

# FACTOR DE CONVERSION DE UNIDADES "ESTEREO" A M<sup>3</sup> PARA CUANTIFICAR VOLUMENES DE LEÑA. UN ESTUDIO DE CASO EN EL SUR DE CHILE

**Palabras clave:** Leña, factor de conversión, dendroenergía, *Eucryphia cordifolia*, Osorno-Chile

Max Alejandro Triana G.<sup>1</sup>

## INTRODUCCION

Con el fin de determinar el factor de conversión de unidades "estéreo" a m<sup>3</sup> para cuantificar volúmenes de leña, se puso a prueba el método de las "imágenes modificado", se evaluó la versatilidad tomando como estudio de caso la explotación de leña de Ulmo (*Eucryphia cordifolia* Cav.) por parte de una comunidad indígena Mapuche-Huilliche en el sur de Chile. Para ello se tomaron fotografías a las pilas de leña, previa definición de un protocolo unificado y confiable.

Procedimientos analíticos, matemáticos y de fotogrametría fueron utilizados para establecer el volumen real de cada metro estéreo de leña, el posterior análisis de estadística descriptiva permitió determinar el factor 0,59487 para transformación a volumen sólido. Se concluye que es preciso aumentar la representatividad de dicho factor para hacerlo más robusto, así como refinar los procedimientos y formas de medición, dada la importancia creciente que los sistemas extractivos de leña están tomando en países del tercer mundo y su potencial en el desarrollo de la silvicultura comunitaria.

El presente artículo hace parte del conjunto de publicaciones generadas por el proyecto *Explotación de Ulmo (Eucryphia cordifolia Cav.) para leña, en pequeños predios forestales de la comuni-*

*dad Huilliche de Trufún: San Juan de la Costa, Osorno.* Laboratorio de Geografía, Universidad de Los Lagos – Osorno, Chile.

## ANTECEDENTES

La extracción y uso de la leña han sido señalados como aspectos claves a considerar en la incorporación del bosque nativo al desarrollo forestal sustentable de Chile, y particularmente de la X<sup>a</sup> Región de Los Lagos (Callieri, 1996, Fuentes, 1994; Lara *et al.*, 1996, Donoso & Lara, 1996; Sáez, 1997). En la actualidad cerca del 25% de las necesidades energéticas de Chile son satisfechas con leña, un valor que asciende significativamente en el sector rural (Otero, 1994). La zona correspondiente a la Cordillera de la Costa en la Provincia de Osorno (**Figura 1**) se destaca por su importancia como proveedora de leña para calefacción en hogares urbanos, así como para cocción, calefacción y secado (ropa, productos del mar, entre otros) en el ámbito rural.

El sistema de aprovechamiento ("floreo"), utilizado principalmente por pequeños propietarios forestales (Sáez 1994, Hernández *et al.*, 1995, Donoso & Lara 1996, Sáez 1997) se concentra en la

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal, M. Sc., Profesor Titular de Silvicultura Comunitaria y Extensión Forestal. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal

especie Ulmo (*Eucryphia cordifolia* Cav.), desconociéndose aún aspectos relevantes para su descripción y/o validación. Ejemplo claro de ello son los volúmenes reales extraídos, los cuales a falta de un adecuado método para su determinación varían de manera sustancial según diferentes autores (Díaz *et al.*, 1983; Moreno & Sobino, 1992; Cárcamo & Haefner, 1995; González *et al.*, 1995; Opazo, 1995; Díaz, 1996; Smith-Ramírez, 1996) prestándose para interpretaciones diversas.

Se acepta como definición de leña domiciliaria a toda aquella madera en bruto de troncos, ramas y otras partes de árboles y arbustos que se utilizan como combustible para cocinar, así como para fines de calefacción y generación de energía mediante combustión directa, no solo en hogares sino también en las industrias rurales (curtido de cueros, ahumado de carne y pescado, etc.) (Trossero, 1997); la definición incluye también la madera destinada a la producción de carbón vegetal y los residuos agrícolas leñosos. Para el presente escrito se acoge esta definición a los trozos de madera de Ulmo (*E. cordifolia*), de forma semi-prismática y de longitud 30 cm., obtenida por campesinos forestales.

Las cifras que existen sobre el consumo de leña, se han basado principalmente en estimaciones, pues la mayor parte de la producción y el consumo tienen lugar fuera de los canales comerciales, por lo que no son registrados (Scherpenisse 1986). Es por esto que la única forma de medir esta actividad ha sido mediante encuestas de consumo, en lugares donde se utiliza leña.

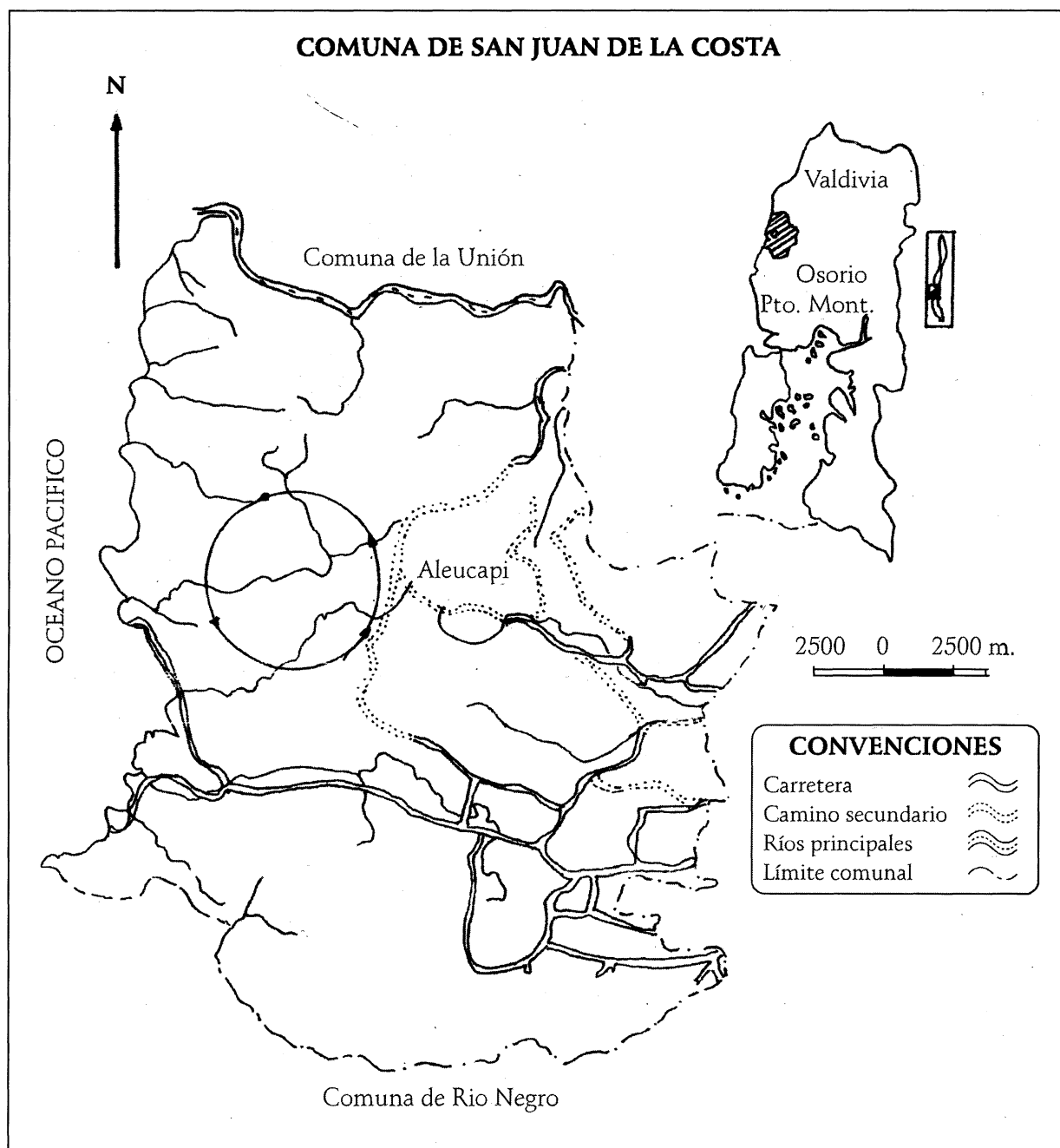
La dificultad más seria de cuantificación surge debido a la unidad de medida para la comercialización de este producto. En Chile por ejemplo, como unidad de medida de madera palpable se ha utilizado el metro ruma (mr), que consiste en una pila o ruma de piezas o trozos de madera de 1 m. de altura, 1 m. de ancho y 2,44 m. de largo, unidad que equivale a 2,44 metros estéreos

(Cancino *et al.*, 1997). Para el caso de la leña y particularmente para la zona de estudio, la unidad de medida es el metro estéreo (ms), que consiste en una pila de aproximadamente 1 m. de alto por 1 m. de ancho y 1 m. de largo, compuesto generalmente de tres secciones que contienen los trozos de leña ubicados uno sobre el otro (**Figura 2**).

Una correcta valorización del volumen de leña extraído en metros estéreos requiere la estimación del volumen sólido que éste contiene, lo que se logra mediante un factor de conversión. Este factor que señala el volumen de madera sólida existente en una unidad de volumen estéreo, varía debido a los espacios entre los trozos de leña apilados y se asume válido sólo para el producto proveniente de una zona determinada (Emanuelli *et al.*, 1997).

Para la obtención de factores de conversión del metro ruma, existen diferentes métodos que varían en exactitud, rapidez y costo (Cancino *et al.*, 1997), en el caso de la leña éstos no han sido suficientemente documentados (Luis Peñafiel, com. pers., 1998); es por ello que se debe partir adaptando dichos sistemas a las condiciones específicas. Entre los métodos utilizados para determinar la cantidad de madera sólida que contiene un metro ruma o un metro estéreo, necesario para obtener el factor de conversión, están el desplazamiento de agua, el analítico, el de imágenes y el de arrumado en marco (Emanuelli *et al.*, 1997).

El método de desplazamiento de agua es uno de los más exactos para estimar el volumen sólido de los cuerpos irregulares como las trozas, en general, consiste en la inmersión de un metro estéreo ya sea de leña o rollizos, dentro de una pileta de agua de volumen conocido. La medición del volumen desalojado indica el volumen del cuerpo sumergido. Desafortunadamente ello implica una gran manipulación de la madera, maquinaria y equipos especializados, lo que conlleva grandes costos.



**Figura 1:** Mapa de localización sitio de estudio.

En el método analítico se asume que los trozos tienen la forma de un sólido geométrico conocido, cuyo volumen se determina por medio de fórmulas para cubicación maderera. De acuerdo con Cancino *et al.* (1997), aunque es un método lento y tedioso, el volumen estimado no

difiere significativamente del determinado por desplazamiento de agua.

Para el método de las imágenes se obtiene una imagen y/o foto de una de las caras de la ruma con la mayor ortogonalidad posible, la determi-

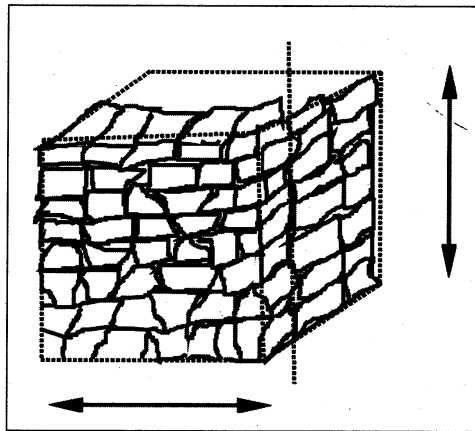


Figura 2: Esquema general de la pila de leña de un metro estéreo.

nación de la cantidad de madera contenida se realiza mediante la medición de diámetros o mediante la sobreposición de una plantilla de puntos sobre la imagen (Emanuelli *et al.*, 1997). Este método es rápido y exacto, y según los autores ya mencionados, la estimación del volumen sólido aplicando una red de puntos, es igual a aquella de inmersión en agua o medición directa de los diámetros de los trozos, así mismo, no se encuentran diferencias entre los trozos medidos en terreno y los medidos en fotografías.

## OBJETIVO

Determinar la proporción de volumen sólido de madera, equivalente a la unidad tradicional de medida (metro estéreo) utilizada en la comercialización de la leña en la comunidad de Trufún.

## MATERIALES Y METODOS

### Sitio de estudio

La comunidad de Trufún se encuentra ubicada entre los 40° 28' y 40° 26' latitud Sur y los 73° 36' y 73° 33' longitud Oeste (Figura 1), ocupa una superficie aproximada de 1.387,47 ha. con un paisaje ondulado a quebrado que va de los 100 a los 550 m.s.n.m. La cobertura forestal pre-

dominante corresponde a bosque maduro Siempreverde (Donoso *et al.*, 1999), y dentro de éste, al tipo forestal Siempreverde de tolerantes emergentes (Donoso 1989), con presencia de especies arbóreas como Mañío hembra (*Saxegothaea conspicua*), Mañío macho (*Podocarpus nubigena*), Olivillo (*Aextoxicon punctatum*), Tapa (*Laureliopsis philippiana*), Luma (*Amomyrtus luma*), Meli (*Amomyrtus meli*), Arrayán (*Luma apiculata*), Lingue (*Persea lingue*), Canelo (*Drimys winteri*), Ulmo (*Eucryphia cordifolia*), Tineo (*Weinmannia trichosperma*), Avellano (*Gevuina avellana*), Palo Santo (*Dasyphyllum diacanthoides*) y Laurel (*Laurelia sempervirens*), entre otros.

De acuerdo con el Proyecto Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos (CONAF *et al.*, 1996) el uso actual del suelo corresponde en su mayoría al forestal, y dentro de éste al bosque adulto tanto abierto como denso.

Aunque no existen registros particulares para el sitio, en la zona el clima es de tipo templado lluvioso de influencia oceánica, con precipitaciones generalmente en forma de lluvia superiores a los 3.000 mm. anuales, y una clara disminución en los meses de verano, con temperaturas medias muy estables que oscilan entre 10 y 12 °C, aún cuando se indican valores mínimos de 1,4 °C en julio, el mes más frío y temperaturas superiores a los 18°C en febrero, el mes más cálido (Donoso, 1989; Armesto *et al.*, 1996).

Los suelos en general presentan características de un desarrollo *in situ*, variables en profundidad y características químicas y físicas con un reducido aporte geológico de nutrientes, en comparación con los nutrientes almacenados en la biomasa vegetal, los cuales dan sustento al bosque a través de eficientes procesos y mecanismos biológicos de absorción, retención y reciclaje (Hedin *et al.*, 1995; Armesto *et al.*, 1996; Pérez, 1996).

Los pobladores, indígenas de la etnia Mapuche-Huilliche desarrollan predominantemente su actividad forestal en la extracción de leña de Ulmo, la que se intensifica en el verano con el objeto de ser comercializada; otras maderas explotadas también de manera selectiva para productos como metro ruma, aserradero y rollizo son *Podocarpus nubigena*, *Laureliopsis philippiana*, *Persea lingue*, *Gevuina avellana* y *Saxegothaea conspicua*, además de actividades agropecuarias complementarias.

### Diseño experimental y análisis estadístico

Para la cuantificación de la proporción del volumen estéreo de leña, respecto al volumen sólido o real, se modificó y adaptó el método de "imágenes" utilizado comúnmente para estimar volúmenes de madera apilada (Emanuelli *et al.*, 1997; Cancino *et al.*, 1997), para ello se eligieron de manera aleatoria dentro de la comunidad de Trufún 36 pilas de leña de diferente longitud (entre 50 y 80 m.), siguiendo lo sugerido por Cochran, 1990, para este tipo de muestreos, luego se procedió a verificar que en efecto su composición correspondiera a *Eucryphia cordifolia*.

Se tomaron fotografías en un sitio elegido al azar dentro de cada pila, ubicando frente a cada metro estéreo una guía de 1m. de largo con el fin de obtener con posterioridad al revelado la escala fotográfica. Las impresiones fueron tomadas desde una distancia fija (2,50 m.) y con el eje óptico de la cámara perpendicular a la "ruma" en cuestión, buscando la mayor ortogonalidad. Cada metro estéreo de leña fue fotografiado en sus tres secciones constituyentes para un total de 108 fotografías; se utilizó una cámara NIKON-MG dotada con un lente de 50 mm. 1:1,8 y película de 135 mm., 100 ASA.

En cada foto se marcó el contorno del metro cuadrado real a escala y se midió cada una de las

caras expuestas de los trozos de leña dentro de éste, incluyendo fracciones. El área de la cara expuesta de cada trozo de leña se determinó con un Planímetro Digital KP-80N - PLACOM, cada medición fue efectuada tres veces y promediada con el fin de reducir el error de la misma. Las áreas se transformaron a volumen asumiendo un prisma recto con una longitud tomada con cinta de precisión al milímetro.

Los datos obtenidos, medidos en metros cúbicos ( $m^3$ ) se incorporaron al programa computacional S.A.S. (Statistical Analysis System), donde se transformaron utilizando la expresión LOG para garantizar su normalidad, se verificó la homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Bartlett y se calcularon luego promedios y estadísticos básicos (Sokal & Rohlf, 1979; Ricardo Guíñez com. pers., 1.998). La menor diferencia verdadera que fue posible detectar se obtuvo despejando el correspondiente valor de la solución iterativa descrita por Sokal & Rohlf (1979), por tanto la muestra es la necesaria para tener seguridad del 80 % de detectar un  $\pm 6,07$  % de diferencia a un nivel de significación del 1 %.

## RESULTADOS Y DISCUSION

La evidencia señala que un (1) metro estéreo de leña contiene  $0,59487 m^3$  de madera sólida, lo que en términos prácticos significaría que un metro estéreo de leña equivale a cerca del 59 % de un  $m^3$  de madera (**Tabla 1**). Los límites de confianza para la media de la población ( $Ls = 0,61625$ ,  $Li = 0,57349$ ) se construyeron con base en la distribución de Student con valores para  $t_{a[n-1]}$  tomados de la tabla de dos colas (Sokal & Rohlf 1979), con un coeficiente de confianza  $\alpha = 0,05$  y 35 grados de libertad (g.l.). El método empleado con el tamaño de muestra de 36 pilas tuvo un error de 6,07 %, esto implica que con un número de  $n = 100$  se obtendría un error de 2,61%, suficiente para una buena aproximación.

Tabla 1: Estadísticos básicos para el factor de conversión de metro estéreo de leña a madera sólida

N	Media (m <sup>3</sup> )	Varianza	Desviación típica	Error típico
36	0,59487	0,00399	0,06316	0,01053

Del resultado anterior se infiere que datos obtenidos con base en encuestas de consumo deberán ajustarse a términos más realistas. En cuanto al método aplicado, se detectaron algunas desventajas como las relacionadas con el alto requerimiento en tiempo para la medición de áreas en cada fotografía y su posterior análisis estadístico (45 minutos por foto), de igual forma esta labor necesita de entrenamiento específico por parte de quien toma los registros y procesa los datos, ya sea en el empleo del planímetro digital, en la toma de las fotografías con las especificaciones exactas o en el cálculo de los volúmenes a partir de fórmulas geométricas. Debido a la facilidad de aprendizaje de este procedimiento, es de esperar que una vez se tenga esta técnica dominada, el tiempo y eficiencia mejoraría positivamente; alternativo al planímetro, existen métodos para el cálculo de áreas en planos y fotos mucho más sencillos, baratos y de similar precisión, como la malla de puntos o la cuadrícula.

Las ventajas encontradas están referidas al bajo despliegue logístico en terreno y su facilidad de dominio. El método permite además operar bajo cualquier distancia de la pila, basta con conocer dicha distancia para en la oficina determinar la escala apropiada. Su aplicabilidad en trozos de madera irregulares lo hace muy útil no solo en leña sino en otro tipo de productos como pilas de estacones, u otro tipo de madera rolliza.

Sin embargo, es necesario considerar como anotan (Emanuelli *et al.*, 1997), que el factor es de ámbito reducido y de carácter local, lo cual hace que para su adopción al menos a nivel regional, se requiera ampliar el espectro de situaciones y variables involucradas. Aún así, e

independiente del método o sistema aplicado, es claro que este tipo de factores de conversión es un camino mucho más riguroso que los hasta ahora utilizados, así lo demuestran los avances y tendencias a nivel mundial con experiencias documentadas en India y México (Haider, 1997; Masera *et al.*, 1997; Horta *et al.*, 1998).

## RECOMENDACIONES

Tanto el factor de conversión como la metodología empleada muestran evolución con respecto a los métodos tradicionales de estimación de volúmenes sólidos, aún así, es de esperar que desarrollos experimentales posteriores amplíen la rigurosidad de los mismos. Tomando en cuenta las tendencias mundiales actuales en relación con certificación de bosques privados manejados, determinación de tasas de fijación de carbono e indicadores y criterios para el manejo forestal, estos factores y procedimientos una vez estandarizados pueden constituirse en herramientas valiosas para la gestión del recurso forestal dendroenergético.

Dado lo lejano de la sustitución de combustibles leñosos, debido a factores como la preferencia del consumidor y el multipropósito del producto, la implementación de sistemas dendroenergéticos sostenibles es una estrategia básica para la conservación de la masa forestal en pie.

## BIBLIOGRAFIA

Armesto J., C. Villagrán & M.K. Arroyo (eds.). 1996. Ecología de los bosques nativos de Chile. Editorial Universitaria. Comité de Pu-

- blicaciones Científicas, Vicerectoría Académica, Universidad de Chile. Santiago de Chile. 477p.
- Callieri C. 1996.** Degradación y deforestación del bosque nativo por extracción de leña. En : *Ambiente y Desarrollo*. (1): 41-48.
- Cancino J., P. Emanuelli & F. Milla. 1997.** Método Red-400: una nueva alternativa para determinar factores de conversión. *Agro-Ciencia*. 13 (2): 225-229.
- Cárcamo X. & F. Haefner. 1995.** Uso dendroenergético del bosque nativo destinado a hogares urbanos de la ciudad de Castro, año 1993. Seminario de Investigación para optar al Título de Profesor de Estado en Historia y Geografía. Departamento de Ciencias Sociales. Universidad de Los Lagos. Osorno, Chile.
- Cochran W. 1990.** Técnicas de muestreo. Edit. C.E.C.S.A., Cambridge, Massachusetts. 510 p.
- CONAF-CONAMA-Consortio Universidad Austral de Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile y Universidad Católica de Temuco. 1996.** Proyecto Catastro y Evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos, X Región de Los Lagos. Carta Rada de Las Banderas – H 011. Santiago, Chile.
- Díaz J. 1996.** Cuantificación de áreas intervenidas de bosque siempreverde. *Bosques y Desarrollo*, N° 15.
- Díaz F., A. Del Valle, J. Sáez & A. Díaz. 1983.** Leña y Pobreza: Estudio exploratorio en 7 localidades. En: Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA). Memorias del Primer Encuentro Científico sobre el Medio Ambiente Chileno. La Serena, Vol I , s.p.
- Donoso C. 1989.** Antecedentes básicos para la silvicultura del tipo forestal Siempreverde. *Bosque*, 10 (1): 37-53.
- Donoso C. & A. Lara. 1996.** Utilización de los bosques nativos de Chile: pasado presente y futuro. En: Armesto J, C. Villagrán y M Arro-  
yo (eds.), *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Santiago. pp. 363-385.
- Donoso C., P. Donoso, M. González & V. Sandoval. 1999.** Los bosques templados siempreverdes. En: Donoso C. & A. Lara. 1999 (eds). *Silvicultura de los bosques nativos de Chile*. Edit. Universitaria. Santiago. 297-339.
- Emanuelli, P., J. Cancino & F. Milla. 1997.** Tres métodos para la determinación de factores de conversión en madera apilada. *Agro-Ciencia*, 13 (2): 217-223.
- Fuentes E. 1994.** ¿Qué futuro tienen nuestros bosques?: hacia la gestión sustentable del paisaje del centro y sur de Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. 290 p.
- González C., E. Scholz & C. Torres. 1995.** Consumo de leña en viviendas rurales de distritos cordilleranos costeros de la provincia de Chiloé. Seminario de Investigación para optar al Título de Profesor de Estado en Historia y Geografía. Departamento de Ciencias Sociales. Universidad de Los Lagos. Osorno, Chile. 243 p.
- Haider S.W. 1997.** Sistema de evaluación de los recursos de biomasa y existencias de leña. XI Congreso Forestal Mundial. Volumen 3, tema 16. Antalya, Turquía. On line: <http://www.fao.org/montes/wforcong/PUBLI/V5/INICIO.HTM#TOP>.
- Hedin L., J. Armesto & A. Jhonson. 1995.** Patterns of nutrient loss from unpolluted old-growth temperate forest : evaluation of biogeochemical theory. *Ecology*, 76: 493-509.
- Hernández E., L. Hernández & V. Vega. 1995.** Uso dendroenergético del bosque nativo en Distritos Cordilleranos Costeros de la Provincia de Osorno. Seminario de Investigación para optar al Título de Profesor de Estado en Historia y Geografía. Departamento de

Ciencias Sociales. Universidad de Los Lagos. Osorno, Chile. 126p.

- Horta L., M. Trossero, L. Couto & L.C. Couto. 1998.** Los combustibles leñosos para uso doméstico y energía industrial en el suministro de fibras. *Unasyuva*, 193 (49): 51-56
- Lara A., C. Donoso & J. Aravena. 1996.** La conservación del bosque nativo en Chile: problemas y desafíos. En: Armesto, J., C. Villagrán & M.K. Arroyo (eds.). *Ecología de los Bosques Nativos de Chile*. Comité de Publicaciones Científicas, Vicerrectoría Académica y Estudiantil Universidad de Chile. (18), Pp. 335-362.
- Masera O., J. Navia & T. Arias. 1997.** Relación entre análisis e intervención de los sistemas leñosos de tres micro-regiones de México. *Actas Memorias Voluntarias, XI Congreso Forestal Mundial*. Antalya, Turquía. On Line: <http://www.fao.org/montes/wforcong/PUBLI/V3/INICIO.HTM#TOP>.
- Moreno P. & V. Sobino 1992.** Caracterización espacial del consumo de leña del bosque nativo en viviendas rurales de las Comunas costeras de Fresia, Los Muermos y Maullín, Provincia de Llanquihue X<sup>a</sup> Región. Seminario de Investigación para optar al Título de Profesor de Estado en Historia y Geografía. Departamento de Ciencias Sociales. Universidad de Los Lagos. Osorno, Chile. 356 p
- Opazo R. 1995.** Cosecha de bosque nativo en la cordillera de la Costa de La Unión. Informe de Práctica Profesional, para optar al título de Técnico Universitario en Recursos Forestales. Departamento de Ciencia y Tecnología Forestal. Universidad de Los Lagos, Osorno Chile. 107 p.
- Otero L. 1994.** Recursos forestales y efectos ambientales derivados de su uso. En: *Perfil Ambiental de Chile*. CONAMA. Santiago, Chile. p.567.
- Pérez C. 1996.** Los procesos de descomposición de materia orgánica en bosques templados costeros: Interacción entre suelo, clima y vegetación. En: Armesto J, C. Villagrán y M. Arroyo (eds.) *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Pp. 301-316.
- Sáez, N. 1994.** Madera del bosque templado utilizada como dendroenergía en hogares de la ciudad e Osorno, año 1993. Extensos de ponencias y seminarios. III Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra Chile 1994. Santiago. Pp. 165-180.
- Sáez, N. 1997.** ¿Es sustentable la explotación forestal en la región de Los Lagos?: la problemática dendroenergética como aporte analítico relevante. En: Roberto Santana y Juan Sánchez (Coordinadores). *Crecimiento económico y construcción de una Región en el sur chileno: La Región de Los Lagos*. Colección Estudios Líder. Universidad de los Lagos, Osorno Chile. Pp. 175-186.
- Scherpenisse C. 1986.** Incidencia de la leña como recurso energético doméstico. Tesis Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 183 p.
- Smith-Ramírez, C. 1996.** Algunos usos indígenas tradicionales de la flora del bosque nativo. En: Armesto J, C. Villagrán y M. Arroyo (eds.) *Ecología de los bosques nativos de Chile*. Editorial Universitaria. Pp. 398-404.
- Sokal R. & F. Rohlf 1979.** *Biometría: Principios y métodos estadísticos en la investigación biológica*. Edt. Blume, Madrid 832 p.
- Trossero M. 1997.** Unified wood energy terminology. *Forest Energy Forum-FAO*: (1): 3-4.