065 pulgadas madereras ○ Aprovechamiento : 52 % ○ Tiempo : 0,40 horas ○ Rendimiento : 15 a 18 maceteros/jornada 					Ficha Técnica Maceteros Octogonales
										
Macetero Chico					Macetero Grande					
Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Número de piezas	Volumen (m³)	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Número de piezas	Volumen (m³)	
15	60	180	8	0,0013	15	70	180	8	0,0015	

Figura 103.
Vista frontal maceteros terminados

<ul style="list-style-type: none"> ○ Escuadrías : Espesor 15 mm; ancho 200 mm; largo 150 a 610 mm ○ Número de piezas : 4 ○ Volumen inicial de madera : 0,38 pulgadas madereras ○ Volumen final de madera : 0,20 pulgadas madereras ○ Aprovechamiento : 53 % ○ Tiempo : 0,35 horas ○ Rendimiento : 20 jardineras/jornada 					Ficha Técnica Jardinera
					
					
Espesor (mm)	Ancho (mm)	Largo (mm)	Número de piezas	Volumen (m³)	
15	20	610	4	0,00073	

Figura 104a.
Vista frontal jardinera terminada.

Figura 104b.
Vista lateral jardinera terminada.

Capítulo 4 TRATAMIENTOS DE LA MADERA

Para aspirar a aumentar el valor agregado de la madera en general y en especial la proveniente de bosque nativo, se hace necesario incorporar como parte de su procesamiento, algunos tratamientos que aumenten significativamente su durabilidad. Esto es más relevante aún, si se trata de madera proveniente de bosques nativos de segundo crecimiento, cuyas características físicas son distintas a la de bosques adultos.

Una de las grandes desventajas que posee la madera de renovales nativos es la “dificultad” para el secado, lo que implica un aumento de costos de elaboración y con ello, en muchos casos, su baja competitividad, en términos de precio, con las alternativas existentes, esto es el Pino radiata. Si consideramos que, en general, secar madera de Pino radiata demora de 2 a 3 días con un costo asociado de 200-300 \$/pulgada pinera y si esto se compara con los 26 días que implica el secado de madera nativa adulta (por ejemplo lenga) con un costo asociado de 1.200-1.500 \$/pulgada maderera, se está en presencia de una desventaja relativa, en cuanto a costos. Aunque obviamente la calidad de la madera es absolutamente distinta en ambos casos, también es evidente que la madera nativa seca no puede constituirse en un producto de uso masivo, sino más bien focalizarse hacia algunos nichos de mercado, en especial en el ámbito internacional.

El caso de la madera proveniente de renovales varía en forma substancial de lo reconocido normalmente como “madera nativa” ya que sus características y velocidad de crecimiento son ciertamente distintas a la madera adulta. Asimismo, la mayor y mejor disponibilidad de este tipo de madera y las condiciones físicas más homogéneas de la misma, permiten suponer una

reducción de tiempo y por consiguiente de costos en los tratamientos de secado, lo que queda refrendado en los análisis descritos en esta publicación, con la consecuente mejora de competitividad de esta madera en relación a la madera seca de pino radiata.

Apuntando hacia la obtención de nuevas alternativas de producción para madera de renovales de bajas dimensiones, se han realizado distintos ensayos para evaluar la factibilidad técnica y económica de impregnar madera nativa, en particular de aquella proveniente de renovales y a la forma de polines y/o tutores, con resultados bastante auspiciosos en la componente técnica.

En este contexto, el presente capítulo de este documento describe algunas experiencias en la temática de secado de madera de renovales, de impregnación de polines y tutores y adicionalmente presenta antecedentes relacionados con un ensayo realizado con un nuevo preservante ignífugo desarrollado en el país y disponible en la actualidad para el tratamiento de madera de Pino radiata.

Independientemente de los resultados puntuales obtenidos en cada una de las experiencias que se presentan, lo relevante, desde la perspectiva del desarrollo del subsector bosque nativo en el país, es continuar sistemáticamente avanzando en la generación de conocimientos relacionados con éstos u otros tratamientos de la madera que permitan a futuro contar con diferentes opciones de aprovechamiento y aplicación de un mayor valor agregado a los productos resultantes de las intervenciones silvícolas del bosque natural bajo criterios de sustentabilidad.

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera

4.1 Secado.

La madera es un tejido vivo no inerte, cuyo equilibrio está ligado a las funciones vitales del árbol. Por lo tanto, su degradación comienza con la tala del mismo. Desde este momento se hace necesario un nuevo equilibrio con el medio, de manera que se pueda obtener un producto útil y duradero. De este modo, la calidad, duración y propiedades de los productos elaborados con madera, estarán en relación directa al proceso de secado a que se someta la misma (www.elmaky.com/ingenieria/temas/contemas.php?con=secado).

Por secado de la madera se entiende, en forma general, el proceso de eliminación del agua en exceso del material recién cortado, que se aplica con el propósito de optimizar su posterior procesamiento y transporte para usos específicos (Viscarra, 1998).

Algunas de las principales ventajas del secado de la madera son las siguientes (www.lsuagcenter.com/Communications/pdfs_bak/pub2642span.pdf):

- El secado reduce la probabilidad de infestación de insectos, la aparición de moho y manchas y el deterioro durante el almacenamiento y uso de la madera. Los hongos y las termitas no pueden crecer en maderas cuyo contenido de humedad es inferior a 20%. Existe bibliografía que estima el porcentaje de defectos como consecuencia del secado a la intemperie en un 12 al 15%, este porcentaje se reduce del 4 al 7% en el proceso de secado artificial (www.mercoopsur.com.ar/forestales/notas/secadotecnicomadera.htm).

- El secado reduce el peso y aumenta la mayoría de las propiedades de resistencia de la madera.
- Sólo la madera relativamente seca se puede encolar, someter a acabado, labrar y tratar con químicos con buenos resultados.

En nuestro país el promedio de volumen de madera de *Pinus radiata* secada se encuentra alrededor del 50%. En el caso particular de Aserraderos Arauco S.A., es de un 62%, con proyecciones de alcanzar en un corto plazo un 85%. Esto, explicado por las exigencias de los mercados nacionales como internacionales, donde existen distintos requerimientos de calidad dependiendo de los nichos de mercado específicos. Por ejemplo, para el mercado americano (puertas, molduras y muebles) la humedad final es de 8% a 9% promedio, con peak de 15%. Sin embargo para el mercado nacional, el promedio es entre 10 a 12%, con peak de 18% (Pezo, 2002).

La capacidad instalada total de secado en la Región del Bío-Bío en 1999, alcanzaba a 19.034 m³ distribuidos en 220 cámaras en un total de 59 empresas. Las capacidades instaladas dependiendo del tamaño de la empresa, se encontraban en el rango de 16 a 180 m³. El volumen anual alcanzó un total de 1.459.550 m³ de madera seca, distribuidos en los distintos tipos de secado (Cuadro 64). En términos del tamaño de las empresas existían el mismo año un total de 30 empresas pequeñas, 15 medianas y 14 grandes con un total de 60, 53 y 107 cámaras respectivamente (Cuadro 65) (INFOR, 1999).

Cuadro 64. Producción anual de madera seca, a través de los distintos procesos.

Tecnología	Número de Empresas	Número de cámaras	Capacidad instalada (m ³)	Producción anual (m ³)
Convencional	45	157	13.259	785.925
Acelerado	14	57	5.475	610.700
Alta Temperatura	3	3	205	60.080
Deshumidificación	1	1	20	145
Aire caliente	1	2	75	2.700
Total	59	220	19.034	1.459.550

Fuente: INFOR, 1999.

Cuadro 65. Empresas por tamaño y capacidad instalada en la VIII región.

Tamaño Empresa	Nº Empresas	Nº cámaras	Capacidad Instalada	Prod. anual	CH final(%)
Pequeña	30	60	3.279	116.449	8 – 25
Mediana	15	53	4.205	221.101	8 – 20
Grande	14	107	11.550	1.122.000	8 – 12
Total	59	220	19.034	1.459.550	

Empresa pequeña : Con una producción menor a 8.000 m³/año

Empresas grandes : Con una producción superior a 20.000 m³/año.

Empresa mediana : Con una producción entre 8.000 y 20.000 m³/año

Fuente: INFOR, 1999.

Hoy en día, la tendencia indica que aumentará el porcentaje de madera sometidas a secado artificial (Pezo, 2002), pues este proceso ha dejado de ser una necesidad y se ha convertido en una obligación. Cada día disminuye la demanda nacional e internacional por madera verde y se prefiere la seca (Molinari, 2002; Bano, 2002) y cada compañía relacionada con la madera tiende a contar con una o más cámaras de secado dentro de su proceso productivo (Ortiz, 2002). En cuanto a las tecnologías, vienen las optimizaciones que conducen a mejor control, ahorros energéticos térmicos y eléctricos, mayor productividad y calidad (Pezo, 2002).

Los métodos de secado de la madera pueden ser natural, artificial o mixto. El secado artificial de la madera se realiza principalmente a través de cámaras de calor con temperaturas promedio de 70°C (Figura 105), cuya energía es proporcionada por una caldera a vapor que es alimentada por residuos del propio aserradero (aserrín y viruta seca). Existe además el sistema de secado al vacío, que técnicamente es más eficiente ya que no genera fisuras ni deformaciones en la madera, sin cambios de calor; sin tensiones interiores; no cambia la robustez del material secado, permite secar material muy húmedo y de gran finura.

El secado natural consiste en exponer la madera a la acción de factores climáticos del lugar como temperatura, humedad relativa y el aire en permanente movimiento, es decir el secado natural depende de cambios climáticos, características de espacio, forma de apilado y disposición del patio de secado (Figura 106).

En el secado mixto se tiene la madera al aire hasta cerca del punto de saturación de las fibras y se completa el proceso en un horno.

El método a emplear depende de numerosos factores tales como la especie, el tamaño del material, la tasa relativa de secado y la degradación o daño permisible (Viscarra, 1998).

Para cualquiera de los métodos que se utilice la velocidad de secado dependerá de la temperatura, la especie, la dirección de la fibra y el contenido de humedad.

Independientemente del esquema de secado, el proceso de secado artificial se divide en las siguientes fases (Carrillo, 2004):

1. Calentamiento:

Es la fase donde se hace un calentamiento general (cámara, separadores y madera) partiendo de la temperatura ambiente hasta unos 5 grados debajo de la temperatura inicial de la fase de secado. En esta fase se requiere también un contenido de humedad de equilibrio (CHE) igual o superior al de la primera etapa de la fase de secado.



Figura 105. Secado artificial en cámara.



Figura 106. Secado natural al aire libre.

2. Secado:

Esta fase puede dividirse en dos o más etapas, dependiendo del equipo de control que se disponga, lógicamente entre más etapas hayan disponibles mejor será el proceso de control y por ende se puede garantizar la calidad del secado.

3. Igualación:

No todos los equipos de control cuentan con esta fase, pero la misma es muy útil para homogenizar el contenido de humedad final de la carga.

4. Acondicionamiento:

Esta fase se utiliza para recuperar las tensiones de secado de tal manera que la madera salga seca y libre de tensiones.

5. Enfriamiento:

Esta fase es la "última" en un proceso de secado y a la inversa del calentamiento se requiere llegar a una temperatura cercana a la temperatura ambiente, a fin de que la madera no sufra por un cambio de clima cuando es extraída de la cámara.

6. Acondicionamiento posterior:

Algunos equipos de control cuentan con esta fase en la eventualidad de que después del enfriamiento se requiera liberar algunas tensiones.

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera

7. Genérica:

Solamente equipos de control modernos cuentan con esta fase donde se puede programar cualquier fase extra que se requiera.

Los hornos convencionales para el secado artificial son cámaras o compartimientos cerrados, dotados de ventiladores que dan lugar a una circulación forzada del aire dentro de la cámara; tienen también un sistema de calentamiento controlado que permite elevar la temperatura del horno y dispositivos regulables para conseguir la variación deseada de la humedad relativa en el ambiente interior del horno (Viscarra, 1998).

Un horno para secar madera, debe tener un buen aislamiento térmico, ser de construcción hermética, fabricarse de materiales resistentes a la corrosión y elevadas temperaturas y disponer de puertas de fácil manejo y cierre hermético. El secado convencional se verifica a temperaturas entre 40 y 100 °C y se diferencia del secado a alta temperatura porque éste opera por encima de 100 °C.

Los pasos a seguir para una operación normal de secado en hornos se inician con la selección de la madera y prosiguen con el apilado o armado de la carga para el horno, la toma de muestras para control de la humedad durante el secado, la selección del horario o programa para la especie en cuestión, el control del contenido de humedad, la aplicación de tratamientos de igualado y acondicionamiento, y pruebas finales de control del contenido de humedad, distribución y tensiones de la madera (Viscarra, 1998).

Los defectos en la madera como consecuencia del procesos de secado se producen principalmente por una inadecuada aplicación del programa de secado, en particular en el manejo de la humedad, la temperatura y el tiempo de cada etapa, se pueden producir diferentes defectos en las piezas de madera, entre los que se cuentan (Figura 107):

- Grietas superficiales
- Grietas internas
- Acebolladuras
- Rajaduras
- Colapso
- Defectos causados por hongos e insectos
- Torceduras: el término "torceduras" generalmente se considera en alguno de los siguientes casos.
 - a. Acanaladura o abarquillado, que es la tendencia de

algunas tablas de corte plano a desarrollar una curvatura a lo ancho de la pieza.

- b. Combadura o arqueado, cuando la curvatura se encuentra a lo largo de la cara de la tabla.
- c. Encorvadura, que es la curvatura del lado o canto de una tabla.
- d. Revirado, es la distorsión en el largo de la pieza.

Con respecto al secado de especies nativas se sostiene que la madera de renovales de Raulí y Roble puede secarse satisfactoriamente bajo un mismo programa de secado artificial, empleando temperaturas convencionales con un precalentamiento en ambiente saturado a 80 °C. La duración del secado de la madera de 25 mm es de alrededor de 8 a 10 días; mientras que el tiempo de secado de madera de 50 mm depende del grado de duraminización, variando entre 12 y 37 días. El costo del secado artificial de la madera de estos renovales asciende en promedio a los 37 US\$/m³. Si se aplica un secado natural para estas mismas maderas, considerando un espesor de 25 mm, durante la época de verano y en la zona de Concepción, en 30 días la madera alcanza un contenido de humedad un poco superior al contenido de humedad de equilibrio. Las velocidades de secado son bastante parecidas. El promedio de velocidad de secado de la madera de renovales de Raulí y Roble es del rango de 2,5 a 3,0% por día en verano y en invierno alrededor del 0,9 a 1,0% por día. También se tienen antecedentes que Coihue seca a una velocidad de 1,0% al día.

Para estas mismas especies, según antecedentes proporcionados por Seguel ⁽²⁾ (2003) de la empresa Jorge Schüffenegger que presta el servicio de secado de maderas nativas a pequeñas y medianas mueblerías de la ciudad de Concepción, con tres años de experiencia en el tema, se tiene que la madera ingresa a un horno secador de inyección a petróleo, con una capacidad máxima de 1.800 pulgadas, con una humedad aproximada de 70 a 80% y terminado el proceso se obtiene un contenido de humedad del orden del 12%. El proceso dura entre 20 y 25 días para Roble y Raulí, dependiendo de las escuadrías y contenido de humedad inicial y del orden de 40 días para Coihue. El espesor máximo permitido para el proceso es de 2 pulgadas. El valor del servicio oscila entre 1.000 y 1.200 \$/pulgada maderera.

Como antecedente referencial, el valor del servicio de secado para *Pinus radiata* oscila entre 18 y 22 US\$/m³, lo que

(2) Pedro Seguel, Administrador Empresa Jorge Schüffenegger. Comunicación personal.

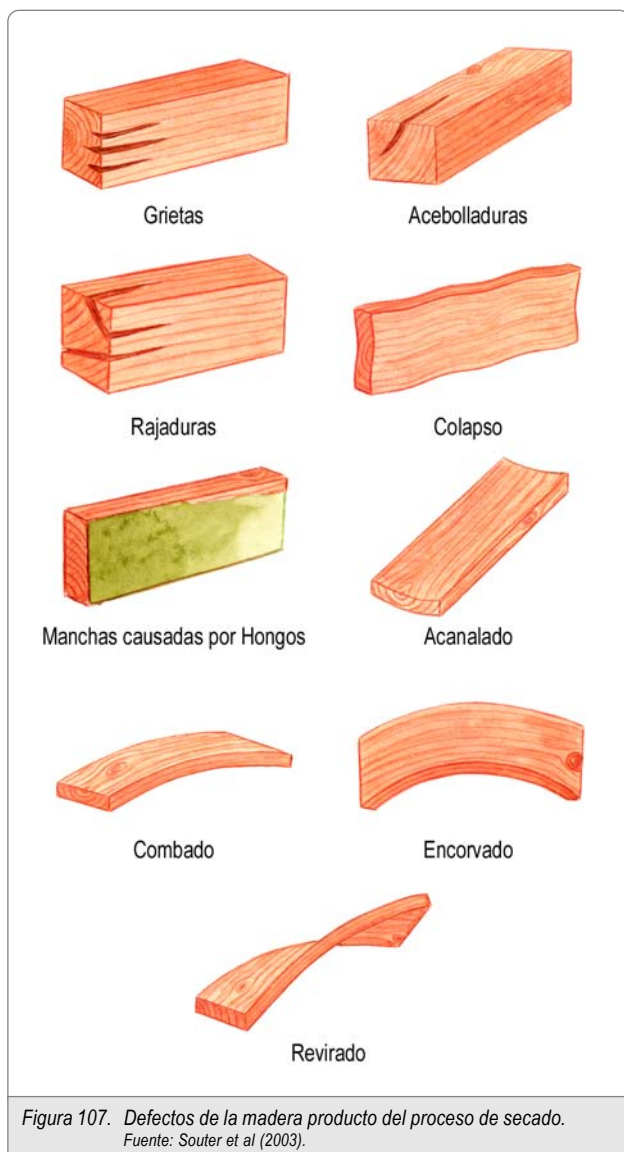


Figura 107. Defectos de la madera producto del proceso de secado.
 Fuente: Souter et al (2003).

corresponde a 240 a 290 \$/pulgada pinera, considerando un tiempo de secado entre 48 y 100 horas según el espesor de la madera.

Para el caso del secado de madera de la especie Lengua (*Nothofagus pumilio*) duraminizada, de 25 a 50 mm de espesor, utilizando un horno convencional de 80 m³, se plantea que para obtener buenos resultados no debería secarse madera cortada en un tiempo superior a tres meses (madera fresca). Además, en el castillo de madera que se deposita en el horno deben ir separadores de 1,5 a 3,0 cm de espesor entre bandejas. La distancia entre separadores debe ser de 50 cm y sobre el castillo se debe

colocar una bandeja de madera de mala calidad y arriba un peso homogéneo (concreto, piedras, etc.). En cuanto al tiempo de secado se estima que este debería ser de 20 días para la madera de 25 mm y de 28 días para la madera de 50 mm.

En cuanto al esquema de secado la madera se debe saturar (vaporizador) durante los primeros 4 días, periodo en el cual la temperatura de la cámara parte en 50°C (día 1) y terminar en 60°C (día 4). El día 5 la temperatura se eleva de 60°C a 80°C y se mantiene por 20 días, con una diferencia de temperatura entre bulbo seco y húmedo de 10°C. El día 18 se abren ventilaciones 3 a 4 veces al día por 15 minutos cada vez. El día 20 el contenido de humedad debería estar alrededor del 18% para el caso de la madera de 50 mm. Del día 20 al 28 se mantiene la temperatura máxima (80°C) y se abren las ventilaciones cada 2 a 3 horas por 15 minutos cada vez (las 24 horas del día). El día 28 el contenido de humedad es de 10 a 12% para la madera de 50 mm de espesor.

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

4.1.1 Ensayos de secado de madera de Roble y Raulí.

Producto de ensayos de aserrío realizados con madera de renovales del Tipo Forestal Roble Raulí Coihue en la Región del Bío-Bío en el año 2003, se generó un volumen de madera aserrada de aproximadamente 150 pulgadas madereras, que debían ser procesadas y elaboradas para desarrollar productos de mayor valor agregado. Esta madera fue la base para desarrollar ensayos de diferentes protocolos para optimizar el tiempo que demora el secado y las características resultantes de cada protocolo probado. Debido a que la madera obtenida tiene dimensiones diferentes, se requería ensayos específicos de acuerdo a espesor y dimensiones en general, por lo cuál se hizo necesario probar distintos tiempos y procesos de secado. Sin estas pruebas era imposible derribar los mitos, que la mayoría de los industriales tiene, de que el secado es difícil, demora tiempos prolongados y por lo tanto resulta demasiado caro para sus propósitos.

4.1.1.1 Prueba operacional de secado.

La primera experiencia desarrollada tiene que ver con un ensayo de secado de madera aserrada nativa en la empresa Embalajes Standar S.A., el que incluyó una carga operacional del programa

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera

Cuadro 66. Número de piezas, volumen y escuadría, según especie.						
Escuadrías (pulgadas)	Roble			Raulí		
	Número de piezas	Volumen		Número de piezas	Volumen	
		(pm)	(m ³)		(pm)	(m ³)
½ x 4	28	3,8	0,089	18	2,5	0,058
1 x 2	11	1,5	0,034	3	0,4	0,008
1 x 3	21	4,4	0,102	15	3,0	0,070
1 x 4	43	11,8	0,274	13	3,6	0,084
1 x 5	2	0,7	0,016	1	0,4	0,008
1 x 6	20	8,2	0,189	7	2,7	0,063
2 x 3	5	2,1	0,049	0	0,0	0,000
2 x 4	12	6,4	0,149	12	6,7	0,155
2 x 6	33	27,1	0,629	8	6,7	0,155
3 x 3	2	1,3	0,029	0	0,0	0,000
3 x 4	7	5,9	0,136	3	2,1	0,049
Total	181	73,0	1,693	78	27,9	0,650

(pm): pulgadas madereras.

de secado de madera de *Pinus radiata* de 4 pulgadas de ancho por 4 pulgadas de espesor y 2,5 metros de longitud que utiliza la empresa (Cuadro 66) (Figura 108).

El programa de secado utilizado consideró una duración de 6 días, para obtener madera con un contenido de humedad del 12%. El detalle de las etapas es el siguiente:

1. Etapa de calentamiento: tiene una duración de 48 horas, con una diferencia sicrométrica de 10 °C, lo que permite mantener una humedad de equilibrio (12%). Al final de esta etapa la temperatura de la madera debe alcanzar los 65 °C.
2. Etapa de secado: tuvo una duración de 96 horas, en la cual se debe mantener una diferencia sicrométrica de 20 °C. La temperatura de bulbo seco debe estar entre 80 y 90 °C y la de bulbo húmedo entre 60 y 70 °C. El flujo de aire se mantuvo a una velocidad de 1,8 m/seg, utilizando los 8 ventiladores de 800 mm de diámetro con que contaba la cámara.
3. En la etapa de acondicionamiento: con una duración de 18 horas, hasta que la diferencia entre la temperatura de la madera y la temperatura ambiente no superara los 20 °C.
4. Etapa de enfriamiento: fuera de la cámara y por un periodo de 24 horas.

La madera de Roble y Raulí fue empalillada por escuadrías, con una escuadría mínima de 1 pulgada, lo que implicó que aquella madera de espesor inferior a 1 pulgada fue empalillada doble (Figura 109).

La carga de madera se secó en dos ciclos, con un total de 324

horas (aproximadamente 14 días), dado que al terminar la etapa de acondicionamiento del primer ciclo se constató que su humedad superaba el 30%, siendo puesta inmediatamente en la etapa de calentamiento del ciclo siguiente, junto a una nueva carga de madera verde de *Pinus radiata*.

El resultado final es una madera de apariencia seca (12%) para las escuadrías iguales o inferiores a 1 pulgada y muy próxima a seca (18%) para las escuadrías de 2 y 3 pulgadas. Como defectos externos del secado se verifica la existencia de grietas, terminales y medias, y algunas rajaduras, no detectándose preliminarmente ningún tipo de alabeo, más allá de lo permitido para este proceso al compararlo directamente con los requerimientos para la madera de *Pinus radiata*. La magnitud exacta de los defectos y el número de piezas dañadas no se ha verificado de manera exhaustiva, pero no supera el 25% del total de piezas, afectando principalmente a la madera de mayor espesor. Existe la probabilidad de que las grietas terminales hayan existido antes del proceso de secado, derivado de trozas con desplazamiento de médula, como se verificó en una prueba paralela de debobinado.

De acuerdo a la experiencia del encargado del proceso, la madera de Roble y Raulí, con las características mencionadas, esto es principalmente madera de albura, debería someterse a un proceso de secado en el que la etapa de calentamiento durará entre 72 y 96 horas, la etapa de secado de 120 a 144 horas, la etapa de acondicionamiento de 24 a 36 horas y la etapa de enfriamiento de 48 horas. En resumen, un programa de secado similar en cuanto a temperaturas y diferencia sicrométrica que el empleado, pero extendido a 14 días aproximadamente. Recomienda trabajar con un flujo de aire menor, que en el caso de las cámaras de secado de la empresa, lo que se lograría disminuyendo los ventiladores a la mitad de lo usado en el ensayo.



Figura 108. Materia prima utilizada para el ensayo de secado.

Los antecedentes preliminares obtenidos permiten diseñar un programa de secado tentativo para la madera de albura de Roble y Raulí, con escuadrías que no superen las 3 pulgadas de espesor, el cual deberá ser implementado a modo de ensayo con el método de verificación de probetas, a fin de ajustarlo a su operación práctica.

Esta información fue utilizada como antecedente básico para la elaboración de las pruebas de secado siguientes.

4.1.1.2 Ensayo laboratorio secado Universidad del Bío-Bío, madera de 12 y 14 mm de espesor.

Para efectuar este ensayo se utilizó un secador experimental a escala de laboratorio de la Universidad del Bío-Bío. Este secador tiene una capacidad de carga de 2,5 m³ de madera de 40 mm de espesor por 4,0 m de largo y un separador de 22 mm. Se alimenta térmicamente con vapor, posee 4 ventiladores axiales con velocidad variable a través de un variador de frecuencia, posee una pileta de vaporizado y un sistema de control automático marca MUHLBÖCK.

La planta de secado se alimenta con vapor proveniente de una caldera automática operada con petróleo, garantizando una independencia operacional de toda la planta.

La madera correspondió a piezas de 12 y 14 mm de espesor, con ancho variable entre 140 a 230 mm aproximadamente, y longitud de 2,44 metros (Figura 110). Se considera secado y vaporizado.

El ensayo se realizó para una carga de madera aproximada a 0,9 m³. Las dimensiones de la carga sobre el carro fue de 0,9 m de alto por 1,0 m de ancho y 2,44 m de largo, con separadores de 20 mm y madera de 14 mm de espesor. El contenido de humedad inicial se determinó a partir de 3 probetas obtenidas de las piezas de madera disponibles elegidas al azar. La humedad inicial se determinó a través del método gravimétrico según Nch



Figura 109. Madera de Raulí empalillada para el secado.



Figura 110. Materia prima utilizada para ensayo de secado. Raulí 12 y 14 mm de espesor.

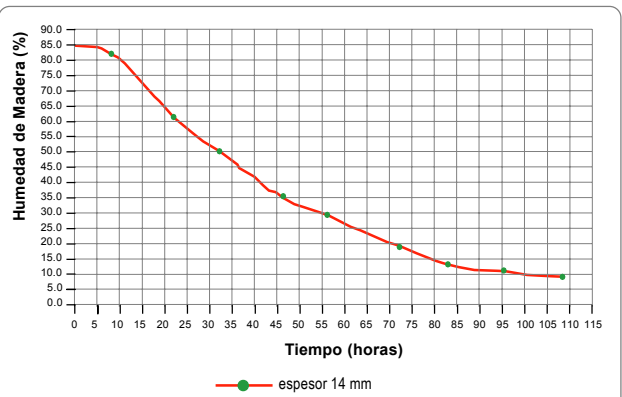


Figura 111. Curva de secado para raulí de 12 a 14 mm.

176/1. Of 84. El contenido de humedad inicial promedio de la carga fue de 85,6%.

El protocolo de secado se efectuó a través de un monitoreo diario de la carga mediante control gravimétrico de una pieza testigo, a la cual se le conocía su contenido de humedad inicial. Esto permitió conocer la evolución del contenido de humedad de la carga a través del tiempo y efectuar las modificaciones pertinentes al programa de secado aplicado. La curva de secado obtenida para este ensayo se muestra en la Figura 111.

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera

El programa de secado utilizado para la carga de 14 mm de espesor consideró una etapa de vaporizado inicial de 8 horas a 50°C para lograr homogeneizar el calor. Esta fase no fue necesario prolongarla en el tiempo o efectuarla a una temperatura mayor en virtud del bajo espesor, lográndose el objetivo deseado con las condiciones de operación aplicadas.

Las etapas de secado consideraron un inicio a temperatura no superior a 50 °C con una diferencia sicrométrica de 4 °C, lo que corresponde a una humedad de equilibrio de 14%, hasta que la madera alcanzó el 50% de contenido de humedad promedio. A partir de ese instante el programa de secado consideró un aumento gradual de la temperatura de bulbo seco y una reducción de la humedad de equilibrio del ambiente.

A partir de estos antecedentes fue posible obtener el programa de secado y los tiempos asociados a cada etapa (Cuadro 67).

Dado el reducido espesor de la madera fue posible aplicar un programa de secado de mediana intensidad para la especie con un gradiente de secado igual a 4,0. La velocidad del aire a través de la carga fue ajustada, con el variador de frecuencia, para un valor de 2,0 m/s. Asimismo, el tiempo de secado fue de 96 horas y sumando las etapas de vaporizado inicial y final el tiempo total del proceso fue de 108 horas.

Como comentarios se puede decir que las piezas secas presentaron los típicos problemas de las especies nativas de bajo espesor y anchas, esto es, su deformación; específicamente torcedura y acanaladura, situación que puede minimizarse aplicando peso sobre la carga (400 kg/m²).

El tiempo de secado de 108 horas, incluido los tratamientos de vaporizado resultó ser el adecuado para el espesor de la madera. Cabe mencionar que si se desea alcanzar una humedad final de 12 a 13%, el tiempo de secado puede ser sólo de 83 horas más el vaporizado final, como se observa en la Curva de Secado.

4.1.1.3 Ensayo laboratorio secado Universidad del Bío-Bío, madera de 30 y 57 mm de espesor.

Para efectuar este ensayo se utilizó el mismo secador experimental de la prueba anterior. La madera utilizada corresponde a piezas de 30 a 57 mm de espesor, con ancho variable de 7,5 a 15,0 pulgadas aproximadamente, y longitud de 2,5 metros (Figura 112). Se consideró el secado y vaporizado.

La prueba se realizó para una carga de madera aproximada a 1,62 m³. Las dimensiones de la carga sobre el carro fue de 0,9 m de alto por 1,0 m de ancho y 2,44 m de largo, con espesor de separador de 20 mm y madera de entre 30 y 57 mm de espesor. La humedad inicial se determinó a través del método gravimétrico según Nch 176/1. Of 84. El contenido de humedad inicial promedio de la carga de 57 mm fue de 88,0%. El contenido de humedad inicial promedio de la carga de 30 mm fue de 79,5%

El protocolo de secado se efectuó a través de un monitoreo diario de la carga mediante control gravimétrico de una pieza testigo para cada espesor, a las cuales se les conocía su contenido de humedad inicial. Esto permitió conocer la evolución del contenido de humedad de la carga a través del tiempo y, efectuar las modificaciones pertinentes al programa de secado aplicado. Con los antecedentes obtenidos fue posible elaborar la curva de secado para este ensayo (Figura 113).

El programa de secado utilizado para la carga de 30 y 57 mm de espesor consideró una etapa de vaporizado inicial de 30 horas a 60°C para lograr homogeneizar el color. En virtud de la eficiencia de la pileta de vaporizado para garantizar un ambiente saturado con vapor y el adecuado control de la temperatura del ambiente, el objetivo se logró de manera exitosa.

Las etapas de secado consideraron un inicio a temperatura no

Cuadro 67. Programa de secado para Raulí en 12 a 14 mm de espesor.

Humedad Madera (%)	Temp. Bulbo Seco (°C)	Temp. Bulbo Húmedo (°C)	Humedad Equilibrio (%)	Diferencia Sicrométrica (°C)	Tiempo Secado Horas
Vaporizado inicial verde - 50 %	50	50	-	0	8
50 - 35 %	50	46	14	4	53
35 - 25 %	53	46	11	7	14
25 - 15 %	58	46	8	12	10
15 - 6 %	60	43	6	17	10
Vaporizado final	60	38	4	22	9
		60	-	0	4
				Total	108

superior a 50 °C con una diferencia sicrométrica de 3 °C, lo que corresponde a una humedad de equilibrio de 16%, hasta que la madera alcanzó el 50% de contenido de humedad promedio. A partir de ese instante el programa de secado consideró un aumento gradual de la temperatura de bulbo seco y una reducción de la humedad de equilibrio del ambiente. Los resultados generados permitieron confeccionar el programa de secado y obtener los tiempos asociados a cada etapa del proceso (Cuadro 68).

Dado el espesor de la madera fue posible aplicar un programa de secado de intensidad suave para la especie con un gradiente de secado igual no superior a 3,0. La velocidad del aire a través de la carga fue ajustada, con el variador de frecuencia, para un valor de 2,0 m/s.

El tiempo de secado fue de 331 horas y sumando las etapas de vaporizado inicial y final el tiempo total del proceso fue de 367 horas. Los contenidos de humedad promedio alcanzados para las piezas de 30 mm fue de 8,7% y para la de 57 mm de 14,5%.

Es pertinente comentar que el secado combinado de 2 espesores de madera siempre genera problemas de sobresecamiento de las maderas delgadas con una excesiva contracción e incremento de los alabeos cuando su humedad baja del 10%. Las rajaduras

en los extremos de las maderas gruesas, especialmente en madera central es un problema recurrente en especies nativas.

El tiempo de secado de 367 horas, incluido los tratamientos de vaporizado resultó ser el adecuado para la madera de 57 mm, en tanto que la madera de 30 mm alcanzó su contenido de humedad de 12% en 280 horas, como se observa en la Curva de Secado.

El tratamiento de vaporizado inicial que permitió homogeneizar el color de la madera, permitió además remover los extraíbles de la madera y con ello reducir el tiempo de secado minimizando los alabeos.

4.1.1.4 Ensayo laboratorio secado Universidad del Bío-Bío, estabilización madera de 25 a 50 mm de espesor.

Esta prueba fue realizada en un secador al vacío de 4 m³ de capacidad, alimentado térmicamente con vapor, posee 6 ventiladores axiales, una capacidad de vacío de 90%, doble sistema de extracción de agua desde la madera y un sistema de control automático para su operación.



Figura 112. Materia prima utilizada para el ensayo y cámara de secado empleada.

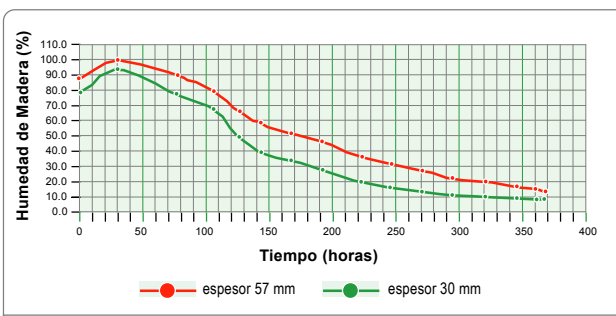


Figura 113. Curva de secado para raulí de 30 a 57 mm.

Cuadro 68. Programa de secado para Raulí en 30 a 57 mm de espesor.

Humedad Madera (%)	Temp. Bulbo Seco (°C)	Temp. Bulbo Húmedo (°C)	Humedad Equilibrio (%)	Diferencia Sicrométrica (°C)	Tiempo Secado Horas
Vaporizado inicial	60	60	-	0	30
verde - 50 %	50	47	16.0	3	76
50 - 35 %	52	47	12.9	5	62
35 - 25 %	56	47	9.3	9	79
25 - 10 %	58	44	6.8	14	114
Vaporizado final	70	70	-	0	6
				Total	367

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera



Figura 114. Materia prima para el ensayo de secado y cámara de secado utilizada.

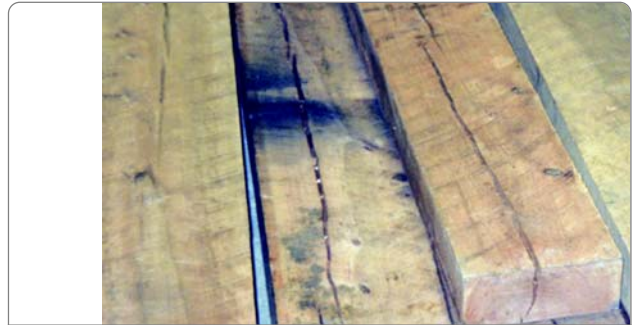


Figura 115. Presencia de grietas post secado en madera de Raulí utilizada en el ensayo.

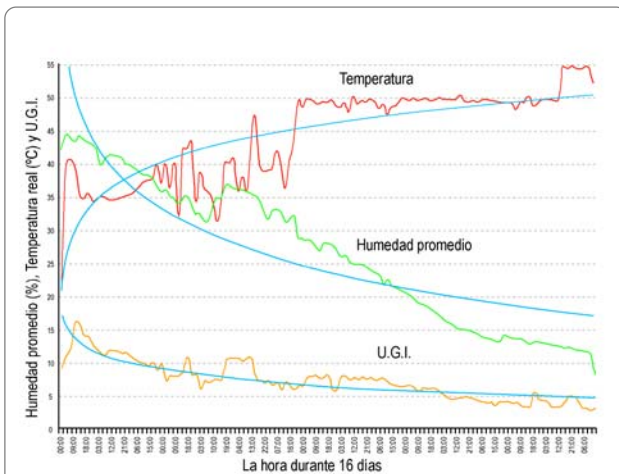


Figura 116. Resultados principales de secado artificial de Canelo.
Fuente: Schmidt, 2003.

Corresponde al secado de madera de Roble en piezas de 25 y 50 mm de espesor, con ancho de 200 mm y longitud de 1,1 metros (Figura 114). El propósito de esta prueba es la obtención de madera en condiciones óptimas para tratamientos posteriores de impregnación con sustancias ignífugas, luego se trataba sólo de reducir el contenido de humedad de la madera entre 20 y 25%. Dichas condiciones obligaban a efectuar un secado lento, del tipo acondicionamiento en cámara de clima para estabilizar la madera al contenido de humedad deseado.

En virtud de lo anterior, no fue necesario someter a la madera a un proceso de secado con seguimiento de programa, sino que sólo se limitó a someterla a condiciones fijas de secado con temperaturas entre 45 y 50 °C con humedad de equilibrio de 14% durante los primeros 18 días y de 10% en los días restantes. Este secado se realizó en un secador por vacío.

La madera fue puesta a las condiciones de secado antes mencionadas por un período de 28 días alcanzando la humedad promedio deseada de 20% en las piezas gruesas y de 16% en

las piezas delgadas. Las condiciones de secado, particularmente la humedad de equilibrio, fue regulada con presión y temperatura en el autoclave o secador por vacío.

Se puede interpretar que el secado de una especie de baja permeabilidad verde y de 75 mm de espesor con bajo gradiente de humedad es imposible de lograr en un tiempo reducido. Para lograr un secado eficiente en madera gruesa siempre se debe considerar un secado al aire de a lo menos 6 meses previo al secado artificial con el fin de evitar las grietas superficiales por acción de la contracción superficial y el alto gradiente de secado (Figura 115).

4.1.2 Ensayo de secado de madera de Canelo.

Esta experiencia fue llevada a cabo por Schmidt (2003) en el marco del Proyecto CMSBN. Los trozos de la especie de interés se obtuvieron de la intervención realizada en un bosque adulto, ralo, bien estratificado y compuesto de las especies principales Tapa, Ulmo, Olivillo y Canelo en un predio de la Región de la Araucanía, ubicado en la comuna de Carahue, distante a aproximadamente unos 11 Km del pueblo de Trovolhue. En la oportunidad se obtuvieron 21 trozos entre los diámetros 27 cm y 55 cm como valores extremos. Estos fueron transportados hacia una aserradero en la ciudad de Temuco, donde se obtuvieron a partir de cortes radial y tangencial (Shop) piezas de madera con espesor de 50 mm (2 pulgadas).

Producto de que las unidades de Canelo no eran las suficientes para abastecer la cámara de secado, estas unidades se incorporaron a la cámara de secado junto con piezas de Roble y Raulí.

El proceso de secado duró 16 días en los cuales se observaron con claridad las cuatro fases del secado, estas fueron: calentamiento, secado, acondicionamiento y finalización (Figura 116).

La particularidad del proceso de secado para Canelo resultó ser viable, puesto que los programas de secado son más conocidos para secar Roble y Raulí.

Los resultados de este proceso evidenciaron que las tablas de Canelo con un ancho de 200 mm y más ubicadas en el centro del paquete mantuvieron una humedad mayor a 36%. Las piezas superficiales se encontraban secas pero algunas presentaron grietas radiales y torceduras. Por lo tanto, el resultado del proceso de secado no fue satisfactorio. Como recomendaciones al proceso resulta que las piezas de canelo necesitan de más de 16 días y de menos temperatura para secarse de una manera artificial. Lo indicado sería contar con alrededor de 25 días para conseguir un resultado óptimo.

Con respecto a los costos asociados a esta experiencia de secado de piezas de madera de Canelo, se tiene que el servicio bordea del orden de los US\$ 2,0 por pulgada.

Como conclusiones a las pruebas realizadas se tiene que el tiempo de secado para la madera de Raulí de 14 mm fue inferior al supuesto inicialmente (6 días) en virtud a que las condiciones de secado en un equipo de laboratorio son controladas de manera más eficiente y para madera delgada, el efecto de la baja permeabilidad y los problemas de transporte interno de humedad no son determinantes en los tiempos de secado. Sólo se debe tener cuidado con los tipos de corte de las tablas por los problemas de desigualdad de contracciones que provocan excesivos alabeos.

Para el caso de la madera de 30 y 57 mm, el tiempo de secado fue ligeramente superior al estimado preliminarmente (12 días), especialmente en la madera de 57 mm, dado que la madera de 30 mm alcanzó el contenido de humedad deseado en 280 horas. El secado, por razones obvias debe ser controlado por la madera de mayor espesor y es la que determina el programa de secado a utilizar en cualquier condición. Sin perjuicio de lo anterior, la calidad del secado y el tiempo total empleado fueron satisfactorios para la calidad de la madera.

Adicionalmente, es pertinente recalcar que para estabilizar el contenido de humedad en madera gruesa, necesariamente ésta debe ser presecada al aire puesto que los altos gradientes de humedad no pueden ser minimizados en tan corto tiempo (28 días) debido a la baja permeabilidad de la madera y su elevado espesor.

Avanzar en forma sistemática en la investigación y divulgación de resultados asociados al secado de maderas nativas se transforma en una necesidad ineludible, toda vez que la demanda por madera verde es cada vez menor y paralelamente las

condiciones técnicas de trabajabilidad a partir de madera seca se multiplican y permiten obtener productos finales de mucha mejor calidad.

En este sentido, se requiere optimizar los procesos de secado artificial a fin de reducir los costos involucrados y obtener resultados técnicos adecuados, sobretodo en madera juvenil que pueda eventualmente competir en precio y calidad con Pino radiata en algunos nichos de mercado específicos.

4.2 Impregnación.

La madera posee un amplio potencial constructivo y estructural, sin embargo, también debe reconocerse su susceptibilidad al daño por parte de agentes ambientales. Los hongos y bacterias, la humedad y el sol, los insectos y en especial las termitas, afectan la duración de la madera en el tiempo. Esto ha hecho que se desarrollen productos y sistemas de preservación para prolongar la vida útil de este material.

La preservación se define como la técnica de proteger la madera mediante la aplicación de preservantes, retardadores de fuegos o ambos, contra el deterioro o destrucción causado por organismos vivos o el fuego. En tanto que la impregnación consiste en la saturación de la madera con un preservante (INN, 1976).

Dos conceptos importantes en esta temática son los de retención y penetración. La retención corresponde a la cantidad de preservante, ya sea en forma sólida o en solución, que ha sido absorbido por una unidad de volumen de madera ($\text{kg preservante/m}^3$), mientras que la penetración es la profundidad a que llega el preservante dentro de la madera (mm), (Tuset y Durán, 1971).

En Chile, este medio de protección de la madera se comenzó a utilizar en 1960, primero con creosota, que todavía se utiliza para durmientes, y luego con CCA, compuesto de cromo, para su fijación; cobre, como fungicida, y arsénico como insecticida. La madera impregnada con este producto ha sido usada para fines agrícolas, como polines para viñas, parronales y kiwis, cercos de cierres de campos, parcelas y carreteras, postes de electrificación y telefonía y, en menor cantidad, para construcción (Lignum, 2003a). Sin embargo, los compuestos del preservante CCA son de características tóxicas y, una vez aplicados, producen lixiviados que no aconsejan su uso en el interior de construcciones habitacionales y, en general, para su uso futuro, debido a las restricciones medioambientales en implementación (Lignum, 1999). Por ello en los últimos años han aparecido en el mundo productos alternativos al CCA como el CBA (cobre azole) y ACQ

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera

(compuesto cuaternario de cobre amoniacal), y en algunos países como Estados Unidos, Alemania y Suecia – se está optando por reemplazar el uso del compuesto de cobre, cromo y arsénico (Lignum, 2003). Un rol mucho más reducido lo cumple el CCB (Cobre-Cromo-Boro), que se orienta más al tratamiento de Eucalyptus y que no se impregna por vacío-presión en Chile, sino en forma más artesanal, por capilaridad. Tiene la ventaja de ser menos contaminante en el proceso de impregnación, pero tiene menor poder de fijación que el compuesto con arsénico.

Dentro de los métodos de preservación de la madera, se encuentran los métodos de preservación con presión y los de preservación sin presión (Lorca, 1997). El método más utilizado en la industria de la impregnación mediante vacío-presión es el de Bethel o proceso a célula llena. Otros que se utilizan con menor frecuencia son el proceso de célula vacía Rueping-Lowry y el procedimiento con presión, sin autoclave Boucherie.

En el proceso a célula llena se obtiene una retención máxima de preservantes, como creosota, preservantes hidrosolubles y retardantes al fuego.

Mediante este método se procura inyectar a la madera la mayor cantidad de líquido preservante posible dejando la máxima concentración de producto químico en la zona tratada.

Las fases sucesivas de operación son:

- Introducción de la madera en el cilindro de impregnación.
- Aplicación de un período de vacío (del orden de 0,5 a 0,65 kg/cm²), para eliminar el aire en la madera y el cilindro.
- Admisión de la solución preservante bajo vacío, hasta llenar completamente el cilindro.
- Aplicación de un período de presión (del orden de 10 a 15 kg/cm²) cuya duración depende de la especie de madera a tratar y escuadrías de las piezas y del tipo de preservante, hasta obtener la retención deseada.
- Retorno a la presión normal (atmosférica)
- Aplicación de un período de vacío para la recuperación del exceso de preservante.

El proceso de célula vacía Rueping-Lowry se emplea cuando se desea penetraciones profundas con una retención neta relativamente baja. Se usa para impregnar con preservantes aceitosos.

El procedimiento con presión, sin autoclave Boucherie es exclusivo para el tratamiento de albura de madera rolliza en estado verde, recién cortada. El procedimiento consiste en reemplazar la savia de la madera por una solución de sales hidrosolubles.

En los procesos de preservación sin presión encontramos: por difusión, por ascensión capilar y baño caliente frío.

En el proceso por difusión se sumerge la madera recién cortada en un preservante hidrosoluble con cierta concentración, este es absorbido por el agua contenida en la madera, hasta que se establece una misma concentración.

En el proceso por ascensión capilar se pretende que la solución preservante ascienda por capilaridad (capilares) y luego difunda hacia los lados. Mientras más delgados sean los capilares, existe una mayor presión y el líquido sube más rápido. El producto utilizado debe ser lo menos denso posible. Este método se utiliza en el campo, para impregnar estacas (Palma, 2005; Torres, 2001).

En el baño caliente frío se sumerge la madera en un baño de creosota caliente a 90°C (para que no se inflame), el aire que se encuentra dentro de la madera con el aumento de la temperatura comienza a salir, luego se introduce en creosota fría para que se produzca un cambio brusco de temperatura y el efecto de succión deseado.

A nivel nacional si bien la industria de impregnación data de mediados del siglo XX, comenzó a experimentar un boom recién en la década del 90, y más específicamente en la segunda mitad de esta década. De unas 35 plantas impregnadoras que había a finales de la década del 80, ya a finales de la década del 90 se había alcanzado un total de 140, distribuidas entre la V y la X regiones. Del total de plantas, entre 110 y 115 estarían funcionando en base a la preservación de maderas para la industria frutícola y vitivinícola.

El aumento exponencial del número de plantas se explica, en parte, por un mayor conocimiento que ha adquirido el consumidor final de la madera y a un mayor poder adquisitivo de la población (Montenegro, 1999). Adicionalmente, organismos como el SERVIU, están exigiendo madera impregnada y certificada para la construcción de casas y obras (Benito, 1999).

No obstante las razones mencionadas, existe consenso de que la principal explicación del aumento de plantas impregnadoras se debe al desarrollo del sector agrícola, cuyas plantaciones han requerido una gran cantidad de estacas y polines. La proporción de madera que se destinó a este sector en 1999 fue aproximadamente un 50%, un 35% a la construcción y el resto

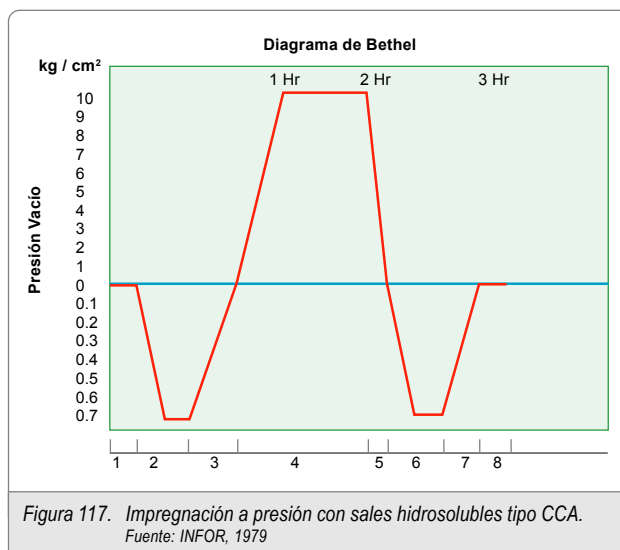
básicamente a postes de distribución eléctrica (Latorre, 1999).

Una última razón del crecimiento de esta industria se encuentra en la relativa baja inversión que implica instalar una planta impregnadora – entre US\$ 30 y US\$ 40 mil sin considerar el terreno – y el hecho de que se trata de una tecnología probada y que prácticamente no ha cambiado en las últimas décadas: la impregnación por vacío-presión con sales CCA. La prolongación de la vida útil es el argumento central que justifica el mayor precio de la madera impregnada, la que con este proceso químico puede sobrepasar los 25 años.

El proceso de impregnación más utilizado en la industria chilena es el de célula llena que consiste en someter a la madera, dentro de un cilindro, a un proceso de vacío-presión-vacío. En la primera etapa se realiza un vacío para extraer el aire, en la segunda se aplica impregnante a presión y en la tercera se retira el exceso de este. Tras un periodo relativamente breve luego de terminado el proceso, los óxidos contenidos en los preservantes aplicados se fijan y la madera puede, luego de un proceso de secado natural, ser utilizada para fines en los cuales su durabilidad sea la principal característica de interés. Las etapas del proceso son las siguientes (Figura 117):

1. Introducción de la madera en el cilindro
2. Período de vacío inicial, para eliminar el aire de la madera y del cilindro.
3. Inundación del cilindro, para la admisión de la solución preservante bajo vacío hasta llenar completamente el cilindro.
4. Período de presión, cuya duración depende de la especie de madera a tratar y de las escuadrías de las piezas.
5. Vaciado del cilindro, para sacar al estanque de almacenamiento la solución no absorbida por el proceso.
6. Periodo de vacío final, para la recuperación del exceso de preservante.
7. Retorno a presión normal
8. Descarga de la madera del cilindro de impregnación.

Respecto del nivel de humedad que debe tener el material para poder ser sometido con éxito a este proceso, es necesario que se encuentre en el punto de saturación de fibra, que es donde los lúmenes de los vasos y traqueidas están sin agua pero las paredes celulares todavía conservan la suya. Esto sucede aproximadamente a un 30% de contenido de humedad de la



madera (Juacida, 2003), señalando la literatura que, en lo posible la humedad debe estar entre un 20 y 25%, para lograr una penetración homogénea de las sales de impregnación de la madera y una retención de acuerdo a la norma específica para el producto de que se trate (Contardo, 2004).

Para definir las concentraciones de sales a usar es apropiado usar la norma chilena que actualmente se encuentra vigente (INN; 1996), la que distingue cuatro categorías de usos para las cuales se establecen niveles de impregnación:

- Madera que estará sumergida o en contacto permanente con agua de mar (13,5 kg de óxido activo de CCA por m³ de madera).
- Postes telefónicos o electricos (9 kg de óxido activo por m³).
- Uso agrícola en contacto con el suelo (6 kg de óxido por m³)
- Madera aserrada (bajo techo ventilada y no enterrada, 4 kg de óxido por m³)

Actualmente, y en el marco del convenio entre el Centro de Transferencia Tecnológica de la Madera (CTT) de la CORMA (Corporación Chilena de la Madera) y el Instituto Nacional de Normalización (INN), esta norma se ha sometido a un proceso de revisión y de consulta pública para ajustarla a la realidad actual, con los conocimientos y avances tecnológicos a los que ha accedido el país en los últimos 15 años (Lignum, 2003a).

La nueva propuesta establece seis niveles de riesgo para el *Pinus radiata* según el uso y los agentes de deterioro:

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera

R1: Maderas usadas en interiores, ambientes secos, con riesgo de ataque de insectos solamente, incluida la termita subterránea.

R2: Maderas usadas en interiores, con posibilidad de adquirir humedad, ambientes mal ventilados. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.

R3: Madera usadas en exteriores sin contacto con el suelo, expuestas a las condiciones climáticas. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.

R4: Maderas enterradas o apoyadas en el terreno, con posibilidades de contacto esporádico con agua dulce. Riesgo de ataque de hongos de pudrición e insectos.

R5: Maderas enterradas en el suelo, componentes estructurales críticos en contacto con aguas dulces. Riesgo de ataque de hongos e insectos.

R6: Maderas expuesta a la acción de aguas marinas y para torres de enfriamiento. Riesgo de ataque de horadadores marinos.

De acuerdo con esta clasificación, se definen 5 categorías de uso:

- Maderas de uso estructural en construcciones comerciales y residenciales.
- Maderas no estructurales de uso exterior en la construcción.
- Aplicaciones agrícolas.
- Otros componentes estructurales críticos.
- Juegos infantiles y muebles de exterior.

Según esta pauta se permite que se aplique un menor nivel de concentración del preservante cuando el uso que se le dará a la madera impregnada es de bajo riesgo, para evitar el uso excesivo de estos elementos, especialmente dentro de los hogares o en contacto directo con las personas. Por otro lado, aumenta la saturación de estos compuestos cuando las demandas ambientales son más exigentes, como en las aplicaciones marítimas.

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Conocido el gran potencial comercial de las maderas impregnadas en el país, CONAF Región del Bío-Bío viene desde el año 2001 fomentando experiencias relacionadas con esta temática, tendientes a determinar la factibilidad técnica y económica de este proceso en maderas nativas, principalmente aquellas provenientes de bosques de segundo crecimiento,

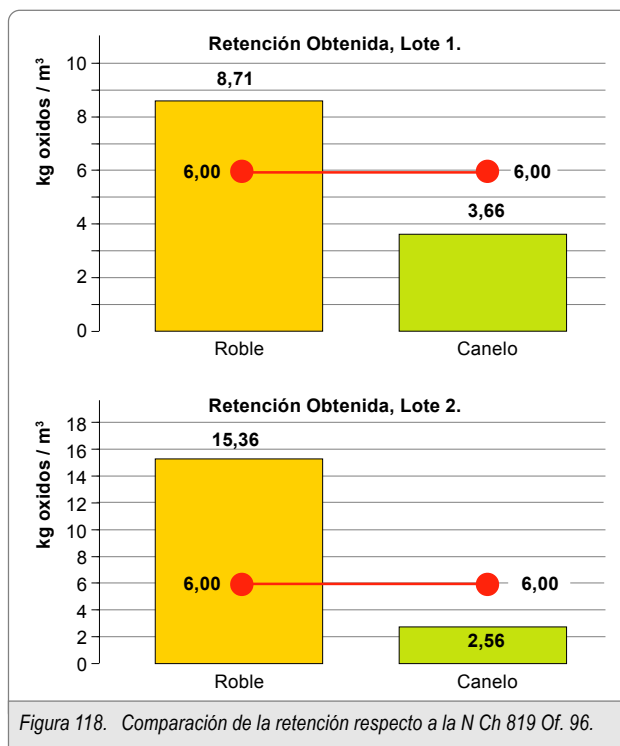


Figura 118. Comparación de la retención respecto a la N Ch 819 Of. 96.

especialmente del Tipo Forestal Roble-Raulí-Coihue. En atención a ello, a continuación se describen dos experiencias realizadas en esta región que intentan obtener algunos parámetros técnicos básicos para este proceso.

4.2.1 Impregnación de polines de Roble (*Nothofagus obliqua*) y Canelo (*Drimys winteri*).

Corresponde a una experiencia realizada por Quappe y Muñoz (2001) con el objetivo de determinar la factibilidad de impregnar polines de Roble y Canelo, y comparar la retención con el estándar de la Norma Chilena 819 Of. 96 para *Pinus radiata*. Además, de determinar los costos asociados a la impregnación de madera de estas especies nativas.

Se utilizaron dos lotes de madera cada uno con 20 polines de Roble y 20 polines de Canelo, descortezados y con un diámetro de 3 a 4 pulgadas (7,5 cm a 10,0 cm). Las características diferenciales del proceso de impregnación entre los lotes fueron las siguientes:

Lote 1

- Contenido de humedad promedio de 15,0% para Roble y 20,3% para Canelo.
- Presión de 10 kg/cm².

Cuadro 69. Retención obtenida por Roble y Canelo, Lote 1 y Lote 2.						
	Lote 1			Lote 2		
	kg Oxidos / m ³	kg Sales / m ³	Presión	kg Oxidos / m ³	kg Sales / m ³	Presión
Roble	8,71	12,44	10 kg / cm ²	15,36	21,94	15 kg / cm ²
Canelo	3,66	5,22	10 kg / cm ²	2,56	3,65	15 kg / cm ²

Cuadro 70. Análisis de costos para especie Roble.		
Item	Diámetro de Polín	
	3"	4"
1 mr descortezado puesto en predio (*) (\$)	10.000	10.000
Flete a Los Ángeles (\$)	4.000	4.000
Total (\$)	14.000	14.000
Costo/Polín (\$/polín)	175	175
Servicio descortezado y cilindrado (\$/polín)	120	120
Servicio Impregnación (\$/polín) (**)	242	610
Costo total (\$/polín)	537	905

(*) Valor del metro ruma clasificado por diámetro y rectitud.

(**) El valor del servicio de impregnación para madera de 3" corresponde a 350 \$/pulgada y para madera de 4" corresponde a 500 \$/pulgada.

Cuadro 71. Comparación con venta de polín de Pino.		
Item	Diámetro de Polín (pulgadas)	
	3	4
Precio de venta Polín de <i>Pinus radiata</i>	\$ 700 - 750	\$ 1.200 - 1.340
Costo Polín Nativo	\$ 537	\$ 905
Diferencial de precio en relación al precio de venta polín de pino.	\$ 213	\$ 435
Ingreso por 1 metro ruma Impregnado	\$ 17.040	\$ 34.800

Lote 2

- Contenido de humedad promedio de 14,5% para Roble y 18,0% para Canelo.
- Presión de 15 kg/cm².

Para ambos lotes el tiempo de presión fue de una hora.

Para determinar la retención obtenida por ambos lotes, se utilizó un taladro de incremento para la obtención de los tarugos que fueron analizados posteriormente en el laboratorio (Cuadro 69).

Se obtiene una baja retención en la especie Canelo, y una muy alta retención en la especie Roble a una misma presión. Los mejores resultados para ambas especies están a la más alta presión y menor contenido de humedad de ambas especies.

En la Figura 118 la línea roja indica la retención mínima para polines de *Pinus radiata* según NCh 819 Of. 96 (INN, 1996). Canelo se encuentra un 61% por debajo de la norma, en cambio la especie Roble se encuentra un 45% por sobre la norma, para el ensayo con presión de 10 kg/cm². En el caso del ensayo con presión de 15 kg/cm² Canelo se encuentra un 43% por debajo de la norma, en cambio la especie Roble se encuentra un 156%

por sobre la norma.

El análisis de los costos asociados a este proceso entrega los valores por ítem especificados en el Cuadro 70.

Para efectos de realizar un análisis más específico en comparación con el mercado formal de polines de la especie *Pinus radiata*, se considera que un metro ruma de madera nativa contienen aproximadamente 80 polines. Con estos antecedentes se obtienen un diferencial que aporta un ingreso por un metro ruma nativo de polines impregnados de US\$ 31 para polines de 3" de diámetro y US\$ 63 para polines de 4" de diámetro (Cuadro 71).

En resumen, a partir de los antecedentes capturados en este estudio es posible afirmar que la especie Canelo (*Drimys winteri*) no cumple con la retención mínima para polines de *Pinus radiata* según NCh 819 Of. 96 (INN, 1996) bajo ninguna de las 2 presiones empleadas en el proceso de impregnación.

Asimismo, la especie Roble (*Nothofagus obliqua*) cumple con la retención mínima para Polines de *Pinus radiata* según NCh 819 Of. 96 (INN, 1996) bajo las 2 presiones ejercidas en el

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera



Figura 119. Vista del cilindro de impregnación.



Figura 120. Detalle de las trozas utilizadas en la prueba de elaboración de polines.



Figura 121. Descortezado de las trozas.



Figura 122. Detalle de la madera después del descortezado y cilindrado.



Figura 123. Detalle de los polines previo a la impregnación.

proceso de impregnación.

Finalmente, la madera de Roble (*Nothofagus obliqua*) de bajos diámetros hoy no tiene un alto valor comercial, por lo que la impregnación de polines con diámetros pequeños puede constituirse en una alternativa real para su comercialización al ingresar en el mercado toda vez que es posible cumplir con la normativa vigente, que aunque esta diseñada para Pino radiata, puede preliminarmente utilizarse como una referencia para madera de renovales de roble.

4.2.2 Impregnación de polines de Roble (*Nothofagus obliqua*) y Raulí (*Nothofagus alpina*).

Esta experiencia se realizó en conjunto entre el proyecto CMSBN Región del Bío-Bío y la empresa Maderas Impregnadas Preserva Ltda. en el año 2003.

Esta empresa ha desarrollado una capacidad de producción de 30.000 m³ por año de productos tales como: postes para viñedos, agricultura y fruticultura, postes para líneas eléctricas, telefónicas y madera para la construcción. Maderas Impregnadas Preserva Ltda. realiza el tratamiento a maderas de *Pinus radiata* con el sistema de vacío - presión y utilizan preservantes CCA-C, en estricto cumplimiento con las normas nacionales e internacionales. Este tratamiento es controlado y certificado por Fundación Chile.

La empresa cuenta con un cilindro de impregnación de 16,20 m de largo y un diámetro de 1,30 m, con un volumen total de 24.300 litros. El estanque de almacenamiento tiene una capacidad de 28.000 litros y el de mezcla un volumen de 3.000 litros. La presión máxima de operación

Cuadro 72. *Tiempos y presiones utilizadas en cada etapa del proceso de impregnación de madera nativa.*

Etapa	Tiempo (minutos)	Presión (kg/cm ²)
Vacío inicial	30	-4,9
Inundación del cilindro	30	
Periodo de presión	22	+16,1
Vaciado del cilindro	38	
Vacío final	10	-3,5

Cuadro 73. *Variación del volumen de la solución en las etapas del proceso de impregnación de madera nativa.*

Etapas	Volumen solución (litros)
Inicial del tratamiento	27.800
Después de inundación	4.200
Después del bombeo	3.800
Después del vaciado	27.500
Después del vacío final	27.600
Absorción total obtenida	200

Cuadro 74. *Resultado estimado del tratamiento de impregnación de madera nativa.*

Variable estimada	Valor registrado
Absorción por unidad de volumen	222 (lt/m ³)
Retención obtenida	2,80 (kg/m ³)
Wolman CCa-C especificado	8,99 (kg)
Wolman CCa-C consumido	4,20 (kg)

es de 17,5 kg/cm² (250 psi), (Figura 119).

Para generar la prueba de elaboración de polines el volumen de madera utilizado correspondió a aproximadamente un metro ruma de madera de las especies *Nothofagus obliqua* (Roble) y *Nothofagus alpina* (Raulí), procedente del predio Hijueta Primera Agua de la localidad de Loncopangue, comuna de Quilaco. Las trozas presentaban un diámetro menor de 75 a 100 mm, con un largo de 2,44 metros. Al momento de la impregnación el volumen aproximado fue de 0,90 m³, conformado por 85 polines con diámetro menor de 50 a 85 mm y diámetro promedio de la carga de aproximadamente 75 mm (3 pulgadas), (Figura 120).

Previo al ingreso de la carga a la autoclave, las trozas

debieron ser descortezadas (Figura 121) y posteriormente cilindradas (Figura 122) a objeto de uniformar el diámetro en la totalidad de la troza. Realizado aquello, se prepara la carga (Figura 123) para iniciar el proceso de impregnación.

En el proceso de impregnación se siguió, en forma aproximada, la pauta de impregnación de los rollizos de *Pinus radiata*, que permite en forma operacional cumplir con la Norma Chilena Oficial NCH 819 Of. 96 (INN, 1996). El preservante utilizado fue una solución a base de Cobre-Cromo-Arsénico (CCA), con el nombre comercial Wolman CCa-C.

Se pudo establecer que la etapa de impregnación propiamente tal puede efectuarse sin mayor dificultad de los procedimientos operacionales y con costos similares a los empleados para la madera de *Pinus radiata*, con la que habitualmente opera la empresa.

Realizada la Hoja de Carga que es parte de la rutina de este proceso, registra que el contenido de humedad, en 10 de los rollizos, fue de un 24,48% en promedio, con un mínimo de 21,80% y un máximo de 29%. Esta variable fue medida con un xilohigrómetro digital de martillo, el cuál presenta una altísima confiabilidad y precisión cuando el contenido de humedad medido no es superior al 30% (Uribe, 2004 ⁽³⁾). Según se señala como indicación en la Hoja de Carga, el contenido de humedad para el proceso de impregnación no debe superar el 28%.

El proceso de impregnación duró 130 minutos (2 horas y 10 minutos), detallándose en el Cuadro 72 los tiempos y características de cada una de las etapas.

La concentración de la solución fue de 1,26% medida con densímetro por el operador, y de 1,29%, medida por fluorescencia con rayos X (equipo marca ASOMA), por el supervisor de calidad de Fundación Chile. Esto implica un 2,10 a 2,15% de óxidos activos.

En el Cuadro 73 se detalla la variación en el volumen de solución en las distintas etapas del proceso mientras que el Cuadro 74 muestra los valores más relevantes asociados al resultado estimado del tratamiento.

Finalizada la prueba de impregnación se realizó el muestreo, obteniéndose 10 tarugos de la madera nativa impregnada de los

(3) Edgardo Uribe. Ingeniero en Maderas. Supervisor de Calidad. Fundación Chile. Comunicación personal.

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera



Figura 124. Vista de los tarugos obtenidos en el muestreo y enviados para análisis al laboratorio de Fundación Chile.

cuales un 30% presentaba penetración completa y el resto una penetración mínima en un anillo circular del orden de 15 a 20 mm (Figura 124).

El resultado de los análisis realizados a esta muestra por Fundación Chile (Informe de Inspección F Ch I 2080) señala una retención de 4,93 kg de óxido/m³ de madera y una penetración clasificada como buena. Es necesario señalar que el análisis se efectuó con fluorescencia de rayos X y colorimetría, utilizando en el equipo marca ASOMA una densidad para la madera de 700 kg/m³ (Díaz - Vaz *et al*, 1989), valor que corresponde a madera duraminizada de roble y no al tipo de madera utilizada en el estudio, proveniente de renovales de bajo diámetro y edad, cuya madera esencialmente corresponde a albura.

Una vez que pasaron 48 horas de la impregnación se tomaron dos nuevas muestras de 15 tarugos cada una, en las cuales se evidenció la misma tendencia que en la muestra inicial en cuanto a la penetración. La prueba de fluorescencia de rayos X y colorimetría, fue realizada en esta ocasión empleando una densidad de 520 kg/m³ (Torricelli, 1992) obteniéndose una retención de 5,47 y 6,55 kg de óxido/m³ de madera, lo que da un promedio de 6,01 kg de óxido/m³ de madera.

En esta experiencia se generaron algunos comentarios y sugerencias que dicen relación con que el proceso de impregnación no se realizó bajo condiciones de carga normal, dado que el volumen empleado fue sólo de 0,90 m³, correspondiente a un solo "paquete" de madera, cuando lo normal es trabajar con 6 a 8 "paquetes". Esto influye, según las indicaciones del operador de la planta y del supervisor de Fundación Chile, en que los tiempos del proceso sean mayores, en particular el de llenado del cilindro y periodo de presión. Bajo condiciones normales se esperaría un mejor resultado de la impregnación.

Otro elemento importante a considerar es el contenido de humedad de los rollizos, el que fue superior a 24%. En el estudio



Figura 125. Vista general probetas.

realizado por Quappe y Muñoz (2001), se obtuvo una retención de 8,71 kg de óxido/m³ de madera y una penetración del 100%, para rollizos de Roble de 75 a 100 mm, los cuales presentaban un contenido de humedad del 15%. La presión utilizada en el proceso fue de 10 kg/cm², con un periodo de presión de 1 hora.

Una forma alternativa de mejorar la retención es aumentar la concentración de la solución, pero esta medida aumenta significativamente los costos asociados al proceso. El aumentar el tiempo del periodo de presión, si bien retarda el proceso y con ello baja el rendimiento diario de la planta, no es tan relevante dentro de la estructura de costos del sistema.

La sugerencia, frente a un nuevo ensayo de impregnación, es efectuar el proceso con un volumen de carga que sea muy semejante al utilizado en un proceso operacional normal, esto es de 12 a 13 metros ruma para polines de 3 a 4 pulgadas.

A la luz de los antecedentes obtenidos en estos ensayos es posible señalar que la impregnación puede constituirse en una buena alternativa para la madera proveniente de renovales de bosques nativos. Esto debido principalmente a que se daría un mayor valor agregado a trozas, que por sus bajas dimensiones, en la actualidad poseen un valor mínimo principalmente asociado a la producción de leña, carbón vegetal y eventualmente a la elaboración de tableros a la forma de metros ruma.

En este sentido, será necesario ahondar en las experiencias realizadas para determinar los procedimientos óptimos que permitan obtener resultados operacionales que en términos económicos permitan a los polines impregnados nativos competir

con la desarrollada industria de los polines de Pino radiata. Como datos interesantes para continuar con estas experiencias se cuenta la necesidad de implementar ensayos a carga completa y con materia prima que presente contenidos de humedad más bajos que los utilizados en los análisis presentados.

4.3 Impregnación Ignífuga.

La madera es un elemento susceptible a los agentes ambientales (hongos, bacterias, insectos, humedad, sol, entre otros) los que afectan su estabilidad y duración. Estos efectos adversos pueden ser superados en su mayoría con la aplicación de pinturas, barnices e impregnantes tradicionales. Sin embargo, otras de las propiedades que afectan la vida útil de ésta, principalmente en el ámbito de construcción habitacional, no son abordadas por tratamientos convencionales. Este es el caso de sus características combustibles y dureza, por ejemplo.

Un producto relativamente nuevo en el mercado de tratamiento de maderas es el preservante BS comercializado por la empresa Stonewood, el cual fue desarrollado en el marco del proyecto FONDEF D02T2004 por la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción. Es un producto inocuo, seguro para el ser humano, los animales y el medio ambiente ya que no contiene arsénico, cromo y metales pesados como cobre. Protege a la madera de la acción de hongos, insectos (termitas) y del fuego, sin cambiar el color natural de la madera y, además, mejorando algunas de sus propiedades físico mecánicas como densidad y dureza.

El preservante BS es un producto en base a boro y silicio. El boro es un elemento reconocido por sus propiedades fungicidas y/o insecticidas, dependiendo de la dosis en la que este sea aplicado. Tiene la ventaja adicional de un muy bajo nivel de toxicidad. El silicio, asociado a la fabricación del vidrio, y principal componente de piedras y rocas, se encuentra en forma abundante e inagotable en la naturaleza. Entrega dureza e incrementa la resistencia mecánica y la estabilidad dimensional de la madera. En el proceso de polimerización que realiza en la madera coopera con la insolubilización del boro. El mecanismo de protección de la madera se basa en repeler a los destructores biológicos de ella, tornando a la madera en un material no apetecible por estos organismos. El boro y el silicio, son elementos que mejoran sustancialmente las características ignífugas en la madera BS (www.stonewood.cl).

La aplicación del preservante BS se logra mediante el proceso de impregnación conocido como Bethell o vacío-presión. Este proceso ampliamente difundido en el mundo y en particular en Chile, considera un proceso similar al realizado con el preservante

CCA. Durante el proceso, y con posterioridad a él, ocurren reacciones de petrificación en la madera similares a las que ocurren en la naturaleza. En ella participan una serie de compuestos que incluyen silicatos, carbonatos, hidróxidos y óxidos disueltos en agua. Bajo condiciones adecuadas, estos compuestos se fijan a la pared celular de la madera en un proceso químico complejo e irreversible. En cuanto a la operación con BS, en una planta de tratamiento tradicional sólo se realizan limpiezas de los pipings y otras unidades, y se implementan mínimas modificaciones para lograr óptimos resultados en el proceso de preservación.

Este preservante de un elevado perfil de protección ambiental y humana, junto a excelentes propiedades de efectividad frente a los biodegradadores naturales y la acción del fuego, ha sido probado con efectividad en madera de *Pinus radiata*. En pruebas de campo, abaladas por la Universidad de Concepción, el Instituto Forestal y el Otto-Graf Institut (Stuttgart, Alemania), se ha verificado que otorga propiedades retardantes del fuego, incrementa la estabilidad dimensional de la madera, reduce la torcedura y rajamiento, aumenta la durabilidad y mejora la resistencia natural de la madera. También ha demostrado ser efectivo en el control de la mancha azul en la madera de pino.

Todas estas propiedades son fundamentales para una buena aceptación en el mercado de la construcción, más aún si se trata de maderas escasamente usadas en este mercado por considerarse de baja calidad. Por su inocuidad, ambientalmente es una alternativa ideal en sectores sensibles como son las aplicaciones residenciales, agrícolas (polines de viñas y frutales), jardines, juegos infantiles y todo producto en contacto directo e indirecto con los seres humanos.

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Por las ventajas evidentes del preservante BS, en una iniciativa conjunta entre el Proyecto CMSBN Región del Bío-Bío y la Empresa Maderas Impregnadas Preserva Ltda., se evaluó su aplicabilidad en madera aserrada de Roble para determinar la efectividad del tratamiento, particularmente en la propiedad de resistencia al fuego de la madera de esta especie nativa.

Para una primera prueba operacional se elaboraron 28 probetas de madera aserrada de Roble (Figura 125) provenientes de la comuna de Santa Bárbara y de predios adscritos al Proyecto CMSBN de la Región del Bío-Bío. Las dimensiones establecidas para el ensayo de laboratorio por el Otto-Graf Institut, a través de la empresa Maderas Impregnadas Preserva Ltda. fueron dos: 1000 mm de largo, 190 mm de ancho y 1" de espesor, y

Capítulo 4

Tratamientos de la Madera

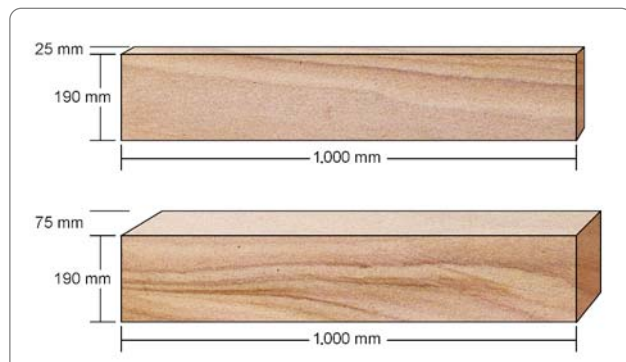


Figura 126. Dimensiones probetas de ensayo.

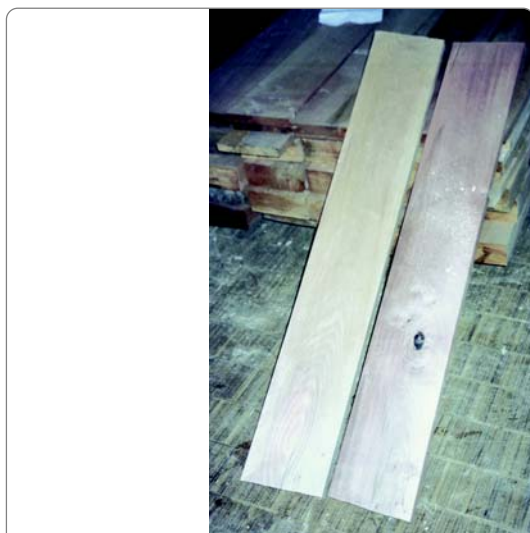


Figura 128. Probetas después del proceso de cepillado.

1000 mm de largo, 190 mm de ancho y 3" de espesor. De cada dimensión se obtuvo 14 probetas (Figura 126).

Estas piezas de madera fueron secadas (Figura 127) y cepilladas (Figura 128) en el Centro de Alta Tecnología de la Madera de la Universidad del Bío-Bío. El secado fue realizado en un secador al vacío de cuatro metros cúbicos de capacidad, alimentado térmicamente con vapor, con 6 ventiladores axiales, una capacidad de vacío de 90%, doble sistema de extracción de agua desde la madera y un sistema de control automático para su operación. Dado que el objetivo era obtener madera con un 20 a 25% de contenido de humedad y las características dimensionales de las piezas, se efectuó un secado lento, del tipo acondicionamiento en cámara de clima, con temperaturas entre 45 y 50 °C con humedad de equilibrio de 14% durante los primeros 18 días y de 10% en los días restantes. En un plazo de 28 días se alcanzó la humedad promedio de 20% en las piezas



Figura 127. Vista general probetas post proceso de secado.

de 3 pulgadas y de 16% en las piezas de 1 pulgada.

De las 28 probetas iniciales se seleccionaron 20 para ser sometidas al proceso de impregnación en la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción. En esta unidad se impregnaron las maderas con el preservante BS mediante un tratamiento de impregnación vacío-presión, obteniéndose bajos niveles de absorción del producto impregnante. El tratamiento se realizó con una concentración del 10% de producto BS.

Dado que el proceso incrementó la humedad de la madera, esta se dejó en una cámara de clima a una temperatura de 23+/- 2 °C y 50+/-2% de humedad relativa, para alcanzar una humedad del 12% (base seca). Durante este proceso se manifestaron grietas en la madera por lo que se eligieron las mejores 14 probetas para ser enviadas al ensayo de laboratorio de resistencia al fuego y certificación pertinentes.

Una vez enviadas y realizado el ensayo por la institución Otto Graf Institut, Stuttgart - Alemania, según Norma DIN 4102 (comportamiento de la madera para construcción frente al fuego), partes 1, 15 y 16, el organismo en que se realizó el ensayo clasifica al material ensayado como difícilmente combustible.

En forma de resumen se tiene que el ensayo se realizó inicialmente con 4 muestras de madera de Roble de 1 pulgada de espesor. Las muestras se fijaron verticalmente en el horno de laboratorio y pasaron el test con los siguientes resultados principales:

- Longitud promedio de los 4 residuos después del test es de 11,5 cm y ninguno es "0".
- La temperatura de los gases de combustión es de 226 °C.

La principal conclusión es que estas muestras de madera de Roble impregnadas con BS no superan el umbral de ignición,

pero mejoran significativamente la acción retardante del fuego. Dado este resultado con la madera de bajo espesor no se efectuó el ensayo con las probetas de 3 pulgadas de espesor.

Las maderas no cumplieron la norma alemana DIN 4102 principalmente a causa de dos factores:

- no se logró una penetración aceptable del preservante BS, comportándose la madera de Roble como un material de baja permeabilidad o refractario.
- las grietas posteriores a la impregnación, producto del acondicionamiento de la madera para alcanzar la humedad del ensayo, dejaron zonas expuestas sin tratamiento a la acción del fuego, lo cual permitió la combustión de la madera.

Si bien la madera de Roble no logró certificarse como incombustible, si se pudo verificar que es factible mejorar parcialmente sus propiedades ignífugas y se logró identificar al menos dos factores del proceso que es necesario estudiar en más detalle para alcanzar mejores resultados en futuras pruebas. Ambos factores se relacionan directamente con el manejo del contenido de humedad de la madera, tanto previo al proceso de impregnación como posterior a él. Se sugiere buscar métodos para lograr una mayor penetración y evitar el agrietamiento de la madera.

La continuación más sistemática de esta línea de investigación hasta lograr los resultados esperados, permitiría en la práctica dar opciones de aprovechamiento más amplias para la madera aserrada proveniente de renovales de roble en este caso particular, además se podrían incorporar otras especies abundantes en los renovales como el raulí, coihue y canelo principalmente.

Capítulo 5 MADERA PARA ENERGÍA

Las limitadas condiciones de productividad que presentan en la actualidad buena parte de los bosques nativos adultos del país, sumado a la poca productividad maderera de los bosques de segundo crecimiento debido principalmente a sus bajas dimensiones en términos de diámetro y altura, y en algunos casos incluso de sanidad, dan pie para analizar en profundidad cuales son las alternativas de utilización de la madera de baja calidad que se extrae como consecuencia de la aplicación de intervenciones silvícolas dentro del marco del manejo sustentable.

El aporte del sector forestal a la matriz energética nacional en el periodo 2001-2003 alcanzó una participación del orden de 16% de la energía primaria utilizada. Con esta lógica, es pertinente preguntarse si existen espacios para incrementar este tipo de uso o al menos mejorar la eficiencia asociada a él.

Durante los prácticamente 10 años de funcionamiento del Proyecto CMSBN en Chile, se han verificado grandes avances técnicos y culturales asociados a la producción y extracción de leña en diversas zonas del sur de Chile, impulsado por aspectos ambientales, sociales y finalmente económicos. La utilización de más de 9 millones de m³ sólidos anualmente a la forma de leña, lo que implica intervenciones en una superficie superior a las 45 mil ha cada año, permite formarse una idea del entorno en que se desenvuelve la temática dendroenergética relacionada con el bosque nativo a nivel nacional.

En este contexto, y considerando la experiencia silvícola y de

aprovechamiento de productos lograda en el Proyecto CMSBN, la que indica que el 70-80% del producto obtenido de intervenciones silvícolas es material combustible, es evidentemente necesario incorporar en un lugar relevante el tópico de uso de la madera de bosque nativo como energía en esta publicación, más aún si se tiene en cuenta que en los últimos años las tecnologías de combustión de material lignocelulósico ha venido desarrollándose fuertemente en el ámbito internacional y hoy permite realizar procesos limpios y eficientes tanto a niveles residenciales como industriales. Bajo esta perspectiva, el presente capítulo analiza cuatro opciones de utilización para la madera combustible, a saber:

- Biomasa para uso dendroenergético.
- Leña Residencial.
- Carbón Vegetal.
- Pellets y Briquetas.

Las opciones de utilización analizadas, más allá de exponer algunos resultados de la labor del Proyecto CMSBN en este ámbito, apuntan a dar a conocer las posibilidades técnicas y económicas del uso de la biomasa como un recurso importante para el país, tanto en el sector energético como entre los consumidores de madera de baja calidad y a su vez, dar a conocer la relevancia de contar con un mercado de madera combustible transparente y profesionalizado, que permita la incorporación de cientos de pequeños, medianos e incluso grandes propietarios, que finalmente contribuyan al desarrollo del subsector bosque nativo.

5.1 Biomasa para uso dendroenergético.

Los principales recursos energéticos que utilizamos (el carbón, el petróleo, el gas natural y el uranio) son limitados y, por lo tanto, pueden agotarse. Además, su utilización provoca un gran impacto ambiental en la biósfera al contaminar el aire, el agua y el suelo. Estos hechos han generado un interés creciente por el desarrollo de nuevas tecnologías para la utilización de fuentes de energía renovables alternativas que, aunque actualmente son poco rentables, tienen la ventaja de ser poco contaminantes (www.lafacu.com/apuntes/biologia/biomasa).

La energía renovable, engloba una serie de fuentes de energía que en teoría no se agotarían con el paso del tiempo (Figura 129). Estas fuentes serían una alternativa a las otras llamadas convencionales (no renovables) y producirían un impacto ambiental mínimo (www.aven.es/energias/renovables.html).

De todas las energías renovables actuales, la biomasa es la que participa en mayor proporción en el balance energético. A nivel mundial la energía obtenida a partir de la biomasa representa el 14,6% de la energía total consumida, mientras que la hidráulica representa el 5,5% y las restantes renovables el 0,2%. Si bien las restantes E.R. se caracterizan por tener una definición muy concreta en cuanto al producto, la tecnología y los sectores implicados, la biomasa se caracteriza por su gran variedad en lo que respecta a las materias primas, tecnologías y productos y por la necesidad de implicar a toda una serie de agentes de los sectores energético, agrario, industrial y económico, normalmente poco relacionados entre sí, pero cuya cooperación es imprescindible para la puesta en marcha de esta actividad. Las dificultades de coordinación de estos agentes constituye una de las principales barreras para el desarrollo de la biomasa como fuente de energía, ya que los sectores dominantes en el ámbito energético no están normalmente acostumbrados a tratar con el sector agrario, ni están familiarizados con tener que depender de un gran número de propietarios del recurso. Este hecho no ocurre cuando la propia industria generadora de la energía es la propietaria del recurso, como es el caso de las industrias que generan residuos apreciables de biomasa, como por ejemplo las industrias papeleras, fábricas de tableros, aserraderos o en las industrias derivadas de almendras y frutos secos (Fernández, 2002).

La primera gran diferencia entre la biomasa respecto a las restantes energías renovables (E.R.) radica en su propia naturaleza de "energía química", capaz de proporcionar toda una serie de productos que pueden llegar a satisfacer todos los tipos de necesidades energéticas que tiene la sociedad moderna (calor, electricidad y transporte fundamentalmente), mientras que las

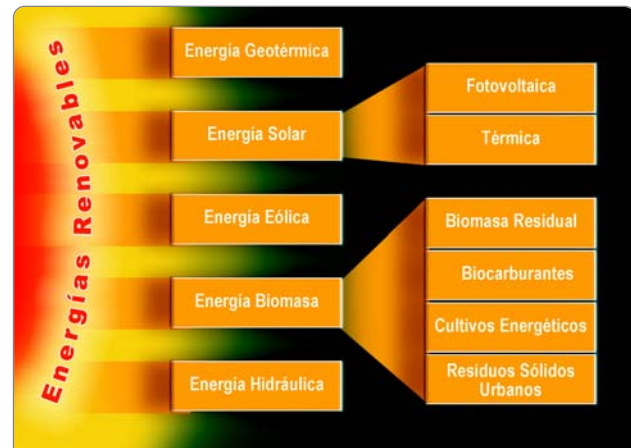


Figura 129. Clasificación de las Energías Renovables.

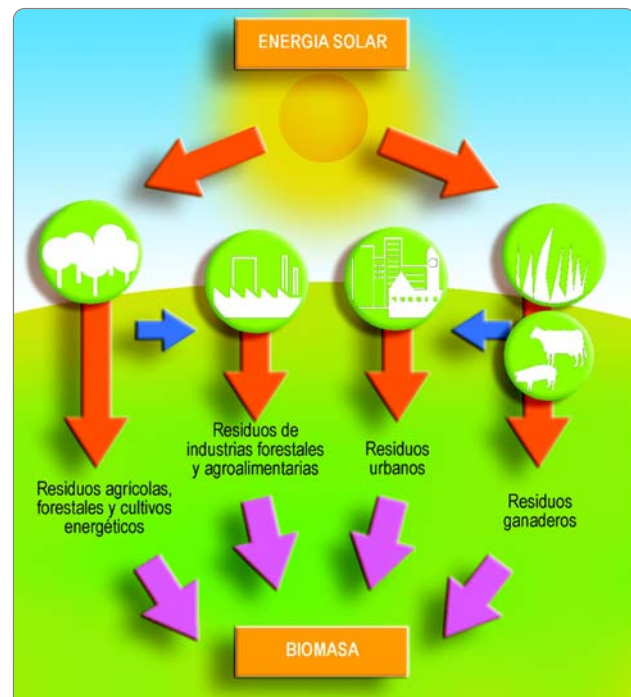


Figura 130. Fuentes de obtención de Biomasa.

restantes energías están especializadas en la producción de un solo tipo de energía ya sea eléctrica (hidráulica, eólica o fotovoltaica) o térmica (solar térmica o geotérmica).

La biomasa es toda sustancia orgánica renovable de origen tanto animal como vegetal. La energía de la biomasa proviene en última instancia del sol. Mediante la fotosíntesis el reino vegetal absorbe y almacena una parte de la energía solar que llega a la tierra; las células vegetales utilizan la radiación solar para formar sustancias orgánicas a partir de sustancias simples y del CO₂ presente en el aire (Figura 130).

Capítulo 5

Madera para Energía

Existen diferentes tipos o fuentes de biomasa que pueden ser utilizados como recurso energético:

a) Biomasa natural:

se genera en los bosques y ecosistemas naturales, tanto en forma de residuos, como en forma de árboles y plantas y se libera en los procesos naturales de pudrición y descomposición.

b) Residuos Forestales:

esta biomasa se obtiene de las labores silvícolas realizadas en los bosques de explotación maderera o para otros usos.

c) Residuos Industria Forestal:

son aquellos que producen las industrias de la madera, tales como aserrines, cortezas, virutas, recortes, etc.

d) Cultivos Energéticos:

Estos cultivos se generan con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible.

La gran variedad de biomásas existentes unida al desarrollo de distintas tecnologías de transformación de ésta en energía (combustión directa, pirólisis, gasificación, fermentación, digestión anaeróbica) permiten plantear una gran cantidad de posibles aplicaciones entre las que destacan la producción de energía térmica, electricidad, energía mecánica y gases combustibles (www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp), (Figura 131).

En la práctica existen una serie de aplicaciones que pueden ser implementadas a partir del uso de biomasa como materia prima. Dentro de las que se pueden identificar para su utilización en Chile se cuentan:

1 Generación de energía eléctrica.

Obtenida minoritariamente a partir de biomasa residual (restos de cosecha y poda) y principalmente a partir de cultivos energéticos leñosos, de crecimiento rápido y herbáceos (Figura 132). También se utiliza el biogás resultante de la fermentación

de ciertos residuos (lodos de depuradora, residuos sólidos urbanos, entre otros) para generar electricidad (www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp).

En función del tipo y cantidad de biomasa disponible varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin (Cuadro 75):

• Ciclo de vapor:

está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.

• Turbina de gas:

utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un ciclo combinado.

• Motor alternativo:

utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaeróbica.

En la temática de generación eléctrica se encuentran las siguientes alternativas prácticas en Chile:

• Generación de Energía Eléctrica para inyectarla al Sistema Interconectado Central (SIC).

Actualmente la biomasa es utilizada en Chile para producir electricidad e inyectarla a la red, mediante plantas de cogeneración eléctrica que aprovechan los residuos energéticos (licor negro, cortezas), de otros procesos industriales tal como la producción de celulosa.

• Generación de Energía Eléctrica para cubrir parte de la demanda de electrificación rural.

Uno de los objetivos de la política emprendida en electrificación rural es la opción por la utilización de energías renovables en aquellos proyectos de pequeña escala donde existe la tecnología apropiada y donde es competitiva con las formas tradicionales de abastecimiento eléctrico.

Cuadro 75. Sistemas de generación de energía eléctrica con biomasa.

Tecnología	Biomasa	Tamaño	Comentarios
Ciclo de vapor	Sólida	> 4 MW eléctricos	Sobre todo para cogeneración.
Turbina de gas	Gas de síntesis	> 1 MW eléctricos	
Ciclo combinado	Gas de síntesis	> 10 MW eléctricos	Sobre todo para cogeneración.
Motor alternativo	Gas de síntesis o biogás	> 50 kW eléctricos	

Fuente: (Nogués y Royo, 2002)

2 Generación de energía térmica.

La energía térmica es la forma de energía que interviene en los fenómenos caloríficos. Cuando dos cuerpos a diferentes temperaturas se ponen en contacto, el caliente comunica energía al frío; el tipo de energía que se cede de un cuerpo a otro como consecuencia de una diferencia de temperaturas es precisamente la energía térmica (www.monografias.com/trabajos14/energia-termica/energia-termica.shtml).

Se genera a través del aprovechamiento convencional de la biomasa natural y residual. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, como por ejemplo, para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas. Además, éste se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad (www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp).

El sistema más extendido para este tipo de aprovechamiento está basado en la combustión de biomasa sólida, aunque también es posible quemar el biogás procedente de la digestión anaeróbica de un residuo líquido o el gas de síntesis generado en la gasificación de uno sólido (Nogués y Royo, 2002).

Los procesos tradicionales de este tipo, generalmente, son muy ineficientes porque mucha de la energía liberada se desperdicia y porque pueden causar contaminación cuando

no se realizan bajo condiciones controladas (www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp). A nivel local, es posible proyectar las siguientes aplicaciones prácticas:

- **Generación de calor y vapor para usos industriales diversos.**

El crecimiento de la economía nacional, es un factor que inevitablemente lleva a un aumento del consumo energético debido a la alta demanda energética requerida por las industrias para sus diversos procesos productivos, por eso hacer un uso eficiente de la energía surge como un requisito ineludible de todos los actores del mercado energético: productores, consumidores, reguladores, y es una solución



Figura 131. Diagrama de aplicaciones energéticas de la biomasa.

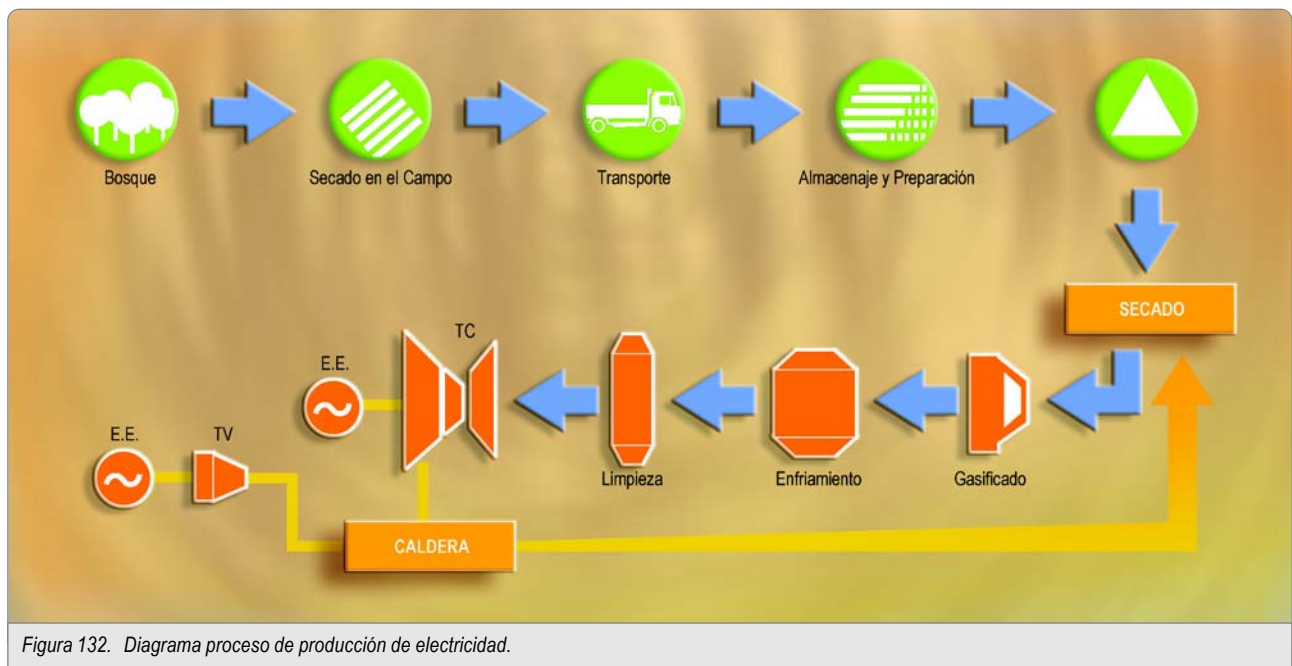


Figura 132. Diagrama proceso de producción de electricidad.

Capítulo 5

Madera para Energía

concreta que contribuye a una mayor equidad intergeneracional, a mejorar la competitividad de la economía y a una disminución de impactos ambientales.

- **Generación de calor y agua caliente centralizada para el abastecimiento de conjuntos habitacionales.**

Una aplicación de gran interés para el sector doméstico y de servicios es el caso de las redes de calefacción centralizada, consistente en una central térmica, un sistema de distribución con conducciones y unos puntos de consumo. Estas aplicaciones, por las ventajas que presentan para el usuario, es previsible que se alcance un cierto desarrollo en los próximos años, pero siempre en zonas con gran cantidad de residuos forestales o industrias forestales. Las ventajas que presenta este sistema son:

- Ahorro de combustible importados fósiles.
- Aprovechamiento y revalorización de los residuos forestales.
- Reducción de la contaminación.
- Creación de puestos de trabajo.
- Mayor confort para los usuarios.

3 Cogeneración.

Cuando una entidad presenta consumos térmicos y eléctricos importantes se puede plantear la instalación de un sistema de cogeneración, consistente en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica (Nogués y Royo, 2002). La cogeneración no es una tecnología sino un concepto de producción eficiente de energía (www.cogenspain.org/estaticos.php?fic=cogeneracion.htm).

Esta tecnología presenta como gran ventaja la consecución de rendimientos superiores a los sistemas de producción de energía térmica o eléctrica por separado (Figura 133), (Nogués y Royo, 2002).

La eficiencia de la cogeneración se basa en el aprovechamiento del calor residual de un proceso de producción de electricidad. Este calor residual se aprovecha para producir energía térmica útil (vapor, agua caliente, aceite térmico, agua fría para refrigeración, etc.). Por este motivo los sistemas de cogeneración están ligados a un centro consumidor de esta energía térmica (www.cogenspain.org/estaticos.php?fic=cogeneracion.htm).

La cogeneración de alta eficiencia, al producir conjuntamente calor y electricidad en el centro de consumo térmico, aporta los siguientes beneficios (www.cogenspain.org/estaticos.php?fic=cogeneracion.htm):

- Disminución de los consumos de energía primaria.

- Disminución de las importaciones de combustible (ahorros en la balanza de pagos del país).
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Disminución de pérdidas en el sistema eléctrico e inversiones en transporte y distribución.
- Aumento de la garantía de potencia y calidad del servicio eléctrico.
- Aumento de la competitividad industrial y de la competencia en el sistema eléctrico.
- Promoción de pequeñas y medianas empresas de construcción y operación de plantas de cogeneración.
- Motivación por la investigación y desarrollo de sistemas energéticos eficientes.

Aunque cada caso debe ser estudiado en detalle, en general la cogeneración es adecuada para empresas con consumos de energía eléctrica importantes, con un factor de utilización elevado (más de 5.000 h/año) y donde sea posible aprovechar energía térmica a temperatura media (alrededor de 400-500° C).

En consecuencia, es perfectamente factible y conveniente en algunos casos la implementación de sistemas de cogeneración que abastezcan de calor y/o vapor a industrias o calor en conjuntos habitacionales y, en donde los excedentes puedan ser transformados en electricidad que se inyecte al SIC. La cogeneración es de alta eficiencia, al producir conjuntamente calor y electricidad en el centro de consumo térmico.

La producción de biomasa y su utilización energética conlleva asociados impactos económicos, sociales y medioambientales importantes.

Entre los principales aspectos sociales destaca la generación de empleo. La industria energética de la biomasa genera 10 veces más empleo que la nuclear y 3 a 4 veces más que la del petróleo por unidad energética producida. Por otra parte, la producción y utilización de biocombustibles sólidos produce entre 5 a 10 empleos directos y entre 15 a 30 indirectos por megawatt instalado, en donde aproximadamente, el 85% de los empleos directos se requieren en la fase de producción de los biocombustibles. Adicionalmente es importante señalar que más del 80% del empleo de la producción energética con biomasa se realiza en el medio rural, por lo que puede concluirse la gran importancia que esta alternativa puede suponer para mejorar el nivel de vida en este medio y ayudar a mermar la migración rural.

Bajo un punto de vista medioambiental, un impacto muy importante derivado del uso energético de la biomasa es el balance prácticamente neutro de emisiones invernadero que se deriva de la utilización energética de los biocombustibles sólidos. Adicionalmente su utilización no emite contaminantes sulfurados

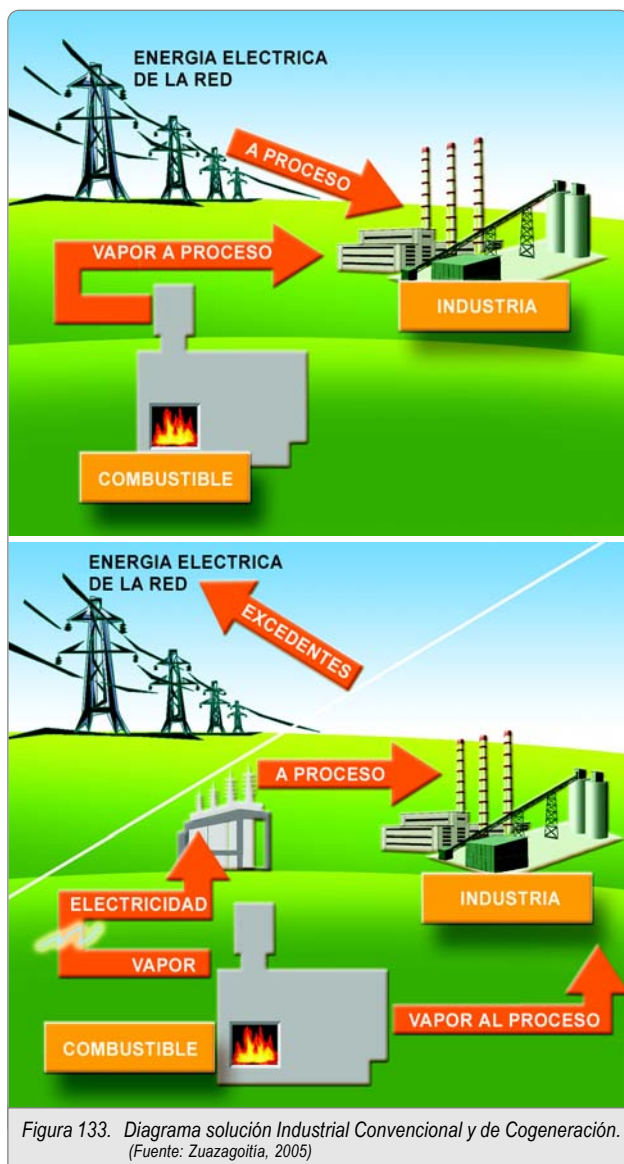


Figura 133. Diagrama solución Industrial Convencional y de Cogeneración. (Fuente: Zuazagoitia, 2005)

o nitrogenados. Puede, por tanto, concluirse que la producción y utilización energética de los recursos de biomasa es una alternativa eficaz y factible para tratar de controlar el actual efecto invernadero producido por las actividades antropogénicas, principalmente la producción energética con combustibles fósiles.

Desde la perspectiva económica, la cantidad invertida en la implementación de un ciclo de biomasa crea un flujo asociado de consumo, una demanda de bienes y servicios que es mayor que la cantidad invertida directamente en el proyecto. Esto es debido al efecto multiplicador que se genera en la economía por el incremento de demanda en uno de sus sectores y a la interrelación existente entre algunos de ellos. La internalización en los costos de producción energética de las

ventajas sociales y medioambientales del recurso renovable considerado, viene a informar favorablemente sobre sus posibilidades de competitividad con las fuentes energéticas convencionales. Es una energía autóctona lo que conlleva a una disminución de la dependencia de los combustibles fósiles de otros países. Por otra parte dentro de las energías renovables la biomasa presenta un flujo de producción no estacionaria pues su disponibilidad no depende de factores ambientales como la energía eólica o la energía hídrica. Adicionalmente, una parte de la biomasa para fines energéticos procede de materiales residuales que es necesario eliminar, por lo tanto el aprovechamiento energético supone convertir un desecho en un subproducto.

El uso de la biomasa con fines energéticos implica una adecuación de la materia prima para su empleo como combustible en los sistemas convencionales. Esta adecuación puede ir precedida de un acondicionamiento inicial para convertirla en el producto idóneo, que se tratará luego por el proceso de transformación adecuado. En el caso específico del aprovechamiento de la biomasa en los procesos industriales de generación de energía es necesario transformar la madera en trozas a astillas que alcanzan mejores niveles de rendimiento en el proceso de combustión, a la vez que niveles más bajos de emisiones.

El término astillas indica genéricamente un combustible derivado de la trituración de la madera virgen procedente de diferentes fuentes: podas, desechos de serrería, mantenimiento del bosque, etc. El tamaño y la forma de los trozos de madera varían en función del material de origen y del tipo de máquina utilizada para la trituración. Por lo tanto, se trata de un material muy heterogéneo caracterizado por una alta tendencia a formar aglomerados y a menudo fácilmente fermentable cuando el contenido de humedad es elevado. Para los sistemas pequeños con alimentador de tornillo sin fin el tamaño de las piezas es el factor fundamental de posibles situaciones críticas. El tamaño de las piezas no debería superar los 4-5 cm. Piezas de más de 7-8 cm, aunque estén presentes en pequeñas cantidades, pueden provocar atascos en el sistema de alimentación de la caldera y, por tanto, el bloqueo del sistema.

Para evitar estos inconvenientes es importante realizar siempre un cuidadoso control de la calidad del combustible, y descartar a los proveedores que no cumplan los requisitos necesarios de calidad del producto. El contenido de humedad es un factor menos crítico, ya que numerosos modelos de calderas pueden quemar madera recién cortada (humedad 40 – 50%) o ligeramente secada al aire. Hay que tener en cuenta la humedad de las astillas, sobre todo a la hora de decidir su precio, ya que influye de forma inversamente proporcional al poder calorífico del combustible.

Capítulo 5

Madera para Energía

Cuadro 76. Análisis elemental e inmediato, humedad y poder calorífico interior de los residuos forestales.		
	Elemento	Porcentaje (en masa)
Análisis elemental(% en peso, base seca)	Carbono	45,80
	Oxígeno	47,90
	Hidrógeno	6,00
	Nitrógeno	0,30
	Azufre	0,00
Análisis inmediato(% en peso, base seca)	Cenizas	2,65
	Volátiles	77,70
	Carbono fijo	19,65
Humedad (% en peso, base húmeda)	12,10	
PCI (kcal/kg)	3.590	

En cuanto a características físicas de las astillas son importantes la forma y tamaño, la humedad y la densidad. En general la astilla tiene forma plana, predominando la longitud y el ancho sobre el espesor. El tamaño es importante y no sólo el tamaño medio, sino también la uniformidad de los tamaños: cuando más uniformes sean las medidas de cada astilla mejor será la calidad de las mismas pues se controlará de forma más económica su movimiento. Cuanto más pequeña es la astilla más cara resulta su obtención; pero también es mayor su superficie específica y su densidad aparente. Cuanto mayor es la humedad menor es el poder calorífico. El motivo de esta influencia es doble:

- Cuanto más humedad tiene la madera menos materia seca hay por unidad de masa y, como lo que proporciona calor al arder es la materia seca (no el agua), menor es el calor suministrado.
- Cuanto más humedad tiene la madera mayor cantidad de agua hay que evaporar, y en esta evaporación se consume calor, con lo que la reacción de combustión invierte parte del calor producido en evaporar esa agua.

Respecto a las características químicas de las astillas, las más relevantes son la composición química elemental, la composición química por compuestos químicos y el poder calorífico. Todas ellas están en directa relación con la materia prima de la que proceden las astillas, más la de las impurezas que puedan añadirse en su transporte y manejo. Si son de madera estarán formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno en un porcentaje casi del 100% respecto a la materia seca (Cuadro 76). Si las astillas proceden de madera y corteza el carbono, hidrógeno y oxígeno se verán acompañados en pequeñas proporciones por otros compuestos muy variables y que dependen de la especie vegetal de la que procede dicha corteza. Las impurezas en

muchos casos son áridos que proceden del lugar de almacenaje.

La calidad de las astillas es función de diferentes variables: humedad, poder calorífico, superficie específica (relacionada con el tamaño), homogeneidad de tamaños, composición química elemental. En los países nórdicos las astillas son clasificadas atendiendo a tres variables: la densidad energética (poder calorífico volumétrico), la humedad y el tamaño de las mismas (Cuadro 77). Esta clasificación adolece del defecto de no considerar en ningún momento la composición química, con los problemas ambientales que puede suponer la existencia de aditivos y colas.

Desde este punto de vista existen 4 calidades de astilla o biomasa sólida forestal triturada. Las de mayor calidad son de calidad 1 (C1), las de menor calidad son de calidad 4 (C4) (Cuadro 78).

En cuanto a rendimiento del proceso de astillado Sandoval e Inzunza (2004) estudiaron el aprovechamiento de madera rolliza en una planta astilladora estándar que opera con madera proveniente del manejo de bosques naturales de la Décima región. Los resultados indican un aprovechamiento de 93,6% para rollizos de 1 a 1,22 m de largo y de diámetro inferior a 40 cm, 92,7% para rollizos de 2,44 m de largo y diámetro inferior a 40 cm, y un 85,3% para rollizos previamente partidos o de 2,44 m de largo y diámetro superior a 40 cm. El factor de conversión de volumen estéreo a volumen sólido tiene un valor promedio de 1,693 m³ ssc/mr, mientras que el factor de conversión de volumen estéreo de madera a volumen estéreo de astillas es de 4,268 m³ estéreos de astillas/mr (Cuadros 79 y 80).

Las principales pérdidas de volumen con relación a la madera rolliza ingresada a la planta corresponden al proceso de descortezado, seguido de pérdidas en el proceso de dimensionamiento de rollizos de más de 40 cm de diámetro.

Cuadro 77. Clasificación de las astillas en los países nórdicos.

Clase	Densidad energética en MWh/m ³ , mínimo	Comparación de calidad	Clase	Contenido de humedad %, máximo (*)	Comparación de calidad	Clase	Tamaño de la astilla 95% < mm	Comparación de calidad
E1	0,9	Mejor	K1	40	Mejor	P1	30	Mejor
E2	0,8		K2	50		P2	45	
E3	0,7		K3	60		P3	60	
E4	0,6		K4	65		P4	100	
		Peor			Peor			Peor

(*) Humedad en base húmeda.

Cuadro 78. Calidades de astilla.

Calidad	Tipología
C1	E1 y K1 y P1
C2	No es de la clase C1 Ninguno de ellos es E3, ni E4, ni K3, ni K4, ni P3, ni P4
C3	No es de la clase C1 No es de la clase C2 Ninguno de ellos es E4, ni K4, ni P4
C4	Ninguna de las anteriores

Cuadro 79. Factores de conversión de MR a metro cúbico sólido (m³ ssc).

Tipo de materia prima	Factor de conversión(m ³ ssc/mr)	Valor mínimo(m ³ ssc/mr)	Valor máximo(m ³ ssc/mr)
(MR-1,22L<40 D)	1,735	1,401	1,894
(MR-2,44L<40D)	1,720	1,440	1,895
(MR-2,44L>40D)	1,623	1,403	1,807

(MR-1,22L<40 D) Metro Ruma de 1 a 1,22 m de largo y diámetro inferior a 40 cm.
 (MR-2,44L<40D) Metro Ruma de 2,44 m de largo y diámetro inferior 40 cm.
 (MR-2,44L>40D) Metro Ruma de 2,44 m de largo y diámetro superior a 40 cm.
 Fuente: Sandoval e Inzunza (2004)

Cuadro 80. Factores de conversión de metro ruma con corteza a metro cúbico estéreo de astillas.

Tipo de materia prima	Factor de conversión(m ³ estéreos de astillas/mr)
(MR-1,22L<40 D)	4,382
(MR-2,44L<40D)	4,334
(MR-2,44L>40D)	4,089
PROMEDIO	4,268

Fuente: Sandoval e Inzunza (2004)

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

En el ámbito de las posibilidades concretas de incorporar los productos de baja calidad provenientes del Manejo Sustentable de los Bosques Nativos del país a la industria energética nacional, el Proyecto CMSBN ha venido avanzando desde el año 2003 en la generación de una plataforma técnica que permita contar con antecedentes básicos para la realización posterior de estudios de factibilidad en relación a la implementación de plantas energéticas ya sea térmicas, de cogeneración o eléctricas en la zona comprendida entre la VII y XII regiones del país.

A nivel nacional, la leña es el principal insumo dendroenergético utilizado en el país, con un 74% del consumo total, seguido por los desechos lignocelulósicos (provenientes de la cosecha y de la industria) con un 24% y por el carbón vegetal con sólo un 2% de participación, lo cual demuestra el alto aporte energético que realizan los bosques al consumo de leña del país, principalmente para satisfacer las necesidades del sector residencial, al cual se destina un 59% del consumo total de dendrocombustibles de Chile.

Chile tiene un potencial considerable para usar biomasa de bosques como energía, dado el continuo aumento del crecimiento

Capítulo 5

Madera para Energía

de plantaciones de árboles y el espacio para hacer un mejor uso de los residuos de la producción de madera. Es importante señalar, que bajo un esquema de manejo sustentable debidamente certificado, sería posible incorporar extensas superficies de bosque nativo a la generación de energía, lo que adicionalmente acarrearía múltiples beneficios sociales y económicos para las economías rurales, asegurando que el recurso se mantenga e incluso mejore en el tiempo.

Dadas las dificultades que se han presentado en el abastecimiento de insumos energéticos en el país, y reconociendo la existencia de abundante recurso forestal nativo factible de incorporar a la producción sustentable de energía en el corto, mediano y largo plazo, resulta obvia la posibilidad de reestructurar la matriz energética nacional, con miras a desarrollar proyectos de generación de energía a partir de estos insumos. Históricamente, la demanda energética nacional ha estado fuertemente influenciada por el crecimiento económico, por tanto puede esperarse que continúe creciendo de acuerdo a la tendencia observada (Figura 134).

Por otra parte, si se analiza la fuerte dependencia energética que mantiene el país y la escasa sustentabilidad que esto significa fundamentalmente para la actividad industrial se hace perentoria la necesidad de recurrir en el más breve plazo a la búsqueda de tecnologías alternativas que incorporen recursos existentes en abundancia en el territorio, al uso indicado.

La industria forestal maderera, alimentaria y manufacturera en general, es el polo de crecimiento en las regiones VII a XII. La concentración de la población, el alto grado de ruralidad y la existencia de recurso forestal nativo no aprovechado, constituyen un escenario ideal para el desarrollo de proyectos de utilización de insumos bioenergéticos derivados del manejo del bosque nativo, en una actividad productiva permanente que de paso implique la generación de puestos de trabajo en áreas económicamente deprimidas.

Se plantea la posibilidad de estructurar una serie de proyectos de desarrollo de plantas generadoras de energía a partir de biomasa lignocelulósica, para satisfacer demanda de la pequeña y mediana industria, el sector público urbano y el sector residencial, e incluso la electrificación rural en sectores poblados muy alejados de los centros de distribución.

El estudio realizado en el marco del Proyecto CMSBN se centró en el área geográfica comprendida entre la VII y XII regiones. Esta proporción del territorio, representa un 53,8% de la superficie total descontando el territorio antártico, y concentra un 97,7% (13.114.912,5 ha) de la superficie de bosques naturales que cubren nuestro territorio.

Las masas boscosas están representadas por bosques templados con predominio de especies del género *Nothofagus*. No obstante, se trata en una alta proporción de bosques de segundo crecimiento y achaparrados, a excepción de las regiones X a XII en las cuáles existe una considerable proporción de bosques adultos.

Existen dos categorías especialmente interesantes para efectos de uso como insumo bioenergético. Estas son: bosque adulto y renoval. Ambas categorías evidencian una alta proporción de material primario que solo se puede destinar a usos como biocombustible y astillas, permitiendo de paso la extracción de árboles de menor calidad para dar paso a un mayor crecimiento y expansión de los individuos de mejores características, lo que propicia un mejoramiento futuro de la calidad de los productos para extracciones proyectadas a mediano y largo plazo.

Otro aspecto interesante de considerar es la existencia de otros tipos de formaciones boscosas que se pueden incorporar en mayor o menor medida a los procesos de generación de energía, como lo son los bosques artificiales (Cuadro 81).

En el Cuadro 81 se observa el potencial de biomasa presente en otro tipo de formaciones, que tanto desde la perspectiva del manejo forestal, como del aprovechamiento de residuos de cosecha, resulta interesante de evaluar como complemento al uso de materia prima para insumo bioenergético proveniente del manejo de bosques naturales.

Considerando el estado de conservación de los bosques nativos en el área de estudio, la alternativa de uso de este importante recurso para fines de producción energética abre un amplio espectro de posibilidades de desarrollo futuro, tanto para la industria forestal como para la energética generándose un sinergia absolutamente complementaria y beneficiosa para toda la sociedad.

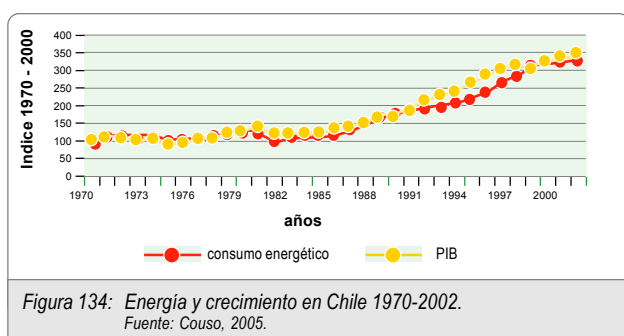
Para realizar una aproximación a la existencia de insumos dendroenergéticos en el país, es necesario determinar la superficie de bosque nativo, segregado por tipo forestal de interés (Cuadro 82), descontando en primer término la superficie de bosque nativo presente en el Sistema Nacional Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE); los bosques nativos con estructura de bosque achaparrado, los bosques con una altura menor a los 8 metros, aquellas superficies clasificadas como bosques abiertos, los bosques establecidos en pendientes superiores al 60% y finalmente es pertinente descontar aquellas superficies ubicadas en zonas de protección, especialmente asociadas a cursos de agua.

Efectuando los descuentos indicados es posible obtener una superficie potencialmente disponible para manejo sustentable del orden de 3.007.665 ha, a nivel nacional. A nivel de tipo forestal, es el tipo forestal Lenga el de mayor participación en cuanto a superficie (36,6%), seguido cercanamente por el tipo forestal Roble-Raulí-Coihue (29,6%). Este último es el que tiene una mayor frecuencia en cuanto presencia en el área de estudio, ya que se encuentra en 4 de las 6 regiones mencionadas.

Asimismo, es factible asumir, en términos muy conservadores, que el crecimiento de esta masa boscosa

es del orden de 5 m³/ha/año en promedio, con lo que el crecimiento total de la masa alcanzaría a aproximadamente 15 millones de m³/año. Si se asume que el 60% de esta madera es utilizable con fines energéticos, se tiene una disponibilidad de 9 millones de m³/año para la generación de energía a partir de biomasa en cualquiera de sus formas, aplicando la condición fundamental de sustentabilidad forestal, esto es: no extraer más que el crecimiento acumulado en el periodo de tiempo.

Considerando una eficiencia máxima real del proceso de transformación en energía del orden de un 80%, una densidad promedio de la madera nativa de 650 kg/m³ y un poder calorífico de 3.500 kcal/kg (4,07 kw-hr/kg), tendríamos aproximadamente 19 millones de Mw-hr/año de consumo de energía que se podrían satisfacer con este recurso forestal. Si consideramos que el total de energía primaria que se utilizó en Chile durante el año 2003 alcanzó del orden de los 315 millones de Mw-hr, podríamos decir que el 6,1% del consumo nacional de energía primaria podría ser abastecido teóricamente a partir del manejo sustentable del Bosque Nativo chileno. En términos de potencia instalada, considerando plantas



Cuadro 81. Superficie de Bosques artificiales por región y participación nacional.

Tipo de Bosque		Regiones						Total Nacional
		VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Plantación Forestal	Superficie (ha)	413.335,50	939.420,20	359.906,20	196.356,60	7.108,80	10,47	2.119.004,5
	Participación (%)	19,5%	44,3%	17,0%	9,3%	0,3%	0,0%	
Bosque Mixto	Superficie (ha)	12.292,20	38.294,20	19.074,10	15.272,50	914,1	27,02	87.625,4
	Participación (%)	14,0%	43,7%	21,8%	17,4%	1,0%	0,0%	
Total	Superficie (ha)	425.627,70	977.714,40	378.980,30	211.629,10	8.022,90	37,49	

Fuente: CONAF-CONAMA-BIRF, 1999a.

Cuadro 82. Superficie de bosque nativo según Tipo Forestal, Región y Participación (ha)

Tipo Forestal	Región						Superficie Total	Participación
	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Coihue de Magallanes	0	0	0	0	226.025,79	228.668,98	454.694,77	15,12%
Coihue - Raulí - Tapa	0	40.198,26	62.729,84	281.026,77	0	0	383.954,88	12,77%
Lenga	0	0	0	0	469.814,18	630.634,93	1.100.449,11	36,59%
Roble - Rauli - Coihue	84.375,31	290.044,28	270.150,72	245.122,06	0	0	889.692,38	29,58%
Roble-Hualo	76.907,46	0	0	0	0	0	76.907,46	2,56%
Siempre-verde	0	0	5.131,45	96.835,17	0	0	101.966,61	3,39%
Total	161.282,77	330.242,54	338.012,01	622.984,00	695.839,97	859.303,90	3.007.665,20	100,00%

Capítulo 5

Madera para Energía

Cuadro 83. Energía potencial disponible y potencia instalada teórica asociada al recurso bosque nativo.

Región	Superficie (ha)	Crecimiento en volumen(m ³ /año)	Volumen de uso energético (m ³ /año)	Energía Potencial (Mcal/año)	Energía Potencial (Mw-hr/año)	Potencia teórica posible (Kw)
VII	161.282,77	806.413,84	483.848,30	880.603.909	1.024.017	136.536
VIII	330.242,54	1.651.212,71	990.727,63	1.803.124.278	2.096.776	279.570
IX	338.012,01	1.690.060,07	1.014.036,04	1.845.545.595	2.146.106	286.147
X	622.984,00	3.114.920,02	1.868.952,01	3.401.492.666	3.955.450	527.393
XI	695.839,97	3.479.199,84	2.087.519,91	3.799.286.230	4.418.027	589.070
XII	859.303,90	4.296.519,52	2.577.911,71	4.691.799.321	5.455.892	727.452
Total	3.007.665,20	15.038.326,01	9.022.995,60	16.421.851.999	19.096.268	2.546.169

Cuadro 84. Precios combustibles Julio – Agosto 2005 (US\$/MMBTU).

	Regiones					
	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Precios Residenciales						
Petróleo Diesel	20,53	21,38	21,59	21,38	22,44	21,04
Gas Licuado	24,14	24,35	24,81	24,95	27,16	24,37
Gas Natural	-	31,1	-	-	-	4,18
Biomasa	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Precios Industriales						
Petróleo Diesel	22,17	22,01	22,18	22,18	22,52	22,03
Gas Licuado	27,79	27,66	28,48	30,05	31,70	s/i
Gas Natural	-	14,0	-	-	-	4,18
Biomasa	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4
Carbón (****)	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41	4,41

(****) Solo precio referencial. El Carbón de alto rango utilizado en las centrales generadoras del Sistema Interconectado Central, posee un precio de referencia de 4,41 US\$/MMBTU⁽⁴⁾. A nivel residencial casi no se utiliza carbón, y el utilizado proviene de generación propia en base a carbón vegetal.

eficientes que funcionen del orden de 7.500 horas/año, se podría satisfacer 2.546 Mw (Cuadro 83).

Efectuando la comparación entre el consumo de energía y la potencia requerida entre las regiones VII a XII, con el consumo y potencia que podría aprovecharse mediante el manejo sustentable del bosque nativo existente en la misma área geográfica es posible establecer que el 47,9% de la demanda de energía total y el 20,2% de la potencia instalada total podría ser satisfecha con este insumo energético. Más aún, al efectuar un análisis por Sector de Consumo el recurso forestal nativo existente permite satisfacer totalmente el consumo del Sector Industrial o del Sector Residencial. En términos de potencia instalada se podría satisfacer cerca del 80% de la potencia requerida por el Sector Industrial y poco más del 40% de la potencia asociada al Sector Residencial.

En el Cuadro 84 se indican los precios de los combustibles analizados, expresados en dólares por millón de unidades

térmicas británicas (US\$/MMBTU).

Las Figuras 135 y 136 resumen los precios promedio a nivel residencial e industrial de los combustibles analizados del área de estudio⁽⁵⁾.

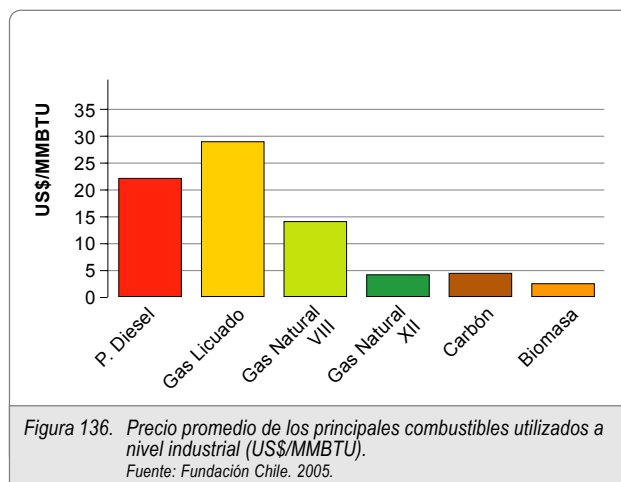
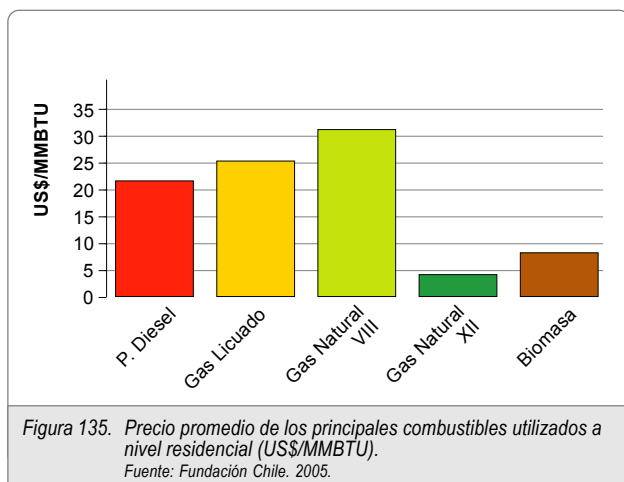
Como se aprecia en ambos casos, el precio de la biomasa forestal se ubica muy por debajo de los demás combustibles analizados, llegando a 62,5% menos que el petróleo diesel y una 67,8% menos que el gas licuado en el sector residencial. Solo en la XII región no se da esta situación debido al bajo costo del gas natural de la zona.

Para el caso industrial la biomasa es un 89,1% más barata que el petróleo diesel, un 91,7% más barata que el gas licuado y un 45,5% más barata que el carbón térmico analizado.

Teniendo en cuenta la eficiencia de combustión de los

(4) Precio promedio de carbón térmico puesto en cancha en centrales generadoras del SIC. Precio Agosto 2005.

(5) Solo las regiones VIII y XII poseen gas natural dentro del área de estudio.



Combustible	Poder calorífico superior		Precio de venta		Costo por unidad energética			
	valor	unidad	valor	unidad	\$/Mcal	\$/Kw-hr	•/Kw-hr	
Sector Residencial								
Biomasa	3.500	Kcal/kg	60	\$/ kg	17,1	14,7	0,023	1,0
Gas natural	9.030	Kcal/m ³	450	\$/ m ³	49,8	42,9	0,066	2,9
Gas licuado	12.100	Kcal/kg	641	\$/ kg	53,0	45,6	0,070	3,1
Electricidad	860	Kcal/Kw-hr	90	\$/ kw	104,7	90,0	0,138	6,1
Petróleo	10.900	Kcal/lt	423	\$/ lt	38,8	33,4	0,051	2,3
Sector Industrial								
Biomasa	3.500	Kcal/kg	20	\$/ kg	5,7	4,9	0,008	1,0
Gas natural	9.030	Kcal/m ³	210	\$/ m ³	23,3	20,0	0,031	4,1
Gas licuado	12.100	Kcal/kg	390	\$/ kg	32,2	27,7	0,043	5,6
Electricidad	860	Kcal/Kw-hr	40	\$/ kw	46,5	40,0	0,061	8,1
Petróleo	10.900	Kcal/lt	440	\$/ lt	40,4	34,7	0,053	7,1
Carbón	7.580	Kcal/kg	66	\$/ kg	8,7	7,5	0,011	1,5

652 (\$ / •) (23 de septiembre de 2005).

equipos de petróleo, gas natural y biomasa, puede afirmarse que, en el sector considerado y en términos de energía útil, la biomasa es un combustible más barato que el petróleo y más económico que la electricidad y el gas natural.

Con respecto al precio de los energéticos para consumo residencial e industrial, en nuestro país se tienen los costos para el usuario indicados en el Cuadro 85.

Como se puede observar, el consumidor residencial paga en promedio 6,1 veces más por un kw hora producido a partir de electricidad que por la misma cantidad de energía producida con biomasa, mientras que en el caso del

petróleo el costo por unidad energética es de 3,1 veces superior al de la biomasa. A nivel industrial las diferencias son aún superiores llegando la generación de energía a partir del petróleo a ser 7,1 veces superior a la generación a partir de biomasa.

Si al análisis se incorpora la eficiencia promedio actual, según la tecnología existente, en los procesos de transformación de energía con cada insumo energético, la biomasa sigue siendo el insumo más económico. Las diferencias son menores, llegando al petróleo a ser 1,5 veces más caro que la biomasa en el sector residencial y 4,7 veces en el sector industrial. El gas licuado resulta de 2 a 4 veces más caro que la biomasa, en la generación de la energía para calefacción y

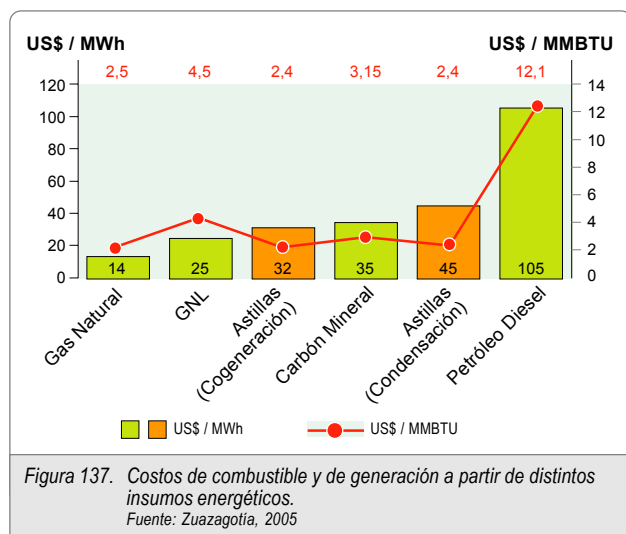
Capítulo 5

Madera para Energía

Cuadro 86. Valor de cada unidad energética generada a partir de diferentes combustibles, considerando la eficiencia de cada proceso.

Combustible	Poder calorífico superior		EC	Precio de venta		Costo por unidad energética			
	valor	unidad		valor	unidad	\$/Mcal	\$/Kw-hr	•/Kw-hr	
Sector Residencial									
Biomasa	3.500	kcal/kg	60	60	\$/ kg	28,6	24,6	0,038	1,0
Gas natural	9.030	kcal/m ³	90	450	\$/ m ³	55,4	47,6	0,073	1,9
Gas licuado	12.100	kcal/kg	90	641	\$/ kg	58,9	50,6	0,078	2,1
Electricidad	860	kcal/Kw-hr	100	90	\$/ kw	104,7	90,0	0,138	3,7
Petróleo	10.900	kcal/lt	90	423	\$/ lt	43,1	37,1	0,057	1,5
Sector Industrial									
Biomasa	3.500	kcal/kg	60	20	\$/ kg	9,5	8,2	0,013	1,0
Gas natural	9.030	kcal/m ³	90	210	\$/ m ³	25,8	22,2	0,034	2,7
Gas licuado	12.100	kcal/kg	90	390	\$/ kg	35,8	30,8	0,047	3,8
Electricidad	860	kcal/Kw-hr	100	40	\$/ kw	46,5	40,0	0,061	4,9
Petróleo	10.900	kcal/lt	90	440	\$/ lt	44,9	38,6	0,059	4,7
Carbón	7.580	kcal/kg	80	66	\$/ kg	10,9	9,4	0,014	1,1

E C: Eficiencia en la Combustión
652 (\$ / •) (23 de septiembre de 2005).



potencia respectivamente (Cuadro 86).

Otro aspecto clave a analizar, es la proporción del costo total de operación que implica el gasto en energía, de la matriz total de gastos de una empresa. Dependiendo de la intensidad de uso de este recurso en particular, lo que se deriva del tipo de procesos y de la tecnología usada, este puede llegar a significar hasta un 60% de los costos de producción. En este contexto, el ahorro energético por la vía del reemplazo de los combustibles a usar, puede ser de gran importancia en la matriz de costos finales de los procesos industriales.

Existen antecedentes que permiten afirmar que la producción de energía eléctrica a partir de biomasa en Chile, resulta altamente competitiva, con respecto la producida a partir de petróleo y sus derivados. Esta situación se hace más evidente cuando se analiza la cogeneración como alternativa de producción energética industrial.

En la Figura 137 se presenta una comparación de costos de producción de energía eléctrica a partir de distintas fuentes.

Adicionalmente, la biomasa se muestra como un combustible con una competitividad satisfactoria frente al gasóleo y al gas natural, en usos térmicos de aquellas industrias que, como las forestales y algunas agroalimentarias, producen la biomasa como residuo de sus procesos. Estas industrias están, asimismo, encontrando en la generación de electricidad una buena alternativa para rentabilizar sus residuos.

Respecto al balance neutro de CO₂ proveniente la combustión de biomasa, los proyectos de generación de energía desde biomasa aplican como proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kyoto.

En las transacciones en el Marco del cumplimiento del Protocolo de Kyoto, se observa que si el comprador retiene el riesgo del registro, las VERs se venden entre US\$ 3,6 y US\$ 5,0 (promedio ponderado US\$4,23), en los contratos en que el comprador retiene el riesgo, los CERs los precios son más altos con una variación entre US\$ 3,00 y US\$ 7,15 (promedio ponderado US\$ 5,63).

Cuadro 87. Balance Energético Primario para Chile (en Teracalorías).					
Energético	Años				Variación (%)
	2000	2001	2002	2003	
Petróleo Crudo	105.288	105.573	104.977	111.873	1,5
Gas Natural	60.310	68.359	68.940	74.582	5,5
Carbón	32.127	25.206	25.406	24.291	-6,8
Leña	42.544	42.462	43.137	40.754	-1,1
Biogas	51	27	0	0	
Total	256.730	260.272	262.401	270.939	3,3

Fuente: Balance Nacional de Energía (en base a encuestas CNE a empresas del sector energía e industrias intensivas en consumo energético), años 2001 a 2003; CNE, 2005.

Cuadro 88. Participación de energéticos en el Balance Energético Primario.				
Energético	2000 (%)	2001 (%)	2002 (%)	2003 (%)
Petróleo Crudo	41,0	40,6	40,0	41,3
Gas Natural	23,5	26,3	26,3	27,5
Carbón	12,5	9,7	9,7	9,0
Hidroelectricidad	6,4	7,2	7,6	7,2
Leña	16,6	16,3	16,4	15,0
Biogas	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0

Fuente: Balance Nacional de Energía años 2001 a 2003; CNE, 2005.

Un precio de venta para proyectos de este tipo puede fluctuar entre US\$ 4,23 / tCO₂e en promedio. Este valor se considera conservador en un escenario en que los precios de las reducciones en el marco del MDL deben tender a los precios de los permisos de emisión transable⁽⁶⁾ de la Unión Europea, precios que han alcanzado los Euro 29/tCO₂e. Si bien este precio no se sostendrá en el tiempo la diferencia entre ambos valores deberá acortarse a productos de similares cualidades⁽⁷⁾.

Por último, resulta evidente que se requieren estudios específicos con ingeniería de detalle para revisar aspectos técnico-económicos de la producción de energía a partir de biomasa, pero los antecedentes generales que se manejan en la actualidad dan cuenta de que tanto para la generación de energía eléctrica como térmica el uso de biomasa es viable económicamente.

5.2 Leña domiciliaria.

Los recursos forestales constituyen desde tiempos históricos y aún en la actualidad fuentes de energía para la humanidad. Sin embargo, hoy son frecuentemente cuestionados por el impacto

ambiental que se atribuye a su utilización, sin considerar que también pueden ser fuente de soluciones y oportunidades para un importante segmento de la población, que los emplea en el ámbito residencial y también industrial.

De acuerdo a las cifras de la Comisión Nacional de Energía (CNE) (2005) del consumo total de dendrocombustibles en Chile, equivalente a 40.754 teracalorías el 2003 (11,6 millones de toneladas), un 70,6% se canaliza al Sector Comercial, Público y Residencial (8,2 millones de toneladas), un 18,8% al Sector Industrial y Minero (2,2 millones de toneladas) y un 10,6% es empleado como insumo energético para la generación de electricidad (1,23 millones de toneladas). El Cuadro 87 indica el consumo de energéticos entre los años 2000 y 2003.

Según estos antecedentes la leña es el tercer recurso energético del país con una participación que oscila entre el 16,6% y el 15,0% en el balance energético primario del país (Cuadro 88).

Burschel *et al* (2003) indican que el principal insumo dendroenergético utilizado en el país es la leña, con un 74% del consumo total, seguido por los desechos lignocelulósicos (provenientes de la cosecha y de la industria) con un 24% y por el carbón vegetal con sólo un 2% de participación, lo cual demuestra el alto aporte energético que realizan los bosques al consumo de leña del país, principalmente para satisfacer las necesidades del sector residencial, al cual se destina un 59% del consumo total de dendrocombustibles de Chile. Además, señala que es una fuente energética nacional y renovable, que genera un flujo aproximadamente de 115 mil millones de pesos anuales, moviendo la economía local y campesina del país. Sin embargo, en los últimos años se ha instalado en la opinión pública la idea que la destrucción del bosque nativo y la fuerte contaminación del aire en los centros urbanos del sur, se debe al uso de la leña.

(6) Directiva de la UE de abril 2004: a partir del 01/01/2005 acepta MDL como mecanismo de reducción (con o sin Kyoto) impone multas por emisiones "sin permiso" (40 Euros por ton CO₂e en el periodo 2005-2007 y 100 Euros en 2008-2012)

(7) Benedict von Butler, Evolution Markets, 2005

Capítulo 5

Madera para Energía

Entre las causas que favorecen su consumo se pueden mencionar: la facilidad de acceso al recurso, la falta de alternativas energéticas (gas, derivados del petróleo, electricidad), y también el menor costo económico que esto significa, puesto que la mayoría de los casos las transacciones se realizan en un mercado informal, sin un resguardo de la legislación tributaria, técnica (planes de manejo) y ambiental. Esta falta de regulación del mercado, da lugar a una serie de distorsiones que hacen que el precio de la leña no refleje su verdadero valor, puesto que en el precio de compra no se incluyen los costos de cumplir con la normativa que obliga a elaborar un plan de manejo, a gravar los productos con el IVA, a cumplir las normas sobre transporte de carga y, lo más importante dar un valor al bosque natural, en conformidad con su contribución ecológica, dado que su costo de oportunidad no es tan evidente, debido a la escasa utilidad productiva actual. De esta manera la leña se ve favorecida, frente a los energéticos convencionales, sobretudo en la zona sur del país. El Cuadro 89 muestra los valores comparativos para tres tipos de insumos energéticos de uso común en los centros urbanos señalando el precio por unidad calórica.

Para alcanzar el uso eficiente de la leña sin contaminar, se deben lograr tres condiciones: una leña de calidad con un bajo contenido de humedad, equipos de combustión de al menos doble cámara y un consumidor responsable e informado (Burschel *et al*, 2003).

Cuadro 89: Relación costo-caloría de los principales energéticos de uso doméstico.

Energético	Rendimiento (kcal/kg)	\$/Unidad (kg)	\$/kcal
Kerosene	11.100	256	0,023
Gas Licuado	12.100	488	0,040
Leña	3.500	18	0,005

Fuente: Abalos, (2001).

En cuanto a la distribución geográfica del consumo INFOR-CORFO-CNE (1994) indican que, para el año 1992, los mayores consumos se registran en la zona sur, específicamente en las regiones Octava, Novena y Décima, las cuales son precisamente las con mayores recursos forestales, tanto con plantaciones de pino como bosques naturales (Cuadro 90). Se puede observar también, que los mayores consumos se verifican en el subsector rural, en prácticamente todas las regiones del país, a excepción de la XI región. El consumo total de dendrocombustibles el año 1992 alcanzó a 9,4 millones de toneladas.

Respecto a los consumos medios y por habitantes INFOR-CORFO-CNE (1994) indican que el consumo promedio por vivienda de 3,75 toneladas a nivel nacional en el sector urbano, en tanto que en el sector rural alcanza un promedio de 4,45 toneladas por vivienda. A nivel regional, los valores alcanzan a 1,59 toneladas por vivienda en el sector urbano, mientras que en el sector rural a 4,82 toneladas por vivienda (Cuadro 91). En términos generales se evidencia un incremento en el consumo de norte a sur del país para el sector urbano, asociado a que en este sector la leña se utiliza principalmente para calefacción, cuya necesidad aumenta con la latitud dadas las condiciones climáticas más adversas en latitudes mayores.

En términos de volumen los 6,9 millones de toneladas de leña consumidas a nivel nacional en 1992, representan 9,2 millones de metros cúbicos de madera sólida y, asumiendo un aprovechamiento del 90%, una corta de 10 millones de metros cúbicos sólidos en pie, correspondiendo un 61% a especies nativas, un 22% a eucalipto, un 15% a plantaciones de pino radiata y un 2% a matorral nativo. En términos de superficie, los volúmenes anteriores significan del orden de las 48 mil hectáreas anuales, asumiendo que se explotaran en forma continua y total. De esta superficie, un 64% correspondería a bosque nativo, un 14% a matorral nativo, un 12% a eucalipto y un 10% a pino radiata. Si se agrega la corta destinada a leña a la corta de madera rolliza

Cuadro 90: Distribución del consumo de dendrocombustibles a nivel regional. Año 1992.

Región	Participación (%)	Distribución sectorial del consumo (%)			
		Urbano	Rural	Industrial	Público y Comercial
IV	3	28	69	4	0
V	5	11	55	23	11
R.M	5	31	7	57	5
VI	9	21	69	10	0
VII	10	31	63	5	1
VIII	30	12	19	68	1
IX	12	25	50	22	3
X	24	21	35	37	8
XI	2	55	19	23	3
XII	0	0	88	13	0

Fuente: INFOR-CORFO-CNE (1994).

Cuadro 91. Consumos medios por Habitante y Vivienda, Sector residencial (toneladas), 1992.

Región	Sector Urbano		Sector Rural	
	Vivienda	Habitante	Vivienda	Habitante
IV	1,55	0,33	4,94	1,21
V	0,22	0,06	3,87	1,21
R.M	0,17	0,04	0,76	0,16
VI	3,29	0,69	7,81	1,64
VII	4,36	0,89	7,53	1,54
VIII	1,59	0,33	4,82	1,00
IX	3,95	0,84	6,96	1,50
X	5,56	1,16	8,49	1,82
XI	13,07	2,88	5,00	1,39
XII	-	-	3,18	0,85

Fuente: INFOR-CORFO-CNE, 1994.

que se canaliza a la industria primaria, se obtiene un volumen de corta total de 34 millones de metros cúbicos, correspondiendo un 57% a pino radiata, un 14% a eucalipto y un 29% a especies nativas. Luego de la corta total de madera rolliza de especies nativas, un 64% correspondería a leña, lo que refleja la presión que ejerce actualmente el consumo de este producto sobre los recursos nativos. Por el contrario, en plantaciones de pino radiata, generalmente la utilización de leña proviene de trozas defectuosas y de pequeños diámetros, que no tienen un mercado asegurado de mejor precio (INFOR-CORFO-CNE, 1994).

Según Reyes (1998), en 1997 se consumieron en la provincia de Concepción aproximadamente unos 62 mil m³ de desechos entre forestales e industriales, estos corresponden a residuos forestales provenientes de una cosecha de bosques, tales residuos se conocen como: ramas, tocones, maderas muertas y otros; y también a residuos de madera provenientes de la transformación mecánica de esta, tales como: despuntes, lampazos, aserrín, corteza, virutas, tapas, chicotes, y otros. Incluyendo residuos provenientes de la construcción. Si comparamos lo anterior con los 533.784 m³ estéreos consumidos de leña, tenemos que los desechos industriales y forestales representan solo un 11% del consumo total de la provincia. De este 11%, un 35% es consumido en las comunas de Lota y Coronel, principalmente en desechos forestales. Lo anterior se debe a que estas comunas se encuentran cercanas al patrimonio de importantes empresas que poseen faenas silvícolas en la zona. La principal forma de consumo de leña es a través de la astillas (trozo de madera de unos 25 a 40 cm de largo, en promedio unos 33 cm).

Para el año 2004 Milla *et al* (2004) estiman un consumo de 740.000 m³ estéreos de leña en la ciudad de Concepción, mientras que CONAMA-UDT (2005) otorgan un consumo de alrededor de 935.000 m³ estéreos de leña para el mismo año.

En cuanto al tipo de leña consumida en Concepción, según Reyes

(1998) entre un 70% y 80% del total de leña consumida está relacionado al consumo de especies nativas, principalmente del tipo forestal Roble-Raulí-Coihue. Milla *et al* (2004) estiman que para el sector residencial urbano de la ciudad de Concepción la leña que más se consume y es preferida por la población es la de hualle (Roble), representando un 45% del consumo, seguido del aroma (*Acacia dealbata*) con un 24%, el resto se distribuye en leña de pino, eucaliptus y desechos de durmientes y de construcción.

La mayor parte de la leña que se adquiere en la Provincia de Concepción es a través de vendedores ambulantes (transportistas), que por medio de sus vehículos recorren las comunas comercializando el producto y que en algunos casos ya son personas familiarizadas con los compradores y todos los años realizan el mismo recorrido. Otra opción de compra, es la adquisición directa a un productor en el área de producción, esto sería en el campo o bosque. Lo anterior se da en comunas aledañas y que aun poseen superficie con bosques y que como ingresos de los campesinos se encuentra la hechura o picado de la leña. Otra forma de adquirir el producto es a través de los locales formales que existen en algunos lugares estratégicos de cada comuna y que por lo demás no son muchos (Reyes, 2005).

Para la Octava región se puede estimar como precio de compra de la materia prima puesta en cancha valores que van desde los US\$ 11,5 a US\$ 23 por m³ estéreo, en tanto que el proceso de transformación de la leña se encuentra dentro de los US\$ 3,8 a los US\$ 5,5 por m³. Por otra parte, en el año 2004 el precio de venta de una astilla de leña de madera nativa en Concepción osciló entre \$ 60 y \$ 80 (Reyes, 2005).

Para el caso de la ciudad de Los Ángeles, el año 1999 la leña ocupó el primer lugar en el uso como combustible, con un 48,9% de participación, y un promedio de 0,93 m³ estéreo/vivienda/mes. El consumo total para el sector residencial de la ciudad fue de 57.453 m³ estéreo de leña. La leña utilizada proviene

Capítulo 5

Madera para Energía

principalmente de trozos de árboles cortados para fines energéticos (89,2%), en segundo lugar se ubican los desechos forestales (7,1%). Encuestados 22 locales establecidos y que se dedican a comercializar leña, estos llegan a negociar alrededor de 600.000 astillas de leña para un año, algo así como 2.347 m³ estéreos (Fernández, 1999). Para el año 2004 Milla *et al*, (2004) estima el consumo en aproximadamente 120.000 m³ estéreos en donde el 84% del mismo corresponde a madera de hualle (*Nothofagus obliqua*). De la leña consumida en Los Ángeles, la comuna de Santa Bárbara participa con un 70% del volumen, seguida de Loncopangue y Quilleco. El 70% de los productores de leña la comercializa en puestos fijos, un 26,7% lo hace repartiéndola en vehículos y el restante 3,3% lo realiza por encargo.

Durante el año 1999 en Chillán se consumieron alrededor de 187.598 m³ estéreos (CONAF, 1999), en cambio en el 2004 se estimó un consumo en torno a los 170.000 m³ estéreos (INFOR-CONAMA, 2005). La procedencia de la leña vendida corresponde a los sectores de Los Lleuques, Recinto, Atacalco, Loma Alta, Los Pellines, San Fabián y El Carmen. El promedio de consumo el año 1999 fue de 12 m³ estéreos/vivienda, mientras que en el sector grandes consumidores se registran volúmenes del orden de los 20 a 2.000 m³ estéreos de leña al año. Además se logró estimar un consumo medio por empresa o estamento público de alrededor de los 276,25 m³ estéreos de leña (CONAF, 1999).

Para el caso de la ciudad de Temuco, Lobos (2001) ha estimado un consumo promedio de 2,04 m³ estéreos/habitante/año, valor muy superior a los entregados por De La Jara (1987) y Ábalos (1997) para la misma ciudad (Cuadro 92). Considerando que la población de la ciudad de Temuco es de 243.000 habitantes, es

Volumen en m ³ /pers/año	Autor
1,92	De La Jara, 1987 (sector rural IX región)
1,21	De La Jara, 1987
1,03	Abalos, 1997
2,04	Lobos, 2000

Fuente: Lobos (2001).

posible estimar el consumo de leña del sector residencial en esta ciudad en 496.000 m³ estéreo/año.

En cuanto a la forma de adquirir la leña se evidencian estilos distintos en cada estrato socioeconómico. La picaduría es preferida por el estrato socioeconómico alto, en donde es posible encontrar la leña lista para su consumo con la modalidad de venta a base de un canasto con astillas picadas cuyo volumen es de aproximadamente 0,02 m³. El camión repartidor es preferido por el estrato social bajo seguido del medio, porque su costo es menor que en las picadurías.

Respecto a la estación del año en que se adquiere la leña, se aprecia que el estrato social alto la compra en otoño e invierno, en la medida que la necesita y lo hace lista para su empleo, o sea picada y seca, a diferencia de los estratos socioeconómicos medio y bajo que concentran la compra en los meses de verano para picarla, secarla por un par de meses y usarla en otoño e invierno.

En relación a las especies que la población compra mayoritariamente, se prefiere la leña de hualle, sin embargo, al recorrer los puntos de venta de leña, es posible evidenciar que en la mayoría de ellos lo que se vende en realidad es mezcla de leña de madera joven (no duraminizada) de diversas especies (roble, coihue, raulí, olivillo, ulmo, avellanillo, radial, etc.) que si bien es cierto presenta gran proporción de hualle o roble, no es pura.

Los precios que se pagan por la leña son distintos de acuerdo al estrato socioeconómico en que se venda, oscilando entre 6.900 \$/m³ estéreo y 8.769 \$/m³ estéreo, según la modalidad de compra (Cuadro 93).

Para la Décima región, la mayor parte del consumo de leña está en sector residencial urbano y tiene que ver en un 93% con especies nativas, específicamente Ulmo, Luma, Tepú, Tapa y Coihue (Ábalos, 1997). Específicamente en la ciudad de Puerto Montt, Reyes (2000) evidencia una marcada preferencia por leña de Ulmo y Luma en el sector residencial de la ciudad, ya que

Tipo de leña	Estrato socioeconómico			Promedio
	Alto	Medio	Bajo	
Picada	8.944	8.375	-	8.769
Metro Trozado	6.863	7.605	7.235	7.297
Metro sin Trozar	-	7.166	6.833	6.900

Fuente: Lobos (2001).

presentan porcentajes bastantes superiores a las restantes especies utilizadas con un 33% y 28,6% respectivamente. En cuanto a niveles de consumo en Puerto Montt se tiene que alrededor de 392.000 m³ estéreos de leña se consumen al año en el sector residencial, esto representa un consumo promedio total de los hogares de 16 m³ estéreos/año y un consumo per cápita de 2,9 m³ estéreos/año. Los valores correspondientes a los sectores industrial, comercial y público (en conjunto) es de 16.703 m³ estéreos/año. El volumen estimado de leña comercializada por locales establecidos de venta en la ciudad de Puerto Montt asciende a los 117.200 m³ estéreos/año. Este valor alcanza a cubrir solo una demanda del 25% de lo consumido en esta ciudad en un año calendario. Lo restante es absorbido principalmente por productores directos, transportistas intermediarios y sistemas de recolección directamente en bosques de la zona (Reyes, 2000).

En cuanto a la procedencia de la leña consumida en Puerto Montt la comuna de Los Muermos abastece aproximadamente el 50% del volumen requerido al año (Cuadro 94)

La principal unidad de medida para la caracterización del consumo de leña residencial en el país es el metro estéreo, el que corresponde a una pila de 1 metro de alto por 1 metro de largo y 1 metro de ancho constituida por trozos de madera de aproximadamente 33 cm de largo, 10 cm de alto y 15 cm de ancho (Figura 138).

Sin embargo, en la práctica existe una serie de unidades de volumen estéreo utilizadas en las distintas regiones de nuestro país, lo que complica el poder establecer y comparar los consumos a nivel local y nacional, así como evaluar los rendimientos y costos asociados a este producto.

En la Décima región es frecuente la venta de leña en varas (Figura 139), la que corresponde a una pila de astillas de leña de 0,83 m de largo por 0,83m de alto y 0,33 m de largo, es decir 0,2273 metros estéreos. En Chiloé en tanto, además de la vara, la comercialización en volúmenes menores se realiza en cajones en donde con aproximadamente 9 cajones se completa una vara, teniendo cada cajón entre 6 a 8 astillas.

Más al sur, específicamente en la XII región, la unidad de comercialización mínima usada es el taco (Figura 140), correspondiente a un trozo de madera cuya equivalencia es del orden de 3 astillas, mientras que para leña larga se utiliza el rajón, trozo de madera de aproximadamente 7 pies de largo equivalente a alrededor de 7 tacos.

Cuadro 94. Procedencia de la leña comercializada en Puerto Montt.

Comuna	Volumen (varas/año)	Volumen (m ³ estéreos/año)	Porcentaje (%)
Los Muermos	262.390,0	59.600	50,76
Maullín	95.010,4	25.590	18,38
Puerto Montt	61.513,8	13.980	11,9
Calbuco	45.696,0	10.300	8,84
Fresia	34.530,4	7.800	6,68
Puerto Varas	15.042,4	3.400	2,91
Llanquihue	2.740,0	622	0,53
Total	516.923	117.400	100,00

Fuente: Reyes (2000).

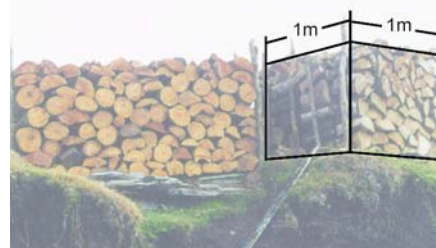


Figura 138. Representación de un metro estéreo.

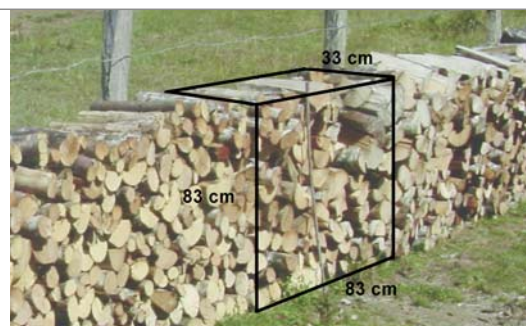


Figura 139. Representación de una vara.



Figura 140. Vista de tacos de lenga.

Capítulo 5

Madera para Energía

En la zona centro sur, además del metro estéreo y la astilla (Figura 141), es habitual el uso del canasto (Figura 142) el cual contiene aproximadamente 27 a 30 astillas.

En el mercado establecido, asociado a grandes tiendas de productos para el hogar, la comercialización se efectúa en términos de leña seca y por peso vendiéndose las astillas en sacos de 15 y 25 kilogramo, con una relación de 1.000 a 1.200 g de peso por cada astilla seca. Estos sacos son los producidos en el país por la empresa Energía Verde S. A. (Figura 143).

En el Cuadro 95 se presenta la equivalencia estimada para cada una de estas unidades de medida

De acuerdo a las conversiones de unidades presentadas y rescatando información de precios de estos formatos de venta en algunas localidades del país es posible normalizar los precios para efectuar comparaciones directas entre ellos (Cuadro 96). Un análisis de los resultados obtenidos permite verificar, en base a los precios normalizados obtenidos para la ciudad de Temuco

y la empresa Energía Verde S. A., que en la medida que más pequeño es el formato de venta mayor es el valor asignado a la unidad básica de volumen metro estéreo. Asimismo, se evidencia un más alto precio por unidad de volumen para aquel formato que presenta mayor elaboración y mejor calidad de producto, siendo este el caso de la venta de leña seca, en saco y en el mercado formal

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

5.2.1 Experiencia de producción de leña acreditada.

Una de las primeras experiencias en el tema de producción organizada de leña seca es la realizada en conjunto entre Energía Verde S.A., la Corporación Nacional Forestal Región del Bío-Bío y la Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ). La empresa Energía Verde S.A. es una

Cuadro 95. Equivalencia entre algunas unidades de comercialización de leña usadas en el país.

Unidad de medida	m ³ sólido	m ³ estéreo	metro ruma	vara	rajón	canasto	cajón	taco	astilla	EVSA 15	EVSA 25	Saco
m ³ sólido	1	1,5250	0,6250	6,7081	20	18,3	60	140	419	34	20	25,4
m ³ estéreo	0,6557	1	0,4098	4,3988	13	12,0	39	92	275	22	13	16,7
metro ruma	1,6000	2,44	1	10,7330	32	29,3	96	223	671	54	32	40,7
Vara	0,1491	0,2273	0,0932	1	3	2,7	9	21	63	5	3	3,82
Rajón	0,0501	0,0764	0,0313	0,3362	1	0,9172	3	7	21	1,680	1,0096	1,27
Canasto	0,0546	0,0833	0,0342	0,3666	1,1	1	3	8	23	1,8333	1,1018	1,39
Cajón	0,0167	0,0255	0,0104	0,1121	0,3333	0,3057	1	2,3	7	0,5600	0,3365	0,4242
Taco	0,0072	0,0109	0,0045	0,0480	0,1429	0,1310	0,4286	1	3	0,2400	0,1442	0,1765
Astilla	0,0024	0,0036	0,0015	0,0159	0,0476	0,0436	0,1429	0,3333	1	0,0800	0,0481	0,0606
EVSA 15 kg	0,0298	0,0455	0,0186	0,1984	0,5952	0,5455	1,79	4	13	1	0,6010	0,7576
EVSA 25 kg	0,0496	0,0756	0,0310	0,3302	0,9905	0,9076	2,97	6,9	21	1,66	1	1,26
Saco	0,0394	0,0600	0,0246	0,2619	0,7857	0,7200	2,36	5,7	17	1,32	0,7933	1

Cuadro 96. Precios normalizados para distintos formatos de venta de la leña residencial.

Formato de venta	Precio por unidad de volumen según localidad (\$)										
	Chillán	Los Angeles	CCP	Temuco	Temuco	Temuco	PMC	Chiloé	Pta. Arenas	EVSA 15	EVSA 25
m3 sólido	13.725	25.140	33.520	18.300	13.268	33.520	18.783	59.857	27.933	43.241	35.252
m3 estéreo	9.000	16.500	22.000	12.000	8.700	22.000	12.317	39.251	18.317	28.380	23.137
metro ruma	21.960	40.260	53.680	29.280	21.228	53.680	30.052	95.771	44.693	69.247	56.454
Vara	2.046	3.780	5.040	2.728	1.978	5.040	2.800	8.923	4.164	6.502	5.300
Rajón	688	1.260	1.680	917	665	1.680	941	3.000	1.400	2.167	1.767
Canasto	750	1.375	1.833	1.000	725	1.833	1.026	3.271	1.526	2.365	1.928
Cajón	229	420	560	306	222	560	314	1.000	467	722	589
Taco	98	180	240	131	95	233	134	429	200	310	252
Astilla	33	60	80	44	32	80	44	143	67	103	84
EVSA 15 kg	409	750	1.000	545	395	1.000	556	1.786	833	1.290	1.052
EVSA 25 kg	681	1.248	1.664	908	658	1.664	924	2.971	1.387	2.147	1.750
Saco	540	990	1.320	720	522	1.320	733	2.357	1.133	1.703	1.388

El valor achurado corresponde al precio real de mercado.



Figura 141. Vista de astillas de roble.



Figura 142. Vista de canastos de leña en la IX región.

empresa filial de Gener S.A., dedicada a la prestación de servicios a industrias, especialmente en el campo del manejo y aprovechamiento de residuos de la industria maderera, generación y venta de vapor y energía eléctrica y otros servicios relacionados. Atendida la circunstancia de estar relacionada con el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables en forma sustentable y en busca de potenciar su área de trabajo integró a los servicios ya ofrecidos la comercialización de biocombustibles derivados del manejo del Bosque Nativo, especialmente en el mercado de leña obtenida de forma sustentable, para ser utilizada en calefacción residencial.



Figura 143. Sacos de leña producida por Energía Verde S.A.

En noviembre de 1999 Energía Verde S.A. y la Corporación Nacional Forestal de la Región del Bío-Bío, firmaron un convenio de colaboración mutua, aplicable a la Octava región, que se tradujo en una exitosa experiencia de instalación de canchas de acopio de madera nativa proveniente de manejo sustentable, una en la ciudad de Concepción y la segunda en la ciudad de Los Ángeles. Dados los buenos resultados surgió la necesidad de ampliar los volúmenes de comercialización de madera manejada sustentablemente, acercando la operación a otras áreas geográficas como lo son las regiones VII, IX y X. Para ello, Energía Verde S. A. y CONAF se plantearon establecer un poder comprador formal de leña para los pequeños, medianos, y/o grandes propietarios de bosque nativo de las regiones VII, VIII, IX y X, como una forma de que recibieran los beneficios de seguridad, estabilidad y de proyección económica en el mediano y largo plazo. Lo anterior se materializó en el año 2000 con la firma de un convenio de 5 años de duración con el objetivo principal de desarrollar en conjunto un proyecto de comercialización de leña, carbón vegetal, y eventualmente otros productos o subproductos provenientes de un manejo sustentable de los Bosques Nativos Chilenos, en especial los de aquellos destinatarios del proyecto CMSBN, y en segundo lugar de medianos y grandes propietarios que no estuviesen incluidos en el proyecto CMSBN, pero que contaran con planes de manejo

aprobados por la Corporación.

La principal función de CONAF en este marco, junto con servir de nexo entre propietarios y empresa demandante, fue acreditar que los productos comercializados por la empresa Energía Verde S.A. provenían de bosques nativos manejados en forma sustentable en concordancia con los criterios utilizados en el Proyecto CMSBN. Para el logro de esta acreditación, CONAF designó a un “administrador” por cancha de acopio quién, dentro del resto de sus funciones, verificaba que los productos adquiridos provenían de predios con planes de manejo aprobados por la Corporación. Por otra parte también se efectuaban revisiones periódicas a aquellos predios que se encontraban entregando productos a la Empresa. El producto acreditado se identificaba en el mercado mediante un logo distintivo.

La empresa por su parte, junto con comprometerse a comprar a precios conocidos en cada cancha de acopio los productos elaborados por los pequeños, medianos y grandes propietarios relacionados con el Proyecto CMSBN, se comprometió a no adquirir productos provenientes de predios sin Plan de Manejo autorizados por la Corporación.

El desarrollo del proyecto implicó la operación de dos canchas de acopio de metros ruma y producción de leña ubicadas en la

Capítulo 5

Madera para Energía



Figura 144. Medición de metro ruma de madera nativa para elaboración de leña.



Figura 145. Vista general Cancha de Acopio Inspector Fernández, IX región.

VII región (cerca de Parral) y VIII región (Los Ángeles). El suministro mínimo acordado fue de 6.000 metros ruma en la cancha de Parral y de 7.000 metros ruma en la cancha de Los Ángeles. Las metas de suministro por la temporada completa son de 10.000 metros ruma en Parral y de 18.000 metros ruma en Los Ángeles. El precio de compra de metros ruma al administrador fue de 13.000 \$/mr, más entre 500 y 1.000 \$/mr como honorarios del mismo dependiendo del volumen efectivamente adquirido en cada cancha.

Adicionalmente, CONAF-GTZ y Energía Verde S.A. acordaron abrir dos poderes compradores de madera en la IX y X regiones en los alrededores de las ciudades de Victoria y Llanquihue respectivamente bajo similares condiciones que las canchas anteriores.

En cuanto a las características técnicas de la madera recepcionada, las exigencias indicaban que el diámetro mínimo debía ser igual o superior de 8 cm y el largo mínimo de 1 metro (Figura 144).

Finalmente, a partir de esta iniciativa pionera en Chile, el Proyecto CMSBN organizó en conjunto con los administradores de las

canchas un abastecimiento del orden de 50 mil m³ de madera combustible, lo que generó un ingreso para los propietarios del Proyecto del orden de 1,2 millones de dólares en dos temporadas de operación. Además, para lograr este abastecimiento se manejaron, con criterios de sustentabilidad, más de 1.000 ha de bosques nativos, en especial renovales. Adicionalmente, se logró demostrar con este proyecto piloto la factibilidad de implementación de un sistema profesionalizado y transparente en donde tanto los propietarios como la empresa y los consumidores finales se vieron beneficiados directamente (Figura 145).

5.2.2 Experiencia en certificación para el uso sustentable de la leña.

Otra iniciativa existente en el país, y apoyada por el Proyecto CMSBN desde sus inicios, es el Proyecto "Sistema de Certificación para el Uso Sustentable de la Leña en Valdivia", en el que participan el Gobierno Provincial de Valdivia, la Comisión Nacional del Medio Ambiente, la Corporación Nacional Forestal, la Cooperación Alemana, las empresas Bosca y Avina. Este Proyecto surge a raíz de las señales existentes con respecto a que el consumo masivo de leña puede causar graves problemas ambientales, sociales y económicos si no se toman medidas para prevenir la degradación de los bosques y disminuir la contaminación atmosférica asociada a este consumo actualmente. Su objetivo general es establecer un sistema de apoyo a la certificación para productores de leña, mejorando su gestión forestal a través de la aplicación de buenas prácticas de manejo y facilitando el acceso de sus productos al mercado.

Entre los principales problemas identificados que motivaron esta iniciativa están la degradación que se produce en los bosques, principalmente bosques nativos, al efectuarse extracciones de madera sin criterios técnicos, lo que puede conducir en el corto y mediano plazo a la deforestación, acrecentamiento de procesos erosivos y pérdida de biodiversidad, con la consecuente merma gradual de valor del patrimonio forestal de la región. Por otra parte están todos los problemas asociados a la combustión del material leñoso, en particular la contaminación generada por la utilización de material con un alto contenido de humedad ya que la leña como producto comercial maderero no cuenta con estándares reglamentados en cuanto a sus características técnicas a diferencia de lo que ocurre con otros productos maderos de mayor valor.

Las estrategias desarrolladas para resolver estos problemas dicen relación, por una parte, con capacitación en silvicultura a pequeños propietarios forestales, y apoyo técnico es la elaboración de planes

de manejo y ordenación forestal, a través de estas herramientas se busca establecer un programa de trabajo ordenado, donde el propietario asegura la producción continua en el tiempo y conoce la superficie de bosque que debe intervenir cada año, aplicando la condición de sustentabilidad del recurso. Por otra parte se apunta a resolver el problema de la calidad de la leña con la creación de un fondo para el secado de leña que tiene por finalidad secar el 100% de la producción de leña de los productores adheridos al proyecto durante un periodo de 3 años. Por último el proyecto busca apoyar en términos de organización y gestión comercial, para mejorar la comercialización de la leña generando vínculos directos entre consumidores, productores e intermediarios.

La certificación es abordada desde su definición como un instrumento de mercado de carácter voluntario, donde un tercero proporciona una garantía escrita de que un producto o servicio cumple con ciertos requisitos o estándares (de calidad u origen, por ejemplo) . Esto permite a los consumidores diferenciar este producto o servicio de otros. La certificación otorga beneficios económicos, sociales y ambientales.

El sistema de certificación se compone por un Consejo de Certificación de Leña para la Provincia de Valdivia. Esta entidad reúne a una serie de servicios públicos y organizaciones privadas sin fines de lucro preocupadas por el uso sustentable de la leña. Este consejo establece las reglas para la certificación de leña y entrega un sello de certificación.

El Consejo de Certificación de Leña para la Provincia de Valdivia exige el cumplimiento de los siguientes estándares:

1. Los comerciantes de leña deben cumplir la normativa municipal y del servicio de salud del ambiente, y la legislación tributaria, forestal y ambiental vigente.
2. Los comerciantes de leña deben acreditar el origen del producto y el buen manejo del bosque.
3. Se deben adoptar medidas para disminuir el contenido de humedad de la leña.
4. El comerciante de leña debe entregar información transparente y veraz al consumidor en relación a humedad, medidas, especies y otros aspectos técnicos.

Los comerciantes finales de leña, que pueden ser productores, transportistas o locales de venta son quienes se incorporan a la certificación.

El sistema se encuentra en marcha blanca desde noviembre de 2005, fecha en la cual organismos públicos y privados firmaron

un Acuerdo Nacional de Cooperación por el Uso Sustentable de la Leña, en el que se comprometieron a promover la producción sustentable de leña, la formalización del mercado y apoyar este Sistema Nacional de Certificación de Leña, estimulando el uso propio y de terceros de leña certificada. En esta oportunidad participaron consejos de Certificación de Leña de Chillán, Temuco y Valdivia.

Como principales avances en las líneas de acción del proyecto se encuentran:

- Se está trabajando con 17 productores con plan de manejo forestal (grandes, medianos y pequeños), algunos de ellos asesorados en el adecuado manejo de sus bosques 18 propietarios los cuales aportan al sistema alrededor de 10 mil m³ estéreos de leña.
- Se ha mejorado las condiciones de mercado en la venta de leña para cerca de 50 productores, incluyendo a beneficiarios del proyecto CMSBN.
- Se encuentran alrededor de 4 mil hectáreas de bosque nativo bajo plan de ordenación, con una oferta potencial de 13 mil m³ estéreos de leña proveniente de bosques nativos manejados para la temporada 2005.
- Se han elaborado una serie de documentos e información al consumidor, en cuanto a esta última se ha generado información con respecto a las temáticas de compra, almacenamiento combustión y mitos sobre la leña.
- Existe información relevante que está disponible en un sitio web (www.lena.cl), donde está alojada una unidad de gestión y post venta de leña, en esta el consumidor puede tener acceso directo a características de la leña, precios y realizar pedidos.

5.2.3 Experiencia en la evaluación del funcionamiento de una empresa distribuidora de biomasa combustible domiciliaria.

Al respecto existen dos evaluaciones realizadas en el marco del desarrollo del Proyecto CMSBN: una en la Región del Bío-Bío, específicamente para la ciudad de Concepción, y otra en la Región de Los Lagos, específicamente para la ciudad de Puerto Montt. En ambas el objetivo fue generar alternativas de formas de funcionamiento de una empresa dedicada a la venta de leña y evaluar técnica y económicamente su factibilidad. La principal diferencia entre ambas evaluaciones

Capítulo 5

Madera para Energía

Cuadro 97. Estructura de costos de las alternativas de abastecimiento para la empresa en la ciudad de Concepción.	
Propuesta I	Costo (\$)/m ³ estéreo
Compra mr en pie en predio	\$ 1.639
Volteo, trozado y arrumado	\$ 1.434
Carguío	\$ 492
Flete cancha acopio (50 km)	\$ 1.229
Descarga	\$ 328
Estancado de moto	\$ -
Hechura de astilla (picado)	\$ 1.967
Carguío leña	\$ 492
Flete centro abastecimiento	\$ 2.254
Descarga astillas	\$ 328
	\$ 10.163
Propuesta II	Costo (\$)/m ³ estéreo
Compra mr a orilla de camino	\$ 3.278
Carguío	\$ 492
Flete (50 Km.)	\$ 1.229
Descarga	\$ 328
Estancado de moto	\$ -
Hechura de astilla (picado)	\$ 1.967
Carguío leña	\$ 492
Flete centro abastecimiento	\$ 2.254
Descarga astillas	\$ 328
	\$ 10.368
Propuesta III	Costo (\$)/m ³ estéreo
Compra astilla seca	\$ 6.147
Carguío	\$ 492
Flete centro abastecimiento	\$ 3.074
	\$ 9.712
Propuesta IV	Costo (\$)/m ³ estéreo
Compra astilla verde	\$ 5.163
Carguío	\$ 492
Flete cancha acopio (50 Km)	\$ 1.229
Flete centro abastecimiento	\$ 3.074
	\$ 9.958

está dada por los costos asociados a la zona geográfica y en la diferenciación del producto que se hace en la Décima región (leña broza y roja).

La estructura general de funcionamiento de esta empresa abastecedora de biomasa combustible domiciliar se indica en la Figura 146 y básicamente se diferencia de las empresas que existen actualmente en el aseguramiento de la calidad en cuanto a su contenido de humedad, formato referido a empaquetado y enzunchado de paquetes de no más de 25 kg de leña, además de un servicio complementario de reparto a domicilio a través de un FONO LEÑA.

En ambas experiencias se consideraron cuatro formas para la

Cuadro 98. Estructura de costos de las alternativas de abastecimiento para la empresa en la ciudad de Puerto Montt.		
Propuestas	Costo (\$)/m ³ estéreo	
Propuesta I	Broza	Luma-Tepú-Ulmo
Compra mr en pie	\$ 1.640	\$ 2.050
Volteo, trozado, arrumado, hechura leña	\$ 2.870	\$ 3.280
Flete (predio - Puerto Montt (incluye C/D))	\$ 3.299	\$ 3.529
	\$ 7.809	\$ 8.859
Propuesta II	Broza	Luma-Tepú-Ulmo
Compra mr orilla camino predio	\$ 3.280	\$ 4.920
Flete (predio - Puerto Montt (incluye C/D))	\$ 3.299	\$ 3.810
Hechura de leña (picado)	\$ 2.460	\$ 2.460
	\$ 9.039	\$ 11.190
Propuesta III	Broza	Luma-Tepú-Ulmo
Compra leña (seca) orilla camino	\$ 8.800	\$ 11.880
Flete (predio - Puerto Montt (incluye C/D))	\$ 3.299	\$ 3.810
	\$ 12.099	\$ 15.690
Propuesta IV	Broza	Luma-Tepú-Ulmo
Compra leña (verde) orilla camino	\$ 5.500	\$ 5.720
Flete (predio - Puerto Montt (incluye C/D))	\$ 3.299	\$ 3.299
	\$ 8.799	\$ 9.019
Leña Industrial	Broza	Luma-Tepú-Ulmo
Compra leña metro orilla camino	\$ 2.200	\$ 4.180
Flete (predio - Puerto Montt (incluye C/D))	\$ 3.300	\$ 3.520
	\$ 5.500	\$ 7.700

adquisición de la materia prima:

- compra de madera en pie (metro ruma), lo que incluye en la estructura de producción realizar desde la faena de volteo, arrumado, trozado y picado de leña
- compra de materia prima a orilla de camino (metro ruma) y realizar el picado y hechura de astilla de leña en cancha que se consideraría como lugar de establecimiento de la empresa.
- compra de leña picada seca en predios, y
- compra de leña picada verde en predios

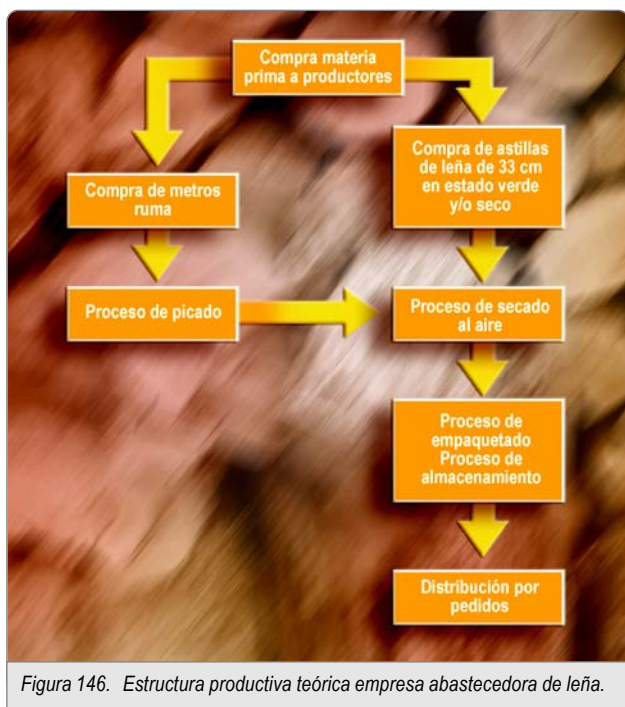


Figura 146. Estructura productiva teórica empresa abastecedora de leña.

En el Cuadro 97 presenta la estructura de costo para las alternativas de abastecimiento de materia prima a la empresa en la ciudad de Concepción. Del análisis de los resultados se consideró como no viable la alternativa de compra de metros ruma en pie en términos técnicos, así como tampoco se considera viable la alternativa de compra de astillas secas en predios ya que, según la experiencia del personal del Proyecto CMSBN no existe en la región la disponibilidad del volumen necesario requerido por la empresa (22.000 m³ estéreo). Por lo tanto se consideraron para el análisis técnico-económico las alternativas de abastecimiento de materia prima II y IV.

Para el caso de la ciudad de Puerto Montt, en el Cuadro 98 se presenta la estructura de costo para las alternativas de abastecimiento de materia prima. Por razones muy similares a las expuestas para el caso de Concepción se consideraron para el análisis técnico-económico las alternativas de abastecimiento de materia prima II y IV. En este caso el volumen de leña domiciliar a abastecer es de 39.000 m³ estéreos.

Para el funcionamiento de la empresa en la ciudad de Concepción se optó por una combinación de las formas de abastecimiento de la materia prima incorporando un 80% de compra de metros ruma y un 20% en astillas de leña verde. De esta manera se asegura por una parte, la completa adquisición del volumen requerido y por otra, la participación

de la mayor cantidad de proveedores que quieran incorporarse al negocio de la empresa. La inversión requerida es del orden de 26 millones de pesos, en tanto que los costos fijos bordean los 43 millones de pesos al año y los costos variables son del orden de 53 millones de pesos al año. Con estos antecedentes se obtuvieron los flujos de caja netos para cada año y los indicadores de rentabilidad del proyecto, verificándose con ello la conveniencia de implementar la empresa toda vez que los antecedentes muestran un Valor Actual Neto (VAN) que supera los 81 millones de pesos en 5 años a una tasa de descuento del 8% y una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al 78%.

Para el estudio en la ciudad de Puerto Montt, en forma análoga al análisis de la ciudad de Concepción se optó por una combinación de las propuestas de abastecimiento seleccionadas, esperándose incorporar en la adquisición de materia prima un 60% de compra de metros ruma, un 20% en astillas de leña verde en forma directa (varas) para el consumo de biomasa domiciliar y se agregó además un el 20% de metros ruma en predio para consumo de leña industrial. La inversión alcanza a los 24 millones de pesos, mientras que los costos fijos son del orden de los 27 millones de pesos al año y los costos variables no superan los 70 millones de pesos al año. El análisis de los flujos de caja entrega un Valor Actual Neto (VAN) que supera los 46 millones de pesos en 5 años a una tasa de descuento del 8% y una Tasa Interna de Retorno (TIR) superior al 59%.

Finalmente, las experiencias del proyecto CMSBN en la temática de producción y utilización de leña residencial es bastante más amplia que la mencionada en este documento y tiene que ver fundamentalmente con la instalación de la temática de utilización de este combustible en una forma sustentable tanto en su extracción y producción como en su uso final. De esta forma, hoy en día, a partir del conocimiento acumulado y del trabajo realizado, muchas otras entidades se han incorporado al desafío de generar un mercado profesionalizado de la leña que permita por una parte formalizar su extracción del bosque y por otra lograr estándares de utilización en los equipos de combustión que entreguen garantías de cuidado al medio ambiente.

5.3 Carbón vegetal.

El carbón vegetal es el que se obtiene mediante la combustión incompleta de la madera. La carbonización de la madera se realiza en hornos o en las antiguas "carboneras", consistentes en una pileta de leña cubierta de tierra y con orificios que se abren o se cierran para controlar el caudal de aire a fin de que la

Capítulo 5

Madera para Energía

combustión no se detenga (Figura 147). El calor producido por la combustión de una pequeña parte de la madera apilada produce la carbonización del resto. Este combustible puede alcanzar los 7.580 Kcal/Kg. (Cuadro 99), (http://www.conama.cl/certificacion/1142/articulos-29099_recurso_8.pdf).

El empleo de carbón vegetal obedece a una fuerte tradición campesina, que usa principalmente este combustible en calefacción, cocinas, asados al aire libre y trabajos en fraguas para la fabricación de productos de uso rural. Su utilización se ha extendido a las ciudades para preparación de asados al aire libre, con fuerte demanda estacional ⁽⁸⁾, donde su consumo masivo alcanza ya a miles de toneladas por temporada.

La producción de este combustible se ha enmarcado en una economía informal que se inicia desde la preparación de la leña apta para el proceso de carbonización, hasta su comercialización a granel, para luego ser ensacado y etiquetado para su venta al público en cadenas de supermercados.

Se ha intentado el uso industrial del carbón vegetal, pero debido a la fuerte heterogeneidad de las especies maderables que lo componen, la contaminación por elementos extraños y su contenido de humedad altamente variable, se ha hecho incierta esta posibilidad. Esta misma situación es válida para el mercado de exportación de carbón doméstico, agregándose además la restricción referida a la escasa cantidad de carbón que son capaces de producir los campesinos (Souter, 2002).

Para apreciar los usos y el real valor del carbón vegetal, es preciso conocer qué es el carbón y cuáles son sus características físicas y químicas.

Carbón vegetal es el residuo sólido que queda cuando se "carboniza" la madera, o se la "hidroliza", en condiciones controladas, en un espacio cerrado, como es el horno de carbón. El control se hace sobre la entrada del aire, durante el proceso de pirólisis o de carbonización, para que la madera no se quemara simplemente en cenizas, como sucede en un fuego convencional, sino que se descomponga químicamente para formar el carbón vegetal.

Las principales características físicas del carbón vegetal son: densidad, superficie específica y humedad.

Densidad.

Con respecto a la densidad esta es una propiedad física

Cuadro 99: Poder calorífico para diversos materiales empleados como combustibles.

Poder Calorífico kcal/kg		
Material	Superior	Inferior
Carbón vegetal	7.200 - 7.970	7.090 – 7.850
Briquetas	5.850 - 7.560	5.550 – 7.390
Leña nativa (0% humedad)	4.650	
Leña seca al aire	3.200	
Leña verde	1.780	

relevante, ya que densidades altas suponen, a igualdad de peso, volúmenes más pequeños y, por tanto, una disminución de costos de transporte. Además, en el uso industrial se buscan carbones densos, ya que producen, a igualdad de volumen, mayor número de calorías en combustión.

La densidad de este combustible depende fundamentalmente de la madera utilizada para su obtención y esta aumenta con la densidad del material cargado en el reactor.

La densidad aparente del carbón vegetal, corresponde al cociente entre el peso y la sumatoria entre el volumen de carbón y el volumen de poros de aire en el carbón:

$$\text{Densidad Aparente Carbón Vegetal} = \frac{\text{Peso (kg)}}{\left(\text{Volumen Carbón} + \text{Volumen de poros de aire} \right) \left(\text{m}^3 \right)}$$

Los valores medios de densidad aparente varían entre 0,170 kg/dm³ y 0,500 kg/dm³. La densidad del carbón vegetal aumenta con la madera de origen, y generalmente las frondosas son más densas que las coníferas. Martín (1997), sostiene que la madera proveniente de estaciones secas, produce un carbón consistente, duro y más denso que el de estaciones húmedas y con maderas menos densas.

La densidad real, es decir, el cociente entre el peso y el volumen del carbón sin huecos de aire, está influenciada fundamentalmente por la densidad de la madera.

$$\text{Densidad Real Carbón Vegetal} = \frac{\text{Peso (kg)}}{\left(\text{Volumen Carbón sin huecos de aire} \right) \left(\text{m}^3 \right)}$$

(8) El mayor consumo de carbón para asados se da en las fiestas patrias del mes de septiembre y en vacaciones de verano, donde su demanda alcanza al 80 % del año.

Cuadro 100. Contenido de Carbono y otros elementos a diferentes temperaturas de carbonización.

Temperatura Carbonización(°C)	Carbono(%)	Hidrógeno(%)	Nitrógeno(%)	Oxígeno(%)
100	50,28	6,09	0,19	41,14
200	48,88	5,84	0,24	42,70
400	76,89	3,27	0,40	18,15
600	89,39	2,19	0,43	4,79

Superficie Específica.

La superficie específica corresponde al cociente entre la superficie y la unidad de masa del material. Es decir, los materiales con muchos poros tienen una superficie específica alta y los materiales con pocos poros, baja. Martín (1997), afirma que la superficie específica del carbón vegetal oscila entre 160 m²/g y 436 m²/g.

Esta magnitud física es de especial importancia para algunas industrias, ya que los materiales con alta superficie específica suelen tener un poder de absorción de gases muy alto.

Humedad.

En relación a la humedad de la madera esta es una variable importante en la elaboración del carbón y se sostiene que este factor influye más en el rendimiento del carbón que la especie que dio origen a este. Dicho de otra manera, a mayor humedad menor rendimiento; lo que es lógico ya que si la humedad es grande la cantidad de materia seca es menor a igualdad de peso, y por tanto es menor la cantidad de carbón obtenido.

Una de las ventajas del carbón vegetal, como combustible, frente a la madera, es que el primero aumenta muy poco su humedad con el tiempo (es inerte), mientras que la madera es muy higroscópica y su poder calorífico desciende con la humedad.

En relación a las características químicas del carbón vegetal, este está compuesto químicamente por carbono, como componente principal, por algo de hidrógeno y oxígeno, y por cantidades mínimas de nitrógeno.

Esta composición química elemental del carbón, está en función especialmente de tres factores:

- Materia prima utilizada para su elaboración.
- Temperatura de carbonización.
- Tecnología de carbonización.

Materia Prima.

En el caso de la materia prima utilizada, se sostiene que con iguales tecnologías, la especie de madera influye en el carbón



Figura 147. Carbonera cubierta con arena en la comuna de Longavi, VII región.

obtenido. Especies vegetales con mayores contenidos de carbono provocan carbones con altas concentraciones en carbono y de mayor poder calorífico.

Temperatura de Carbonización.

Respecto de la temperatura de carbonización la calidad del carbón obtenido aumenta con la temperatura de operación (Cuadro 100).

Este factor influye sobre todo al condicionar la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia en el horno y la forma de escape de sustancias volátiles. Además, hay tecnologías artesanales de elaboración de carbón, en las que la calidad del carbón depende fundamentalmente de la habilidad del operario. En tanto, donde se aplica mayor tecnología, a medida que esta aumenta la importancia del operario es menor.

En el Cuadro 100 se puede apreciar como, a medida que aumenta la temperatura, el contenido de carbono también aumenta, el de nitrógeno aumenta muy ligeramente y los contenidos de oxígeno e hidrógeno disminuyen ostensiblemente.

Tecnología de Carbonización.

La tecnología de carbonización, en última instancia condiciona la calidad del carbón vegetal. Existen tecnologías artesanales en las que la calidad del carbón (medida en porcentaje de carbono) depende fundamentalmente de la habilidad del operario. En las tecnologías semi-industriales (hornos de ladrillo y acero

Capítulo 5

Madera para Energía

fundamentalmente) la habilidad del operario influye menos. Por último en los hornos industriales la calidad es casi constante si la conservación del horno es la correcta.

Como proceso de fabricación del carbón se entiende que parte de la madera puesta en el horno se quema para secar y para aumentar la temperatura de la carga total de madera, para que la pirólisis ⁽⁹⁾ se inicie y continúe hasta el final por su cuenta. La madera quemada de esta manera se pierde. Todos los sistemas de carbonización ofrecen mayores eficiencias cuando son alimentados con madera seca, puesto que la eliminación del agua de la madera requiere grandes insumos de energía calorífica.

El proceso de pirólisis produce carbón vegetal que consiste principalmente en carbono, junto con una pequeña cantidad de residuos alquitranados, las cenizas contenidas originalmente en la madera, gases de combustión, alquitranes, una cierta cantidad de productos químicos - principalmente ácido acético y metanos - y una gran cantidad de agua originada del secado y de la descomposición pirolítica de la madera, que se suelta en forma de vapor. Cuando termina la pirólisis habiendo llegado a la temperatura de aproximadamente 500°C, se deja el carbón vegetal que se enfríe sin acceso de aire; puede entonces ser descargado sin peligro, listo para su empleo.

En resumen, el carbón vegetal se obtiene de la combustión incompleta de la madera; sus propiedades físicas y químicas dependen, en parte, del tipo de madera de la cual proviene y, en parte, de las condiciones del proceso de carbonización usado. En este caso se trata de obtener un carbón de forma de colpas, sin una granulometría determinada. Sus principales características son las siguientes:

- Densidad aparente : 0,2 a 0,5 gr/cm³
- Densidad real : 1,3 a 1,5 gr/cm³
- Área superficial específica : 1 a 2 m²/gr
- Contenido de carbono fijo : 60% a 80%
- Contenido en gases volátiles: 10% a 30%
- Contenido de humedad : 1% a 3%

- Contenido de cenizas : 1% a 8%
- Contenido de azufre : Menos de 0,040%
- Contenido de fósforo : Menos de 0,040%
- Poder calorífico : Aprox. 7.000 a 7.800 cal/gr.

Los valores precedentes deben considerarse como válidos para un carbón corriente, ya que si desea usarse para fines específicos (por ejemplo, como materia prima para elaborar carbón activo), las especificaciones deben ser más precisas.

La fabricación de carbón puede ser dividida en varias fases o unidades operativas, que son:

- Cultivo de leña
- Cosecha de madera
- Secado y preparación de la madera para la carbonización
- Carbonización de la madera para obtener carbón
- Tamizado, almacenamiento y transporte a depósito o puntos de distribución.
- Transformación de la madera en carbón vegetal.

Los costos de producción pueden ser también convenientemente analizados, empleando los siguientes "costos unitarios" genéricos, que muestran más claramente los méritos de los diferentes sistemas:

- El costo de la leña puesta al costado del horno, pozo o retorta, inclusive los costos financieros.
- Costo de la mano de obra para la carbonización, inclusive carga y descarga.
- Costo del transporte del carbón vegetal a los mercados principales o a los puntos de distribución.
- Costo del capital de trabajo.
- Costos fijos de inversión de los pozos, hornos o retortas.

(9) La pirólisis se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor. La pirólisis también aparece como paso previo a la gasificación y la combustión (<http://www.cps.unizar.es/~proter/Gasificaci%F3n.htm>).

En los lugares donde se usan hornos tradicionales de ladrillos de arcilla, con rendimientos de alrededor de 40 m³ de madera por hectárea, se aplican las proporciones de costos unitarios (expresados como porcentajes del costo del carbón vegetal entregado o consignado) que muestra el Cuadro 101.

Es evidente la importancia de los costos en la cosecha de la madera y en el transporte del carbón vegetal, estos representan en conjunto el 86% del costo total.

El rendimiento del carbón muestra también cierta variación con respecto al tipo de madera. Hay cierta evidencia de que el contenido de lignina en la madera tiene un efecto positivo sobre el rendimiento del carbón; un alto contenido de lignina da un elevado rendimiento de carbón vegetal. Una madera densa tiende también a entregar un carbón denso y fuerte, lo que es también deseable. Sin embargo, madera muy densa produce a veces carbón friable puesto que la madera tiende a desmenuzarse durante la carbonización. La friabilidad del carbón aumenta con el aumento de la temperatura de carbonización y el contenido de carbono fijo aumenta mientras que el contenido de sustancias volátiles decrece. Una temperatura de 450 - 500°C ofrece un equilibrio óptimo entre friabilidad y el deseo de un elevado contenido de carbono fijo.

Las numerosas variables posibles en la carbonización hacen difícil especificar un procedimiento óptimo. Generalmente pueden obtenerse los mejores resultados usando latifoliadas sanas, de densidad media a elevada.

Cuadro 101. Proporciones de costos unitarios por actividad para la producción de carbón en base a hornos de ladrillo.

Costo de la madera al costado del horno	60,0 %
Costo de la mano de obra en el horno	9,0 %
Costo del capital de trabajo	3,5 %
Costos fijos de las inversiones	1,5 %
Costos de transporte del carbón vegetal	26,0 %
Total	100,0 %

La madera deberá ser lo más seca posible y por lo general bien hendida, para eliminar piezas mayores de 20 cm de grueso. La leña que debe ser quemada en los hornos o fosas, para secar e iniciar la carbonización de la remanente, puede ser de inferior calidad y de sección menor. Su única función es la de producir calor para secar y calentar la remanente a la temperatura de carbonización. Debería tratarse de alcanzar una temperatura final de alrededor de 500°C en el interior de toda la carga, lo que con las fosas se hace difícil, puesto que la circulación del aire y los efectos de enfriamiento son irregulares y se producen puntos fríos, obteniéndose tizones o madera no carbonizada.

Otro antecedente fundamental en la fabricación de carbón vegetal es la tecnología empleada para su obtención. Una clasificación de la tecnología utilizada se presenta en el Cuadro 102 (FAO, 1983).

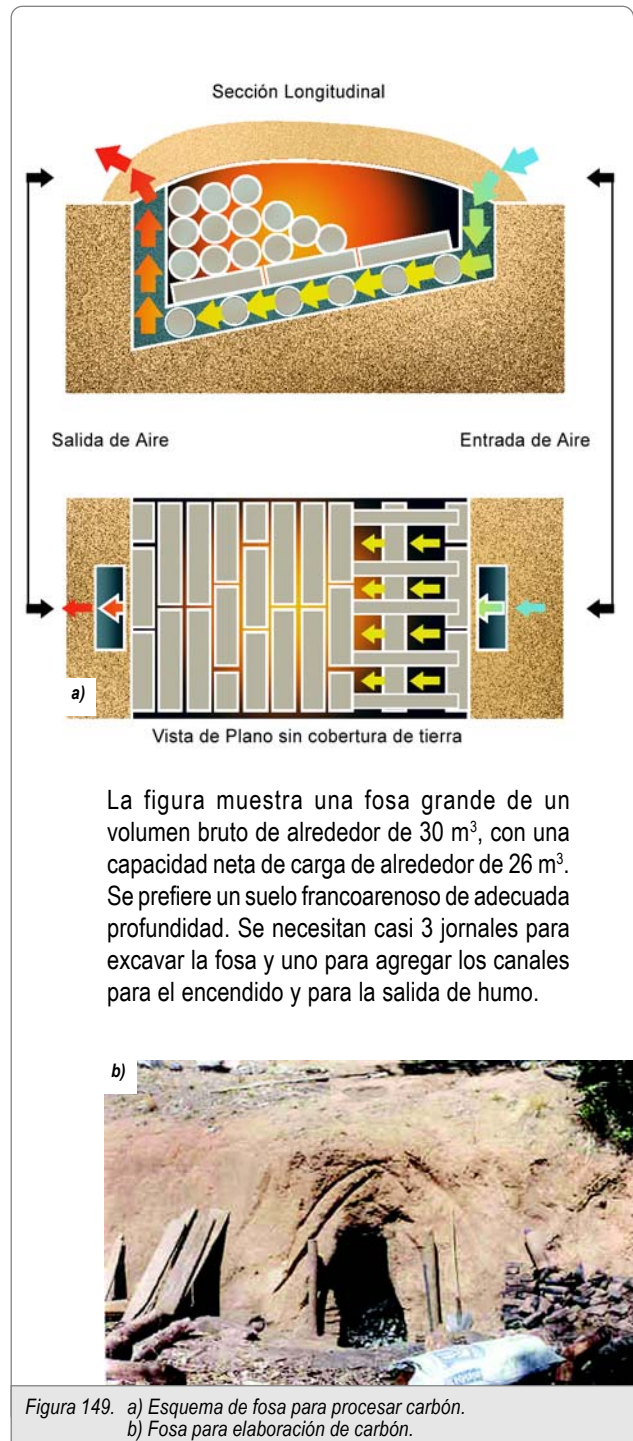
Cada una de estas tecnologías tiene asociadas ventajas y desventajas ya sea desde el punto de vista técnico, en términos de rendimiento, o desde la perspectiva económica traducida en costos de inversión y/o de operación (Cuadro 103), de tal forma que recomendar alguna tecnología en particular resulta bastante riesgoso al no conocerse las condiciones y objetivos específicos de la producción de carbón que se proyecte.

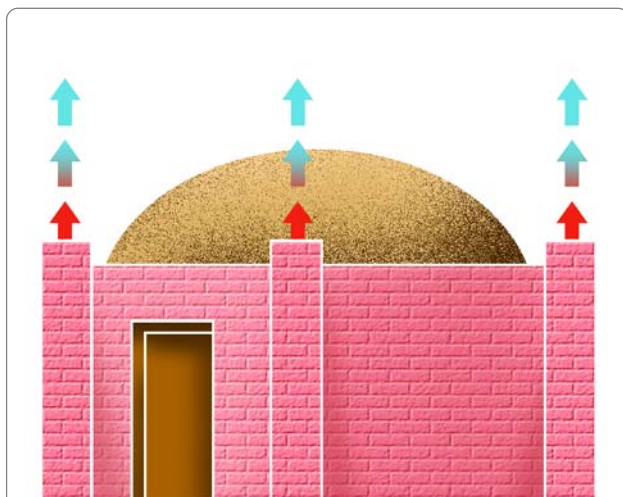
Cuadro 102. Clasificación de tecnología usada en la fabricación del carbón.

Barrera separación madera – aire	Tecnología o tipo de horno de carbonización
Tierra	Parva tradicional o parva sueca Fosa de tierra
Ladrillo	Horno de colmena brasileño Horno de media naranja argentino
Cemento armado	Missouri
Ladrillo-Acero	Horno Schwartz
Acero	Horno metálico MarcosHorno TPI Horno varbofrance, Bataillon.

Cuadro 103. Análisis comparativo de las diversas tecnologías utilizadas en el proceso de elaboración de carbón.

Tipo de horno	Volumen (m ³)	Costo US \$	Rendimiento
Fosa	Dependerá del tamaño de la fosa	Asociado al costo de pala, hacha y fósforo	30 %
Parva Sueca	100 – 250	310 (1978)	55 %
Horno colmena Brasileño	45	700 (1978)	62 %
Media naranja Argentino	Dependerá del tamaño	Asociado al costo del ladrillo	0,27 kg carbón/kg leña
Horno de Colina	8,9 / jornada		7,5 – 15 ton/mes

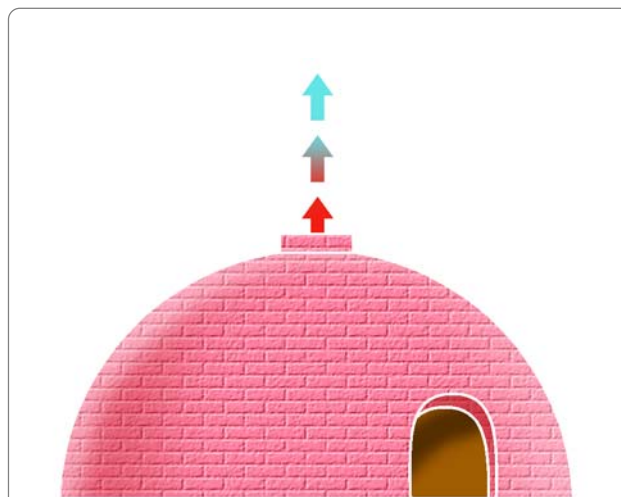




Los gases pasan a través de la carga de madera. El calor contenido en los gases es usado parcialmente en el proceso del secado de la madera y de la carbonización.

Alcanza rendimientos de hasta un 62%, es de fácil construcción y de materiales sencillos (ladrillos). Su tiempo de carbonización es de 9 días con una producción de 5 ton/ciclo.

Figura 150. Horno de colmena.



El proceso de carbonización dura 15 días para completar un ciclo, en el que se pueden producir 9 - 10 toneladas de carbón en un horno de 7 m de diámetro.

Se han alcanzado rendimientos de 0,27 kg de carbón por kg de leña.

Figura 151. Horno de media naranja.

De toda la tecnología mencionada anteriormente, las más utilizadas en Chile son las parvas (tradicional y fosa de tierra) (Figuras 148 y 149), algunos hornos de ladrillo como el Horno Colmena Brasileño (Figura 150) y el Horno Media Naranja argentino (Figura 151). A nivel regional, y debido a un trabajo realizado por CIDERE Bío-Bío, se ha fomentado el uso del Horno Transportable de alta productividad (Figura 152), ya que cumple con los requisitos de eficiencia productiva a costos razonables.

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo

A nivel nacional, la experiencia del Proyecto CMSBN se basa fundamentalmente en la utilización de hornos de carbón en distintas zonas del país con el objeto de dar alternativas económicas a los beneficiarios al dar uso a madera de baja calidad y de dimensiones que no permiten otros usos.

En términos prácticos, las tecnologías más empleadas por

Este horno se carga con 6 m³ de material leñoso (unos 1.500 kg), el cual se carboniza totalmente al cabo de 20 horas. El enfriamiento del horno tarda 22 horas más, por lo tanto, cada hornada dura 42 horas.

De cada hornada se obtienen 400 kg de carbón de un poder calorífico de 6.400 Kcal/kg.



Figura 152. Horno metálico transportable.

Capítulo 5

Madera para Energía



Figura 153. Proceso de carga de horno metálico portátil.



Figura 155. Sacos de carbón de aproximadamente 25 kg almacenados para su venta.



Figura 156. Bolsas de carbón de 2,5 kg listas para la venta en supermercados.



Figura 157. Carbón producido en horno metálico transportable previo al proceso de envasado.



Figura 154. Horno de carbón de ladrillo en proceso de producción.

el Proyecto CMSBN han sido los hornos de carbón metálico, portátiles y los hornos de ladrillo (Cuadro 104). El horno metálico consiste de dos anillos de un diámetro de 2,90m con una tapa separada, cuatro chimeneas y ocho pies (Figura 153). El horno de ladrillo tiene la forma de un huevo (Figura 154). Se pueden llenar los hornos con 6 m³ de leña. El horno de ladrillos tiene la ventaja que se puede usar leña muy gruesa. Para el horno de metal la leña tiene que ser más fina. Los resultados son parecidos y en promedio producen del orden de 500 kg de carbón por jornada. La calidad del carbón de hornos de ladrillos es un poco mejor, pero el proceso de la quema dura más tiempo. Especialmente, el proceso de enfriamiento. Por el contrario, el horno de metal es más rápido y más fácil de manejar. Es portátil, pero tiene una inversión superior al horno de ladrillos (tres veces más). La vida útil del horno metálico se calcula -con un manejo extensivo- que alcanza a los 3 años (máximo 5 años) y del horno de ladrillo un promedio de 20 años. Ambos hornos no producen riesgo de incendio forestal. El horno metálico es mejor desde el punto de vista de la salud del carbonero porque le permite trabajar al aire libre y en una posición más relajada para su cuerpo. Por otro lado, normalmente el carbonero de un horno metálico necesita ayuda de una segunda persona para tapan los anillos y para vaciar el horno. El carbonero de un horno de ladrillos puede trabajar en forma independiente.

El objetivo de la implementación de estas tecnologías ha sido dar uso y valor a la madera proveniente del manejo de renovales que poseen los beneficiarios del proyecto

Cuadro 104. Hornos de carbón implementadas por el Proyecto CMSBN en distintas zonas del país.

Región	Provincia	Comuna	Sector	Tecnología	Unidades
XI	Gral. Carrera	Puerto Ibáñez	El Manso	Horno de carbón metálico, portátil	1
X	Llanquihue	Los Muermos	Estaquilla	Horno de carbón metálico, portátil	1
X	Llanquihue	Los Muermos	Estaquilla	Horno de carbón metálico, portátil	1
X	Valdivia	Lanco	Licoco	Horno de carbón metálico, portátil	1
X	Valdivia	Panguipulli	Liquiñe	Horno de carbón metálico, portátil	4
X	Valdivia	Futrono	-	Horno de carbón metálico, portátil	1
X	Valdivia	Panguipulli	Neltume	Horno de carbón metálico, portátil	1
IX	Malleco	Collipulli	Amargo	Hornos de ladrillo	11
VIII	Bío-Bío	Varias	Varios	Horno de carbón metálico, portátil	2
VIII	Ñuble	Varias	Varios	Horno de carbón metálico, portátil	1

CMSBN y mejorar los ingresos de los propietarios al proporcionarles una herramienta de trabajo adicional. En este contexto, la totalidad de estas iniciativas ha cumplido con el objetivo. Adicionalmente, esta simple tecnología se ha convertido en un instrumento para influir en cierta forma en la visión de los campesinos en relación a las posibilidades de producción del bosque nativo más aun cuando en algunas zonas del país, el precio para la leña es tan bajo que los campesinos no pueden vender mucho y con la producción de carbón mejoran sus ingresos y también el valor del bosque nativo.

Las principales especies empleadas para producir carbón en las áreas en que se desarrolla el proyecto se subdividen en alta calidad y de baja calidad, entre las primeras se encuentran: maderas densas como Luma, Ulmo, Melí y Arrayán entre otras. Dentro de las especies de baja calidad, encontramos Roble-Hualle, Canelo, Tapa, Raulí, Mañío, Lengua y Olivillo.

Dentro de las principales materias primas para producir carbón se encuentran los desechos de explotación forestal. Prácticamente se usan los mismo trozos empleados en la producción de leña, sin embargo, el proceso de carbonización exige una homogeneidad en el tamaño de madera a emplear, en términos de diámetro y longitud, pues se corre el riesgo de transformar en cenizas la madera delgada cuando se mezcla con otra de mayor dimensión.

Como producto final se obtiene carbón de uso doméstico, el que se comercializa a granel, en sacos de uso agrícola de 25 kg (Figura 155) y a público urbano en bolsas de papel de 2 a 4 kg (Figura 156), cerrados y etiquetados. Ni el contenido de humedad ni la granulometría se ha estandarizado, pero se prefiere carbón

seco y trozos de tamaño medio, evitando el polvillo de carbón (Figura 157).

Algunas cifras de interés en la producción de carbón se puede señalar a modo de ejemplo: de la madera contenida en 1 m³ estéreo se pueden obtener alrededor de 90 kg de carbón, o lo que es equivalente, con 11 m³ estéreos es posible obtener una tonelada de carbón; mientras que un metro ruma de madera correspondería a 0,22 toneladas de carbón.

Si asumimos el uso de la tecnología de hornos metálicos portátiles, los más difundidos en Chile, se puede estimar una producción mensual del orden de 6,6 ton/mes considerando 6 cargas mensuales y con un requerimiento de madera de 30 metros ruma.

Otro antecedente relevante de conocer es el monto de inversión que supone la adquisición de un horno metálico para la producción de carbón, desarmable y transportable, con una capacidad de producción de 6 m³, el que se eleva a aproximadamente US\$ 2.200.

Respecto del modelo horno transportable, Barrientos (1999), sostiene por medio de la experiencia en el Sur de Chile, que el precio de venta del carbón producido en este último tipo de horno estaría alrededor de 0,52 US\$/kg, puesto en supermercados y otros lugares de venta.

En otra experiencia paralela, durante el año 2001 el Proyecto CMSBN en la Región del Bío-Bío en conjunto con la Energía Verde S.A. realizó un análisis de los costos involucrados en una eventual exportación de carbón a la

Capítulo 5

Madera para Energía

Cuadro 105. Estructura de costos de producción de carbón para exportación (FOB).

Item	Costos (\$)			Costos (•)***		
	Bolsa (2,5 kg)*	kg	ton	Bolsa (2,5 kg)	kg	ton
Materia Prima (carbón a granel)	225.0	90.0	90.000	0.30	0.12	120.00
Papel (envasado)	70.0	28.0	28.000	0.09	0.04	37.33
Mano Obra (llenado de bolsas)	27.5	11.0	11.000	0.04	0.01	14.67
Pallet	21.6	8.6	8.640	0.03	0.01	11.52
Hilo (envasado)	4.0	1.6	1.600	0.01	0.00	2.13
Flete a Puerto**	50.0	20.0	20.000	0.07	0.03	26.67
Descarga	4.0	1.6	1.600	0.01	0.00	2.13
Administración (10% costos)	20.1	16.1	16.084	0.05	0.02	21.45
Utilidad (15%)	63.3	26.5	26.539	0.09	0.04	35.38
TOTAL	485.5	194.2	194.214	0.65	0.26	258.95

* : Bolsa de papel para 2,5 kg

** : Flete considerado de 300 km

***: Valor del • = \$ 750 a diciembre de 2001

Unión Europea (Cuadro 105). De acuerdo a los antecedentes recogidos en esa oportunidad el valor FOB por tonelada de carbón envasada en bolsas de 2,5 kg y puestas en el Puerto de San Vicente se elevó a • 259, es necesario consignar que en esa fecha el valor del Euro era del orden de \$ 750, por lo que si el análisis se realizara en la actualidad el valor por tonelada se elevaría por sobre los • 300 FOB.

Finalmente, como cifras de interés económico en el mercado nacional se tiene que el precio de compra a pequeños productores de carbón varía entre 2.000 y 2.500 \$/saco entre 20 y 25 kg, es decir, entre 80 y 100 \$/kg. En el caso de la adquisición por parte de supermercados y tiendas de menor tamaño, el valor de compra varía entre 450 y 550 \$/bolsa de 2,5 kg, mientras que el precio de venta se sitúa entre los 750 y 1.000 \$/bolsa de 2,5 kg.

A partir de los antecedentes presentados en el presente capítulo, es posible asegurar que el carbón ha logrado situarse como un producto relevante desde el punto de vista de los productores en el sentido de entregar un mayor valor agregado a la madera de baja calidad y en algunos casos de desecho de actividades forestales en bosque nativo. Aunque no existen cifras oficiales, se estima que en Chile se comercializan más de 8.000 toneladas de carbón anualmente, lo que implica un valor de mercado del orden de los 7 millones de dólares anuales.

En este contexto, el escalamiento hacia la utilización de nuevas tecnologías debiera constituirse en una tarea futura que permitiera obtener mejores rendimientos, menores costos y a su vez lograr los volúmenes necesarios para emprender acciones en el ámbito de la exportación, considerando la gran cantidad de materia prima

disponible para su uso a la forma de carbón vegetal. No obstante, en forma paralela será necesario establecer la normativa de calidad pertinente para acceder a mercados más exigentes que el nacional, en donde la mayor parte de las características físicas y químicas del carbón están predefinidas.

5.4 Pellets y briquetas.

En la actualidad se cosechan 44,3 millones de m³ anuales de madera en troza en el país, de los cuales 15,5 millones de m³ se destinan a la industria del aserrío, 11,2 millones de m³ a la industria de la celulosa y 12,3 millones de m³ se consumen como leña (INFOR, 2005).

Para el caso del bosque nativo el consumo de madera en trozas en la industria primaria alcanzó a 623.400 m³ el año 2004 de los cuales 418.500 m³ son consumidos por la industria del aserrío generándose un volumen de madera aserrada del orden de 176.800 m³ (INFOR, 2005). A partir de estas cifras es posible estimar una generación de desechos de 241.700 m³ de madera lo que equivale a 628.400 m³ de aserrín, considerando una densidad de 650 kg/m³ para la madera nativa seca y de 250 kg/m³ para el aserrín seco. Una porción de este volumen hoy es utilizado para el autoabastecimiento de las calderas de aquellas empresas que poseen cámaras de secado con la finalidad de generar energía térmica y el resto constituye un desecho transformándose en un costo de almacenamiento o de eliminación.

Por otra parte, la mayoría de las desventajas que tiene el uso de la biomasa como combustible se derivan de su baja densidad física y energética. La solución a este problema es su

densificación, la que se puede definir como su compresión o compactación, para disminuir los espacios vacíos entre y dentro de las partículas.

De esta manera se llega a productos como el pellet y la briqueta. Productos compactados con menos de 30 mm de diámetro son considerados convencionalmente pellets y con diámetros mayores, briquetas. Los productos compactados no aglutinados son conocidos por bultos, pacas o fardos.

La formación de briquetas, pellets o pacas, se justifica no sólo por la reducción del volumen de los combustibles, sino también por la transformación de sus propiedades físicas (<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia13/HTML/articulo03.htm>).

Algunos de los beneficios de la densificación son: economía en el transporte, fácil manipulación, eliminación del polvo, revalorización de residuos, seguridad en el almacenamiento y mejor aprovechamiento energético.

5.4.1 Pellets.

El pellet es un cilindro o tarugo de 6 a 9 mm de diámetro y 10 a 38 mm de largo, que se densifica por un proceso de extrusión de aserrín (8–10% contenido de humedad), sin empleo de adhesivo.

De acuerdo a especificaciones americanas, el pellet de aserrín tiene un rendimiento de 80%, con un poder calorífico de 4.500 kilocalorías por cada kilogramo de peso. Sus efectos contaminantes son mínimos si se comparan con las emisiones de la leña que incluyen: emisión de partículas, óxido de azufre, nitrógeno, monóxido de carbono y compuestos volátiles.

Otra ventaja de este producto, es que por tratarse de un producto muy seco y de tamaño pequeño, es muy fácil de almacenar y manipular. Se puede distribuir en bolsa y a granel. Permite una alimentación continua de calderas industriales y de estufas residenciales.

El uso del pellets, no está sólo destinado a la calefacción de la casa. Industrialmente, puede utilizarse en panaderías, lavanderías, curtiembres, fundiciones, industrias de la madera, textiles, deshidratadoras de frutas y alimentos, además de servir como generador de energía en plantas termoeléctricas y generadoras de vapor (Lignum, 1994). Su uso permite diversificar la matriz energética y sustituir combustibles convencionales como el petróleo combustible, el petróleo diesel, el carbón y la leña provenientes del bosque nativo extraídos en forma no sustentable. De esta manera, se podrían reducir en forma



Figura 158. Tipos de pellets.

significativa las emisiones de gases de efecto invernadero.(Lignum, 2003b).

La tecnología de pelletización consiste en la compactación del material mediante la aplicación de presión sobre una matriz perforada, que puede ser cilíndrica o plana, a través de la cual se hace pasar el material que adopta la configuración de los orificios. La forma de los pellets generados es cilíndrica, con un diámetro entre 6 y 20 mm y una longitud de 25 a 60 mm, que depende fundamentalmente de la aplicación en la que se vaya a emplear y del tipo de sistema de aprovechamiento (Figura 158).

No es necesaria la adición de aglomerantes, ya que los propios componentes de la biomasa lignocelulósica actuarán como ligantes, aunque en ocasiones se pueden añadir agua o vapor para mejorar las condiciones del proceso. El producto terminado presenta una densidad promedio de 800 a 1.200 kg/m³, muy superior a la de la biomasa seca en estado natural (aproximadamente de 200 – 300 kg/m³), lo que proporciona la ventaja principal de cara a su transporte. A su vez, los pellets de biomasa presentan una fácil manejabilidad y una alta durabilidad, por lo que no se deterioran en su manejo. Los pellets tienen un elevado poder calorífico, que depende de la materia con la que están hechos, pero que en la mayoría de los casos alcanza valores en torno a 4.000-4.500 kcal/kg, debido a su alto grado de compactación y a su bajo contenido en humedad, que puede ser del 6-8%. Otro aspecto fundamental de la importancia de los pellets es que tienen un bajo contenido en cenizas, por lo que se reducen las operaciones de limpieza y mantenimiento de los equipos. Por último, un punto clave de esta tecnología es que se pueden obtener pellets a partir de materiales muy diversos: madera, aserrín, virutas, polvo, corteza, paja, papel y prácticamente cualquier tipo de biomasa residual agrícola, forestal, industrial o ganadera, lo que proporciona una elevada versatilidad (http://www.cap.cl/esp/a_prod/mineria/proceso_prod_planta_pellets.htm).

Capítulo 5

Madera para Energía



Figura 159. Bosque de lenga manejado con madera volteada sin uso.



Figura 160. Trozos aserrables de Lenga en Magallanes.



Figura 161. Desechos de aserrío de lenga en Magallanes.



Figura 162. Diagrama de flujo proceso productivo.

Los pellets de biomasa se fabrican a partir de un producto base con una humedad comprendida entre el 8 y 15% B.H. y un tamaño de partícula del orden de 0,5 cm. Como principal ventaja respecto a las briquetas, los pellets pueden ser alimentados y dosificados mediante sistemas automáticos, lo cual amplía sus posibilidades de utilización en instalaciones de mayor envergadura y en la industria (Ortiz, 2003).

El diámetro del pellet no debe superar los 2,5 cm, siendo los diámetros más normales los que oscilan entre 1,2 y 2,0 cm. La longitud del pellet es variable y además cuando se desmorona, lo cual ocurre a menudo en el transporte, la longitud disminuye (Camps y Marcos, 2002).

En cuanto a tecnología de fabricación se distinguen: pelletizador de matriz anular y pelletizador de matriz plana. Comparativamente, resultan más recomendables los de matriz plana ya que al ser reversibles se duplica la vida media de las mismas y además, son más simples de manejar (<http://www.afau.net/CPM.htm>).

Como equipos adicionales se emplean enfriadores de pellets que pueden ser verticales u horizontales, siendo estos últimos más adecuados para reducir el volumen de piezas defectuosas y producción de finos debidos al golpeteo añadido (Ortiz, 2003).

El objetivo final del proceso de pelletización es siempre el mismo: obtener un producto final de mayor densidad que los productos iniciales (Camps y Marcos, 2002).

Las principales materias primas utilizadas en la producción de pellets de madera son los desechos de remanufactura y el aserrín (Malisius, 2000). El contenido de humedad considerado óptimo para el procesamiento de la materia prima está en el rango de entre 8 a 12% (Alakangas, 2002), luego si se trabaja con desechos de madera provenientes directamente del bosque o del aserrín directo para el dimensionado de la madera que posteriormente va a ser procesada, deberá necesariamente incluirse, posterior al homogeneizado del tamaño de las partículas, una etapa de secado de las mismas (Rojas, 2004). Por otra parte se ha estimado que la producción de una tonelada de pellets requiere de alrededor de 7 m³ estéreos de aserrín (50 a 55% de humedad) o de alrededor de 10 m³ estéreos de virutas o cortes de desecho (10 a 15% de humedad), (Alakangas, 2002).

A nivel nacional se han realizado estudios de la factibilidad técnicos y económicos de la generación de pellets a partir de aserrín de *Pinus radiata*, con localización, por razones estratégicas relacionadas con el abastecimiento de materia prima como la cercanía a puertos de embarque, en la ciudad de Coronel, VIII región del país. Uno de estos estudios es el

de Pacheco (1999) en el cual se analiza una producción anual de 20.000 toneladas de producto terminado año, con una inversión total del orden de US\$ 2.500.000 (incluyendo el capital de trabajo) y un precio de compra del aserrín de 1.250 \$/ton, con ello se logra un costo unitario de 31,83 US\$/ton pellets, considerando el autor que el precio de venta FOB sería de 50,93 US\$/ton. Con ello, la evaluación financiera para un proyecto de 10 años de duración y una tasa de descuento del 12%, arroja un VAN de US\$ 408.564 y una TIR de 15,8%.

Un segundo estudio, en la misma zona geográfica, es el de Rojas (2004) quien considera una producción de 50.000 toneladas de pellets al año, una inversión de total del orden de US\$ 4.000.000 (incluyendo el capital de trabajo) y un precio de compra del aserrín de 800 \$/ton, con ello se logra un costo unitario de 98 US\$/ton pellets CIF en Europa o Asia (costo de transporte de 50 US\$/ton), considerando el autor que el precio de venta CIF será de 120 US\$/ton (22% de utilidad). Con ello la evaluación económica para un proyecto de 5 años de duración y una tasa de descuento del 10%, arroja un VAN de US\$ 1.203.423 y una TIR de 22%.

Experiencia del Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo

En las páginas siguientes se presenta el análisis técnico y económico asociado a la instalación y puesta en operación de una planta pelletizadora, situada en la Región de Magallanes, que utilizaría como materia prima madera de Lengua con características de astillable, actualmente considerada desecho en las actividades silvícolas al no ser demandada en la citada Región por la industria del aserrío (Figura 159). Se parte de la utilización de madera como materia prima dado que hoy no existe en la región la cantidad de aserrín necesaria para una producción industrial de pellets.

La planta fue proyectada con una capacidad de producción anual de alrededor de 50.000 toneladas de pellets, la que por razones estratégicas relacionadas con el abastecimiento de materia prima como la cercanía al puerto de embarque estaría ubicada en el barrio industrial de Punta Arenas.

De acuerdo a las relaciones insumo-producto presentadas por INFOR (2004), para el caso de la producción de astillas, se requiere de 1 m³ ssc para generar 0,65 toneladas secas (BDMT) de astillas (0% de humedad). En concordancia con lo anterior, es necesario un volumen de 1,54 m³ ssc para generar una tonelada de astillas, volumen sólido que equivale a un volumen estéreo de 1 metro ruma (mr), según los

antecedentes presentados en el mismo documento. Si se asume que no hay pérdida de masa, se requerirá de 1 mr de madera de lenga para producir una tonelada de pellets. Para efectos del análisis, considerando un 20% de pérdida en el proceso productivo, se asumirá una relación de insumo-producto de 1,2 mr/ ton de pellets, para la especie lenga, con lo que el proyecto requeriría un abastecimiento de 60.000 mr/año.

Actualmente el consumo de trozas para la industria del aserrío de lenga en la Provincia de Magallanes alcanza a 48.245 m³ ssc/año, el equivalente a 31.126 mr/año (Figura 160). Si se asume que el actual aprovechamiento de madera en los bosques no supera el 30%, se tendría que el total de volumen cosechado y no aprovechado es del orden de 72.627 mr/año, sin considerar intervenciones silvícolas intermedias en los bosques que aún no alcanzan el desarrollo para una corta de regeneración. Como antecedente referencial para cuantificar la disponibilidad de madera de los bosques de lenga de la región y en particular de la provincia de Magallanes, según INFOR (2004), el año 1997 el total de astillas exportadas desde la XII región alcanzó a 103.297,4 toneladas verdes, y el año 1996 a 180.867,2 toneladas verdes. Considerando que la densidad verde de la madera de lenga es de 910 kg/m³, y que 1,54 m³ ssc equivalen a 1 mr, se tiene que el año 1996 se tranzó un total de 132.503 mr para este mercado en la región, y el año 1997 75.676 mr de madera pulpable de lenga fueron transformados en astillas.

Adicionalmente, se podría contar como respaldo a la materia prima trozas pulpables, el volumen de desecho generado por la industria del aserrío de la Provincia de Magallanes, que alcanza un volumen equivalente a 30.892 m³ssc/año, de los cuales 26.969 m³ssc/año (17.980 mr/año) corresponden a la especie lenga (Figura 161).

En cuanto al valor de esta materia prima, dado que hoy no existe un mercado de ella el valor unitario puede desprenderse únicamente a partir de los costos de transformación y el valor de las trozas aserrables. Una estimación de este precio lo sitúa del orden de los 25.000 \$/mr, puesto en Punta Arenas dado que los costos de transformación fluctúan entre los 23.095 y los 27.900 \$/mr según los antecedentes aportados por Sociedad Forestal y Ganadera Monte Alto y Maderas San Vicente.

A partir del proceso productivo de pellets con aserrín como materia prima, se ha incorporado el tratamiento de las trozas pulpables para transformarlas en astillas y posteriormente en material particulado fino similar al aserrín. Con ello la secuencia de producción es la indicada en la Figura 162.

Capítulo 5

Madera para Energía

El resumen de los montos involucrados en las inversiones y costos operacionales del proyecto son los indicados en los Cuadros 106 y 107 respectivamente. Para el análisis de los costos se utilizó un valor del dólar de \$ 580 (al 20 de mayo de 2005).

Se observa que de los costos operacionales, los costos directos representan el 86,1%. Un análisis más detallado de estos, nos indica que la adquisición de la materia prima corresponde a un 81,7% de los costos directos, siendo el centro de costo de mayor participación en el contexto de los costos operacionales (70,3%) y, por lo tanto, el de mayor incidencia al momento de establecer el costo unitario, el precio de venta del producto terminado y la rentabilidad económica del proyecto.

El costo unitario equivale a la sumatoria de los costos e inversiones necesarias para producir una unidad básica de producción, en este caso una tonelada de pellets. Para el caso de los costos relacionados con infraestructura, maquinaria e inversiones menores, estos se calculan de la siguiente manera:

$$CU = \frac{((INF + MAQ + INVM + ICT) / N) + CT}{P}$$

Donde:

- CU : Costo unitario (US\$/ton)
- INF : Inversión en infraestructura (US\$)
- MAQ : Inversión en maquinaria (US\$)
- INVM : Inversiones menores (US\$)
- ICT : Inversión en capital de trabajo (US\$)
- CT : Costo total (US\$/año)
- N : Horizonte de planificación (años)
- P : Nivel de producción anual esperado (ton/año)

De esta manera, considerando un horizonte de planificación de 5 años y una producción de 50.000 toneladas al año, el costo unitario queda establecido en 94,90 US\$/ton.

Según esto y asumiendo utilidades esperadas del 10 al 30% por sobre el costo, se obtienen los precios de venta que muestra el Cuadro 108.

Analizando con mayor detalle la incidencia del valor de la materia prima sobre el costo unitario, es posible ver que una disminución del 20% en el precio de cada unidad de volumen estéreo, permite disminuir el costo unitario de 94,90 US\$/ton a 83,47 US\$/ton (un 12,6%). Si la disminución en el precio es del 40%, la disminución del

Cuadro 106. Resumen de inversiones del proyecto.

Item	Valor (\$)	Valor (US\$)
Infraestructura	601.274.278	1.036.680
Inversiones en maquinaria	1.297.497.700	2.237.065
Inversiones menores	88.435.440	152.475
Capital de trabajo	666.388.166	1.148.945
Total	2.653.595.583	4.575.165

Cuadro 107. Resumen de costos del proyecto.

Item	Valor (\$/año)	Valor (US\$/año)
Costos directos	1.912.092.885	3.296.712
Costos indirectos	61.075.000	105.302
Costos por administración y ventas	45.126.000	77.803
Costos por transporte a puerto	203.000.000	350.000
Total	2.221.293.885	3.829.817

Cuadro 108. Precios de venta para diferentes utilidades esperadas.

Precio de venta (US\$ / ton pellet FOB)	Utilidad esperada (%)
104,39	10
109,13	15
113,88	20
118,62	25
123,37	30

costo unitario es del 24% (de 94,90 US\$/ton a 72,05 US\$/ton). Dado que el horizonte de planificación del proyecto es una variable que también incide en el costo unitario, se efectuó un análisis de ella en conjunto con la variación del precio de la materia prima (Cuadro 109).

El menor costo unitario que se puede obtener es de 63,55 US\$/ton FOB, planificando el proyecto a 10 años y adquiriendo la materia prima a 15.000 \$/mr, puesto en la ciudad de Punta Arenas.

Un antecedente referencial al momento de establecer el precio de venta FOB de los pellets es el del mercado de las astillas, vigente en la zona hasta 1997. Según las cifras de volumen exportado y monto exportado presentadas en las Estadísticas Forestales XII región, 2003 (INFOR, 2004), en el año 1997 el valor FOB para este producto alcanzó a 58,77 US\$/ton verde, es decir 82,30 US\$/BDMT. En el año 1996 los valores fueron de 62,30 US\$/ton verde, o sea 87,30 US\$/BDMT.

El proyecto se evaluó económicamente considerando un horizonte de planificación de 5 años, con una tasa de descuento en la inversión de un 8%. Se asume que todas las inversiones de capital se llevan a cabo durante el transcurso del primer año del proyecto (año 0), y que todo el financiamiento es propio. La totalidad de la producción anual es vendida en los mercados

Cuadro 109. Variación del Costo Unitario para distintos valores de la materia prima y horizontes de planificación.

Valor materia prima		C d p (US\$)	Capital de trabajo (US\$)	Inversión (US\$)	Horizonte (años)	Costo total (US\$/año)	Costo unitario (US\$/ton)
(\$ / mr)	(US\$ / mr)						
25.000	43,10	12.766,06	1.148.945,11	4.575.165	5	3.829.817	94,90
20.000	34,48	10.970,08	987.307,18	4.413.527	5	3.291.024	83,47
15.000	25,86	9.174,10	825.669,25	4.251.889	5	2.752.231	72,05
25.000	43,10	12.766,06	1.148.945,11	4.575.165	10	3.829.817	85,75
20.000	34,48	10.970,08	987.307,18	4.413.527	10	3.291.024	74,65
15.000	25,86	9.174,10	825.669,25	4.251.889	10	2.752.231	63,55

Cdp: costo diario promedio.

Cuadro 110. Flujos de caja neto para un periodo de 5 años.

Item	Años					
	0	1	2	3	4	5
Ingresos por ventas		5.456.578	5.456.578	5.456.578	5.456.578	5.456.578
Costos producción		-3.829.817	-3.829.817	-3.829.817	-3.829.817	-3.829.817
Dep. obras físicas		-207.336	-207.336	-207.336	-207.336	-207.336
Dep. maquinaria		-447.413	-447.413	-447.413	-447.413	-447.413
Utilidad bruta		972.012	972.012	972.012	972.012	972.012
Impuesto (17 %)		-165.242	-165.242	-165.242	-165.242	-165.242
Utilidad neta		806.770	806.770	806.770	806.770	806.770
Dep. obras físicas		207.336	207.336	207.336	207.336	207.336
Dep. maquinaria		447.413	447.413	447.413	447.413	447.413
Infraestructura	-1.036.680					
Maquinaria	-2.237.065					
Inversiones menores	-152.475					
Capital de trabajo	-1.148.945					
Flujo de caja (US\$)	-4.575.165	1.461.519	1.461.519	1.461.519	1.461.519	1.461.519

Dep: Depreciación.

Cuadro 111. Variación de VAN y TIR para distintos precios de la materia prima.

Valor materia prima (\$ / mr)	Valor materia prima (US\$ / mr)	Costo unitario (US\$ / ton)	Precio de venta (US\$ / ton)	VAN (US\$)	TIR (%)
25.000	43,10	94,90	109,13	1.166.903	18,0
24.000	41,38	92,61	106,50	1.124.422	17,7
23.000	39,66	90,33	103,88	1.081.942	17,4
22.000	37,93	88,04	101,25	1.039.462	17,1
21.000	36,21	85,76	98,62	996.981	16,8
20.000	34,48	83,47	96,00	954.501	16,5
19.000	32,76	81,19	93,37	912.021	16,2
18.000	31,03	78,91	90,74	869.540	15,9
17.000	29,31	76,62	88,11	827.060	15,6
16.000	27,59	74,34	85,49	784.580	15,2
15.000	25,86	72,05	82,86	742.099	14,9

VAN: Variación del Valor Actual Neto

TIR: Tasa Interna de Retorno.

internacionales, pero el análisis se hace puesto en el puerto de origen (FOB). El valor de desecho de las inversiones tanto en maquinaria como en infraestructura se considera con un valor de reventa igual a cero. Se consideró como precio máximo de venta para los pellets de producción nacional 109,13 US\$/ton, lo que equivale a un 15% de utilidad por sobre el costo unitario (Cuadro 110).

Este análisis preliminar entrega un Valor Actual Neto (al 8%) de US\$ 1.166.903 y una Tasa Interna de Retorno del 18,0%.

Al variar el precio de la materia prima, en el rango de los 25.000 a los 15.000 \$/mr, se obtienen los valores del VAN y TIR que muestra el Cuadro 111, considerando que se

Capítulo 5

Madera para Energía

Cuadro 112. Ficha técnica de las briquetas.		
Características	Briquetas	Leña Normal
Poder calorífico	4.000 Kcal / kg	2.700 Kcal / kg
Equivalencia	1 briketa	4 astillas
Humedad (%)	12	35
Eficiencia (%)	85	65
Ahorro	30 %	-

Fuente: Energía Verde S.A.

mantiene una utilidad del 15% en el valor de venta del producto.

Es válido hacer notar que la utilidad esperada para el inversionista de un 15% sobre el costo unitario para el cálculo del precio de venta, es una utilidad baja dado el escenario de inversiones en nuestro país, en el cual se exige utilidades del orden del 30% a cualquier alternativa de inversión. El VAN y la TIR obtenidos ratifican este hecho.

Una opción a analizar en más detalle en estudios posteriores, para disminuir los costos de producción está dada por la utilización como materia prima de los desechos de la industria del aserrío y remanufactura, material que actualmente constituye un residuo, con valor cero de mercado, e incluso significando costos por su eliminación para la industria (traslado a vertedero o quema). Luego el valor de esta materia prima estaría dado por los costos asociados a su transporte hacia la planta de producción de pellets.

En este análisis económico privado, no se ha considerado preliminarmente las condiciones particulares, en cuanto a incentivo a la inversión productiva, de la XII región. Esta región es Zona Franca, por lo que inicialmente se debe considerar que hay exención de ciertos impuestos a los bienes de capital. Adicionalmente está en vigencia la Ley Austral (19.606) publicada en el Diario Oficial con fecha 14 de Abril de 1999. Esta ley establece un crédito tributario que se deduce del impuesto a la renta hasta por un 40% de la inversión destinada a la producción de bienes o prestación de servicios, beneficiando a los contribuyentes que declaren el impuesto de Primera Categoría de la Ley de Impuesto a la Renta sobre renta efectiva determinada según contabilidad completa. La aplicación en el estudio económico de estos incentivos permitiría mejorar la rentabilidad del proyecto.

Finalmente, la principal conclusión del análisis realizado es que es factible la producción de pellets, a partir de madera pulvable, ampliamente disponible en los bosques adultos y renovales de lenga de la Región de Magallanes, en el marco de un precio de la materia prima que, junto con incentivar el manejo sustentable de los bosques, garantice al inversionista un retorno aceptable



Figura 163. Briquetas.



Figura 164. Interior de una planta briquetadora.

en el contexto actual de la situación de inversión del país. Con ello el precio de venta de la tonelada de pellets no debiera ser inferior a los 100 US\$/ton, esperando la empresa privada una utilidad del orden de los 25 a 30% por sobre el costo de producción unitario vale decir, lograr un precio de la materia prima cercano a los 15.000 \$/mr.

6.4.2 Briquetas.

Las briquetas son una mezcla de aserrín, viruta y astillas de madera (sin aditivos) que es sometida a grandes presiones hasta alcanzar densidades cercanas de 1.000 kg/m³. El resultado es un ladrillo de madera compacto de alta densidad, que sustituye con ventajas ambientales al carbón y la leña (<http://www.acza.cl>) (Figura 163).

Las principales ventajas de las briquetas están dadas porque sustituye a la leña con una combustión más eficiente y una mejor relación costo-beneficio, además, si es producida con maderas nativas tiene mayor poder calorífico y menor formación de hollín debido a la ausencia en general de maderas resinosas. Se trata de un producto reciclado que se obtiene a partir del desecho del proceso de elaboración de la madera.

Sus desventajas se relacionan con el efecto de la humedad y el roce de la desagregación del producto.

En el Cuadro 112 se muestra una comparación entre las briquetas

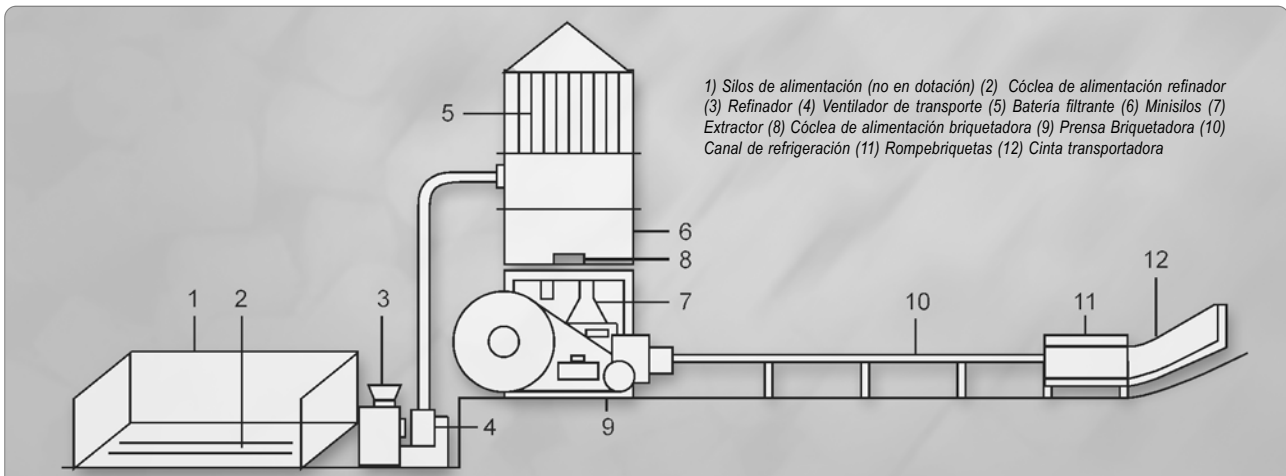


Figura 165. Sistema de briquetado con extracción de material de silos.
Fuente: <http://www.comafer.it>

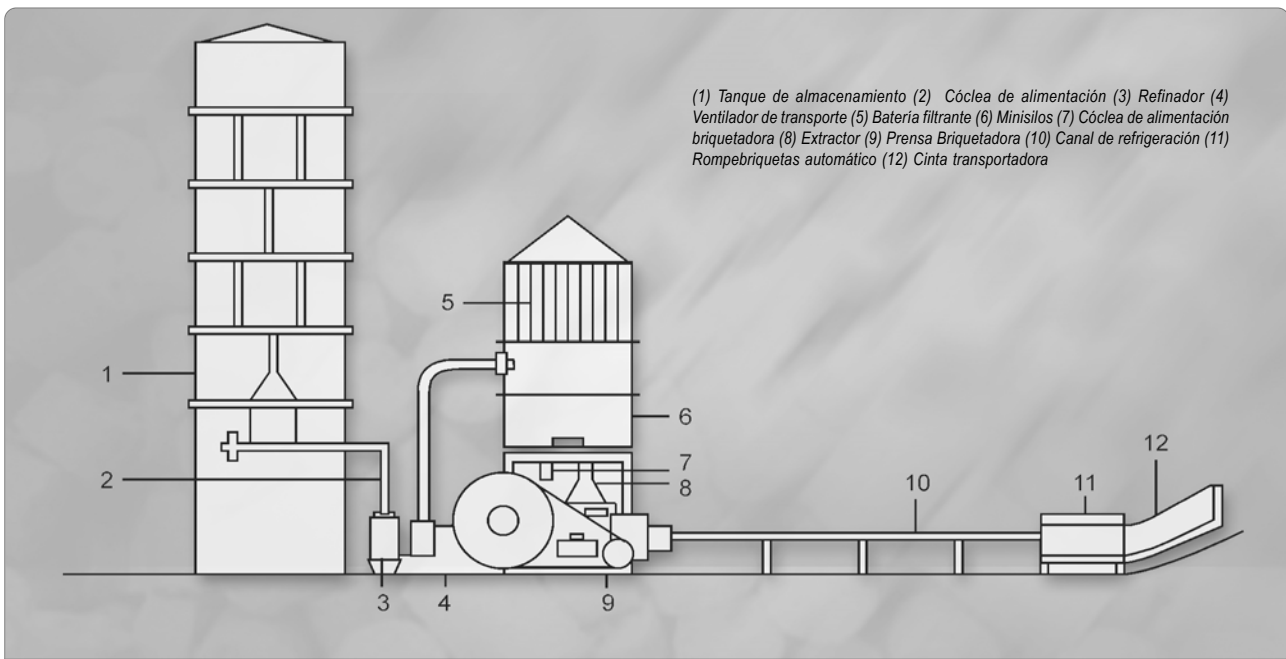


Figura 166. Sistema de briquetado con tanque de almacenamiento para virutas y aserrín secos.
Fuente: <http://www.comafer.it>

y la leña normal calculado en base a ocho horas de calefacción.

En el proceso de briquetado se generan mecánicamente elevadas presiones (200 Mpa/cm³), que provocan un incremento térmico del orden de 100 a 150 °C esta temperatura origina la plastificación de lignina que actúa como elemento aglomerante de las partículas de madera, por lo que no es necesaria la adición de productos aglomerantes (resinas, ceras) (Figura 164). Para que tenga lugar este proceso de auto aglomeración es necesaria la presencia de una cantidad de agua (material termoplástico)

comprendida entre el 8 y 15% BH y que el tamaño máximo de partículas sea del orden de 0,5 a 1 cm. Cuando se dispone de materiales con estas características la fabricación de briquetas es muy económica. Sin embargo, si es necesario secar o moler los residuos previamente, los costos se incrementan notablemente limitando la viabilidad económica de la producción.

Dependiendo de las necesidades de producción y de la materia prima a utilizar como base de producción de briquetas existen diversos sistemas de briquetado. Así, en las Figuras 165, 166 y

Capítulo 5

Madera para Energía

167 se muestran los esquemas de producción de briquetas más comúnmente utilizados.

Los principales tipos de briquetadoras utilizadas, son:

Briquetadora de pistón (densificación por impacto)

La compactación se consigue mediante el golpeo que producido sobre la biomasa mediante un pistón accionado a través de un volante de inercia. Las producciones varían entre los 200 y los 1.500 kg/h.

Briquetadora de tornillo (densificación por extrusión)

Se trata de un sistema basado en la presión ejercida sobre la biomasa por un tornillo sinfín especial (aleaciones de Cromo-Níquel o Carburo de Tungsteno), que gira con velocidad variable, haciendo avanzar el producto hasta una cámara que se estrecha progresivamente (forma cónica). Algunos modelos disponen de una camisa térmica, para regular la temperatura del proceso y favorecer la plastificación, con este tipo de maquinaria es posible fabricar briquetas con orificios interiores, lo cual favorece su combustión.

Las producciones de este tipo de maquinaria pueden oscilar entre los 500 y 2.500 kg/h y existen modelos que producen

simultáneamente varias hileras de briqueta.

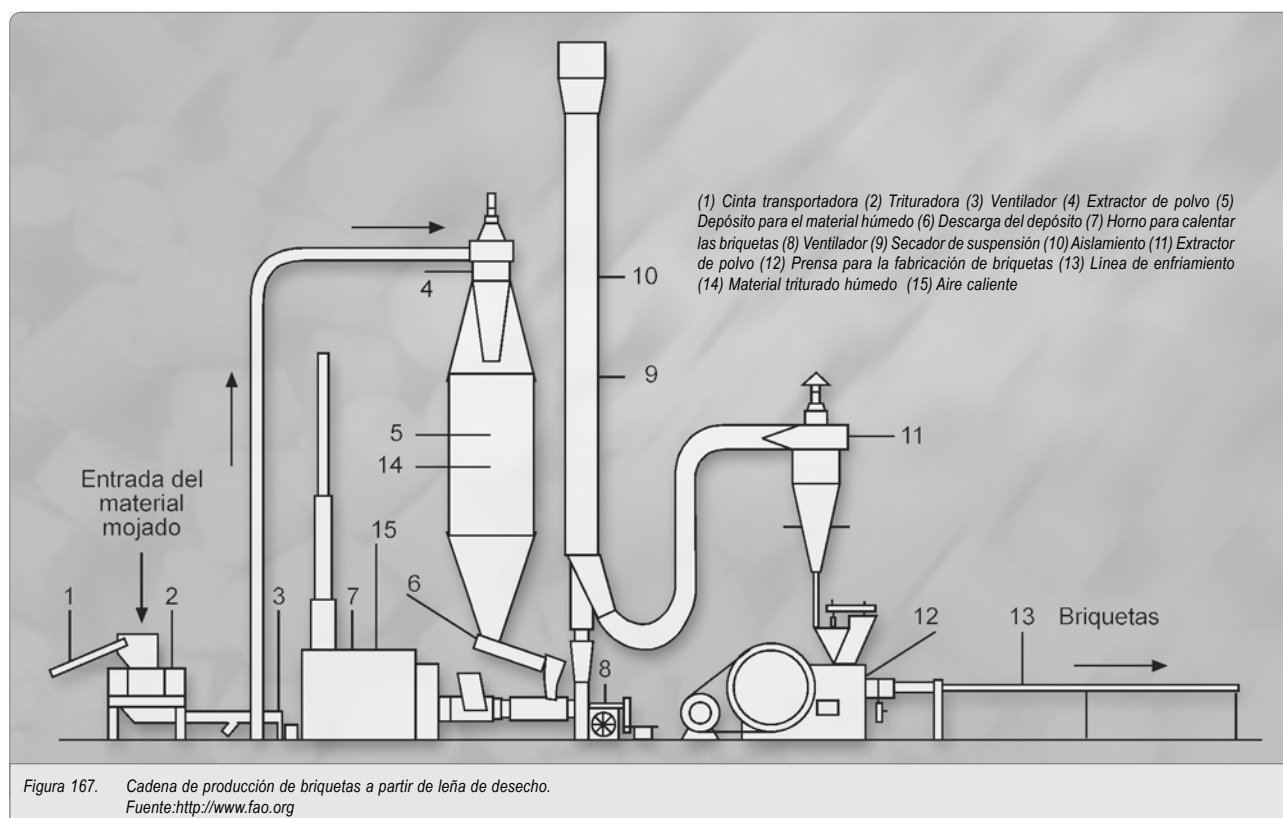
Briquetadoras hidráulicas y neumáticas

En este tipo de máquinas la presión es producida mediante la acción de varios pistones accionados mediante sistemas hidráulicos o neumáticos. Se suelen utilizar cuando se manejan residuos de muy mala calidad (algodón, papel, aserrín húmedo, etc.) y cuando no se requiere una gran calidad de la briqueta final o tan sólo se pretende reducir el espacio ocupado por los residuos, se trata de equipos de muy bajo consumo y mantenimiento y existen modelos que manejan desde 50 kg/h hasta 5.000 kg/h.

Briquetadora de rodillos

Se trata de máquinas dotadas de 2 rodillos cuya superficie tiene una serie de rebajes donde se deposita el producto a compactar que queda densificado al ser sometido a la acción del otro rodillo (Figura 168). Se suelen utilizar cuando no se requieren elevadas densidades finales (briquetas de carbón vegetal). La forma de la briqueta depende de las matrices empleadas (según diseño) (Cuadro 113).

Comparativamente, estos sistemas presentan una serie de ventajas e inconvenientes que es preciso evaluar en cada caso concreto.



Cuadro 113. Modelos de briquetadoras de rodillo (<http://www.komarek.com>).

Modelo de la Máquina	Diámetro del Rodillo	Fuerza del Rodillo	Capacidad
DH500-28x2 DH300-20.5	28 pulgadas. (711,2mm) 20,5 pulgadas. (520,7mm)	300 toneladas 75 toneladas	30 a 60 toneladas por hora 5 a 10 toneladas por hora



En general, puede decirse que los equipos hidráulicos se emplean cuando se pretende trabajar con materiales de baja calidad y la briqueta a obtener no debe ser de elevada calidad, ya que se trabaja con pequeñas presiones 200, 400 y 600 kg/cm², pero el costo de producción es más reducido.

Con estos sistemas pueden obtenerse briquetas de densidades del orden de 0,7–0,8 kg/dm³, aunque en determinados sistemas pueden llegar a alcanzar valores de hasta 0,9-1,0 kg/dm³.

La capacidad de producción suele ser del orden de 40-300 kg/h aunque con algunos modelos especiales pueden alcanzarse los 500 y 1.000 kg/h.

En cuanto a los sistemas por extrusión, los equipos suelen alcanzar producciones de unos 50-800 kg/h de productos con densidades del orden de 1 a 1,3 kg/dm³.

Los sistemas por impacto generan producciones entre 200–1.500 kg/h, aunque existen equipos que procesan hasta 2.000-6.000 kg/h obteniendo briquetas de densidades entre 1 y 1,2 kg/dm³.

Comparando estos dos últimos sistemas puede decirse, en términos muy generales, que en el sistema de impacto se puede llegar a trabajar con un grado de humedad de hasta el 15 y 17% B.H., mientras que en los de extrusión no es recomendable superar el 10%, pero en los modelos dotados con sistemas de calefacción forzada, para favorecer la plastificación de la lignina, se puede trabajar hasta con porcentajes del 12-14% B.H.

En los equipos de extrusión se produce un mayor desgaste de las piezas internas por fenómenos abrasivos, si bien la

densificación es más homogénea y el recalentamiento se produce en toda la materia a compactar, mientras que en el método por impacto el rozamiento sólo se produce en la capa superficial.

Mediante ambos métodos es posible alcanzar presiones semejantes del orden de 50-100 Mpa, pero en el sistema de impacto se generan briquetas en que se aprecia cierta discontinuidad (discos), aunque ésta puede llegar a ser inapreciable.

En determinadas circunstancias puede interesar producir discos de briquetas, que tienen las ventajas típicas de las briquetas de mayor longitud y la posibilidad de ser susceptibles de alimentación de sistemas automáticos convencionales.

En las briquetadoras hidráulicas el consumo energético por kg de briqueta obtenida es del orden de 40 a 120 w/kg mientras que en los modelos de extrusión son de unos 50-65 w/kg y en los de impacto de 20 a 60 w/kg.

Capítulo 6 BIBLIOGRAFÍA

1. **Abalos, M.**, 1997. Estimación del consumo de leña en las regiones V, IX y X. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile.
2. **Abalos, M.**, 2001. "Estudio de Casos sobre Combustibles Forestales", Proyecto Información y Análisis para el Manejo Forestal Sustentable: Integrando Esfuerzos Nacionales e Internacionales en 13 Países Tropicales en América Latina, FAO. 33 páginas.
3. **Alakangas, E.**, 2002. Wood pellets in Finland: technology, economy and market. OPET Report 5, Technical Reserach Center of Finland
4. **Altamirano, G.**, 1995. Perspectivas para la exportación de productos forestales provenientes del bosque nativo chileno. Universidad de Chile.
5. **Antiman, G y M. Henríquez**, 1993. Análisis aprovechamiento de madera aserrada de renovales de Roble y Raulí con crecimiento excéntrico. Tesis Departamento de Ingeniería en Maderas, Universidad del Bío - Bío. Concepción Chile.
6. **Avilés, B y Henle, H.**, 1994. Caracterización y clasificación de madera rolliza de las especies *Nothofagus alpina*, *Nothofagus obliqua*, *Nothofagus dombeyi* de la Hacienda Jauja, IX región. Ciencia e investigación forestal, volumen 8, número 1: 41 – 78.
7. **Bano, G.**, 2002: "Secado de madera de Pino: Tema clave para la industria". Dueño de Empresas Bano, Importadora de secadores desde Italia. Revista Lignum, Septiembre de 2002.
8. **Benito, M.**, 1999. Importante crecimiento de la madera impregnada en Chile. Opinión del Gerente de Magisur. En ASORA N° 64, publicación bimestral editada por la Asociación de Fabricantes y Representantes de Máquinas, Equipos y Herramientas de la Industria Maderera. <http://www.ambiente-ecologico.com/revist64/asora64.htm>
9. **Berg, A. y H. Grosse**, 2005. "Combustión de biomasa". Presentación en Taller de Energías Renovales: Situación Mundial y Usos Potenciales en el País. Organizado por Universidad de Concepción. 11 y 13 de enero de 2005. Universidad de Concepción, Concepción.
10. **Burschel, H., Hernández, A. y Lobos, M.**, 2003. Leña una fuente de energía renovable para Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
11. **Campos J; Cerda I.**, 2001. Estudio: Análisis de la información sobre productos forestales madereros en Chile. Proyecto Comisión Europea/FAO Información y análisis para el manejo forestal sostenible: Integrando esfuerzos nacionales e internacionales en 13 países tropicales de América Latina (GCP/RLA/133/EC).
12. **Camps, M. y Marcos, F.**, 2002. Energías Renovables. Los biocombustibles. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
13. **Carrillo, O.**, 2004. Programa para el secado de madera de Gmelia arborea. www.itcr.ac.cr/.../EL%20SECADO%20DE%20LA%20MADERA%20DE%20Gmelina%20arborea.PDF

14. **Cerda, S.**, 2002. Función de volumen aserrable para Roble (*Nothofagus obliqua*) para diferentes calidades de trozas. Seminario de Título Ingeniería de Ejecución Forestal. Departamento Forestal. Unidad Académica Los Ángeles. Universidad de Concepción. 31 p.
15. **CNE**, 2005. Balance Nacional de Energía (en base a encuestas CNE a empresas del sector energía e industrias intensivas en consumo energético), años 2001 a 2003.
16. **Codina, M.**, 1998. Determinación de las propiedades mecánicas, físicas y de unión del tablero estructural Oriented Strand Board (OSB). Tesis de Licenciatura en Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Talca, Chile. 77 p.
17. **CONAF**, 1999. Caracterización del mercado potencial de productos intermedios de Bosques Nativos Manejados: Leña y carbón. Estudio preparado por encargo de la oficina de Coordinación Provincial Ñuble, VIII región. Proyecto CONAF/KFW/DED/GTZ "Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo". 33p.
18. **CONAF-GTZ**, 1996. Problemas que afectan el comercio de las maderas y contribuyen a desvalorizar al bosque nativo. Santiago, Chile. 99p.
19. **CONAF-GTZ**, 1998. Experiencia silvicultural del bosque nativo de Chile. Recopilación de antecedentes para 57 especies arbóreas y evaluación de prácticas silviculturales. Proyecto Manejo Sustentable del Bosque nativo. Publicaciones Lo Castillo S. A. 420 p.
20. **CONAF-CONAMA-BIRF**, 1999. Catastro y Evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe Nacional con Variables Ambientales. Santiago, Chile. 90 p.
21. **CONAMA-UDT**, 2005. "Análisis del mercado de la leña y carbón en el gran Concepción, I etapa". Documento preparado por UDT para CONAMA, Región del Bío-Bío. Concepción, Chile. 100 páginas.
22. **Contardo, R.**, 2004.. "Impregnación de madera: para una larga vida útil". Opinión Gerente general de maderera Concón Ltda. En revista Lignum N° 63, abril de 2003.
23. **Couso, I.**, 2005. Programa País de Eficiencia Energética. Presentación en Taller de Eficiencia Energética. Punta Arenas, 01 de Septiembre de 2005.
24. **De La Jara**, 1987. El Problema de la Dendroenergía en Chile y Propuesta de Desarrollo. CONAF, 64 p.
25. **Díaz-Vaz, J.; Devlieger, F.; Pobrete, H. y R. Juacida**, 1989. Maderas comerciales de Chile. Marisa Cúneo Ediciones. Valdivia, Chile. 80 p.
26. **Donoso, C.**, 1981. Tipos forestales de los bosques nativos de Chile. Investigación y Desarrollo Forestal (CONAF/PNUD-FAO). Documento de Trabajo N° 38.
27. **FAO**, 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio FAO: Montes 41. Roma, 157 p.
28. **Fernández, T.**, 1999. Evaluación del consumo de leña para la ciudad de Los Ángeles. Seminario para optar al título de Ingeniero de Ejecución Forestal. Departamento Forestal. Unidad Académica Los Ángeles. Universidad de Concepción. 24 p.
29. **Fernández, J.**, 2002. Barreras para el desarrollo del empleo de los biocombustibles sólidos y líquidos. Jornadas sobre aportación de la Biomasa al desarrollo de las Energías Renovables. CC:OO-IDEA, Madrid, España.
30. **Freire, L.**, 2002. Evaluación de ciclos de prensados en la fabricación de tableros OSB-02 de álamo y pino. Seminario de Titulación Ingeniería de Ejecución en Maderas. Universidad del Bío-Bío. Concepción, Chile 104 pp.
31. **Fundación Chile**, 2005. En: Estudio de Replicabilidad de Proyectos Medianos y Pequeños de Aprovechamiento de Energía a Partir de Biomasa en Chile. Elaborado por PNUD Chile, Fundación Chile, GTZ y Universidad de Concepción. Septiembre 2005.
32. **Gil, J. y T. Herrantz**, 1996. Guía práctica de carpintería I. Trabajos con la madera. Ed. Cultural S. A. Madrid, España.
33. **Gutiérrez, M.**, 1987. Técnicas de debobinado y secado de chapas (alcances a los tableros contrachapados). CONAF. Chile.
34. **INFOR**, 1979. Impregnación a presión con sales hidrosolubles tipo C.C.A. Informe técnico N° 68. Santiago. Chile.
35. **INFOR**, 1987. Tecnologías y perspectivas de tableros de partículas, tipo waferboards, flakeboards y OSB. Informe técnico N° 109.

Capítulo 6

Bibliografía

36. **INFOR**, 1999. Boletín estadístico 70 "La industria del aserrío". Instituto Forestal. Santiago, Chile.
37. **INFOR**, 2000. Estadísticas Forestales 2000. Boletín Estadístico 79. Santiago, Chile. 89 páginas.
38. **INFOR**, 2003a. Estadísticas Forestales 2002. Boletín Estadístico 88. Santiago, Chile. 149 páginas.
39. **INFOR**, 2003b. Directorio Industria Forestal Chilena. Santiago, Chile.
40. **INFOR**, 2004. Estadísticas Forestales XII región, 2003.
41. **INFOR**, 2005. Estadísticas Forestales 2004. Boletín Estadístico 101. Santiago, Chile. 159 páginas.
42. **INFOR – CONAMA**, 2005. Estudio del mercado de la leña en la ciudad de Chillán. 2005. 130 p.
43. **INFOR-CORFO-CNE**, 1994. Evaluación del consumo de leña en Chile 1992. Santiago, Chile, INFOR. Informe técnico N° 130. 52p.
44. **INN**, 1976. Norma Chilena 630n76. Madera. Preservación. Terminología. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
45. **INN**, 1978. Norma Chilena Oficial NCh 1970/1 Of 88. Maderas – parte 1: especies latifoliadas – clasificación visual para uso estructural – especificaciones. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
46. **INN**, 1996. Norma Chilena Oficial NCh 819 Of 96. Madera preservada – Pino radiata – clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
47. **Ipinza, R.**, 2004. Pare, mire y escuche. Artículo publicado en Revista del campo, diario El Mercurio. http://www.infor.cl/webinfor/tapa/noticias/2004/Octubre/18_10_cod215.htm
48. **Johnston, D.**, 1989. La madera: clases y características. Ediciones Ceac. Barcelona, España.
49. **Juacida, R.**, 2003. "Impregnación de madera: para una larga vida útil". Opinión Académico de la Universidad Austral. En revista Lignum N° 63, abril de 2003.
50. **Latorre, F.**, 1999. Importante crecimiento de la madera impregnada en Chile. Opinión de representante de Hickson-Quimetal. En ASORAN° 64, publicación bimestral editada por la Asociación de Fabricantes y Representantes de Máquinas, Equipos y Herramientas de la Industria Maderera. <http://www.ambiente-ecologico.com/revist64/asora64.htm>
51. **Lignum**, 1994. En plena etapa de estudio: Proyecto para transformar desechos en pellets. En edición de diciembre 2004.
52. **Lignum**, 1999. Impregnación de maderas: una industria que crece en periodos de crisis. . Reportaje Revista Lignum N° 40. Junio 1999.
53. **Lignum**, 2003a. Impregnación de la madera: Para una larga vida útil. Reportaje Revista Lignum N° 63. Abril 2003.
54. **Lignum**, 2003b. Pellets. Combustible limpio para Chile. En edición de abril de 2003.
55. **Lobos, M.**, 2001. Estudio preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco. Fondo Bosque Templado WWF/CODEFF. Documento N 3, serie de publicaciones de la WWF Chile, Programa Ecoregión Valdiviana. 46 p.
56. **Lorca, M.**, 1997. Tableros y Contrachapados. Documento elaborado en cooperación con el Departamento de Maderas de la Universidad de Bio-Bio, Concepción.
57. **Malisius, U.**, 2000. Wood pellets in Europe. Industrial Network on Wood Pellets, Thermie B Project Dis/2043/98-AT.Coordinado por UMBERA GmbH, St. Polten, Austria.
58. **Mattausch, C.**, 2003. Pre-informe del Proyecto Durmientes, Documento interno Proyecto CMSBN. Temuco. Chile.
59. **Milla, F.**, 2004. Implementación de un Núcleo Industrial Integrado a partir del uso de Materia Prima proveniente de Bosque Nativo manejado bajo criterios de sustentabilidad, en la Región del Bio-Bio. Informe Proyecto Convenio Subsidio Local GTZ - Departamento Forestal Universidad de Concepción. 106 p.

60. **Milla, F.; Emanuelli, P. y C. Brito**, 2004. Consumo de energía en una vivienda en el sector residencial urbano de la ciudad de Concepción. Informe Proyecto Bioenergía, Convenio Subsidio Local GTZ - Departamento Forestal Universidad de Concepción. 36 p.
61. **Miranda, H. y R. Salinas**, 2000. Detección automática de defectos en maderas: A la medida chilena. Chile forestal N° 280: 38-40.
62. **Molinari, A.**, 2002. "Secado de madera de Pino radiata: Tema clave para la industria". Opinión representante de la empresa Limaq. En revista Lignum N°59, septiembre 2002.
63. **Montenegro, A.**, 1999. Importante crecimiento de la madera impregnada en Chile. Opinión del propietario de IMPROFOR. En ASORA N° 64, publicación bimestral editada por la Asociación de Fabricantes y Representantes de Máquinas, Equipos y Herramientas de la Industria Maderera. <http://www.ambiente-ecologico.com/revist64/asora64.htm>
64. **Navarrete, R.**, 2002. Gerente General de Centec. Citado en Revista Lignum. Septiembre de 2002. Artículo: Exportaciones de muebles: Con pasaporte para crecer.
65. **Nogués, F. y Royo, J.**, 2002. Generalidades. Ciclo energías Renovables. Jornadas de Biomasa. Fundación CIRCE. <http://apollo.cps.unizar.es/~isf/adjuntos/bigen01.pdf>
66. **Ortiz, C.**, 2002. "Secado de madera de Pino: Tema clave para la industria" Gerente general de Ortizo y representante de la marca Incomar de Italia. Revista Lignum, Septiembre de 2002.
67. **Ortiz, L.**, 2003. Procesos de densificación de la Biomasa. Ingeniero en Montes, Ilmo. Director Dpto. IRMA. Universidad de Vigo. España.
68. **Pacheco, A.**, 1999. Estudio técnico-económico de la fabricación de pellets de aserrín. Tesis Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Talca. Talca, Chile. 110 p
69. **Palma, M.**, 2005. Impregnación artesanal de polines para cerco de *Pinus radiata* (D. Don) utilizando el método de ascensión capilar. Seminario de Título Ingeniería de Ejecución Forestal. Departamento Forestal. Unidad Académica Los Ángeles. Universidad de Concepción. 22 p.
70. **Pecho, R.**, 2004. Influencia de la Madera Juvenil de *Pinus radiata* D. Don sobre las Propiedades Físicas y Mecánicas de los Tableros Oriented Strand Board (OSB). Tesis Magister en Ciencia y Tecnología de la Madera. Departamento de Ingeniería en Maderas. Facultad de Ingeniería. Universidad del Bío-Bío.
71. **Pezo, J.**, 2002. "Secado de madera de Pino Radiata: Tema clave para la industria". Jefe de Secado de Aserraderos Arauco S.A. Revista Lignum, Septiembre de 2002
72. **Pino, L.**, 2002. "Evaluación de tres especies: pino insigne (*Pinus radiata* D. Don), coihue (*Nothofagus dombeyi*), roble (*Nothofagus obliqua*) en la fabricación de tableros Oriented strand board tipo 02". Seminario de Titulación Ingeniería de Ejecución en Maderas. Universidad del Bío Bío. Concepción, Chile 130 pp.
73. **Pozo, F y P. Emanuelli**, 2005. Antecedentes para contestar 10 preguntas inteligentes. Presentación en Seminario Bosque Nativo: Una Alternativa Viable. Bloque 2: "Bioenergía, una oportunidad para Chile". Organizado por CONAF, GTZ y Departamento Forestal de la Universidad de Concepción. 13 y 14 de septiembre de 2005. Hotel Diego de Almagro, Concepción.
74. **Prodan, M.; Peters, R.; Cox F. y P. Real**, 1997. Mensura Forestal. Serie Investigación y Educación en Desarrollo Sostenible Proyecto IICA/GTZ. San José, Costa Rica. 561 p.
75. **Quappe, J. y M. Muñoz**, 2001. Impregnación de polines de roble y canelo. [www.chilebosquenativo.cl/información técnica/ transformación](http://www.chilebosquenativo.cl/información_técnica_transformación).
76. **Quirós, A.**, 2004. Consumo de embalaje de madera para botellas de vino y su importancia para la industria secundaria de productos forestales. Habilitación Profesional Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento de Manejo de Recursos Forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
77. **Reyes, G.**, 1998. Estimación del consumo de leña en la provincia de Concepción, sector residencial urbano. Memoria Ingeniería de Ejecución Forestal. Instituto Profesional Virginio Gómez. Concepción, Chile.
78. **Reyes, G.**, 2001. Bosque Nativo en la VIII región, un recurso para el desarrollo. CONAF Región del Bío-Bío. Proyecto CMSBN. Concepción, Chile. 48 p.

Capítulo 6

Bibliografía

79. **Reyes, G.**, 2005. Evaluación técnica y económica de empresa distribuidora de biomasa combustible residencial en la Ciudad de Concepción. Documento preparado para el Proyecto CMSBN, CONAF, Región del Bío-Bío. Concepción. Chile. 46 páginas.
80. **Reyes, R.**, 2000. Caracterización de los sistemas de producción y comercialización de leña para la ciudad de Puerto Montt, X región. Chile. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile
81. **Rojas, A.**, 2004. Prefactibilidad técnica y económica para la instalación de una planta de pellets para combustibles a partir de desechos de madera. Tesis Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 126 p.
82. **Sandoval, V. y L. Inzunza**, 2004. Aprovechamiento de una planta astilladora en la Décima región (Chile). BOSQUE 25(3): 99-105.
83. **Schmidt, H.**, 2003. El Canelo, Volumen II: El experimento. Informe interno Proyecto Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo. Temuco, Chile. 31 p.
84. **Souter, R.**, 2000. Bosque Nativo Chileno: Un Recurso para el Desarrollo. Proyecto CONAF-GTZ. Santiago, Chile. 92 p.
85. **Souter, R.**, 2002. Apoyo comercialización de productos madereros provenientes del manejo de renovales proyecto CMSBN. Documento Proyecto CMSBN, Santiago. Chile. 15 páginas.
86. **Souter, R.; de la Maza, J. y P. Emanuelli**, 2003. Normas de calidad de productos madereros del bosque nativo. Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ). Santiago, Chile. 160 p.
87. **Teschke, K.**, 1987. La industria de la madera. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Tomo 3, capítulo 71. España, 14 páginas Torres, C. 2001. Impregnación artesanal de polines de Eucalyptus globulus utilizando el método de ascensión capilar. Habilitación Profesional Ingeniería de Ejecución Forestal. Departamento. Forestal. Unidad Académica Los Ángeles. Universidad de Concepción. 39 p.
88. **Torricelli, E.**, 1992. Propiedades físicas y mecánicas de las maderas chilenas. CORMA. Santiago, Chile.
89. **Troncoso, L.**, 2002. Aserrío en trozas de Roble (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst.) provenientes del primer raleo de un renoval de la Provincia de Bío – Bío. Rendimiento y defectos. Habilitación Profesional Ingeniería de Ejecución Forestal. Departamento. Forestal. Unidad Académica Los Ángeles. Universidad de Concepción. 57 p.
90. **Tuset, R. y F. Duran**, 1971. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de Utilización (Aserrados, Secados, Preservación, Descortezado y Partículas) Montevideo. Uruguay. Editorial Hemisferio Sur. 505-583 p.
91. **Vidaurre, S.**, 1988. Características y necesidades de la industria Chilena de paneles de madera. Ciencia e Investigación Forestal Vol. N° 3.
92. **Viscarra S.**, 1998. Guía para el secado de madera. www.bolfor.chemonics.net/DOCUMENT/dt69.pdf
93. **Zuazagoitia, J.**, 2005. Cogeneración con biomasa: Eficiencia Energética y Potencial Bosque Nativo. Presentación en Seminario Bosque Nativo: Una Alternativa Viable. Bloque 2: "Bioenergía, una oportunidad para Chile". Organizado por CONAF, GTZ y Departamento Forestal de la Universidad de Concepción. 13 y 14 de septiembre de 2005. Hotel Diego de Almagro, Concepción.

Sitios visitados

<http://www.lafacu.com/apuntes/biologia/biomasa>
<http://www.fao.org>
<http://www.chilnet.cl>
http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/x5349s/x5349s03.htm
<http://www.afau.net/CPM.htm>

<http://www.vinasdechile.com>
http://www.corma.cl/destacados/destacados_40.html
<http://www.estrategia.cl/histo/200409/06/ambito/mume.htm>
<http://www.elbosquechileno.cl/41mardones.html>
<http://www.elmaky.com/ingenieria/temas/contemas.php?con=secado>

<http://www.stonewood.cl>
<http://www.lpchile.cl>
http://www.webinfor/tapa/noticias/2004/octubre/18_10_cod215.html
<http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=0118122003021X0140040>
<http://www.ecrchile.cl>

<http://www.papelnet.cl>
<http://www.madera.stockergroup.com>
<http://www.sitiomadera.cl>
<http://www.osb-info.org>
http://www.lsuagcenter.com/Communications/pdfs_bak/pub2642span.pdf

<http://www.mercoopsur.com.ar/forestales/notas/secadotecnicomadera.htm>
<http://www.aven.es/energias/renovables.html>
http://www.miliarium.com/Monografias/Energia/E_Renovables/Biomasa/Biomasa.asp
<http://www.cogenspain.org/estaticos.php?fic=cogeneracion.htm>
http://www.conama.cl/certificacion/1142/articles-29099_recurso_8.pdf

<http://www.cps.unizar.es/~proter/Gasificaci%F3n.htm>
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia13/HTML/articulo03.htm>
http://www.cap.cl/esp/a_prod/mineria/proceso_prod_planta_pellets.htm
<http://www.acza.cl>
<http://www.comafer.it>

Anexos

Anexo 1

Norma HKS adaptada para la especie *Nothofagus obliqua*.

CLASE A

Madera sana con características y propiedades propias de la especie, sin defectos o con defectos insignificantes.

- Sin defectos de bigotes de chino plano ni agallas.
- Diámetro mínimo de 30 cm.
- En general, se permiten características que no influyan en su utilización (sin nudos vivos ni muertos).
- Curvatura (hasta 2 cm/m).
- Desplazamiento del duramen (hasta 10% del centro).
- Grietas poco profundas en menor a 1/3 del largo.

CLASE B

Madera de calidad normal para la especie, se incluye trozos secos con uno o más defectos .

- Diámetro mínimo de 20 cm.
- Levemente cónico (hasta 1.229 cm/m).
- Nudos sanos hasta:
 - 2 unidades/m y menor a 4 cm de diámetro.
 - 1 unidad / m y de 4 a 8 cm de diámetro.
- Nudos con necrosis hasta:
 - 1 unidad / m y menor a 4 cm de diámetro.
 - 0,5 unidades / m y de 4 a 8 cm de diámetro.
- Excentricidad del duramen (hasta 20 % del centro).
- Pudrición central (hasta 15 % del diámetro).
- Irregularidades en la forma del trozo que deben compensarse con otras características distintivas de calidad, en especial:
 - bigotes de chino (1,5 unidades / m).
 - Agallas (no permitidas).
 - Curvatura (hasta 5 cm / m).

CLASE C

Madera que debido a la presencia de defectos en mayor proporción que b, pero sin embargo, puede ser utilizada para otros fines. Se reconocen las siguientes deficiencias:

- Densidad de nudos sanos sin límites.
- Nudos con necrosis hasta:
 - 1 unidad/m y de 4 a 8 cm de diámetro.
 - 0.25 unidades / m sobre 8 cm de diámetro.
- Existencia de posibilidad de aserrío.

CLASE D

Madera que por restricción de defectos no se clasifica en las anteriores, pero se clasifica en esta categoría al presentar un volumen aprovechable para fines industriales superior al 40%.

- En esta clase no existen otras restricciones.

CLASE E

Madera que presenta un volumen aprovechable para fines industriales inferior al 40%.

- En esta clase no existen otras restricciones.

Anexo 2

NCh 1970/1. Clasificación visual de madera latifoliada destinada a uso estructural (adaptado un grado E).

Defectos y especificaciones		Grado N° 1	Grado N° 2	Grado N° 3	Grado N° 4	Grado N° 5
Generales		Cada pieza debe estar correctamente aserrada, de modo que superficies adyacentes sean ortogonales entre sí, cumplir con las tolerancias especificadas y tener los extremos despuntados con un corte normal al eje de la pieza.				
Perforación – pudrición		No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan	No se aceptan	Se aceptan
Corteza incluida	Se aceptan trozos individuales sólo en extremos de la pieza, siempre con su longitud, l, cumpla con:	No se aceptan	$l \leq 75$ mm	$l \leq 150$ mm	$l \leq 200$ mm	si
	Se aceptan trozos individuales que no aparezcan en un extremo de la pieza y ubicados en una zona de 600 mm de largo medida de dicho extremo, siempre que su longitud, l, cumpla con:	No se aceptan	$l \leq 150$ mm	$l \leq 300$ mm	$l \leq 400$ mm	si
	Se aceptan trozos individuales que no aparezcan en un extremo de la pieza ni en una zona de 600 mm de largo a contar de dicho extremo y que además este fuera de la mitad central del espesor	$l \leq 300$ mm Separación > 300 mm	$l \leq 600$ mm Separación > 300 mm	No se limitan en estos grados		
	Se aceptan trozos individuales que no aparezcan en un extremo de la pieza ni en una zona de 600 mm de largo a contar de dicho extremo, y que además estén en la mitad central del espesor	$l \leq 150$ mm Separación > 300 mm	$l \leq 300$ mm Separación > 300 mm	$l \leq 600$ mm Separación > 300 mm	$l \leq 800$ mm Separación > 300 mm	si
Nudos	Se aceptan nudos sanos - circulares - ovalados - Y en la arista, con tal que su dimensión, d, cumpla con :	$d \leq 1/7$ al ancho de la superficie donde aparece	$d \leq 1/4$ al ancho de la superficie donde aparece	$d \leq 1/3$ al ancho de la superficie donde aparece	$d \leq 3/8$ al ancho de la superficie donde aparece	si
Desviación de la fibra		Menor a 1 en 15	Menor a 1 en 10	Menor a 1 en 8	Menor a 1 en 6	si
Bolsillo (de goma, resina y/o crecimientos anormales)	Se acepta si su longitud, l, medida en la superficie de ancho a, en la cual aparecen cumple con:	$l \leq 3a$ y además $l \leq 300$ mm (tomar el menor)				si
	Se acepta si aparece sólo en una superficie de a, y el ancho, S, cumple simultáneamente con:	$S \leq a/4$, además $S \leq 12$ mm	$S \leq a/3$, además $S \leq 20$ mm	$S \leq a/2$, además $S \leq 25$ mm	$S \leq a/2$, además $S \leq 30$ mm	si
	Se aceptan si aparecen en superficies de ancho a, se extienden a otra superficie y el ancho, S, cumple simultáneamente con:	$S \leq a/8$, además $S \leq 6$ mm	$S \leq a/4$, además $S \leq 12$ mm	$S \leq a/2$, además $S \leq 20$ mm	$S \leq a/3$, además $S \leq 25$ mm	si
Arista Faltante	Se acepta si el área afectada, A, sola o acumulada cumple con:	$A \leq e * a/10$	$A \leq e * a/5$	$A \leq e * a/4$	$A \leq e * a/4$	
	Se acepta si, además, su dimensión, d, en el canto cumple con:	$d \leq e/3$				si
Acebolla-Dura	Se acepta si su ancho, S, cumple con:	$S \leq 3$ mm				si
	Se acepta si, además, la longitud acumulada (Σl) Cumple con:	$\Sigma l \leq L/10$	$\Sigma l \leq L/6$	$\Sigma l \leq L/4$	$\Sigma l \leq L/3$	si
	Se acepta si, además, su extensión cumple con:	No abarca más de una de las Superficies de la pieza				si
Grietas	Superficiales	Se aceptan en superficies de hasta 75 mm de ancho siempre que S del defecto cumpla con:	$S \leq 2$ mm	No se limitan, se aceptan en cualquier ancho		
		Se aceptan en superficies mayor a 75 mm de ancho siempre que el ancho, S, del defecto cumpla con:	$S \leq 3$ mm	No se limitan, se aceptan en cualquier ancho		
	Internas (controladas en las cabezas).	Se aceptan si la proyección, S, del defecto sobre el canto de la pieza cumple con:	$S \leq e/4$	$S \leq e/3$	$S \leq e/2$	$S \leq 2 * e/3$
Rajaduras en extremo de la pieza		No se acepta	Se aceptan si: $\Sigma l \leq a$ y además $\Sigma \leq 100$ mm	Se aceptan si: $\Sigma l \leq 1.5 a$ y $\Sigma \leq 150$ mm		si
Alabeos	Acanaladura Arqueadura y encorvadura Torcedura	Se acepta si es Tolerancias en	< a 1mm por cada anexo de la norma	50 mm de	ancho	si si si

a = ancho de la pieza. e = espesor de la pieza. L = longitud de la pieza. d = magnitud del defecto.
l = longitud del defecto. ál = longitud acumulada del defecto. A = área afectada por el defecto. sl = sin límite.



Alternativas de Productos Madereros del Bosque Nativo Chileno

Incorporar la riqueza nativa al quehacer de la actividad forestal del país pasa necesariamente por la difusión de los conocimientos técnicos en el ámbito de su aprovechamiento comercial. En esta publicación se expone los resultados obtenidos en diversos ámbitos de la producción maderera forestal ligada al bosque nativo, con énfasis en el aprovechamiento de madera juvenil proveniente de renovales. Se presentan usos tan tradicionales como la elaboración de productos primarios a través del aserrío y debobinado, avanzando a productos con mayor elaboración como tableros, envases y muebles estilo terraza y culminando en las opciones de utilización relacionadas con el uso de madera nativa para fines energéticos.

Adicionalmente, se presentan experiencias relacionadas con algunos tratamientos de la madera como secado e impregnación, que intentan entregar un mayor valor agregado a los productos y a su vez mejorar sus características físico mecánicas para usos más sofisticados.

Las experiencias que se presentan buscan aportar conocimientos adicionales en el uso de los productos resultantes de las intervenciones silvícolas del bosque natural bajo criterios de sustentabilidad. En la práctica, con este documento se espera contribuir con otro insumo técnico para la valorización y manejo sustentable de nuestro recurso nativo.

Los autores

Patricio Emanuelli Avilés, es Ingeniero Forestal titulado en la Universidad de Concepción de Chile el año 1991.

Su labor profesional la ha desarrollado tanto en el ámbito privado como público. Entre los años 1993 y 1998 ha trabajado como docente en distintas instituciones nacionales, aportando al área forestal con más de 18 publicaciones técnicas.

Hasta 1997 trabajó en la Corporación Nacional Forestal en el Departamento Forestal y la Unidad de Estudios y Medio Ambiente de la Región del Bío-Bío.

Desde el año 1997 es asesor local de la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica GTZ, institución de la Cooperación Alemana que junto a CONAF desarrollan en Chile el Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.

Dentro de esta temática a partir del año 2000 destaca su participación con diferentes iniciativas impulsando la comercialización y manejo sustentable de los bosques nativos chilenos.

Fabián Milla Araneda, es Ingeniero Forestal titulado en la Universidad de Concepción de Chile el año 1993.

En términos profesionales se ha desempeñado principalmente en el ámbito de la docencia universitaria, dictando las cátedras de Dendrometría, Inventarios Forestales, Manejo de Bosques y Administración de la Producción en el Departamento Forestal de la Unidad Académica Los Ángeles de la Universidad de Concepción.

Desde el año 1998 ha participado en asistencia técnica relacionada con el Manejo Sustentable del Bosque Nativo, destacando, como las más recientes actividades de investigación aplicada, aquellas vinculadas a la generación y comercialización de productos forestales y al análisis de las potencialidades de la dendroenergía en Chile.



KfW gtz ded