

INDICE

CONTENIDOS	PAG.
1.INTRODUCCION	4
2. MARCO TEORICO DEL ESTUDIO	6
2.1 ASPECTOS GENERALES SOBRE EL USO DE LA LENA	6
2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA LENA	11
2.3 SECADO DE LENA	19
2.4 ANTECEDENTES DE LA ESPECIE EN ESTUDIO <i>Nothofagus</i> <i>obliqua</i> (Roble).	29
2.5 EQUIVALENCIAS DE UNIDADES DE MEDIDA	30
3. METODO	34
3.1 ESTUDIO DE SECADO DE LEÑA.	35
3.2 EQUIVALENCIA DE UNIDADES DE MEDIDA.	41
4. RESULTADOS.	43
4.1 ESTUDIO DE SECADO.	43
4.2 EQUIVALENCIA DE UNIDADES DE MEDIDA.	55
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6. BIBLIOGRAFIA	66
7. ANEXOS	69

CUADROS Y FIGURAS.

CUADRO	PAG.
1. Consumo de leña a nivel mundial.	9
2. Eficiencia en la combustión en función a la humedad.	16
3. Relación entre el contenido de humedad y energía.	17
4. Tiempo de secado por especie para lograr un 20% de humedad o menos.	24
5. Humedades de equilibrio promedios de Chile.	27
6. Composición química del Roble.	29
7. Equivalencias de unidades de medida	32
8. Precios normalizados de leña (1m ³)	32
9. Tratamientos de secado de leña definidos por CONAMA	35
10. Fecha de medición de los ensayos.	43
11. Información climática del sector Pillanlelbún.	45
12. Información de contenido de humedad (%) sector Pillanlelbún.	48
13. Información de contenido de humedad (%) sector Catripulli.	53
14. Mediciones en un metro cúbico estéreo sin trozar.	55
15. Mediciones en un metro cúbico estéreo trozado a 33 cm.	56
16. Mediciones en un metro cúbico estéreo trozado y picado para cocina.	56
17. Equivalencias de unidades de comercialización saco 25 kg, saco 15 kg, y canasto grande.	57
18. Factores de conversión de unidades de comercialización de leña.	58
19. Equivalencia de precios normalizados en metro cúbico estéreo sin trozar.	58
20. Factores para conversión de unidades de comercialización de leña a MST33 - combustión	65

FIGURA	PAG.
1. Dimensiones de leña en función al tamaño de la estufa y velocidad de secado.	21
2. Leña secándose con suficiente luz y vientos.	22
3. Pila de leña cubierta y aislada del suelo.	23
4. Contenido de humedad de leña a diferentes tiempos de secado.	25
5. Curvas de secado artificial de leña picada de Roble americano, ordenada aleatoriamente y en forma paralela, a distintas temperaturas.	28
6. Establecimiento del ensayo.	36
7. Ubicación del área de instalación de ensayos.	37
8. Vista general de ensayos Pillanlelbún y Catripulli.	38
9. Extracción de muestra en terreno.	39
10. Secado en horno y pesaje de probetas.	40
11. Proceso de determinación de equivalencia de unidades de medida.	42
12. Curva de secado sector Pillanlelbún.	47
13. Relación ente curva de secado (T_2), humedad relativa y humedad de equilibrio, sector Pillanlelbún.	50
14. Curva de secado sector Catripulli.	52
15. Equivalencias de unidades de comercialización y precios en base a experimentación	60

1.INTRODUCCIÓN.

Con fecha 20 de Septiembre del 2004 se firma el contrato celebrado entre la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) y la Universidad Católica de Temuco (UCT) para la realización del estudio denominado “Estudio de Secado de Leña y Equivalencias de unidades de comercialización”

El plazo de ejecución del proyecto es de 8 meses, cuyo inicio formal tiene fecha 30 de Octubre del 2004. No obstante, la Universidad Católica de Temuco inicio el estudio a principios de Octubre para efectos de aprovechar la temporada de secado natural de leña en forma integra, sobre la base de la existencia de la firma del Convenio. En consecuencia la fecha de término del estudio es el 1º de julio de 2005.

El Convenio contempló la entrega de resultados preliminares, que corresponden a dos informes, donde el primero de ellos contiene el detalle de la metodología utilizada y el montaje del experimento; el segundo incluye los resultados preliminares y una presentación en Power Point la que se expuso en el seminario de leña realizado en Valdivia los días 14 y 15 de mayo del 2005. El preinforme final se entregó a CONAMA en Julio de 2005.

El objetivo general del estudio es contar con información científica y técnica para orientar el proceso de secado de la leña a escala predial y su comercialización en Temuco y Padre Las Casas.

Los objetivos específicos del estudio son:

1. Contar con una Tabla de Rendimiento de un metro cúbico estéreo de leña picada para cocina a las unidades de comercialización saco de 25 Kg, saco de 15 Kg y Canasto Grande.

2. Contar con una Tabla de Rendimiento del metro cúbico estéreo en trozos de un metro de largo a unidades de comercialización en las siguientes presentaciones:

Metro cúbico estéreo ordenado de leña en astillas para cocina (33 centímetros de largo, 13 centímetros de grosor y al menos dos caras sin corteza).

Metro cúbico estéreo ordenado de leña en astillas para estufa de combustión lenta (33 centímetros de largo, 16 centímetros de grosor y al menos dos caras sin corteza).

3. Contar con una Tabla de Conversión de unidades para la comercialización que permita expresar en fracciones de metro cúbico estéreo ordenado de leña en astillas para estufa de combustión lenta en las siguientes presentaciones:

Metro cúbico estéreo (leña de 1 metro),

Saco de 15 kg,

Saco de 25 kg,

Canasto grande, respecto de un metro cúbico estéreo de astillas para estufa de combustión lenta.

4. Contar con curvas de secado natural de leña de Roble (*Nothofagus obliqua*) en distintas presentaciones y grados de protección en dos localidades abastecedoras de leña de Temuco y Padre Las Casas.

2. MARCO TEÓRICO DEL ESTUDIO.

Este capítulo contiene antecedentes respecto a: a) aspectos generales de la leña, b) el contenido de humedad de la leña y su efecto en la combustión, c) técnicas y factores en el secado de leña y d) conceptos y equivalencias de unidades medidas de leña.

2.1 Aspectos generales sobre el uso de la leña

Se define la leña, como 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 sólo en los hogares, sino también en las industrias rurales, incluyendo madera destinada a la producción de carbón vegetal y residuos agrícolas leñosos (FAO, 1981). Al respecto, Marcos (2001) la define como la “parte de los árboles y arbustos que hecha trozos se destina a uso energético” e indica que su uso, probablemente, haya comenzado desde el período neolítico y ha continuado hasta nuestros días, resaltando que el hombre primitivo, recolector y cazador, y el agricultor avanzado sólo consumían, en gran parte, energías renovables.

El combustible más usado en nuestro planeta fue la madera, hasta hace unos 200 años atrás. Solo hasta el devenir de la revolución industrial dejó paso a otros recursos energéticos como el carbón, especialmente en los países de Europa Occidental y Norteamérica. (Gálvez, 1987; Reyes, 2000).

La necesidad de buscar formas alternativas de energía se hizo patente a nivel mundial, una sociedad urbana de consumo se volvió a buscar en la madera la energía necesaria para funcionar, además demandó de las áreas rurales estos productos provocando escasez en dichos lugares, así como los problemas ambientales asociados.

Las Naciones industrializadas y las que están en vías de desarrollo, especialmente las que carecen de autoabastecimiento energético, se enfrentan al gran desafío de instituir políticas y programas de acción que permitan minimizar la energía necesaria para abastecer el crecimiento económico y estimular el desarrollo de recursos energéticos locales (Exxon, 1976; citado por Reyes, 2000).

Las preferencias por el uso de leña se basan entre otros factores en lo siguiente: es menos peligroso su uso que el gas, el calor de la madera llena mejor el espacio, los costos son entre 30 a 50% mas baratos que otros combustibles, la corteza puede ser utilizada como fertilizante, es un recurso renovable, la leña es carbono neutro porque la cantidad de carbono liberado no es mayor que el fijado por el crecimiento de los árboles (Oregon, Department of Agriculture, 2003).

En Chile la leña representa el 16% de la matriz energética nacional, y su uso se concentra en las regiones del sur de Chile, donde se ubican los bosques naturales, que tienen una fuerte presión de uso para este fin. Quizás la única alternativa de acceso para los estratos sociales bajos y medios bajos a un combustible de bajo costo y alta calidad, es la leña, por tal motivo las instituciones públicas han asumido los programas de educación en esta temática y liderado el desarrollo de investigaciones exploratorias al respecto.

En este sentido, este estudio se enmarca en mejorar la calidad del combustible mediante secado natural y transparentar las unidades de comercialización determinando las equivalencias de las unidades de medida utilizadas.

Respecto del consumo de leña, es destacable que más de la mitad de la biomasa de madera consumida a nivel mundial se quema como combustible. La mayor parte de esta forma de consumo se hace en los países en desarrollo donde la madera es con frecuencia la principal fuente de energía. Asia y África consumen entre las dos más de las tres cuartas partes de la madera utilizada

como combustible en el mundo, principalmente en las cocinas domésticas, aunque industrias familiares dedicadas a la desecación de alimentos y a la albañilería también consumen un gran volumen en algunos países (FAO, 2004).

Del total de la producción de madera en trozo a nivel mundial en el año 2002, el 53 por ciento fue leña y el restante 47 por ciento se destinó a la industria. La inmensa mayoría del uso como leña tiene lugar en los países en desarrollo, donde muchas veces es la principal fuente de energía. Por el contrario, la mayor parte de la producción de madera en trozo para la industria continúa correspondiendo a los países desarrollados, que representan más del 70 por ciento del total, aunque la parte de los países en desarrollo ha aumentado a lo largo del tiempo (FAO, 2002).

En 1985, alrededor de 2000 millones de personas dependían de la leña como única fuente de energía, para el año 2000 se espera que sean 3000 millones de personas. Los países en vías de desarrollo obtienen de la madera el 17% de la energía que necesitan, pero los países mas pobres obtienen el 70% de sus necesidades de madera (Marcos, 2001). (cuadro 1)

Cuadro 1. El consumo de leña a nivel mundial.

	Población (millones)	Leña (millones m3)	Consumo (m3 por persona)	Energía equivalente en leña (millones de Gj)	Energía Comercial (millones de Gj)	Leña (% del total)
Mundo	4258	1566	0.37	14720	256594	5.4
Mundo desarrollado	1147	145	0.13	1363	205115	0.7
Economías de mercado	775	54	0.07	508	145148	0.3
Economías de planificación central	372	91	0.24	855	59967	1.4
Mundo en desarrollo	2762					1.4
Africa	415	353	0.85	3318	2415	20.6
Países menos desarrollados de Africa	138	163	1.18	1532	255	57.9
Asia	2347	796	0.34	7478	37558	85.7
Países menos desarrollados de Asia	130	34	0.26	319	180	16.6
Planificación central, Asia	1010	220	0.22	2068	240488	7.99
América latina	349	272	0.78	2557	11306	18.4

1 m³ = 9.4 Gj

Fuente: Marcos, 2001.

En Chile el año 1992 el uso de la leña como energético aportaba el 21% del abastecimiento (Serrano, 2001), hoy en día representa el 16% de la matriz energética nacional con 9 millones de m³ (CNE, 2005). Al respecto el INFOR (1994) indicaba que el 32% de la corta de madera en el país se consume como leña. Las regiones mas consumidoras de leña y sus derivados son la VIII y la X con un 28.7% y 24.3% respectivamente, en la VIII Región el mayor consumo pertenece al sector industrial (Ábalos, 1997; INFOR, 1994). En los sectores urbanos de la IX y X regiones la leña representa el energético mas importante

con cifras de 93,2% y 99.2% respectivamente (Burschel, H.; Hernández, A.; Lobos, M.; 2003).

El consumo de leña en términos de volumen corresponden a 6.9 millones de toneladas de leña consumidas a nivel nacional (74%), equivalente a 9.2 millones de metros cúbicos de madera sólida, considerando un aprovechamiento del 90%, equivalen a una corta total de 10 millones de metros cúbicos sólidos en pie, correspondiendo un 61% a especies del bosque nativo, un 22% a Eucalipto, un 15% a Plantaciones de Pino radiata y un 2% a matorral nativo (Reyes, 2000).

Las leñas que se consumen desde la zona centro hasta la VII región provienen del bosque esclerófilo y en menor grado del matorral nativo y plantaciones de Eucaliptos, desde la VIII región al sur la leña proviene de los Tipos Forestales Coigue-Rauli-Tepa, Roble-Raulí-Coigue y Siempreverde.

En la IX-Región la especie Roble explica el 80% del Consumo de leña, ello de acuerdo al estudio desarrollado por la Universidad de Concepción y CONAMA (2001), motivo por el cual esta especie es el sujeto del estudio de este proyecto. Además, Roble participa de aproximadamente 300.000 hectáreas de renovales, de las cuales un alto porcentaje pertenece a pequeños propietarios, quienes no tienen acceso a tecnologías de secado artificial, por tal motivo los tratamientos que se experimentan consideran métodos naturales de secado natural de bajo costo, implementables por los propietarios de este tipo de bosques.

2.2. Contenido de humedad en la leña.

Debido a que el árbol en pie contiene savia, la madera recién extraída de él generalmente posee un alto contenido de humedad. La relación entre la masa del agua contenida en una muestra de madera y la masa de la misma muestra en estado de secado al horno se denomina contenido de humedad de la madera o leña y se expresa en porcentaje (% de H₂O).

El agua puede encontrarse en la madera bajo tres formas diferentes:

- *Agua de constitución*, o aquella que forma parte de su naturaleza.
- *Agua libre*, que es el agua de imbibición contenida en el lumen de las células, es decir llenando las cavidades de las células, ésta no se puede captar de la atmósfera y una vez que se elimina sólo se puede recuperar por inmersión.
- *Agua de impregnación*, la que está contenida en las paredes celulares que se mantiene en equilibrio dinámico con la del medio ambiente que rodea a la madera.

La madera es un material **higroscópico**, absorbe o entrega agua según sean las condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente que la rodea. En una primera etapa la madera se encuentra con sus cavidades y paredes celulares llenas de agua (savia). Esta propiedad hace que el contenido de humedad de la madera sea variable, dependiendo del ambiente en que se encuentre. Al iniciarse un proceso de pérdida de humedad, la madera entrega al ambiente el agua libre contenida en sus cavidades, hasta alcanzar un punto denominado como “punto de saturación de la fibra”, que corresponde a un estado en el cual se ha eliminado el agua libre y las paredes celulares permanecen saturadas.

El contenido de humedad en el punto de saturación de la fibra o simplemente **“punto de saturación de la fibra”** (PSF), depende de diversos factores y varía para las diferentes especies; sin embargo, se acepta un 28 % a 30 % como promedio para la madera en general. Por debajo del punto de saturación de la fibra y al continuar el proceso de evaporación, la madera cede el agua contenida en sus paredes celulares, hasta alcanzar un punto en el cual el proceso se detiene. Este punto se conoce como **“Humedad de Equilibrio”** de la madera y depende, fundamentalmente, de la especie, la temperatura y la humedad relativa del ambiente. La pérdida de humedad por debajo de este estado de equilibrio sólo podrá conseguirse por medio de tratamientos especiales de secado en hornos o estufas. De esta manera es posible obtener la sequedad completa o **“madera anhidra”**.

En la IX Región la humedad de equilibrio alcanza un valor de 16% teórico y 18% experimental como promedio anual, siendo este último referente para estudios de secado natural, en época invernal aumenta en 1 a 2 puntos porcentuales. Esto indica que estudios de secado natural podrían alcanzar un valor mínimo de agua de 18%, reducir aún más la humedad significa incorporar tecnologías de secado artificial.

La Norma Chilena de Cálculo de Construcciones en Madera (NCh 1198) define como madera en estado verde aquella cuyo contenido de humedad es superior al 30 % y como madera seca cuyo contenido de humedad no es superior al 20 %

Como la leña es un material higroscópico, siempre contiene agua, cuando la leña está verde o recién cortada la savia corre por sus fibras y puede contener valores muy altos de agua – savia, con cifras que van desde 60 % a 130 % de contenido de humedad en maderas duras y el doble en maderas muy porosas o suaves, esto significa que la leña puede pesar más por su contenido de agua absorbida que por el peso de sus fibras. (Medrano, 2004). Estas cifras pueden

variar entre un 40 % a 400 %, esta última cifra se da generalmente en especies de crecimiento rápido.

El contenido de humedad de la leña se determina mediante el uso de xilohigrómetros, que son instrumentos que se basan en las propiedades eléctricas de la madera, las que varían con el contenido de humedad. Existen dos tipos de xilohigrómetros que son utilizados con mayor frecuencia:

a.- *Xilohigrómetros Resistivos*: su principio de operación se basa en que la madera seca es pobre conductora de electricidad. El agua, al absorberse en la madera y combinarse con las resinas propias de la madera, mejora su conductividad eléctrica, debido al flujo iónico al aplicar tensión en corriente continua a través de los electrodos, así la resistencia medida (o conductancia, la cual es inversa a la resistencia), a un flujo de la corriente a través de la madera es una medida de la cantidad de humedad en esa madera.

El alcance de medición para éste tipo de medidores es de 7 a 30 % de contenido de humedad y su clase de exactitud esperada va de ± 1.5 a ± 3 % de agua, aunque otras referencias indican que la exactitud de la medición se puede determinar de ± 0.5 a ± 2 % de agua.

b.- *Xilohigrómetros Capacitivos*: utilizan las propiedades dieléctricas de la madera, son instrumentos que poseen sensores planos que no penetran físicamente a la madera. Los electrodos son presionados a la madera y se aplica tensión de alta frecuencia. La cantidad de energía absorbida depende del contenido de humedad en la madera. El alcance efectivo de estos medidores es de 5 a 30% de H₂O y su exactitud va de ± 3 a ± 6 % de agua. Cada especie de madera tiene su propia densidad específica, por eso sólo para los xilohigrómetros de tipo capacitivo se debe configurar el valor de densidad apropiado.

Otro método para determinar el contenido de humedad en la leña es el método gravimétrico. Implica pesar la muestra antes y después de secarla a un horno a una temperatura mayor a 100 °C. La fórmula para determinar el contenido de humedad (CH%) se define como:

$$CH\% = \frac{(M_h - M_o)}{M_o} \cdot 100$$

Donde M_h es la masa en gramos de la muestra en estado húmedo y M_o es la masa en gramos de la muestra en estado seco.

El estado seco es definido cuando la muestra de la madera ha sido secada en un horno a 103 °C \pm 2 °C con tal duración que, repetidos pesajes de la muestra, en intervalos de 6 horas, muestre una máxima diferencia de solo el 0.5% entre la medición actual y la anterior. La precisión de éste método depende de la precisión de la balanzas utilizadas. El estudio se basó en este método y utilizó la Norma NCh 176/1.

Es importante destacar que frecuentemente se presenta la interrogante si la humedad corresponde a base húmeda o base seca. Al respecto, la literatura señala que en los procesos industriales de la madera en Europa se utiliza la base seca, y en el sector energético la base húmeda (Healion, K. 2002). No obstante, en países como Canadá, Australia y otros, utilizan la base seca en el sector energético.

La importancia del contenido de humedad en la leña focalizada en el proceso de combustión, es factible explicarlo y resumirlo en tres etapas básicas:

- *Etapa 1* (Evaporación): la energía desprendida se utiliza para evaporar el exceso de agua de la madera. Se calientan las partículas de madera, el agua se desprende y los combustibles se secan.
- *Etapa 2* (Pirolisis): gasificación y combustión de volátiles. A 260 °C comienza la pirolisis, donde se forman los gases volátiles y compuestos sólidos carbonizados. Los volátiles contienen entre el 50 a 60 % del poder calorífico de la leña. A los 590 °C éstos gases mezclados con aire dan origen a las llamas.
- *Etapa 3* (Carbón vegetal): cuando la mayoría del alquitrán y los gases se han quemado la sustancia restante es carbón de leña. Este material remanente se quema a temperaturas sobre los 590 °C, generando como residuo una pequeña cantidad de ceniza.

El contenido de humedad en exceso que se encuentra en la leña afecta a la eficiencia de la combustión y contribuye a la emisión de partículas contaminantes.

Los estudios indican que humedades de 20% e inferiores reducen drásticamente la emisión de material particulado y mejoran la eficiencia energética de la combustión. Lo cual es alcanzable con métodos de secado natural, de acuerdo a las humedades de equilibrios de la zona.

Altos contenidos de agua en la madera requieren mayor cantidad de energía para la evaporación, primera etapa de la combustión. El usuario pierde la energía requerida para completar bien este proceso. (Healion, K. 2002).

La organización escocesa “*Reinforesting Scotland*”, en el artículo informativo “*Fuelwood for homes and communitis*”, publicado el año 2002 menciona que la madera fresca contiene un alto contenido de humedad (sobre un 80%), y que para una eficiente combustión la humedad debe ser reducida a un 20 - 25%. Si el contenido de humedad se encuentra entre un 25 a 50%, la mitad del poder calorífico se pierde (cuadro 2).

Cuadro 2. Eficiencia de la combustión en función de la humedad.

Tipo de Madera	Contenido de humedad (% peso seco)	Poder Calorífico (Gj/ tonelada)
Secada en un horno	0	19.6
Secada en un horno	10	17.2
Secada al aire	30	12.4
Madera fresca	50	7.6

Al respecto Gould (1990), señala que gran parte del potencial calórico que se encuentra en los gases volátiles, que se encienden a los 600° C, se pierde debido a que la madera húmeda mantiene durante la combustión una baja temperatura.

En el cuadro 3 es posible apreciar que el contenido de humedad no es significativo por unidad de volumen, pero si tiene una gran correlación con el peso. Un pie cúbico de madera mojada posee alrededor de un 85% de la energía de un pie cúbico de madera seca. Sin embargo, sobre la base del peso, un trozo de madera mojado de 13.5 kg. tiene menos que mitad de la energía de un trozo de madera seco de 13.5 kg.

Cuadro 3. Relación contenido de humedad y energía.

Contenido de Humedad (%)	Porcentaje de energía (por volumen)	Porcentaje de energía (por peso)
0 (Secada al horno)	100	100
20 (secada al aire)	97	81
50 (Verde)	92	62
100 (Mojada)	85	42

La emisión de partículas contaminantes por combustión de leña húmeda:

El humo producido por las estufas es, básicamente, combustible de la leña que no se ha quemado completamente y se convierte en contaminación atmosférica, la que está compuesta principalmente por:

- MP10: material particulado de menos de 10 micrones de diámetro. Estas partículas son tan pequeñas que los mecanismos naturales de defensa del cuerpo humano no pueden evitar que se internen en los pulmones, donde pueden dañar sus tejidos y estructura causando serios problemas respiratorios.
- CO₂: dióxido de carbono, reduce la capacidad sanguínea de entregar oxígeno a los tejidos más extremos del cuerpo.
- NO_x: óxidos de nitrógeno, disminuye la resistencia natural de los niños a contraer infecciones pulmonares.
- HC: hidrocarburos

Farias, O. (2003), señala que la problemática radica en el material particulado (MP), proveniente de la combustión de madera, que emite 140 veces el MP generado con gas natural.

En el año 2002 el departamento del ambiente del gobierno Australiano (DOE) publicó el estudio técnico: "Review of literature on residencial firewood use, Wood-smoke air toxics". Este documento reúne a más de 350 artículos

internacionales y Australianos referentes a los residuos tóxicos producidos por el uso de la madera para calefacción y sus efectos en la salud humana y destaca que los estudios epidemiológicos de varios países han establecido correlaciones significativas entre MP10 (y MP2.5) y enfermedades respiratorias agudas y muerte a temprana edad. Los estudios Australianos de Sydney y Brisbane demuestran correlaciones similares, pero en el caso de Melbourne estas son menos significativas. A su vez los estudios sugieren que la composición química de las partículas es menos significativa que las características físicas de las mismas.

Se estima que la gente expuesta al humo proveniente de estufas tiene 2 a 3 veces más riesgo de contraer cáncer a la garganta; de acuerdo a un estudio efectuado a 2.352 personas en el sur de Brasil, un 30% de los cánceres se atribuye a las estufas a leña. Resultados análogos fueron encontrados en China, donde las mujeres expuestas a las emisiones de cocinas a leña presentaron mayor riesgo de contraer esta enfermedad (Farias, O. 2003).

El departamento del ambiente Australiano también propone algunas estrategias para reducir la emisión de contaminantes de las estufas:

- Cumplir a cabalidad los estándares de emisiones permitidos y reducir los factores máximos.
- Promover el cambio de estufas en los hogares por aquellas de mejor tecnología (menos emisión de partículas), mediante programas y subsidios del estado.
- Regular el contenido de agua en la leña que se vende en las ciudades.
- Educar a los usuarios en la correcta manipulación de los calefactores considerando todos los factores asociados a la reducción de contaminantes.

- Regular la altura mínima de los cañones para asegurar una mejor dispersión del humo. Esta medida es la única que no se ha considerado en estudios para su implementación en nuestro país.
- Mejorar el funcionamiento termal de los hogares, de tal manera de reducir las necesidades de calefacción.

2.3 Secado de leña.

Dada la escasa bibliografía en Chile respecto al secado de leña, se presentan experiencias de otros países que son transferibles e implementables. Sin embargo, en el último tiempo se han desarrollado dos experiencias, una en la ciudad de Valdivia liderada por la Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo y la otra que corresponde al presente estudio, que experimentan técnicas de secado natural en especies nativas, donde se analizan los factores tamaño del trozo y cobertura.

Es común encontrar en la bibliografía de habla inglesa el concepto “Season Wood”, este se refiere a la leña preparada o lista para ser utilizada en la calefacción hogareña. Esto implica que la leña debe tener un contenido de humedad que permita una combustión eficiente y menor emisión de partículas contaminantes.

Wallis, C. (2003) establece que los síntomas de una leña incorrectamente preparada y sin buenas prestaciones son los siguientes:

- Dificultad para encenderse y mantenerse quemando.
- Fuego con poca llama y alta cantidad de humo.
- Cristal de la estufa sucio.
- Rápida formación de creosota en el cañón.
- Bajo poder calórico.
- Alto olor a humo en la casa.

- Tiempos cortos de quemado.
- Excesivo consumo de combustible.
- humo azul-gris de la chimenea o cañón.

Para lograr “Season Wood” o leña preparada muchos autores coinciden en que ésta no debe contener más de un 20 a 25% de agua en base seca. Esta condición se puede lograr mediante una adecuada técnica de secado la que debe considerar los siguientes aspectos:

- **Momento de extracción de la leña del bosque:** el momento más adecuado para intervenir un bosque con el fin de extraer madera para leña es a fines de invierno cuando la actividad fisiológica del árbol es baja y en general la madera tiene un menor contenido de agua, a su vez se considera un buen momento ya que se aprovechan los meses de primavera y verano para secarla completamente.
- **Dimensiones:** recomienda secar la leña picada, ya que aumenta la superficie expuesta al aire y la velocidad de secado se incrementa sustancialmente. Las fibras expuestas de la madera permiten que la humedad escape con mayor facilidad que cuando existe corteza. (Giardina, L .1992)
- Cutter, B (1996), explica que antes de picar la leña se debe decidir acerca del tamaño de la astilla (figura 1), y ésta dimensión debe ser levemente menor al tamaño de la puerta de la estufa. Si por ejemplo se selecciona una dimensión de astilla máxima de 15 cm. esto significa que todos los trozos redondos entre 15 y 30 cm. se deben partir en cuatro o más pedazos igualmente clasificados. Es recomendable que las trozas de menos de 15 cm, también se partan ya que se aumenta el área expuesta de la madera,

idealmente dos caras expuestas, secándose mejor, lo que incide en una buena combustión.

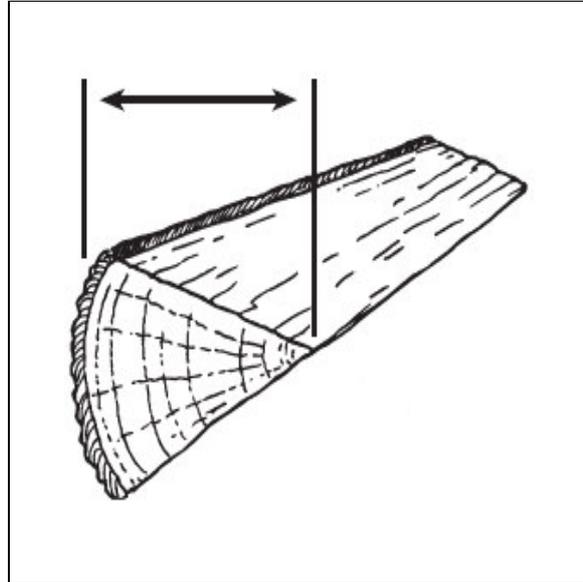


Figura 1. Astilla ideal para secar con mas de una cara expuesta.

- En general es recomendable un tamaño que este en función del tamaño de las estufas. En Chile generalmente la leña se pica de 33 cm de largo y entre 10 a 15 cm de grosor.
- **Apilado:** el apilado de la leña para su secado debe ser lo suficientemente práctico, considerando las unidades de comercialización. En Estados Unidos, Europa, Australia y Nueva Zelanda se utiliza la cuerda como unidad de volumen y de apilamiento de leña, una cuerda son 4 pies de alto por 4 pies de ancho por 8 pies de largo (128 pies cúbicos). En Chile se utiliza el metro cúbico estéreo (1m.x1m.x1m.), como unidad de apilado y comercialización de leña. Estos volúmenes, sin embargo, incluyen el espacio de aire entre los palillos de la madera. La cantidad de madera sólida es absolutamente variable y depende de la

habilidad del apilador, de la rectitud y del tamaño de los trozos, y de la manera de partarlos.

- **Vientos:** la madera se debe secar en un lugar en donde el sol la pueda calentar y el viento pueda soplar a través de ella. Pues el sol calienta y evapora el agua de la pila de madera y el viento la traslada lejos (Wallis, C. 2003). La figura 2 muestra una pila de leña secándose en una colina con suficiente luz y transversalmente a los vientos predominantes, que es lo ideal.



Figura 2. Leña secándose con suficiente luz y vientos.

- **Cubierta y aislamiento de la pila:** El año 2002 el Departamento de Energía de Canadá publicó el artículo “wood heating tips”, donde se recomienda cubrir y aislar del suelo la pila de leña para un secado más rápido, ordenando la pila de tal forma que el aire pueda fluir libremente por debajo y entre las rumas de leña (figura 3).

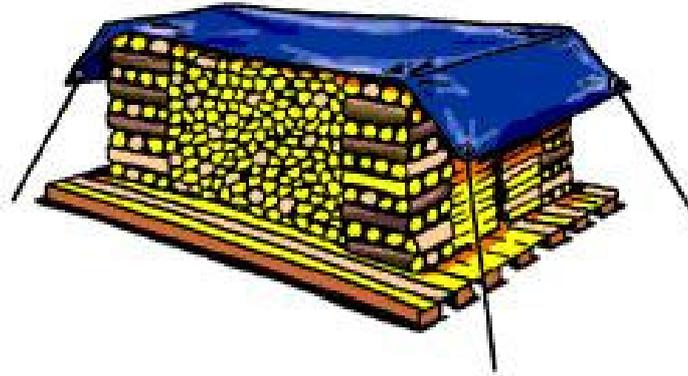


Figura 3. Pila de leña cubierta y aislada del suelo.

- Una cubierta de polietileno sobre la pila permite aumentar la temperatura en la leña y promueve el secado (Giardina, L. 1992). El polietileno protege la pila de la lluvia y nieve; el aislante sobre el cual se monta la ruma de leña le otorga protección de la humedad del suelo.
- Al respecto, Wallis, C. (2003) señala que más importante que una cubierta protectora es cortar y picar la leña a tiempo, apilarla y dejarla secar durante la primavera y verano.
- **Tiempo de secado:** En el año 2003 el Departamento de Calidad del Aire del Estado de Oregon (DEQ), en Estados Unidos, publicó el artículo “Woodstoves 101”, o en español “estufas a leña 101”, en el cual se presenta una pauta para la elección de leña de 9 especies distintas, donde se destaca los tiempos de secado para que la leña alcance un contenido de humedad cercano al 20% base seca, que varía entre 6 a 12 meses (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tiempo de secado por especie para lograr un 20% de humedad o menos.

ESPECIE	TIEMPO MINIMO DE SECADO AL EXTERIOR.
Aliso (Alder).	Más de 6 Meses
Cedro (Cedar).	6 Meses
Pino Oregón (Douglas Fir).	6 Meses
Madrone.	6 Meses
Arce (Maple).	6 Meses
Roble Americano (Oak).	6 Meses
Pino (Pine).	6 Meses
Abeto blanco (White Fir).	6 Meses

- Gould, K. (1990) señala que para lograr un 20 % de contenido de humedad en la leña, ésta se debe secar al aire libre al menos 9 meses. Al respecto, Giardina, L.(1992), establece que para obtener leña con contenidos de humedad de 20%, se requiere de un tiempo de secado entre 6 a 8 meses, dependiendo de las condiciones climáticas, del tipo de madera (maderas duras o densas requieren de más tiempo que las maderas blandas), y depende de una adecuada preparación y apilado. Otros autores como Healion, K. (2000) destaca que se debe secar la leña por al menos un año, preferentemente 2 para alcanzar estándares adecuados de humedad.



Fuente: Healion, K. (2000).

Figura 4. Contenido de humedad en la leña a diferentes tiempos de secado.

En resumen el tiempo de secado para lograr contenidos de humedad de un 20%, dependerá básicamente de la especie y las características físicas de su madera, del momento en que se corta y se dispone a secar la leña; de la preparación adecuada (picado, apilado, cubierta, aislamiento), y de las condiciones climáticas. En general, la bibliografía menciona tiempos que oscilan entre los 6 a 24 meses.

Otro factor que influye en el contenido de humedad que posee la leña en proceso de secado natural, es **la humedad de equilibrio higroscópico**. Al respecto, Medrano, S. (2004) señala que una vez que la madera o leña se ha secado, la humedad residual que se mantiene en ella dependerá del constante intercambio por difusión – evaporación de vapor de agua entre la madera y el aire, hasta lograr el equilibrio higroscópico, considerando que el valor máximo de humedad que se puede contener en la madera seca es cuando se llega al punto de saturación de la fibra, valores que oscilan de 22% a 35% de contenido de agua. En este punto la humedad satura todos los huecos existentes entre las

fibrillas elementales, entre la microfibrillas y entre las fibras que componen la pared celular. Para que la madera adquiriera mas humedad que la que corresponde al punto de saturación de la fibra, es necesario sumergirla en agua y así llenar los espacios existentes en el lumen celular .

La cantidad de humedad en este punto de balance es llamado contenido de humedad de equilibrio (EMC, por sus siglas en ingles de Equilibrium Moisture Content) y depende de la humedad relativa y de la temperatura ambiente (Simpson, W. 1998). Al respecto, Reeb, E. (1997), señala que una vez que la madera se seca bajo el punto de saturación de la fibra, el contenido de humedad que entra o sale de la madera es determinado por la humedad relativa que la rodea. Durante las estaciones lluviosas aumenta, dado al aumento de la humedad relativa, por lo tanto la leña no se secará mas allá de ésta humedad y en algunos casos podría ganar agua del ambiente. Por tal motivo resulta relevantes educar en el almacenaje de la leña seca a los usuarios.

El cuadro 5, presenta las humedades de equilibrio según la zona climática, que indican la humedad límite de secado de la leña. Para el caso de Temuco, la Humedad de equilibrio experimental promedio es de 18% (aumenta 1 a 2 puntos porcentuales en época invernal) y corresponde a la zona sur valle longitudinal. Esta cifra está bajo la humedad límite de una leña limpia, lo que valida las técnicas naturales de secado.

Cuadro 5. Humedades de equilibrio promedios de Chile.

ZONA CLIMÁTICO HABITACIONAL	DESIGNACION	HUMEDAD DE EQUILIBRIO PROMEDIO	
		Experimental	Teórico
NORTE LITORAL	NL	14%	16%
NORTE DESERTICO	ND	7%	10%
NORTE VALLE TRANSVERSAL	NVT	15%	13%
CENTRO LITORAL	CL	15%	16%
CENTRO VALLE LONGITUDINAL	CVL	13%	14%
SUR LITORAL	SL	18%	17%
SUR VALLE LONGITUDINAL	SVL	18%	16%
SUR EXTREMO	SE	18%	16%

Fuente: CORMA, *et al*, 2003.

Simpson, W. *et al.* (1987), realizó un estudio para determinar los tiempos de secado de leña picada de Roble Americano en un horno típico de secado de madera para la construcción. Este estudio se realizó con el objetivo de ayudar a los productores a evaluar la factibilidad del secado artificial de leña. Alrededor de 22 m³ de leña picada, entre 35 y 45 cm de largo se montaron sobre 12 plataformas en envases abiertos que permitían la circulación del aire entre las pilas. El secado se realizó a tres temperaturas diferentes 60, 82 y 104° C y la leña se apiló de dos formas: paralelas a la circulación del aire y en forma aleatoria. Una vez comenzado el secado se tomaron muestras periódicamente para pesarlas y determinar su contenido de humedad. Los resultados del estudio indican que se logra una reducción de humedad de 52 a un 20% en 260, 90, y 30 horas de secado en horno a 60, 82, y 104° C respectivamente y la diferencia al ordenar la leña paralela a la circulación del aire, o en forma aleatoria es leve, o poco significativa. (Figura, 5)

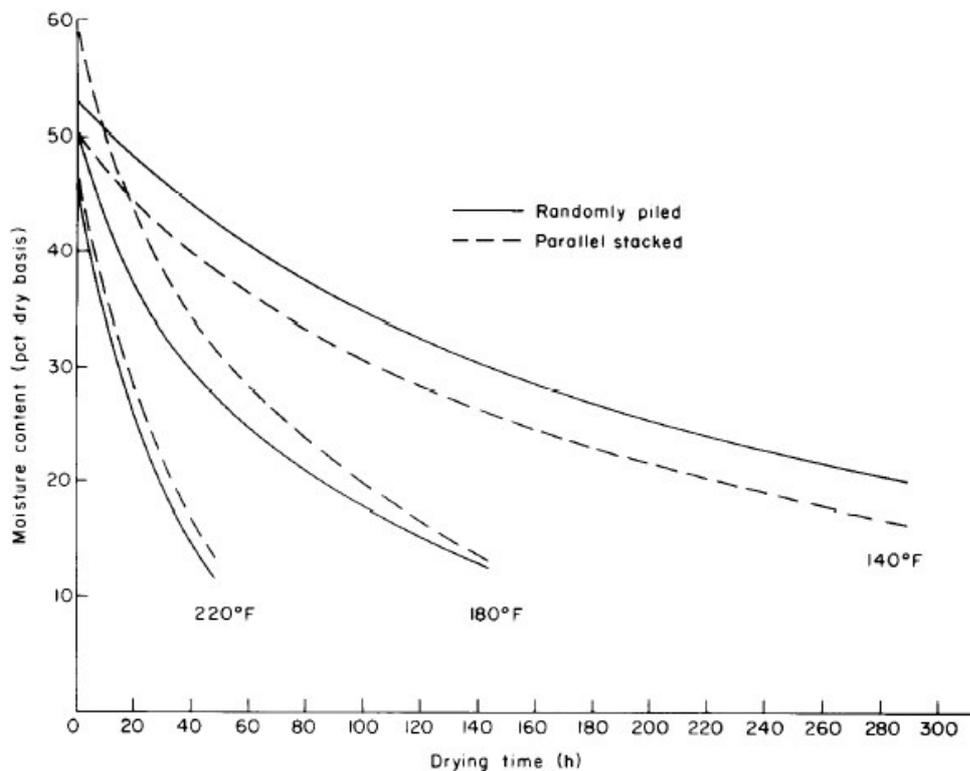


Figura 5 . Curvas de secado artificial de leña picada de Roble americano, ordenada aleatoriamente y en forma paralela, a distintas temperaturas

En Chile los costos de secado artificial promedio de madera aserrada es de 20 US\$/m³ sólido. En un escenario hipotético, donde se asume esta cifra como referencia para el costo de secado de leña, el precio de venta de leña seca alcanzaría un precio de 20.000 a 25.000 pesos en las diferentes épocas de venta, cifra alta pero comercializable dada las ventajas de la mejora del producto. En este mismo sentido la incorporación de tecnologías de secado como secadores solares tipo invernadero podrían reducir este precio, y transformarse en una alternativa real para los productores, permitiéndoles alargar la cadena de producción de leña en el bosque.

2.4. Antecedentes de la especie en estudio *Nothofagus obliqua* (Roble).

El roble es una especie de hojas caducas, doblemente aserrado (Pérez, 1983; Rodríguez, 1983), el tronco es recto cilíndrico y libre de ramas hasta una buena altura (Donoso, 1972; Hoffmann, 1982) son árboles de hasta 40 m de altura y cerca de dos metros de diámetro (Pérez, 1983). El roble, crece en suelos fértiles, con cierta humedad y profundidad (Pérez, 1983).

La madera de roble adulto presenta un color café rojizo opaco, que se diferencia de albura blanquecina amarillenta. Anillos de crecimiento poco visibles. Madera pesada y de gran durabilidad (Pérez, 1983).

La madera de renoval de roble se caracteriza por su color blanquecino rosáceo y anillos de crecimiento más anchos que su madera madura.

Respecto a las propiedades químicas y físicas, las especies nativas no han sido intensivamente estudiadas en su composición, no obstante el contenido de lignina en maderas duras y la cantidad de extraíbles es significativamente baja (Mansilla, 1991).(Cuadro 6)

Cuadro 6. Composición química del roble.

Especies	Estado	Celulosa (%)	Holocelulosa (%)	Lignina (%)	Extraíbles (%)	Cenizas (%)
Roble	Maduro	38.5	81.1	19.4	6.1	0.62

Fuente: Mansilla, 1991

La densidad de la madera de renovales es menor, dada su falta de formación del duramen o en vía de formación, no distinguiéndose de la formación de la albura. Las cifras de densidad en estado anhidro alcanzan valores de 600 Kg/m^3 y de 1200 Kg/m^3 para leña recién cortada

2.5 Equivalencias de unidades de medida.

Uno de los aspectos mas importantes a considerar para establecer una adecuada regulación del mercado de la leña es el estudio y normalización de las distintas unidades de venta de éste producto. En la mayoría de los casos el comprador final de leña manifiesta una confusión o poca claridad en relación a las dimensiones, equivalencias y precios de los formatos de venta al que accede u opta. A esto se suma que en distintas ciudades del país se utilizan distintas unidades de comercialización de acuerdo a costumbres practicadas por años, por ejemplo, en la ciudad de Puerto Montt la unidad mas popular de venta de leña es la vara, sin embargo en la ciudad de Temuco esta modalidad de venta no se practica y más aún, ni siquiera se conoce.

Un aspecto en común de las unidades de venta de leña es que todas se pueden medir por su espacio tridimensional que ocupan o volumen. Algunas medidas convencionales de volumen son el centímetro cúbico (cm^3), que se puede representar por un cubo de un centímetro de ancho por un centímetro de alto y por un centímetro de largo y el metro cúbico (m^3), que se puede representar por un cubo de un metro de ancho por un metro de alto y por un metro de largo. (Prodan, M. *et al.* 1997).

En nuestro país en el caso de la leña, la unidad básica de medida y comercialización es el metro cúbico estéreo que corresponde a una pila, de un metro de alto, por un metro de largo y un metro de ancho.

En este sentido Lobos, M. (2001), en el “Estudio preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco”, utiliza el metro cúbico estéreo y señala que es una unidad de uso casi universal tanto en las zonas rurales como en la ciudad. Al respecto se puede agregar que el metro cúbico estéreo está inserto en el sistema de cosecha y apilado de leña.

Sin embargo se debe considerar que la cantidad de madera sólida que contiene un metro estéreo es absolutamente variable y depende de la habilidad del apilador, de la rectitud y del tamaño de las astillas, y de la manera de partirlas.

Un metro cúbico de leña estéreo puede contener entre un 47% a un 85 % de un metro cúbico de leña sólido (Marcouiller, D; Anderson, S. 1998).

A partir de un metro cúbico estéreo surgen una serie de formatos de comercialización de leña. Al respecto, Lobos, M. (2001) define la unidad canasto, que corresponde a una cierta cantidad de astillas picadas de leña que caben en el interior de un canasto de 50 cm de diámetro y 30 cm de alto, y cuyo volumen es de 0,02 m³ aproximadamente.

En este sentido es relevante destacar el estudio: “Priorización de medidas de reducción de emisiones por uso residencial de leña para la gestión de la calidad del aire en Temuco y Padre las Casas”, realizado por la Universidad de Concepción el año 2002, en el cual se determinó una tabla de conversión de distintas unidades de medida de leña usadas comúnmente en Temuco y Padre las casas, y sus precios normalizados al m³. (Cuadro 7 y 8)

Cuadro 7. Equivalencias de unidades de medida.

Unidad de Venta	m ³ estéreo
M ³ estéreo	1
Triciclo	0,5
Sacos	0,06
Canasto	0,08
Carretilla	0,16

Fuente: Universidad de Concepción, 2002

Cuadro 8. Precios normalizados de leña (1 m³).

Unidad de Venta	TEMUCO	PADRE LAS CASAS
m ³ estéreo	7962	8121
Triciclo	11434	5500
Sacos	16700	15700
Canasto	-	8025

Fuente: Universidad de Concepción, 2002

En este estudio se comprobó mediante encuestas a distribuidores de leña y mediciones en picadurias, que existe una alta heterogeneidad de volúmenes para iguales unidades de venta. A su vez queda de manifiesto cuales son las principales unidades de comercialización.

Hoy en día en la ciudad de Temuco la leña se comercializa en los siguientes formatos principalmente:

Metro cúbico estéreo sin trozar: corresponde a una pila de leña formada por trozos de un metro de largo ordenadas en forma paralela completando un metro de alto por un metro de ancho.

Metro cúbico estéreo trozado: corresponde a una pila de leña de un metro cúbico estéreo trozado a 33 cm. para combustión.

Metro cúbico trozado y picado: corresponde a una pila de leña de un metro cúbico trozado y picado para estufa.

Saco 25 kg: corresponde a una cierta cantidad de astillas de leña seca (o verde) introducidas en forma ordenada en un saco de nylon hasta completar un peso de 25 kg.

Saco 15 kg: corresponde a una cierta cantidad de astillas de leña seca (o verde) introducidas en forma ordenada en un saco de nylon hasta completar un peso de 15 kg.

Canasto grande: es la cantidad de astillas de leña seca (o verde) que ocupan el volumen de un canasto de 48 cm de diámetro y 35 cm de alto, hasta completar un peso aproximado neto de 15 kg.

3. METODO.

El método utilizado en el estudio consta de dos partes, uno para el estudio de secado y el otro para determinar las equivalencias de unidades de comercialización. Estos métodos fueron sancionados en conjunto con la Comisión Nacional del Medio Ambiente IX Región.

El método planteado apunta a responder las siguientes interrogantes principales:

1. ¿Cuál es la técnica de secado más eficiente, factible de ser implementada por los pequeños y medianos productores de leña de la Novena Región?
2. ¿Cuánto tiempo los leños o trozos deben ser sometidos a secado con las distintas técnicas para alcanzar un contenido de humedad cercana a 25%?
3. ¿Qué unidad de medida, representa de mejor manera y cumple con las condiciones para ser considerada como estándar en el mercado de la leña?
4. ¿Cuál es la equivalencia de las unidades de medida utilizadas en la comercialización de leña en la IX-Región?

3.1 ESTUDIO DE SECADO DE LEÑA.

1. INSTALACIÓN DE LOS ENSAYOS.

Con el fin de identificar los tiempos de secado natural que son necesarios para acondicionar la leña con contenidos de humedad adecuados para su uso en combustión, se realizó ensayos con la leña de uso más frecuente en Temuco y Padre Las Casas, Roble (*Nothofagus obliqua*).

El diseño experimental corresponde a un factorial de dos factores, cobertura y tamaño del trozo, lo que genera cuatro tratamientos. Además se consideró dos bloques, donde cada uno representa una condición edafoclimática. Para cada factor se definieron dos niveles o presentaciones, con cuatro repeticiones por tratamiento. (Cuadro 9, figura 6).

Cuadro 9. Tratamientos de secado de leña definidos por CONAMA. (ver figura 6).

T0	Testigo. Forma actual de acopiar la leña en trozos de 1 metro en el campo.
T1	Leña en trozo de 1 metro con rieles y cobertura superior de polietileno de alta densidad.
T2	Leña en astillas para combustión lenta con rieles y cobertura de polietileno.
T3	Leña en astillas para combustión lenta sin rieles y sin cobertura de polietileno.

La unidad experimental corresponde a una unidad de volumen estéreo de 1.5 m de ancho, por 1 m de alto y 1 m de largo. Para efectos de mediciones se definió un área Buffer, dejando un volumen de 1 metro estéreo medible en el interior de la pila (Figura 8). Cada tratamiento tiene cuatro repeticiones, lo que genera 6 metros estéreos por tratamiento, 24 metros por sector o bloque y un total de 48 metros para el estudio. (Figura 6).

La leña utilizada proviene de renovales de roble de 40 años de edad promedio, con una humedad inicial media de 120% sobre base seca, que corresponde a la humedad de la madera de un árbol vivo. (Figura 6).



T0 : TESTIGO : Forma tradicional

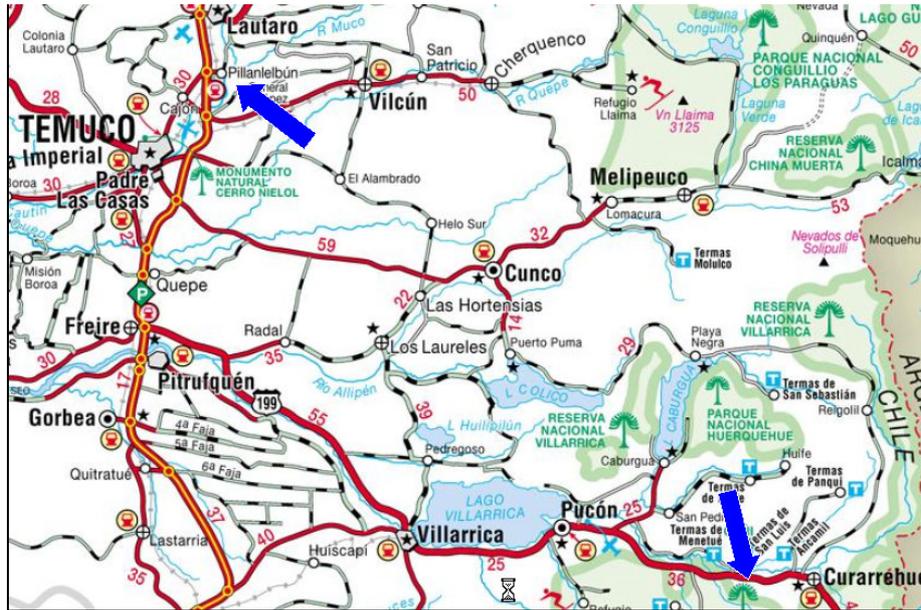
T1: leña de metro con rieles y cobertura superior.

T2: Leña trozada a 33 con rieles y cobertura superior.

T3: Leña trozada a 33 cm. sin rieles y sin cobertura.

Figura 6: Establecimiento del ensayo.

Los ensayos se establecieron en valle en el Predio Pillanlelbún y en la Cordillera de los Andes en el Predio Catripulli, ello con el objeto de evaluar posibles diferencias en la velocidad de secado producto de las diferentes condiciones climáticas. (Figura 7).



Fuente: www.turistel.cl

Figura 7. Ubicación del área de instalación de ensayos.

El área de Catrillapuñ se ubica a 25 Km. de Pucón camino a Curarrehue y corresponde a un sector de montaña con presencia de bosquetes de roble, el sector específico del ensayo presenta una protección de los vientos predominantes por la presencia de bosquetes de roble. Se caracteriza por presentar un clima templado-lluvioso, con una precipitación cercana a los 2500 mm, una humedad relativa de 75%, temperaturas mínimas promedio de -3 grados y máximas de 35° en el mes de enero. Los vientos predominantes en época estival son este-oeste (Figura 7)

El área de Pillanlelbún se ubica en el valle Central y corresponde a un predio agrícola-ganadero, distante a 17 Km. de Temuco. El sector del ensayo se encuentra en un área completamente abierto, sin ningún tipo de protección. Se caracteriza por presentar un clima templado-lluvioso, con una precipitación cercana a los 1500 mm, una humedad relativa de 70%, temperaturas mínimas promedio de -3 grados y máximas de 35° en el mes de enero. Los vientos predominantes en época estival es sur-norte (Figura 7)



Figura 8: Vista general ensayos Pillanlelbún y Catripulli.

2.- EXTRACCIÓN DE MUESTRAS Y MEDICIONES.

En la figura 9. se observa la delimitación con pintura roja de la población a muestrear , dejando un área buffer, enumerando los leños en la unidad experimental de cada tratamiento. Se ilustra la extracción de la muestra en forma aleatoria para la determinación de humedad que corresponde a la obtención de una probeta en el centro del leño, la que es identificada, pesada y llevada a laboratorio para su análisis.



Figura 9. Extracción de muestras en terreno.

La figura 10. ilustra el trabajo en laboratorio para la determinación de humedad.



Figura 10. Secado en horno y pesaje de probetas.

La humedad se determina sobre base seca, de acuerdo a la siguiente relación:

$$C.H.(%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

C.H. = Contenido de humedad. (%)

Ph = Peso húmedo

Ps = Peso seco.

Posteriormente se conformó la base de datos, que corresponden a seis mediciones para el período de evaluación, sobre la que se aplicaron análisis gráfico y estadísticos de análisis de varianza y pruebas de comparaciones múltiples de Tukey y LSD. Esto permite analizar el efecto de los factores y sus interacciones en la velocidad de secado de la leña. (Anexo 1)

3.2 EQUIVALENCIAS DE UNIDADES DE MEDIDA.

Sobre la base de un metro estéreo, unidad base de producción y comercialización de leña, se generó mediante trozado las distintas unidades de venta empleadas hoy en Temuco y consideradas en la metodología. De ésta forma sobre la base de 4 repeticiones ó 4 metros cúbicos estéreos, se originó mediante trozado cuatro unidades de metro cúbico para combustión, conformadas por leños de 33 cm. de largo. Para estas dos primeras unidades de comercialización se registró como unidad de medida el metro estéreo, el peso en Kg y número de astillas. Luego se procedió a picar las trozas de cada metro cúbico para combustión lo que generó la unidad de comercialización metro estéreo trozado y picado para estufas.

Para determinar las equivalencias de las unidades de comercialización de metro estéreo a Saco de 25 Kg, Saco de 15 Kg y Canasto Grande, se procedió a definir el metro estéreo como unidad de equivalencia. Para el caso de los sacos, se completaron tres veces estas unidades con leña, que luego fueron ordenadas para medirlas en metros estéreos y determinar el factor de equivalencia. Para el canasto cada repetición correspondió a cuatro llenados, que luego fueron ordenados y medidos como metro estéreo, esto se replicó tres veces. (Figura 11).

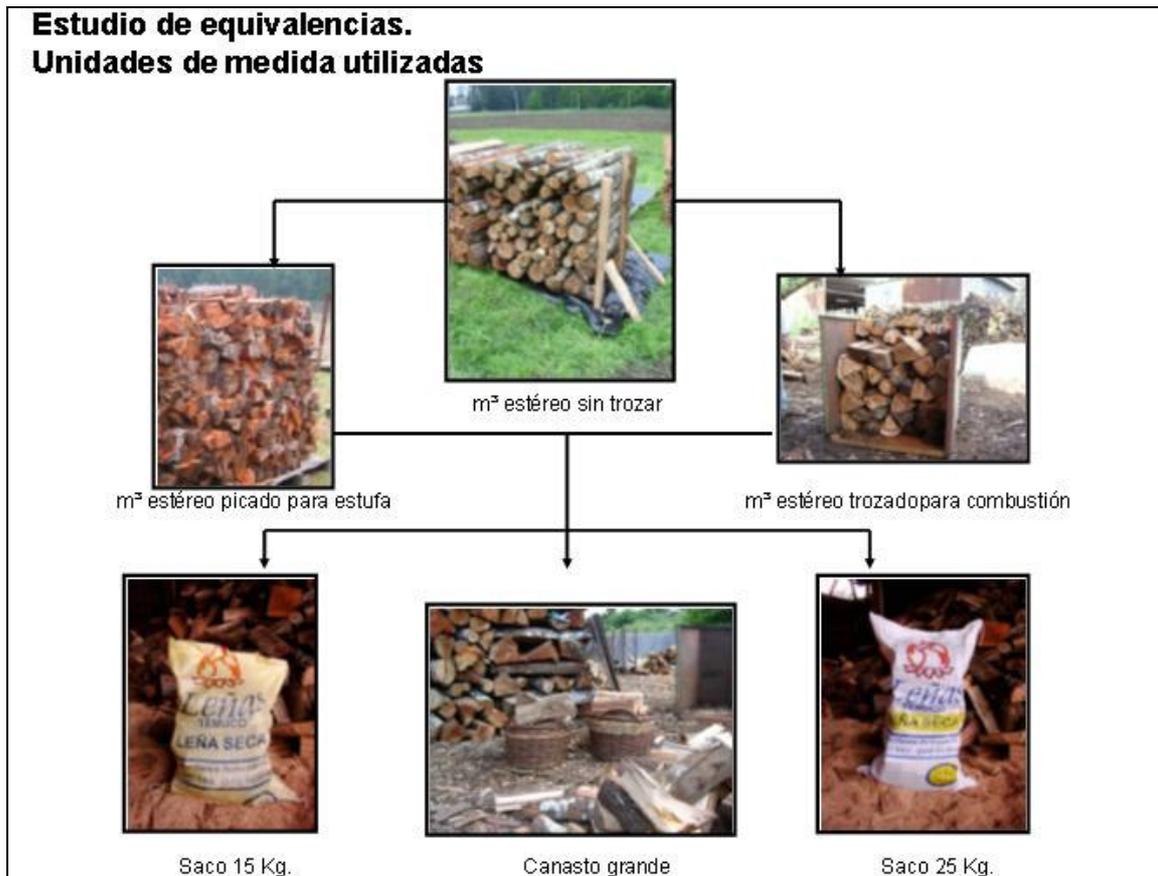


Figura 11. Procedimiento de determinación de equivalencias de unidades de medida.

Finalmente se consultaron los precios de cada unidad de comercialización en dos centros de venta de leña, de tal manera de definir equivalencias de precios normalizados en metros cúbicos estéreo entero.

4. RESULTADOS

Los resultados del estudio se presentan ordenados en dos puntos, primero el estudio de secado de leña y en segundo lugar las equivalencias de unidades de medida de comercialización.

El análisis se limita a la presentación de los resultados obtenidos y su discusión de acuerdo al marco teórico que se presenta en el capítulo 2. A ello se incluye para el estudio de secado de Pillanlelbún, la relación entre la velocidad de secado con variables climáticas; lo que no fue posible realizar para el sector de Catripulli por falta de información disponible .

4.1 ESTUDIO DE SECADO.

Durante el período de evaluación se realizaron seis mediciones, en las fechas que se indican en el cuadro 10.

Cuadro 10. Fecha de medición de los ensayos.

Medición	Sector Pillanlelbún	Sector Catripulli
1-Instalación	6 de noviembre	26 de noviembre
2	30 de diciembre	30 diciembre
3	25 de enero	25 de enero
4	3 de marzo	3 de marzo
5	1 de abril	1 de abril
6	10 de mayo	10 de mayo

4.1.1.- Ensayo de secado de roble sector Pillanlelbún.

Antecedentes climáticos del período de evaluación.

El cuadro 11 contiene información climática para el período de evaluación del ensayo. Es importante identificar las variables críticas y el período del año en que se producen los máximos y mínimos que afectan el secado de leña. En este caso el período noviembre a marzo es fundamental para el secado de leña, dada las altas temperaturas, baja precipitación y menores humedades relativas (HR). En este período los vientos predominantes son sur-oeste y oeste con velocidades promedios de 5 Km/hora. (cuadro 11).

Es destacable, que respecto de un año promedio normal se produjo menor precipitación entre el período enero a abril, con un déficit de 95%. Sin embargo, en mayo de 2005 precipitó 310 mm., alcanzando en el año un acumulado de 417 mm. cifra más cercana a un año normal que para el período es de 356 mm. La medición de 10 de mayo incluye 60 mm. de precipitación caída durante los primeros 9 días del mismo mes.

Las altas temperaturas históricas ocurridas en febrero también son importantes de señalar como evento anormal para el período de evaluación del ensayo, con un hito de 38°C el 9 de febrero como máxima histórica para Temuco. Este fenómeno produce un aumento mayor de la pérdida de agua respecto de un año normal.

Cuadro 11. Información climática del sector Pillanlelbún.

Variable	Nov. 2004	Dic. 2004	Enero 2005	Feb. 2005	Marz. 2005	Abril 2005	Mayo 2005
Precipitación(mm)	69.2	24.3	23.2	0.8	44.2	35.6	310.1
Tº media	15.4	17.8	17.4	19.8	15.8	11.9	9.0
Tº máxima	27.7	28.2	24.5	24.0	22.0	18.0	14.0
Tº mínima	5.5	8.3	8.8	11.3	5.2	2.8	-0.4
H.Relativa (%)	76	73	71	73	75	82	87

Fuente: Univ. Católica de Temuco- Estación Campus San Francisco.

Curvas de secado.

Al observar la curva de secado del sector Pillanlelbún podemos destacar que la humedad inicial varía entre 115 y 130 por ciento en base seca, que corresponde a madera recién cortada, que coincide con lo planteado por Medrano (2004), relacionado a las humedades máximas factibles de encontrar en especies forestales de esta densidad y cortada en esta época del año.

Los tratamientos tienen un comportamiento esperable, trozos de menor tamaño, pierden agua con mayor velocidad, ya que aumenta la superficie expuesta al aire y la velocidad de secado aumenta sustancialmente, tal como lo indica Giardina (1992). Por lo tanto la interacción cobertura y menor tamaño del leño presenta una mayor pérdida de humedad, respecto al tratamiento de cobertura y tamaño mayor del leño. Lo interesante y no esperable es la cantidad de agua que se pierde en cuatro meses, que varía para los trozos de 1 m. de 120% a 55 % , perdiéndose el efecto del factor cobertura, siendo muy similares en la medición de marzo, con un 58% en promedio, con una diferencia de 3%. No obstante, la importante cantidad de agua caída durante los primeros 10 días de mayo, significó que el factor cobertura se exprese, diferenciándose los tratamientos sin y con cobertura en contenidos de humedad promedios de los leños. Al respecto, es esperable que las astillas presenten mayor superficie de fibras expuestas

que los trozos de 1 m, por lo tanto se espera que la humedad se pierda con mayor facilidad en éstas que en los trozos de 1 m. en los que existe mayor área de corteza. (Figura12 y cuadro12).

Se determinó que para el período de evaluación se redujo la humedad para el tratamiento T0 (Testigo, trozos de 1 m) a un 52% base seca, alcanzando un valor mínimo antes de las lluvias de mayo de 44%. El Tratamiento T1 (leña en trozo de 1 m con rieles y cobertura) presenta una cifra de 46% de humedad al final del período de evaluación, alcanzando un mínimo promedio antes de las lluvias de 42%. Las varianzas y coeficiente de variación experimentados aún no permiten expresar diferencias entre estos tratamientos, es decir, el efecto del factor cobertura aún no se expresa a cabalidad. (Figura 12, cuadro12).

Los tratamientos del leño tipo astillas, reduce notablemente su humedad en el periodo Noviembre a Abril, de 130% a 30% en promedio, destacando el factor cobertura que permite reducir en promedio 5% la cantidad de agua respecto del tratamiento sin cobertura, alcanzando una cifra de 25% base seca al final del período sin lluvias fuertes. Sin embargo, luego de las fuertes lluvias de los primeros días de mayo, se observó el efecto de diferenciación de los tratamientos con y sin cobertura, alcanzando valores promedios de 30 y 27 % para los tratamientos T2 (leña en astillas para combustión lenta con rieles y cobertura de polietileno) y T3 (leña en astillas para combustión lenta sin rieles y sin cobertura de polietileno) respectivamente (Figura 12 y cuadro 12).

El análisis estadístico sin considerar la última medición del 10 de mayo determinó a través de la prueba de Tukey, dos grupos, donde el factor tamaño del leña explica dicho agrupamiento. En cambio, el factor cobertura no produce para el período los efectos esperados, que sin duda se van a expresar claramente finalizado la época invernal.

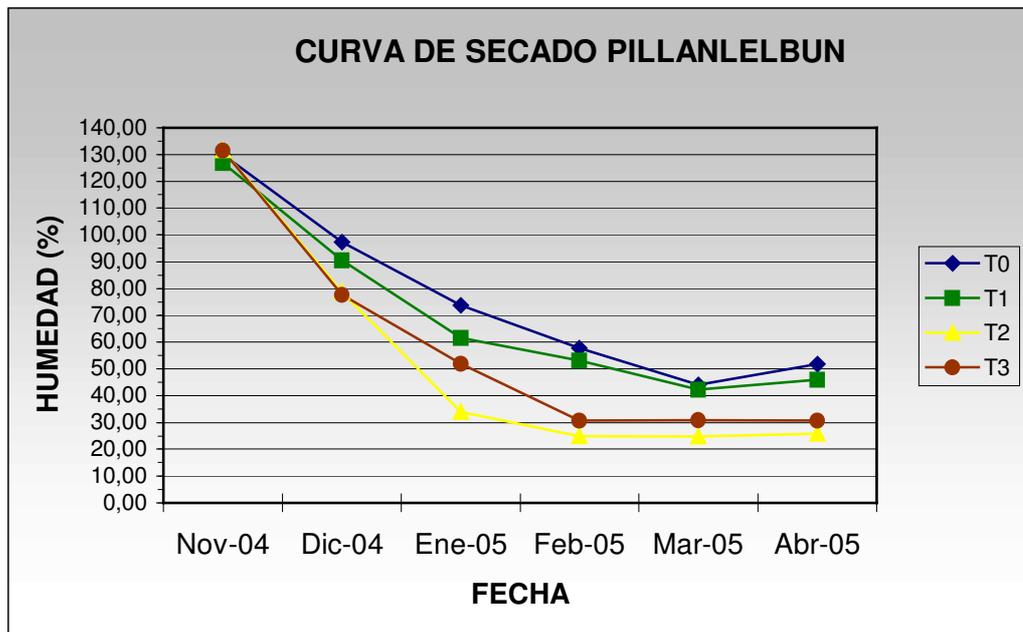


Figura 12. Curva de secado de leña de roble para el período Noviembre- Abril en el predio Pillanlelbún de la Universidad Católica de Temuco.

Cuadro 12. Información de humedad (%) base seca sector Pillanlelbún para el Período de evaluación Noviembre 2004 a Abril 2005.

TRATAMIENTO	R	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
TO	1	99,46	94,27	62,33	61,04	30,37	58,17
	2	119,12	89,65	58,02	55,56	59,40	43,08
	3	118,26	106,02	102,32	48,58	49,45	42,90
	4	122,33	99,44	72,43	65,77	36,60	62,57
Media		114,79	97,34	74,23	57,74	43,95	51,68
Desv. Estándar		10,37	7,03	19,97	7,40	13,01	10,19
CV (%)		9,03	7,22	26,90	12,81	29,59	19,72
T1	1	115,57	97,381	77,20	47,79	48,04	Alterada
	2	125,35	86,422	48,96	56,99	55,37	Alterada
	3	117,24	88,619	69,14	37,75	35,96	37,03
	4	149,08	90,082	51,27	69,50	29,71	54,79
Media		126,81	90,63	61,64	53,01	42,27	45,91
Desv. Estándar		15,45	4,75	13,74	13,51	11,58	12,56
CV (%)		12,18	5,24	22,30	25,49	27,40	27,36
T2	1	132,51	95,11	24,87	17,12	16,34	24,82
	2	125,47	66,24	44,93	33,35	18,00	22,24
	3	162,17	24,85	23,03	30,93	28,87	21,47
	4						
Media		140,05	47,86	30,94	27,13	21,07	22,84
Desv. Estándar		19,48	40,48	12,15	8,76	6,80	1,76
CV (%)		13,91	84,58	39,26	32,28	32,29	7,70
T22 Trozas interiores	1	154,01	88,35	44,51	18,02	40,51	33,73
	2	89,61	93,35	44,90	24,14	22,01	24,47
	3	126,72	103,22	21,38	25,68	22,99	28,54
	4						
Media		123,44	92,38	36,93	22,61	28,50	28,91
Desv. Estándar		32,32	8,07	13,47	4,05	10,41	4,64
CV (%)		26,18	8,74	36,48	17,91	36,51	16,05
T3	1	144,37	57,47	42,08	45,39	52,88	23,36
	2	126,03	76,95	18,71	22,83	24,24	35,13
	3	131,85	38,44	67,38	26,25	19,48	21,96
	4	136,46	67,47	52,75	22,46	36,2	23,94
Media		134,67	60,08	45,23	29,23	33,20	26,10
Desv. Estándar		7,74	16,48	20,50	10,91	14,88	6,08
CV (%)		5,75	27,42	45,31	37,30	44,83	23,30
T33 Trozas interiores	1	126,44	100,44	59,93	41,72	39,34	29,13
	2	134,12	75,08	69,09	22,90	23,56	29,13
	3	134,41	114,57	57,25	37,47	20,53	56,37
	4	119,06	91,16	48,89	26,18	31,16	26,78
Media		128,51	95,31	58,79	32,07	28,65	35,35
Desv. Estándar		7,30	16,57	8,32	8,96	8,41	14,06
CV (%)		5,68	17,38	14,16	27,95	29,37	39,76

La figura 13, muestra la relación o el comportamiento de la humedad relativa, la humedad de equilibrio y la curva de pérdida de humedad del tratamiento T2 (leña en astillas para combustión lenta con rieles y cobertura de polietileno), que presenta la mayor pérdida de agua promedio para el período. Es aclaratorio la impresionante pérdida de agua libre durante del período noviembre a febrero, con una relación lineal; luego prácticamente se mantiene esta cifra de 25% de humedad base seca, que es esperable, ya que el 25% de agua corresponde al agua contenida en la pared celular, que resulta más difícil y lenta de extraer con métodos naturales y principalmente limitado por la humedad relativa de la zona.

La humedad de equilibrio mínima de 17% se produce en enero y la mayor en invierno con un 20%. Estos datos indican que es imposible o muy difícil con las técnicas probadas reducir la humedad de la leña bajo estas cifras en dichos períodos. Por otro lado, como se demostró la alta velocidad de pérdida de agua libre en renovales de roble (de 120 a 25% en cinco meses) mediante secado natural, es posible indicar que la leña en astillón de roble pueden alcanzar humedades medias de 25% base seca mediante técnica de secado natural.(aplicar cobertura para evitar el efecto de las lluvias), transcurridos 5 meses de que el árbol es cortado.

Es necesario clasificar la leña durante la cosecha incluyendo entre otras variables la especie, el estado de desarrollo del árbol y su sanidad (joven o adulto), de ésta forma se facilita el control de estos factores en la etapa de comercialización, permitiendo reducir la varianza de la variable humedad en las pilas de leña.

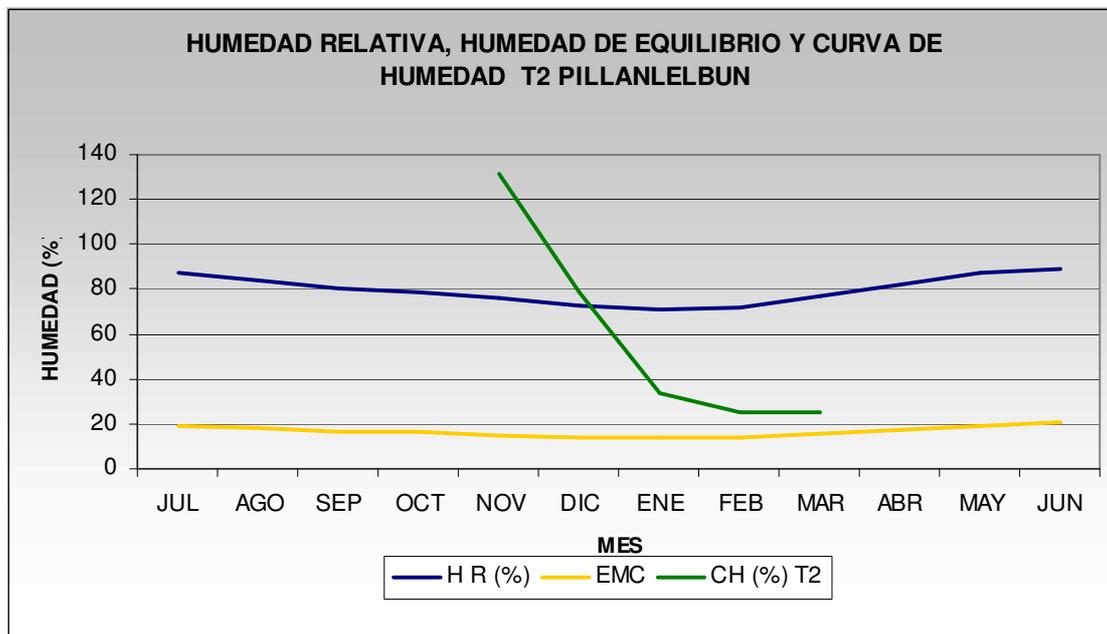


Figura 13. Relación entre la curva de secado (T2), humedad relativa y humedad de equilibrio del sector Pillanlelbún.

Donde:

HR%: Humedad relativa (%).

EMC: Humedad de equilibrio (%).

CH(%): Contenido de humedad (%).

4.1.2.- Ensayo secado natural de roble sector Catripulli.

Para el sector de Catripulli no se presentan antecedentes climáticos específicos, sin embargo es importante tener presente que las condiciones de montaña son más extremas en las variables analizadas que el sector de Pillanlelbún. Fundamentalmente para el período de evaluación existen extremas de temperaturas superiores, vientos “puelches” o de dirección Este a Oeste de alta velocidad y calidez en época de verano y mayores precipitaciones que Pillanlelbún. O sea, es esperable bajo estas condiciones pérdidas de humedad con mayor velocidad que los observados para el sector de Pillanlelbún.

El ensayo de Catripulli presenta humedades iniciales bajas, con cifras de 85 a 100% de humedad, ello debido a que las muestras se obtuvieron después de 20 días de cortado los árboles. En general los tratamientos tienen un comportamiento esperable, trozos de menor tamaño, en este caso las astillas pierden agua con mayor velocidad (T2 y T3) que los trozos de 1 m (T0 y T1). El factor cobertura no produjo un efecto significativo durante los primeros cinco meses, no obstante la última medición (9 de mayo) expresa el efecto del factor, diferenciándose los valores medios para los dos tamaños de los leños, en los tratamientos con y sin cobertura (Figura 14, cuadro 13).

Las cifras indican una importante cantidad de agua que se pierde en el período, que varía para los trozos de 1 m de 83% a 47% en el T0 (trozo de 1m. sin cobertura), de 86 a 43% en el T1 (trozo de 1m. con cobertura), de 98 a 24% en el T2 (astillas de 33 cm., con cobertura y con rieles) y de 98 a 37% en el T3 (astillas de 33 cm. sin cobertura y sin rieles)(Figura 14, cuadro 13).

El análisis estadístico (test de tukey) sin considerar la última medición del 10 de mayo determinó dos grupos, donde el factor tamaño del trozo explica dicho agrupamiento, un grupo lo conforma el tratamiento T0 y T1 (tamaños de trozo de 1 m) y el otro grupo lo integran los tratamientos T2 y T3 (tamaño de astillas de

33 cm). Sin embargo, al incluir la última medición, el factor cobertura genera a nivel promedio como se puede apreciar en la figura 14 un subgrupo dentro de cada tamaño de leño, es decir, a nivel gráfico es factible diferenciar cuatro grupos, donde el factor cobertura expresa su efecto en la variable humedad. No obstante, la alta varianza existente entre los tratamientos impide que estadísticamente el factor cobertura genere otro grupo para cada tamaño de trozo. (anexos).

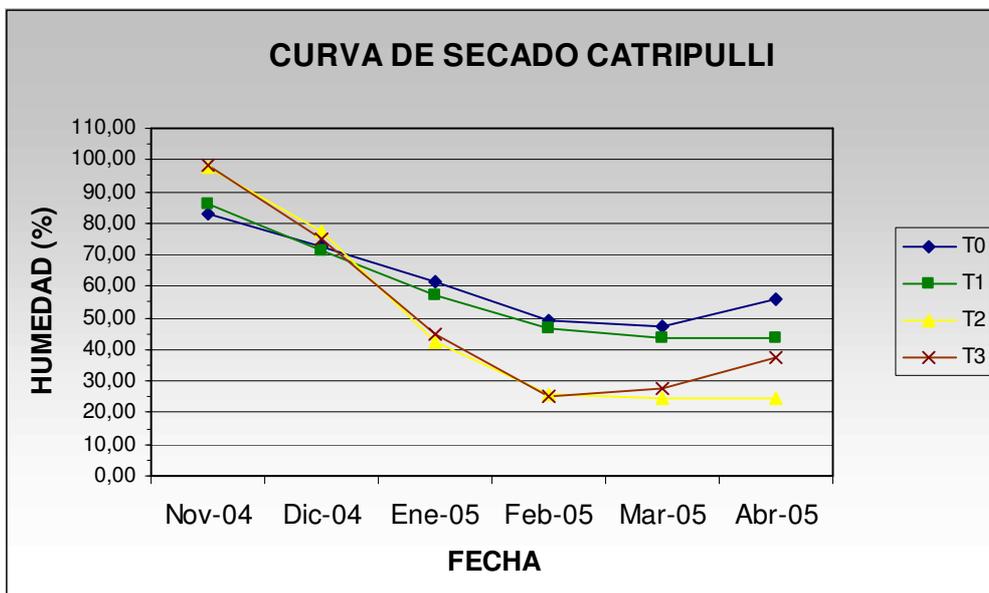


Figura 14. Curva de secado de leña de roble para el período noviembre- abril
En el sector de Catripulli.

Cuadro 13. Información de humedad (%) base seca para el sector de Catripulli para el período de evaluación noviembre 2004 a abril 2005.

TRATAMIENTO	R	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
TO	1	90,21	78,57	58,34	34,49	47,27	54,72
	2	81,67	72,41	56,17	44,37	63,58	48,71
	3	78,02	56,25	69,29	60,53	34,35	66,26
	4	82,49	81,82		57,91	43,34	54,61
Media		83,10	72,26	61,27	49,32	47,13	56,08
Desv. Estándar		5,13	11,37	7,03	12,16	12,22	7,34
CV (%)		6,17	15,73	11,48	24,66	25,94	13,10
T1	1	84,11	92,308	52,86	38,93	45,63	42,93
	2	85,09	63,934	66,01	45,44	33,25	42,22
	3	81,86	69,492	54,35	50,94	52,19	40,56
	4	93,81	58,73	55,33	51,42	43,99	47,94
Media		86,22	71,12	57,14	46,68	43,77	43,41
Desv. Estándar		5,24	14,80	6,00	5,84	7,85	3,18
CV (%)		6,08	20,80	10,50	12,50	17,95	7,32
T2	1	112,54	88,68	27,32	26,50	21,21	23,20
	2	114,02	85,19	39,15	23,90	35,79	25,42
	3	89,04	81,82	53,76	30,93	23,16	23,72
	4			32,45	34,15	23,63	24,83
Media		105,20	69,12	38,17	28,87	25,95	24,29
Desv. Estándar		14,01	32,33	11,47	4,56	6,64	1,01
CV (%)		13,32	46,78	30,05	15,81	25,60	4,17
T22 Trozas interiores	1	90,98	69,49	47,27	25,28	23,79	24,77
	2	91,36	63,93	41,06	17,05	19,57	25,21
	3	87,71	75,44	49,25	29,63	23,74	24,78
	4			47,80	19,66	24,53	22,56
Media		90,02	63,91	46,34	22,90	22,91	24,33
Desv. Estándar		2,01	12,35	3,62	5,65	2,26	1,20
CV (%)		2,23	19,32	7,81	24,66	9,85	4,93
T3	1	97,88	85,19	34,02	23,25	28,42	34,42
	2	108,39	104,08	32,88	21,61	24,68	33,66
	3	105,28	69,49	55,42	25,60	24,24	29,18
	4	86,37	72,41	44,33	28,80	25,07	26,77
Media		99,48	82,79	41,66	24,82	25,60	31,01
Desv. Estándar		9,79	15,74	10,52	3,12	1,90	3,65
CV (%)		9,84	19,02	25,24	12,57	7,44	11,78
T33 Trozas interiores	1	95,96	61,29	47,18	21,21	30,26	40,47
	2	92,42	75,44	41,34	24,09	34,36	36,47
	3	102,64	69,49	55,65	29,50	29,17	34,62
	4	99,38	63,93	49,93	26,15	24,75	62,98
Media		97,60	67,54	48,53	25,24	29,64	43,64
Desv. Estándar		4,40	6,28	5,95	3,49	3,95	13,12
CV (%)		4,51	9,30	12,26	13,83	13,33	30,07

El estudio determinó que es factible reducir la humedad de la leña correspondiente a astillas de 33 cm. con dos caras libres de corteza de 100% base seca a un 25% en un período de cinco meses, mediante secado natural y utilizando una cobertura plástica y rieles como aislante del suelo (T2). El agua liberada corresponde a agua libre, por lo que reducir aún más la humedad mediante estas técnicas es muy difícil, muy lento o en resumen muy ineficiente.

El tratamiento T3 presenta una humedad al final del período de evaluación de 37%, mayor en 12% que el T2, que es explicable por las precipitaciones de fines de abril e inicio de mayo, ya que previo a las lluvias los valores promedios de ambos tratamientos eran muy similares, 24% el T2 y 27% el T3. Por tal motivo como principio de precaución es recomendable incorporar la cobertura como factor de seguridad para alcanzar humedades inferiores a 30% base seca en 5 meses. (Figura 14, cuadro13).

Aún cuando se determinaron varianzas menores que Pillanlelbún, aún se observa en algunos tratamientos cifras de coeficiente de variación superiores a 20%.

Al comparar ambos sectores, coinciden los resultados de humedad meta promedio, donde el T2 experimentó la cifra de 25% en Pillanlelbún y 24% en Catripulli, lo que orienta respecto a la exigencia de tamaño de trozo para la comercialización de leña de temporada.

También queda claro que la pérdida de agua libre, es alcanzable en forma eficiente con métodos de secado natural y aprovechando las condiciones climáticas de la zona en un período de cinco meses. Esto exige ser oportuno en la cosecha, clasificación y acondicionamiento de la leña.

4. EQUIVALENCIAS DE UNIDADES DE MEDIDA.

En el cuadro 14, se presentan las mediciones de volumen, peso y número de astillas de las cuatro repeticiones de la unidad metro cúbico estéreo sin trozar con una humedad media de 30% base seca.

El volumen y peso medio de la unidad es de 1,022 m³ y 603,55 kg. respectivamente. Es destacable los coeficientes de variación bajos para el volumen y peso a nivel de m³ con valores de 5,011%, y 3,26% respectivamente, sin embargo se produce una mayor varianza a nivel de astillas, dada la heterogeneidad de tamaños y formas factibles de encontrar.

Cuadro 14. Mediciones en un metro cúbico estéreo sin trozar (MSST).

Ruma	Volumen m. Estéreo (m ³)	Peso (kg)	Nº Astillones	Peso por Astillón (kg)
1	1,08	575,20	30	19,16
2	0,97	620,62	41	15,14
3	1,05	610,50	36	16,96
4	0,99	607,90	30	20,26
Media	1,0225	603,555	34,25	17,88
Desv estándar	0,051	19,684	5,315	2,284
CV(%)	5,011	3,261	15,518	12,777

En el cuadro 15 se presentan los resultados de la unidad metro cúbico trozado para combustión, se destaca una disminución del volumen medio por metro cúbico estéreo (0,92 m³), en relación al metro cúbico sin trozar (1.022 m³), lo que se explica por la pérdida de volumen producto del trozado, que alcanza a a un 9.8% del volumen en promedio.

Cuadro 15. Mediciones en un metro cúbico estéreo trozado a 33 cm. (MST33)

Ruma	Volumen m. Estéreo (m3)	Peso (kg)	Nº Chocos	Peso por Choco (kg)
1	0,9295	571,86	111	5,15
2	0,8613	543,04	108	5,02
3	0,9952	599,20	115	5,21
4	0,8931	596,93	93	6,41
Media	0,920	577,758	106,75	5,4475
Desv estándar	0,057	26,252	9,605	0,647
CV(%)	6,250	4,544	8,997	11,869

Para la unidad metro cúbico estéreo trozado y picado para estufa, se aprecia un aumento del volumen medio a 0,97 m³, lo que se atribuye al aumento del volumen de vacío en la ruma de leña causado por el inferior tamaño de los leños y falta de rectitud, además de las diversas posibilidades de apilamiento.(cuadro 16).

Cuadro 16. Mediciones en un metro cúbico estéreo trozado y picado para estufa (MSTP).

Ruma	m3 estéreo sin trozar	m3 estéreo trozado combustión	m3 estéreo trozado y picado estufa
1	1,08	0,9295	0,9773
2	0,97	0,8613	0,9260
3	1,05	0,9952	1,0135
4	0,99	0,8797	0,9751
Media	1,02	0,92	0,97
Desv estándar	0,051	0,060	0,036
CV(%)	5,01	6,54	3,69

Para las unidades de comercialización saco 25 kg, saco 15 kg y canasto grande se determinó que equivalen en promedio a 0,0638; 0,0383 y 0,0448 m³ estéreo respectivamente (cuadro 17). De acuerdo a ésto un metro cúbico estéreo

equivale a 15,67 sacos de 25 kg, 26,11 sacos de 15 kg y 22,32 canastos grandes. Se observa una baja varianza en las cifras obtenidas.

Cuadro 17. Equivalencias de unidades de comercialización saco 25 kg, saco 15 kg y canasto grande.

Repetición	Saco 25 Kg (m3 estéreo)	Saco 15 Kg (m3 estéreo)	Canasto (m3 estéreo)
1	0,0627	0,0347	0,04565
2	0,0693	0,0452	0,04620
3	0,0595	0,0350	0,04262
Media	0,0638	0,0383	0,0448
Desv estándar	0,005	0,006	0,002
CV(%)	7,829	15,684	4,301

En el cuadro 18 se presentan los resultados de los objetivos planteados por CONAMA para el estudio de unidades de comercialización, los que consisten en factores de conversión para transformar de un metro cúbico estéreo de leña picada para cocina a unidades de comercialización de saco de 25 Kg., saco de 15 Kg. y canasto grande. También se obtiene una tabla de rendimiento de metro cúbico estéreo en trozos de un metro de largo a las unidades de comercialización: metro cúbico estéreo ordenado de leña en astillas para cocina (33 centímetros de largo, 13 centímetros de grosor y al menos dos caras sin corteza) y metro cúbico estéreo ordenado de leña en astillas para estufa de combustión lenta (33 centímetros de largo, 16 centímetros de grosor y al menos dos caras sin corteza). Finalmente, el tercer resultado muestra una tabla de conversión de unidades para la comercialización que permita expresar en fracciones de metro cúbico estéreo ordenado de leña en astillas para estufa de combustión lenta en las siguientes presentaciones:

Metro cúbico estéreo (leña de 1 metro),
 Saco de 15 kg,
 Saco de 25 kg,
 Canasto grande, respecto de un metro cúbico estéreo de astillas para estufa de combustión lenta

Cuadro 18. Factores de conversión de unidades de comercialización de leña.

Multiplicar	Por	Para obtener
Metro Estéreo Trozado y picado cocina (MSTP).	15,19	S25
Metro Estéreo Trozado y picado cocina (MSTP).	25,33	S15
Metro Estéreo Trozado y picado cocina (MSTP).	21,64	CAN
Metro Estéreo sin trozar (MSST).	1	MSST
Metro Estéreo sin trozar (MSST).	0,92	MST33-combustión
Metro Estéreo sin trozar (MSST).	0,97	MSTP-cocina
Metro Estéreo sin trozar (MSST).	0,92	MST33-combustión
Metro Estéreo trozado 33 cm combustión (MST33).	1	MST33-combustión
Metro Estéreo Trozado y picado cocina (MSTP).	0,94	MST33-combustión
Saco 25 kg (S25).	0,069	MST33-combustión
Saco 15 kg (S15).	0,041	MST33-combustión
Canasto (CAN).	0,048	MST33-combustión

En relación al precio, se calculó un promedio de los valores de venta por unidad, obtenido de los centros de comercialización de leña de Temuco. El formato de venta más económico es el metro cúbico sin trozar con un precio promedio de \$ 12.000 (junio 2005). Se evidencia que no existe diferencia en precio entre el metro cúbico trozado a 33 cm. y el metro trozado y picado, con un precio promedio de la unidad de \$ 17.500 a junio de 2005. La unidad de comercialización de mayor costo es el saco de 15 kg. con un precio promedio de \$ 26.120 el metro cúbico estéreo (cuadro 19).

Cuadro 19. Equivalencia de precios normalizados en metro cúbico estéreo sin trozar.

Unidad de comercialización de leña.	Precio (pesos/unidad)	Pesos por m ³ estéreo.
Metro Estéreo sin trozar (MSST).	12.000	12.000
Metro Estéreo trozado 33 cm (MST33).	17.500	16.100
Metro Estéreo Trozado y picado estufa (MSTP).	17.500	16.975
Saco 25 kg (S25).	1.500	23.490
Saco 15 kg (S15).	1.000	26.120
Canasto (CAN).	1.100	24.541

En la figura 15 se presenta un esquema que resume las equivalencias de unidades de comercialización y precios por unidad en base a la experimentación, utilizando como unidad de referencia el metro estéreo sin trozar.

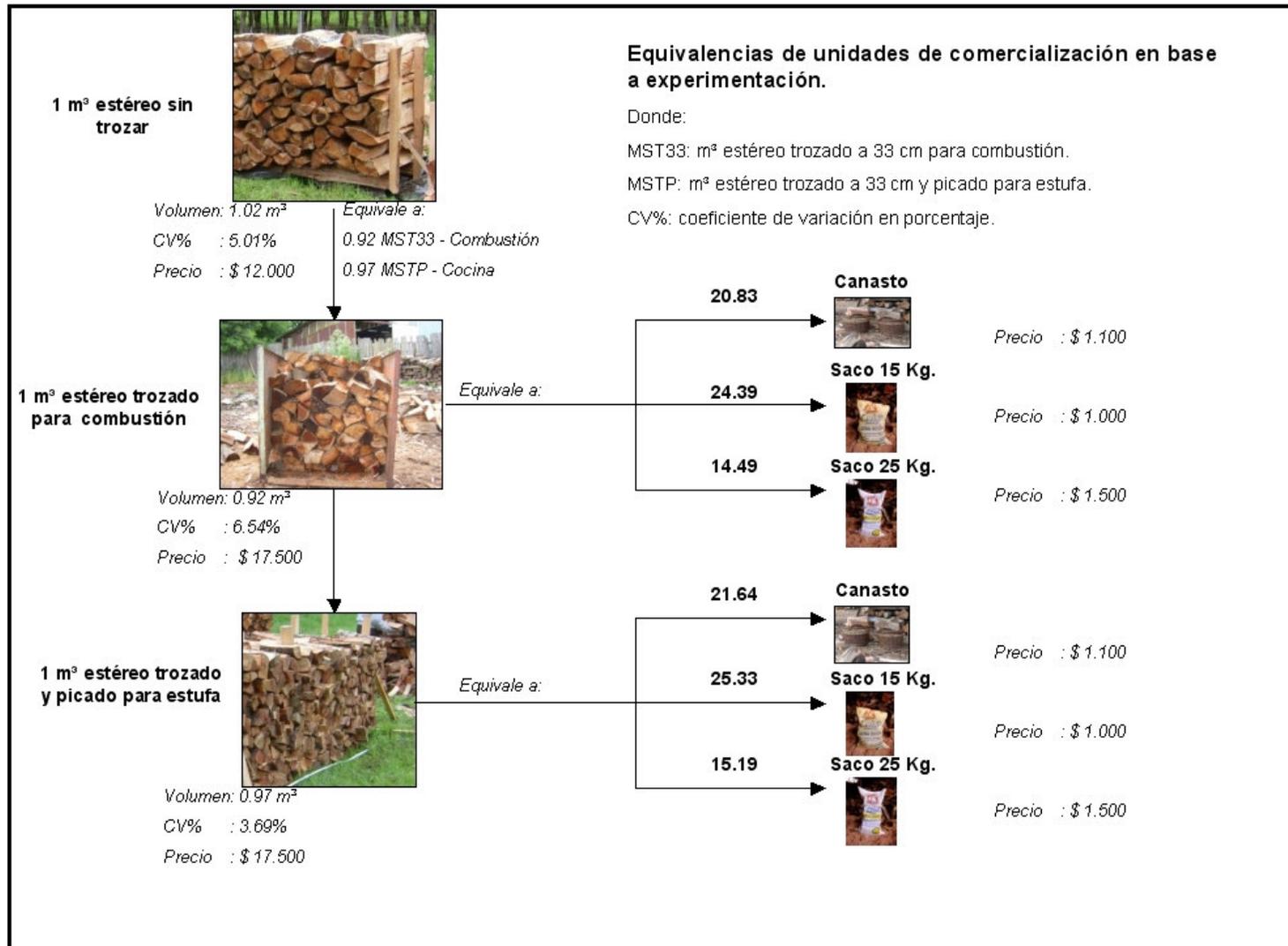


Figura 15. Equivalencias de unidades de comercialización y precios en base a la experimentación.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Para el ensayo de Catripulli el efecto de los factores tamaño del trozo y cobertura en la humedad final de los leños generó tres grupos con respuestas similares: trozos de 1m. sin cobertura con una media de 56% el grupo A, trozos de 1 m. con cobertura con una media de 43% y leños de 33 cm.-sin cobertura con un promedio de 37% el grupo B y el grupo (C) corresponde a leña de 33 cm. con cobertura con un promedio de humedad de 24%.

2. Para el ensayo de Pillanlelbún, el efecto de los factores tamaño del trozo y cobertura en la humedad final de los leños generó tres grupos diferentes: el grupo A correspondiente a trozos de 1m. sin cobertura con una media de 54% de humedad, el grupo AB (intermedio entre el A y B) con trozos de 1 m. con cobertura con una media de 45% y el grupo B que incluye a los tratamientos de leña 33 cm. para combustión- sin cobertura (32% de humedad) y leña de 33 cm. para combustión con cobertura (25% de humedad).

3. Del análisis de ambos sectores es posible resumir los resultados de los grupos en las siguientes afirmaciones.

De la curvas de secado es factible concluir los siguiente:

- a. El factor más significativo para el secado de leña es el tamaño del trozo. En ambos sectores se alcanzaron humedades menores con leña trozada a 33 cm, con un 25% de humedad en Pillanlelbún y 24% en Catripulli, en ambos casos con cobertura para el periodo noviembre a abril (cinco meses).
- b. El factor cobertura no expresa significativamente su efecto a cabalidad, ello debido a la baja precipitación para el período analizado, esto se produce principalmente en Pillanlelbún. Sin

embargo, para el sector de Catripulli que presenta condiciones más extremas y con precipitaciones más tempranas y en mayor cantidad, es posible observar sus efectos en los tratamientos. Esto último produce que los tratamientos T1 (leña de 1 m con cobertura) y T3 (leña de 33 cm. sin cobertura) tengan respuestas estadísticamente similares. En este caso la cobertura está reemplazando al trozado de la leña, lo que implica menores costos para alcanzar humedades bajas, ello siempre y cuando trabajemos más de una temporada el secado. Por lo que es fundamental el transporte oportuno o utilizar cobertura como factor de seguridad.

- c. El ensayo de Catripulli se instaló 20 días después de Pillanlelbún, sin embargo se alcanzaron humedades similares para el período de evaluación, lo que expresa características climáticas más apropiadas para secado natural respecto de la condición de valle. Sin embargo, el período con condiciones apropiadas es más breve en estos sectores tres a cinco meses, por lo que es fundamental la planificación del secado, que debe aprovechar el período octubre a febrero.
- d. Para leña de 1 m. el estudio arroja resultados similares para ambos sectores con humedades de 54% (Pillanlelbún) y 55% (Catripulli) para el tratamiento sin cobertura; en tanto los tratamientos con cobertura alcanzan cifras de 45% y 43% respectivamente. Esto indica que no es suficiente una temporada de secado para leña de 1 metro, para alcanzar humedades menores o iguales a 25%.

4. La variabilidad de la humedad de las pilas de leña observadas en la instalación del ensayo es baja, en Pillanlelbún alcanza una cifra de 12% de coeficiente de variación y en Catripulli de 7%. Esto no es un tema menor para efectos de control de humedad y dar las holguras al dato, por lo que es importante la clasificación de la leña en la cosecha sobre la base de especie (en bosque renoval o bosques adulto), estado de desarrollo (árbol joven o adulto), estado sanitario, árbol vivo o muerto, entre otras.

5. Del marco teórico revisado, diversos autores coinciden que una leña preparada correctamente para combustión o “Season Wood” no debe contener más de un 20 a 25% de agua en base seca. Para alcanzar esta condición se deben considerar los siguientes aspectos para la zona de estudio:

- a. Momento de extracción del bosque: mayo a agosto.
- b. Dimensiones: para leña a ser comercializada en una temporada, largo de 33 cm. y dos caras expuestas al aire.
- c. Apilado: apilar en unidades de metros estéreos con rieles en la base y cobertura protectora que permita una buena circulación de aire. Las pilas orientarlas perpendicular a los vientos predominantes.
- d. Vientos: ubicar las pilas en sectores donde el viento pueda circular sin obstáculos, y el sol pueda calentar las ramas vitando las sombras durante el día.
- e. Cubierta y aislamiento: se recomienda utilizar una cubierta protectora y aislamiento del suelo con rieles u otro material. En

época estival sin lluvia se debe sacar la protección para aprovechar el viento y sol.

Es recomendable evaluar otras técnicas de apilado que permitan una mejor circulación del aire entre los trozos, sin perder la perspectiva que deben ser formas prácticas de apilado y fáciles de medir. A ello es importante incorporar tecnologías alternativas de secado como secadores solares.

6. En relación a las unidades de comercialización de leña:

- a. En general las mediciones del volumen efectuadas en las rumas de las unidades: metro cúbico estéreo sin trozar, metro cúbico estéreo trozado a 33 cm. para combustión y metro cúbico estéreo trozado y picado para cocina, se presentan homogéneas, lo que se evidencia al observar los coeficientes de variación cuyos valores son inferiores al 10%.
- b. En el caso de las mediciones del número de astillas registradas para el metro cúbico estéreo sin trozar y metro cúbico estéreo trozado a 33 cm. para combustión, se observa una mayor variabilidad, con coeficientes de variación, incluso mayores al 15%, esto se explica principalmente por la heterogeneidad de tamaños y formas factibles de encontrar en los leños.
- d. Los factores de conversión calculados y recomendados para transformar de la unidad metro cúbico estéreo trozado y picado para cocina a las unidades saco de 25 kg., saco de 15 kg., y canasto grande son 15.19, 25.33 y 21.64 respectivamente.
- e. Los factores de conversión calculados y recomendados para transformar de un metro cúbico estéreo sin trozar a las unidades

metro cúbico estéreo trozado a 33 cm. para combustión y metro cúbico estéreo trozado y picado para cocina, son 0.92 y 0.97 respectivamente.

- f. Para transformar las unidades de comercialización de leña consideradas en este estudio a la unidad metro cúbico estéreo trozado a 33 cm. para combustión, se recomienda utilizar los factores expuestos en la siguiente tabla:

Cuadro 20. Factores para conversión de unidades de comercialización de leña a MST33 - combustión.

Multiplicar la unidad	Por	Para obtener
Metro Estéreo sin trozar (MSST).	0,920	MST33-combustión
Metro Estéreo trozado 33 cm. combustión (MST33).	1.000	MST33-combustión
Metro Estéreo Trozado y picado cocina (MSTP).	0,940	MST33-combustión
Saco 25 kg. (S25).	0,069	MST33-combustión
Saco 15 kg. (S15).	0,041	MST33-combustión
Canasto (CAN).	0,048	MST33-combustión

- g. En el estudio se comprobó la disminución del volumen que experimenta el metro cúbico estéreo al trozarlo a 33 cm. debido a las pérdidas por corte, en este caso la reducción del volumen alcanzó una cifra promedio de 9.8 %. Luego al picar los leños para cocina, se comprobó el aumento que experimenta el volumen, explicable por el mayor volumen de vacío de esta unidad, alcanzando una cifra promedio de 5.4 % .

6. BIBLIOGRAFIA.

ABALOS, M. 1997. Estimación el consumo de leña en las regiones V, IX y X. Tesis de grado. Facultad de Cs. Agrarias y Forestales. Universidad de Chile.

BURSCHEL, H.; HERNANDEZ, A.; LOBOS, M. 2003. Leña, una alternativa energética para Chile. Editorial Universitaria 171 Pág.

CORMA, 2003. Centro de transferencia tecnológica para Pino Radiata. Compendio de Directrices Para Enseñanza en Ingeniería. Proyecto CORFO - FONTEC. 272 pp.

CONAMA, 2002. Pre-informe final: Priorización de medidas de reducción de emisiones por uso residencial de leña para la gestión de la calidad del aire en Temuco y Padre las Casas. Universidad de Concepción.

CUTTER, B. 1996. Preparing Wood for your Wood stove. Agricultural MU Guide. University Extension, University of Missouri – Columbia. 2 pp.

ESPINOZA, C. 2004. Cambio de color en madera de renoval de Raulí (*Nothofagus alpina* (POEPP. ET ENDL.) KRASSER) y Roble (*Nothofagus obliqua* (MIRB.) OERST) mediante procesos de vaporizado. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero de la madera. Universidad de Chile.

FAO, 1981. Mapa de la situación en materia de leña, en los países en desarrollo. 40 pp.

FAO, 1985. Programa de acción forestal en los trópicos. 60 pp.

FISCHER, J. 2000. Woodsmoke pollution. State of Oregon Department of Environmental Quality. 3 pp.

GALVEZ, M. 1987. Fuentes y usos de la energía en el sector de Cachiyuyo. Encuentro sobre: "La contribución del sector forestal al desarrollo rural", Talca 28-28 Abril. 191 pp.

GIARDINA, L. 1992. Burn dry firewood for safer, cleaner burning and efficiency. Oregon State University Extension Service. 2 pp.

GOULD, L. 1990. Wood an alternative source for home heating. Cooperative Extension Service. Kansas State University, Manhattan. 6 pp.

HEALION, K. 2000. Fire away with domestic wood - fuelled hanting systems.. Irish Bioenergy Association. 4 pp.

HEALION, K. 2002. Wood as a renewable source of energy. Corfod Connects. Agriculture Building. Dublin, Ireland. 8 pp.

INFOR, 1994. Estadísticas Forestales. Boletín estadístico n 40. 23 48 pag.

INFOR, 1994. Evaluación del consumo de leña en Chile 1992. Instituto Forestal, Documento interno, Resumen ejecutivo, 28 pp.

JOHNSON, J. 1997. Firewood for home heating. Forestry. Virginia Cooperative Extensión. Virginia Polytechnic Institute and State University. 7 pp.

KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. 424 pp.

LOBOS, M. 2001. Estudio preliminar sobre producción, comercialización y consumo de leña en la ciudad de Temuco. Documento N°3. WWF Chile. 44 pp.

MARCOUILLER, D.; ANDERSON, S. Firewood: how to obtain, measure, season, and burn. Oklahoma Cooperative Extension Service. Division of Agricultural Sciences and Natural Resources. Oklahoma State University. 7 pp.

MEDRANO, S.; ARANDA, V.; VELASCO, N. 2004. Calibración de higrómetros para madera, métodos y trazabilidad. La Guía Metas. 9 pp.

MORALES, E. 2003. Madera al exterior: humedad de equilibrio higroscópico y sus valores característicos. Investigación. Universidad de Sevilla. 5 pp.

MORALES, E. 2000. Procesos de análisis y toma de decisiones para el empleo de madera aserrada al exterior. Trabajo de investigación inédito. Universidad de Sevilla.

REEB, J. 1997. Drying Wood. Cooperative Extensión Service. University of Kentucky, College of Agriculture. 8 pp.

REYES, R. 2000. Caracterización de los sistemas de producción y comercialización de leña para la ciudad de Puerto Montt, X región. Memoria para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile 78 pp.

REYES, R. 2000. Consumo, Producción y Comercialización de la leña en la Ecorregión Valdiviana (IX y X Regiones). Valdivia 46 pp.

SERRANO, P. 1992. Manual para el uso eficiente de la energía en la comuna. Proyecto CUREN, Edición INDEL, 81 pp.

MUÑOZ, A. 1994. La leña, el bosque nativo y la necesidad de una política dendroenergética en Chile. Centros estudios Agrarios y Ambientales. 45 pp.

SLUSHER, J. 1995. Wood fuel for heating. Agricultural MU Guide. University Extension, University of Missouri – Columbia. 6 pp.

SIMPSON, W.; BOONE, S.; CHERN, J.; MACE, T. 1987. Klin drying time of split Oak firewood. . Forest Service. United States Department of Agriculture. 6 pp.

SIMPSON, W. 1998. Equilibrium moisture content of Wood in outdoor locations in the United States and worldwide. Forest Service. United States Department of Agriculture. 14 pp.

SIMPSON, W. 1990. Properties of wood related to drying. Forest Service. United States Department of Agriculture. 41 pp.

Páginas Web.

The fuel is the thing.

(<http://www.woodheat.org/firewood/fuelproc.htm>).

Fuelwood for homes and communities.

(<http://reforestingscotland.gn.apc.org/projects/fuelwood.php>).

Woodstoves 101.

(<http://www.deq.state.or.us/aq/woodstoves/woodstoves101.htm>).

Firewood facts.

(<http://cahe.nmsu.edu/pubs/g/g-102.pdf>).

7.- ANEXOS

7.1 MEDICIONES ESTUDIO DE SECADO.

7.1.1 PILLANLELBUN:

Noviembre 2004

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 2 (gr)	Control peso 3 (gr)	Control peso 4 (gr)	Control peso 5 (gr)	Control peso 6 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	463,92	365,36	299,96	243,57	231,20	231,03	232,59	99,46
sc	T0	R2	583,46	444,08	347,88	267,23	247,23	247,20	266,27	119,12
sc	T0	R3	616,75	460,59	392,74	295,37	280,97	280,77	282,58	118,26
sc	T0	R4	962,77	732,36	644,29	492,26	430,81	430,41	433,04	122,33
cc	T1	R1	628,10	452,65	402,40	305,12	288,49	288,35	291,37	115,57
cc	T1	R2	278,35	182,00	158,39	125,40	138,17	123,87	123,52	125,35
cc	T1	R3	542,33	389,57	335,27	291,61	264,62	264,44	249,65	117,24
cc	T1	R4	936,28	713,21	641,63	458,40	373,34	373,08	375,90	149,08
cc	T2	R1	217,49	129,65	115,02	97,68	96,24	96,24	93,54	132,51
cc	T2	R2	401,97	332,51	247,27	184,76	176,33	176,22	178,28	125,47
cc	T2	R3	362,92	228,72	197,13	171,07	166,45	154,05	138,43	162,17
cci	T22	R1	247,91	137,56	138,84	129,69	127,33	127,15	97,60	154,01
cci	T22	R2	168,45	102,76	100,26	89,08	87,91	92,04	88,84	89,61
cci	T22	R3	211,14	117,04	111,01	93,20	92,08	96,17	93,13	126,72
sc	T3	R1	255,78	168,00	145,70	113,03	112,35	110,95	104,67	144,37
sc	T3	R2	380,47	252,65	226,11	179,68	170,39	169,80	168,33	126,03
sc	T3	R3	296,65	194,16	175,49	139,84	154,24	137,26	127,95	131,85
sc	T3	R4	268,33	170,61	156,91	113,73	123,91	112,27	113,48	136,46
sci	T33	R1	313,12	201,57	176,29	140,69	111,01	137,95	138,28	126,44
sci	T33	R2	227,10	134,44	125,42	109,36	96,46	98,39	97,00	134,12
sci	T33	R3	365,92	247,63	219,13	173,50	167,12	166,42	156,10	134,41
sci	T33	R4	368,19	252,64	221,56	156,37	137,40	166,94	168,08	119,06

Diciembre 2004.

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	472,40	244,05	243,17	94,27
sc	T0	R2	527,20	279,37	277,98	89,65
sc	T0	R3	492,40	239,81	239,01	106,02
sc	T0	R4	581,50	292,82	291,57	99,44
cc	T1	R1	488,30	248,47	247,39	97,38
cc	T1	R2	447,30	240,91	239,94	86,42
cc	T1	R3	769,30	409,48	407,86	88,62
cc	T1	R4	413,60	218,47	217,59	90,08
cc	T2	R1	420,20	215,92	215,37	95,11
cc	T2	R2	328,40	198,36	197,54	66,24
cc	T2	R3	116,00	93,26	92,91	24,85
cci	T22	R1	295,60	157,60	156,94	88,35
cci	T22	R2	347,30	173,50	179,62	93,35
cci	T22	R3	544,40	268,87	267,89	103,22
sc	T3	R1	308,40	196,60	195,85	57,47
sc	T3	R2	265,10	150,37	149,82	76,95
sc	T3	R3	114,50	83,02	82,71	38,44
sc	T3	R4	214,90	128,86	128,32	67,47
sci	T33	R1	410,00	205,28	204,55	100,44
sci	T33	R2	312,70	179,26	178,60	75,08
sci	T33	R3	290,10	147,68	135,20	114,57
sci	T33	R4	265,40	139,40	138,84	91,16

Enero 2005.

cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Control peso 2 (gr)	Control peso 3 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	800,54	494,11	502,81	494,73	493,15	62,33
sc	T0	R2	293,67	186,38	188,90	186,62	185,84	58,02
sc	T0	R3	786,67	391,16	395,90	390,99	388,82	102,32
sc	T0	R4	729,65	433,48	442,41	433,95	423,16	72,43
cc	T1	R1	569,88	324,86	328,10	323,33	321,60	77,20
cc	T1	R2	843,95	567,68	576,55	569,33	566,56	48,96
cc	T1	R3	773,53	458,39	465,13	459,23	457,32	69,14
cc	T1	R4	457,89	303,20	307,89	303,77	302,69	51,27
cc	T2	R1	149,48	120,02	122,39	120,23	119,71	24,87
cc	T2	R2	280,19	193,99	197,29	194,28	193,33	44,93
cc	T2	R3	231,04	188,10	190,61	188,46	187,79	23,03
cci	T22	R1	265,43	184,04	186,58	184,30	183,67	44,51
cci	T22	R2	185,71	128,56	130,61	128,81	128,16	44,90
cci	T22	R3	190,38	157,13	159,81	157,37	156,85	21,38
sc	T3	R1	214,66	151,56	153,66	151,61	151,08	42,08
sc	T3	R2	98,02	82,74	84,18	82,88	82,57	18,71
sc	T3	R3	175,38	105,06	106,74	105,16	104,78	67,38
sc	T3	R4	125,65	82,40	83,51	82,48	82,26	52,75
sci	T33	R1	257,88	161,49	163,60	161,70	161,25	59,93
sci	T33	R2	239,43	141,95	143,73	142,32	141,60	69,09
sci	T33	R3	234,96	149,76	152,08	149,93	149,42	57,25
sci	T33	R4	109,91	74,07	75,05	74,07	73,82	48,89

Febrero 2005.

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Control peso 2 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	329,39	210,84	206,42	204,54	61,04
sc	T0	R2	409,86	269,73	265,67	263,47	55,56
sc	T0	R3	268,39	184,81	181,86	180,64	48,58
sc	T0	R4	611,17	392,17	372,43	368,68	65,77
cc	T1	R1	332,18	228,29	226,17	224,76	47,79
cc	T1	R2	345,46	228,60	221,32	220,05	56,99
cc	T1	R3	484,48	360,68	354,87	351,71	37,75
cc	T1	R4	481,15	332,77	304,94	283,87	69,50
cc	T2	R1	149,44	131,03	128,15	127,60	17,12
cc	T2	R2	223,75	172,23	169,13	167,79	33,35
cc	T2	R3	191,53	148,96	147,28	146,28	30,93
cci	T22	R1	165,62	142,77	141,34	140,33	18,02
cci	T22	R2	254,44	207,78	206,51	204,96	24,14
cci	T22	R3	173,64	141,41	139,25	138,16	25,68
sc	T3	R1	236,11	168,46	163,82	162,40	45,39
sc	T3	R2	134,46	111,19	110,11	109,47	22,83
sc	T3	R3	178,41	144,67	142,27	141,31	26,25
sc	T3	R4	166,63	138,45	137,23	136,07	22,46
sci	T33	R1	390,99	301,53	287,62	275,89	41,72
sci	T33	R2	239,11	197,85	195,98	194,55	22,90
sci	T33	R3	102,13	75,87	74,90	74,29	37,47
sci	T33	R4	206,67	167,70	165,06	163,79	26,18

Marzo 2005

cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Control peso 2 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	331,12	255,92	254,02	253,99	30,37
sc	T0	R2	209,87	132,62	131,71	131,66	59,40
sc	T0	R3	908,82	652,23	608,90	608,12	49,45
sc	T0	R4	492,34	362,99	360,41	360,43	36,60
cc	T1	R1	331,77	226,15	224,22	224,11	48,04
cc	T1	R2	427,27	279,63	275,19	275,01	55,37
cc	T1	R3	255,75	189,07	188,03	188,11	35,96
cc	T1	R4	401,54	312,18	309,76	309,56	29,71
cc	T2	R1	87,77	75,95	75,44	75,44	16,34
cc	T2	R2	133,35	113,77	113,01	113,01	18,00
cc	T2	R3	158,17	123,80	122,79	122,74	28,87
cci	T22	R1	131,22	93,94	93,43	93,39	40,51
cci	T22	R2	45,40	37,48	37,21	37,21	22,01
cci	T22	R3	208,47	171,55	169,73	169,50	22,99
sc	T3	R1	122,56	80,90	80,29	80,17	52,88
sc	T3	R2	128,24	103,87	103,27	103,22	24,24
sc	T3	R3	118,60	99,91	99,33	99,26	19,48
sc	T3	R4	93,46	69,09	68,74	68,62	36,20
sci	T33	R1	177,27	128,21	127,22	127,22	39,34
sci	T33	R2	102,00	83,02	82,60	82,55	23,56
sci	T33	R3	58,47	48,86	48,51	48,51	20,53
sci	T33	R4	77,45	59,35	59,05	59,05	31,16

Abril 2005

cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Control peso 2 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	405,30	368,32	256,78	256,25	58,17
sc	T0	R2	424,80	400,17	297,31	296,90	43,08
sc	T0	R3	318,10	295,07	222,92	222,60	42,90
sc	T0	R4	379,80	323,47	234,04	233,62	62,57
cc	T1	R1	356,60	312,44	224,82	224,55	
cc	T1	R2	577,40	537,47	390,52	390,05	
cc	T1	R3	412,80	399,64	301,73	301,25	37,03
cc	T1	R4	221,40	215,02	143,29	143,03	54,79
cc	T2	R1	255,70	257,28	205,16	204,85	24,82
cc	T2	R2	107,30	106,03	88,01	87,78	22,24
cc	T2	R3	145,70	147,12	120,16	119,95	21,47
cci	T22	R1	155,70	154,18	116,68	116,43	33,73
cci	T22	R2	35,40	35,05	28,49	28,44	24,47
cci	T22	R3	121,20	120,53	94,50	94,29	28,54
sc	T3	R1	110,70	108,56	89,83	89,74	23,36
sc	T3	R2	140,70	134,46	104,31	104,12	35,13
sc	T3	R3	98,70	101,69	81,12	80,93	21,96
sc	T3	R4	116,80	115,83	94,41	94,24	23,94
sci	T33	R1	133,70	128,94	103,69	103,54	29,13
sci	T33	R2	101,60	98,87	78,80	78,68	29,13
sci	T33	R3	193,90	183,68	124,28	124,00	56,37
sci	T33	R4	56,20	55,03	44,42	44,33	26,78

7.1.2 CATRIPULLI.

Noviembre 2004

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 2 (gr)	Control peso 3 (gr)	Control peso 4 (gr)	Control peso 5 (gr)	Control peso 6 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	711,30	446,10	374,49	373,90	373,86	373,65	373,61	90,39
sc	T0	R2	631,00	376,14	347,90	347,62	347,61	347,48	347,33	81,67
sc	T0	R3	745,80	488,79	419,81	419,08	419,27	418,97	418,94	78,02
sc	T0	R4	642,60	396,23	357,02	356,57	356,95	356,49	356,58	80,21
cc	T1	R1	656,50	422,47	374,10	373,70	373,66	373,41	373,95	75,56
cc	T1	R2	691,50	409,93	352,65	352,27	352,40	352,06	352,13	96,38
cc	T1	R3	588,00	352,71	324,24	323,61	323,77	323,35	323,33	81,86
cc	T1	R4	515,90	284,19	266,87	266,46	266,70	266,18	266,19	93,81
cc	T2	R1	224,10	174,72	166,31	166,02	166,24	166,02	166,01	34,99
cc	T2	R2	271,20	183,36	153,98	153,79	153,77	153,67	153,68	76,47
cc	T2	R4	570,80	168,86	149,86	149,56	149,46	149,41	149,41	282,04
cci	T22	R1	293,50	134,81	126,94	126,87	126,83	126,74	126,72	131,61
cci	T22	R2	331,80	147,51	138,07	138,01	137,99	137,88	137,88	140,64
cci	T22	R4	314,40	363,45	303,60	302,17	302,22	301,83	301,94	4,13
sc	T3	R1	402,00	195,94	177,08	176,61	176,75	176,52	176,52	127,74
sc	T3	R2	452,50	180,64	173,67	173,47	173,57	173,40	173,39	160,97
sc	T3	R3	248,20	109,30	105,64	105,55	105,56	105,49	105,44	135,39
sc	T3	R4	309,40	199,38	187,23	187,03	187,01	186,93	186,93	65,52
sci	T33	R1	345,90	230,53	203,55	203,26	203,24	203,16	203,15	70,27
sci	T33	R2	287,50	266,49	217,45	217,17	217,39	217,12	217,14	32,40
sci	T33	R3	279,40	127,07	121,13	121,04	121,04	120,91	120,91	131,08
sci	T33	R4	372,70	182,36	167,94	167,65	167,57	167,49	167,49	122,52

Diciembre 2004.

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	853,56	640,17	477,99	78,57
sc	T0	R2	694,10	520,58	402,58	72,41
sc	T0	R3	894,96	671,22	572,77	56,25
sc	T0	R4	578,34	433,76	318,09	81,82
cc	T1	R1	558,03	418,52	290,17	92,31
cc	T1	R2	670,76	503,07	409,16	63,93
cc	T1	R3	558,60	418,95	329,57	69,49
cc	T1	R4	541,70	406,27	341,27	58,73
cc	T2	R1	248,75	186,56	131,84	88,68
cc	T2	R2	306,46	229,84	165,49	85,19
cc	T2	R4	485,18	363,89	266,85	81,82
cci	T22	R1	243,61	182,70	143,73	69,49
cci	T22	R2	311,89	233,92	190,25	63,93
cci	T22	R4	286,10	214,58	163,08	75,44
sc	T3	R1	349,74	262,31	188,86	85,19
sc	T3	R2	316,75	237,56	155,21	104,08
sc	T3	R3	188,63	141,47	111,29	69,49
sc	T3	R4	349,62	262,22	202,78	72,41
sci	T33	R1	363,20	272,40	225,18	61,29
sci	T33	R2	270,25	202,69	154,04	75,44
sci	T33	R3	335,28	251,46	197,82	69,49
sci	T33	R4	335,43	251,57	204,61	63,93

Enero 2005.

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Control peso 2 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	744,42	566,95	470,66	470,14	58,34
sc	T0	R3	913,17	756,02	591,44	584,73	56,17
sc	T0	R4	987,59	715,90	587,18	583,37	69,29
cc	T1	R1	940,56	753,06	624,37	615,31	52,86
cc	T1	R2	927,66	741,73	564,39	558,80	66,01
cc	T1	R3	814,76	644,24	531,57	527,85	54,35
cc	T1	R4	827,06	629,33	535,58	532,45	55,33
cc	T2	R1	155,21	122,50	122,32	121,91	27,32
cc	T2	R2	138,41	100,25	99,93	99,47	39,15
cc	T2	R3	152,53	101,06	99,59	99,20	53,76
cc	T2	R4	160,71	122,24	121,51	121,34	32,45
cci	T22	R1	185,46	129,27	126,31	125,93	47,27
cci	T22	R2	217,26	162,65	154,89	154,02	41,06
cci	T22	R3	218,20	152,20	146,80	146,20	49,25
cci	T22	R4	147,22	102,39	100,00	99,61	47,80
sc	T3	R1	173,38	132,55	129,83	129,37	34,02
sc	T3	R2	71,08	54,97	53,82	53,49	32,88
sc	T3	R3	194,49	126,43	125,73	125,14	55,42
sc	T3	R4	247,21	175,21	171,92	171,28	44,33
sci	T33	R1	254,20	176,71	173,17	172,71	47,18
sci	T33	R2	110,15	78,72	78,25	77,93	41,34
sci	T33	R3	232,81	153,76	150,06	149,57	55,65
sci	T33	R4	154,61	106,04	103,73	103,12	49,93

Febrero 2005.

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Control peso 2 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	423,68	319,70	315,44	315,03	34,49
sc	T0	R2	739,37	532,27	515,77	512,13	44,37
sc	T0	R3	1406,66	1035,93	955,36	876,28	60,53
sc	T0	R4	641,56	446,85	412,36	406,29	57,91
cc	T1	R1	613,95	453,53	444,70	441,90	38,93
cc	T1	R2	540,54	376,18	373,10	371,67	45,44
cc	T1	R3	466,96	311,61	310,94	309,36	50,94
cc	T1	R4	556,38	372,83	369,83	367,43	51,42
cc	T2	R1	163,88	133,52	129,75	129,55	26,50
cc	T2	R2	218,80	179,78	177,82	176,60	23,90
cc	T2	R3	179,11	159,51	137,67	136,80	30,93
cc	T2	R4	251,68	190,95	188,90	187,61	34,15
cci	T22	R1	268,62	215,12	216,01	214,42	25,28
cci	T22	R2	64,74	56,24	55,66	55,31	17,05
cci	T22	R3	190,27	151,07	147,32	146,78	29,63
cci	T22	R4	100,31	85,20	84,46	83,83	19,66
sc	T3	R1	161,03	132,02	131,22	130,65	23,25
sc	T3	R2	118,50	98,87	98,00	97,44	21,61
sc	T3	R3	178,53	143,06	142,54	142,14	25,60
sc	T3	R4	130,68	102,17	102,20	101,46	28,80
sci	T33	R1	63,55	52,90	52,60	52,43	21,21
sci	T33	R2	130,21	105,59	105,52	104,93	24,09
sci	T33	R3	197,49	155,17	153,41	152,50	29,50
sci	T33	R4	148,20	119,61	117,82	117,48	26,15

Marzo 2005

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Control peso 2 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	654,84	447,90	444,64	444,64	47,27
sc	T0	R2	668,70	473,86	409,48	408,80	63,58
sc	T0	R3	324,78	242,59	241,91	241,75	34,35
sc	T0	R4	429,48	301,21	299,64	299,63	43,34
cc	T1	R1	823,17	581,33	565,45	565,24	45,63
cc	T1	R2	355,24	267,97	266,83	266,60	33,25
cc	T1	R3	632,48	421,71	415,60	415,59	52,19
cc	T1	R4	602,85	419,86	418,48	418,67	43,99
cc	T2	R1	117,72	97,58	97,16	97,12	21,21
cc	T2	R2	215,73	159,72	158,90	158,87	35,79
cc	T2	R3	104,16	84,80	84,59	84,57	23,16
cc	T2	R4	148,78	121,98	120,55	120,34	23,63
cci	T22	R1	97,03	78,87	78,53	78,38	23,79
cci	T22	R2	114,03	95,88	95,46	95,37	19,57
cci	T22	R3	93,25	75,77	75,36	75,36	23,74
cci	T22	R4	211,12	170,48	169,66	169,54	24,53
sc	T3	R1	214,48	167,70	167,02	167,02	28,42
sc	T3	R2	148,31	119,76	119,02	118,95	24,68
sc	T3	R3	175,88	142,50	141,60	141,56	24,24
sc	T3	R4	150,10	120,61	120,04	120,01	25,07
sci	T33	R1	112,69	86,79	86,55	86,51	30,26
sci	T33	R2	169,86	127,43	126,47	126,42	34,36
sci	T33	R3	62,62	48,81	48,53	48,48	29,17
sci	T33	R4	102,77	82,79	82,52	82,38	24,75

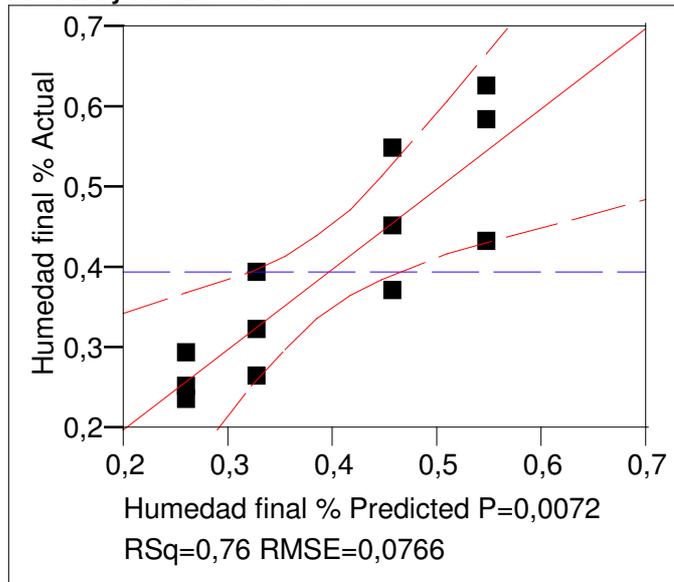
Abril 2005

Cobertura	Tratamiento	Repetición	Peso fresco de la muestra (gr)	Control peso 1 (gr)	Control peso 2 (gr)	Peso seco de la muestra (gr)	Humedad final (%)
sc	T0	R1	497,10	445,84	321,75	321,28	54,72
sc	T0	R2	657,90	633,59	442,95	442,39	48,71
sc	T0	R3	651,40	598,90	392,30	391,80	66,26
sc	T0	R4	343,40	318,02	222,79	222,11	54,61
cc	T1	R1	782,60	757,23	553,88	547,54	42,93
cc	T1	R2	372,80	359,66	262,43	262,12	42,22
cc	T1	R3	382,20	352,06	272,18	271,92	40,56
cc	T1	R4	389,10	357,15	263,03	263,02	47,94
cc	T2	R1	161,90	161,43	131,62	131,41	23,20
cc	T2	R2	134,40	137,92	107,41	107,16	25,42
cc	T2	R3	143,40	143,26	116,03	115,91	23,72
cc	T2	R4	111,20	111,47	89,30	89,08	24,83
cci	T22	R1	139,50	139,94	111,91	111,81	24,77
cci	T22	R2	189,80	188,42	151,72	151,59	25,21
cci	T22	R3	123,30	124,06	98,96	98,81	24,78
cci	T22	R4	80,20	80,76	65,56	65,44	22,56
sc	T3	R1	118,40	112,59	88,14	88,08	34,42
sc	T3	R2	139,90	132,01	105,07	104,67	33,66
sc	T3	R3	117,10	116,47	90,73	90,65	29,18
sc	T3	R4	233,70	230,50	184,54	184,35	26,77
sci	T33	R1	55,50	51,18	39,61	39,51	40,47
sci	T33	R2	78,80	75,43	57,87	57,74	36,47
sci	T33	R3	82,70	78,58	61,48	61,43	34,62
sci	T33	R4	136,90	121,58	84,33	84,00	62,98

7.2 REPORTE DEL ANALISIS ESTADISTICO.

7.2.1 PILLANLELBUN.

Response Humedad final %
Whole Model
Actual by Predicted Plot



Summary of Fit

RSquare	0,761445
RSquare Adj	0,671987
Root Mean Square Error	0,076625
Mean of Response	0,396509
Observations (or Sum Wgts)	12

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	3	0,14992728	0,049976	8,5117
Error	8	0,04697111	0,005871	Prob > F
C. Total	11	0,19689839		0,0072

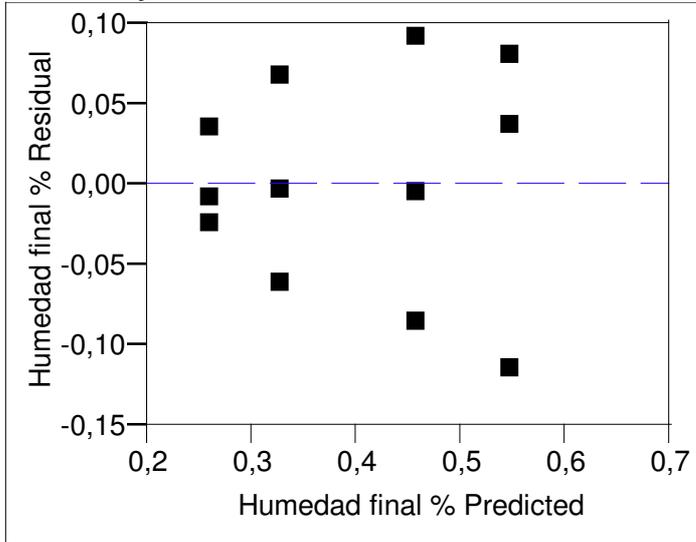
Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	0,3965085	0,02212	17,93	<.0001
tamaño[cmb]	-0,104554	0,02212	-4,73	0,0015
cobertura[cc]	-0,039082	0,02212	-1,77	0,1152
tamaño[cmb]*cobertura[cc]	0,0059085	0,02212	0,27	0,7961

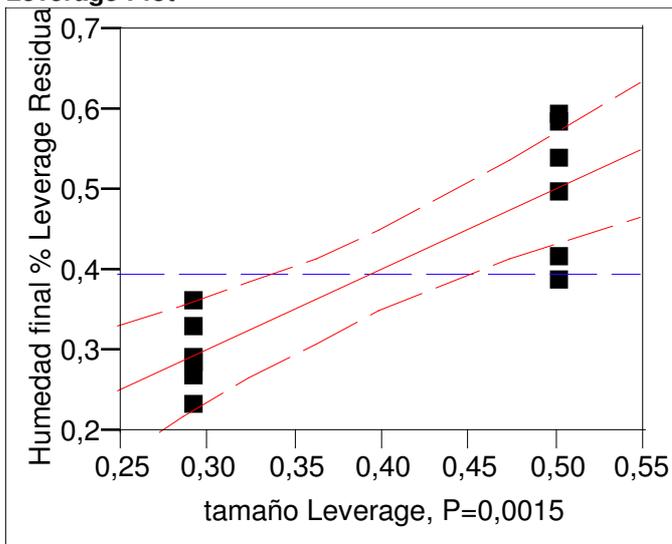
Effect Tests

Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
tamaño	1	1	0,13117951	22,3422	0,0015
cobertura	1	1	0,01832885	3,1217	0,1152
tamaño*cobertura	1	1	0,00041892	0,0713	0,7961

Residual by Predicted Plot



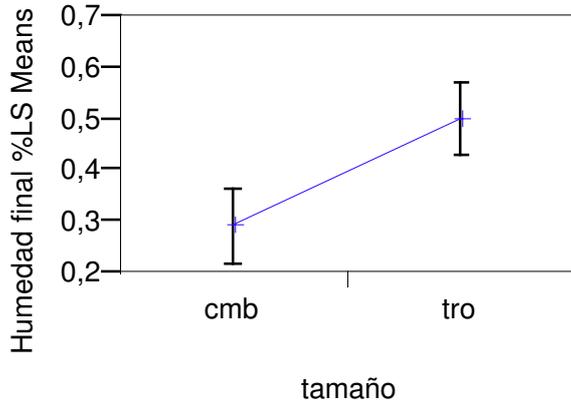
**tamaño
Leverage Plot**



Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
cmb	0,29195412	0,03128202	0,291954
tro	0,50106296	0,03128202	0,501063

LS Means Plot



LSMeans Differences Tukey HSD

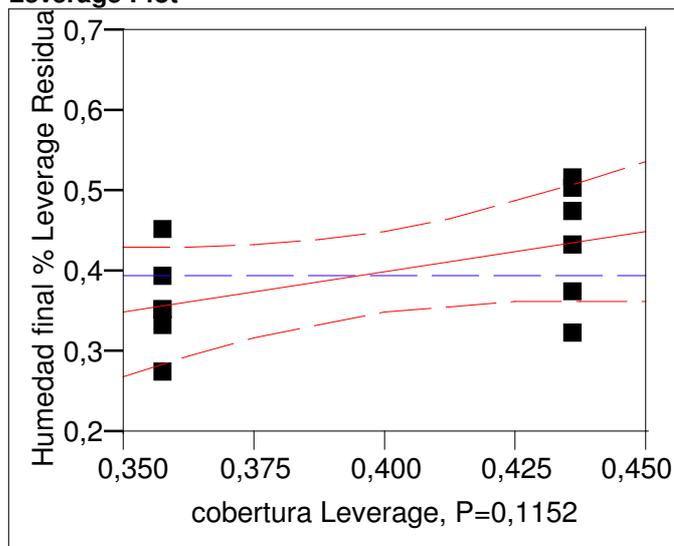
Alpha= 0,050 Q= 2,30593LSMean[i] By LSMean[j]

Mean[i]-Mean[j]	cmb	tro
Std Err Dif		
Lower CL Dif		
Upper CL Dif		
cmb	0	-0,2091
	0	0,04424
	0	-0,3111
	0	-0,1071
tro	0,20911	0
	0,04424	0
	0,1071	0
	0,31112	0

Level		Least Sq Mean
tro	A	0,50106296
cmb	B	0,29195412

Levels not connected by same letter are significantly different

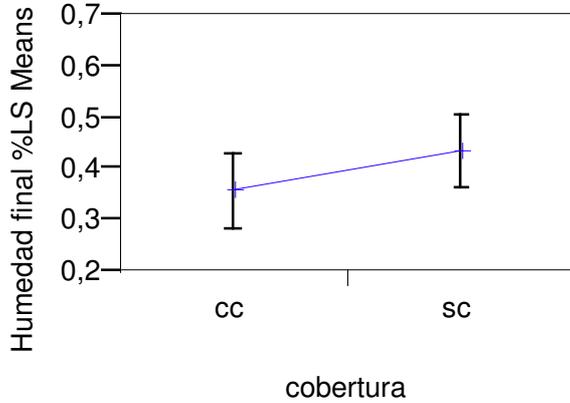
**cobertura
Leverage Plot**



Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
cc	0,35742653	0,03128202	0,357427
sc	0,43559056	0,03128202	0,435591

LS Means Plot



LSMeans Differences Tukey HSD

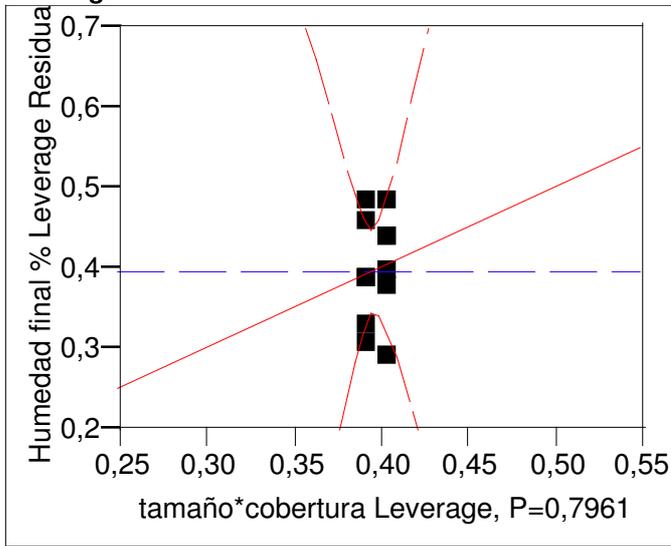
Alpha= 0,050 Q= 2,30593LSMean[j] By LSMean[j]

Mean[i]-Mean[j]	cc	sc
Std Err Dif		
Lower CL Dif		
Upper CL Dif		
cc	0	-0,0782
	0	0,04424
	0	-0,1802
	0	0,02385
sc	0,07816	0
	0,04424	0
	-0,0238	0
	0,18018	0

Level		Least Sq Mean
sc	A	0,43559056
cc	A	0,35742653

Levels not connected by same letter are significantly different

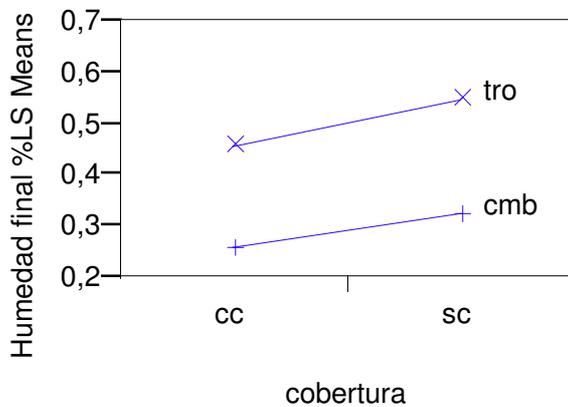
tamaño*cobertura
Leverage Plot



Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error
cmb,cc	0,25878056	0,04423946
cmb,sc	0,32512769	0,04423946
tro,cc	0,45607249	0,04423946
tro,sc	0,54605343	0,04423946

LS Means Plot



LSMeans Differences Tukey HSD

Alpha=
0,050 Q=
3,20238LSMean[i] By LSMean[j]

Mean[i]-Mean[j]	cmb,cc	cmb,sc	tro,cc	tro,sc
Std Err Dif				
Lower CL Dif				
Upper CL Dif				
cmb,cc	0	-0,0663	-0,1973	-0,2873
	0	0,06256	0,06256	0,06256
	0	-0,2667	-0,3976	-0,4876
	0	0,13401	0,00306	-0,0869
cmb,sc	0,06635	0	-0,1309	-0,2209

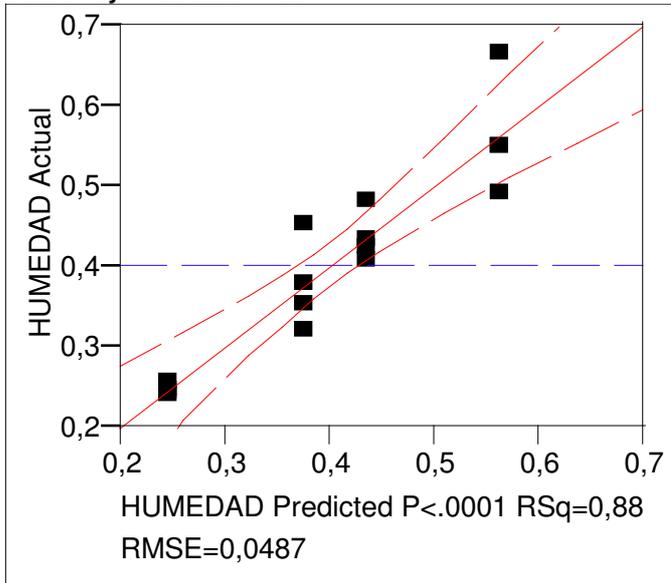
	0,06256	0	0,06256	0,06256
	-0,134	0	-0,3313	-0,4213
	0,2667	0	0,06941	-0,0206
tro,cc	0,19729	0,13094	0	-0,09
	0,06256	0,06256	0	0,06256
	-0,0031	-0,0694	0	-0,2903
	0,39765	0,3313	0	0,11037
tro,sc	0,28727	0,22093	0,08998	0
	0,06256	0,06256	0,06256	0
	0,08692	0,02057	-0,1104	0
	0,48763	0,42128	0,29033	0

Level		Least Sq Mean
tro,sc	A	0,54605343
tro,cc	A B	0,45607249
cmb,sc	B	0,32512769
cmb,cc	B	0,25878056

Levels not connected by same letter are significantly different

7.2.1 CATRIPULLI.

Response HUMEDAD
Whole Model
Actual by Predicted Plot



Summary of Fit

RSquare	0,880087
RSquare Adj	0,850108
Root Mean Square Error	0,048743
Mean of Response	0,402801
Observations (or Sum Wgts)	16

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	3	0,20924903	0,069750	29,3574
Error	12	0,02851055	0,002376	Prob > F
C. Total	15	0,23775958		<.0001

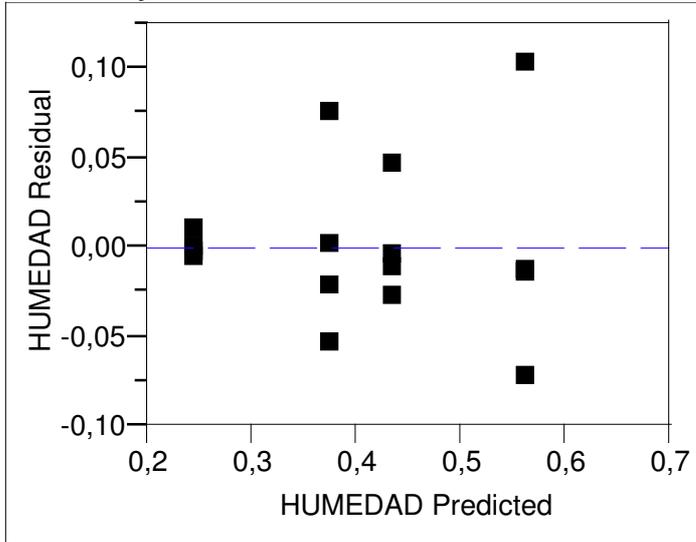
Parameter Estimates

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t
Intercept	0,4028007	0,012186	33,06	<.0001
tamaño[cmb]	-0,09464	0,012186	-7,77	<.0001
cobertura[cc]	-0,064191	0,012186	-5,27	0,0002
tamaño[cmb]*cobertura[cc]	-0,000867	0,012186	-0,07	0,9445

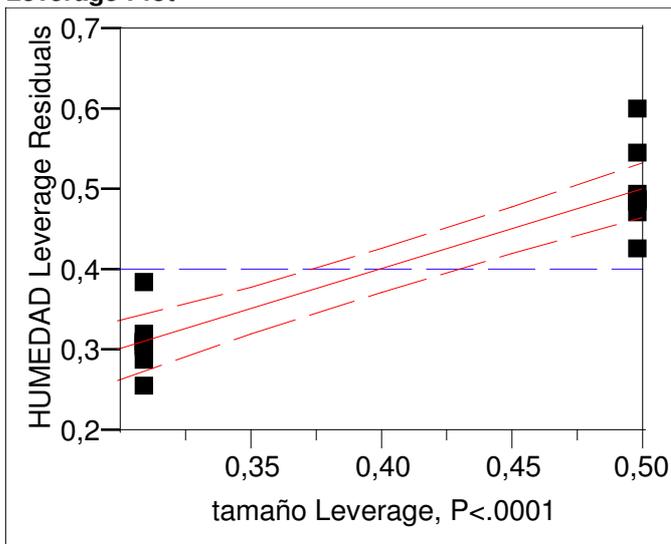
Effect Tests

Source	Nparm	DF	Sum of Squares	F Ratio	Prob > F
tamaño	1	1	0,14330870	60,3182	<.0001
cobertura	1	1	0,06592831	27,7490	0,0002
tamaño*cobertura	1	1	0,00001203	0,0051	0,9445

Residual by Predicted Plot



tamaño Leverage Plot



Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
cmb	0,30816039	0,01723325	0,308160
tro	0,49744107	0,01723325	0,497441

LSMeans Differences Tukey HSD

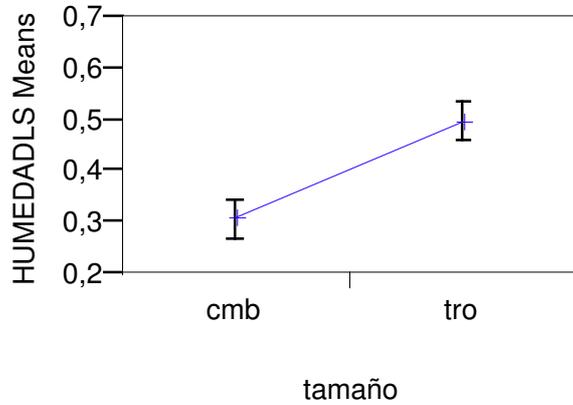
Alpha=
0,050 Q=
2,1788LSMean[i] By LSMean[j]

Mean[i]-Mean[j]	cmb	tro
Std Err Dif		
Lower CL Dif		
Upper CL Dif		
cmb	0	-0,1893
	0	0,02437
	0	-0,2424
	0	-0,1362
tro	0,18928	0
	0,02437	0
	0,13618	0
	0,24238	0

Level		Least Sq Mean
tro	A	0,49744107
cmb	B	0,30816039

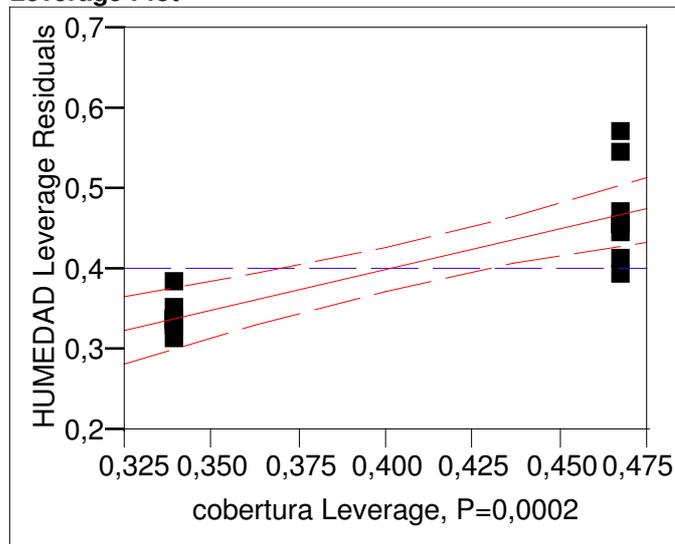
Levels not connected by same letter are significantly different

LS Means Plot



cobertura

Leverage Plot



Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error	Mean
cc	0,33860946	0,01723325	0,338609
sc	0,46699200	0,01723325	0,466992

LSMeans Differences Tukey HSD

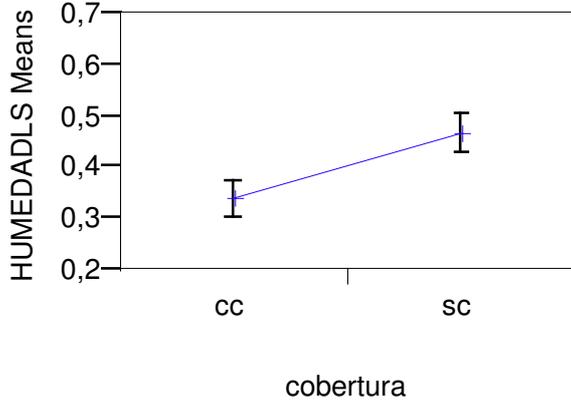
Alpha=
0,050 Q=
2,1788LSMean[i] By LSMean[j]

Mean[i]-Mean[j]	cc	sc
Std Err Dif		
Lower CL Dif		
Upper CL Dif		
cc	0	-0,1284
	0	0,02437
	0	-0,1815
	0	-0,0753
sc	0,12838	0
	0,02437	0
	0,07528	0
	0,18148	0

Level
sc A Least Sq Mean 0,46699200
cc B 0,33860946

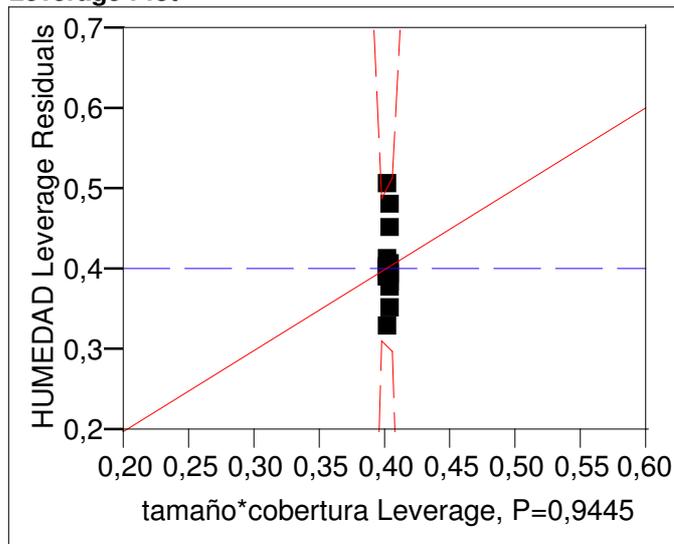
Levels not connected by same letter are significantly different

LS Means Plot



tamaño*cobertura

Leverage Plot



Least Squares Means Table

Level	Least Sq Mean	Std Error
cmb,cc	0,24310218	0,02437149
cmb,sc	0,37321861	0,02437149
tro,cc	0,43411674	0,02437149
tro,sc	0,56076539	0,02437149

LSMeans Differences Tukey HSD

Alpha=
0,050 Q=
2,96883LSMean[i] By LSMean[j]

Mean[i]-Mean[j]	cmb,cc	cmb,sc	tro,cc	tro,sc
Std Err Dif				
Lower CL Dif				
Upper CL Dif				
cmb,cc	0	-0,1301	-0,191	-0,3177
	0	0,03447	0,03447	0,03447
	0	-0,2324	-0,2933	-0,42
	0	-0,0278	-0,0887	-0,2153
cmb,sc	0,13012	0	-0,0609	-0,1875
	0,03447	0	0,03447	0,03447
	0,02779	0	-0,1632	-0,2899
	0,23244	0	0,04143	-0,0852
tro,cc	0,19101	0,0609	0	-0,1266
	0,03447	0,03447	0	0,03447
	0,08869	-0,0414	0	-0,229
	0,29334	0,16322	0	-0,0243
tro,sc	0,31766	0,18755	0,12665	0
	0,03447	0,03447	0,03447	0
	0,21534	0,08522	0,02432	0
	0,41999	0,28987	0,22897	0

Level		Least Sq Mean
tro,sc	A	0,56076539
tro,cc	B	0,43411674
cmb,sc	B	0,37321861
cmb,cc	C	0,24310218

Levels not connected by same letter are significantly different

LS Means Plot

