

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



Evaluación de la efectividad de mediciones por  
Xilohigrómetros como estimadores del contenido de la  
humedad en leña de *Nothofagus obliqua* y *Eucaliptus*  
*glóbulus* en la ciudad de Temuco- Padre las Casas

Trabajo de Título presentado a la Facultad  
de Ciencias Agropecuarias y Forestales de  
la Universidad de La Frontera. Como parte  
de los requisitos para optar al título de  
Ingeniero Forestal.

SERGIO ORLANDO ZUÑIGA COÑOPAN

TEMUCO-CHILE

2010

UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES



Evaluación de la efectividad de mediciones por  
Xilohigrómetros como estimadores del contenido de la  
humedad en leña de *Nothofagus obliqua* y *Eucaliptus*  
*glóbulus* en la ciudad de Temuco- Padre las Casas

Trabajo de Título presentado a la Facultad  
de Ciencias Agropecuarias y Forestales de  
la Universidad de La Frontera. Como parte  
de los requisitos para optar al título de  
Ingeniero Forestal.

SERGIO ORLANDO ZUÑIGA COÑOPAN  
PROFESOR GUIA: CARLOS JIMÉNEZ GALLARDO  
TEMUCO-CHILE

2010

EVALUACION DE LA EFECTIVIDAD DE MEDICIONES POR  
XILOHIGRÓMETROS COMO ESTIMADORES DEL CONTENIDO DE  
LA HUMEDAD EN LEÑA DE *Nothofagus obliqua* Y *Eucaliptus glóbulus*  
EN LA CIUDAD DE TEMUCO- PADRE LAS CASAS

PROFESOR GUÍA:

\_\_\_\_\_  
CARLOS JIMENEZ GALLARDO  
Estadístico. Académico Departamento de Matemática y  
Estadísticas.  
Universidad de La Frontera.

NOTA: \_\_\_\_\_

PROFESORES CONSEJEROS : \_\_\_\_\_

ZOIA NEIRA CEBALLOS.  
Ingeniero Forestal.

NOTA: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
JULIO PINARES ESPARZA.  
Ingeniero Forestal. Docente Universidad Católica de  
Temuco

NOTA: \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN PROMEDIO: \_\_\_\_\_

## Índice

	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Importancia de la Leña.</b>	<b>9</b>
2.1.1 Energía.	10
<b>2.2 Combustión</b>	<b>11</b>
2.2.1 Daño ambiental	11
2.2.2 Normativa Ambiental	12
<b>2.3 Certificación de la leña.</b>	<b>13</b>
2.3.1 Institucionalidad.	14
<b>2.4 Madera</b>	<b>16</b>
2.4.1. Propiedades de la Madera.	17
<b>2.5 Determinación del contenido de humedad de la madera</b>	<b>21</b>
2.5.1 Método Gravimétrico.	21
2.5.2 Método del Xilohigrómetro.	23
2.5.3 Método de Destilación.	24
<b>2.6. Características de las especies estudiadas.</b>	<b>25</b>
2.6.1 <i>Nothofagus obliqua</i>	25
2.6.2. <i>Eucaliptus globulus</i>	26
<b>2.7. Horno de secado Marca Shel- Lab</b>	<b>26</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODO</b>	<b>27</b>
<b>3.1. Material</b>	<b>27</b>
3.1.1 Toma de Muestras	27
3.1.2 Toma de Datos en Laboratorio.	27
3.1.3 Análisis de Datos.	27
<b>3.2 Descripción de los Instrumentos.</b>	<b>27</b>
3.2.1 Xilohigrómetro Delmhorst J 2000.	27
3.2.2. Xilohigrómetro Amesti	29
<b>3.3 Método</b>	<b>30</b>
3.3.1. Muestreo	30
3.3.2. Obtención de Humedad mediante Xilohigrómetro	31
3.3.3. Obtención de Humedad mediante el Método Gravimétrico	31
3.3.4. Análisis	31
3.3.5. Diagrama de la Metodología Empleada	33

<b>4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>34</b>
4.1 Análisis General de las Muestras	34
4.1.1. Análisis entre el contenido de humedad real y el contenido de humedad estimado con xilohigrómetro	34
4.1.2. Análisis entre el contenido de humedad real y el contenido de humedad estimado con xilohigrómetro Delmhorst J2000	35
4.1.2.1. Modelos de estimación para el xilohigrómetro Delmhorst J2000	35
4.1.3. Análisis entre el contenido de humedad real y el contenido de humedad estimado con xilohigrómetro Amesti.	36
4.1.3.1. Modelos de estimación para el xilohigrómetro Amesti	36
4.2 Análisis entre el contenido de Humedad Real y el contenido de Humedad Estimado con xilohigrómetro Delmhorst J2000 para <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Eucaliptus globulus</i> .	37
4.2.1. Contenido de humedad estimado en leña de <i>Nothofagus obliqua</i>	37
4.2.2. Contenido de humedad estimado en leña de <i>Eucaliptus globulus</i>	38
4.3 Análisis entre el contenido de Humedad Real y el contenido de Humedad Estimado con xilohigrómetro Amesti para <i>Nothofagus obliqua</i> y <i>Eucaliptus globulus</i> .	39
4.3.1. Contenido de humedad estimado en leña de <i>Nothofagus obliqua</i> .	39
4.3.2 Contenido de humedad estimado en leña de <i>Eucaliptus Globulus</i> .	40
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>41</b>
<b>6. RESUMEN</b>	<b>43</b>
<b>7. SUMMARY</b>	<b>44</b>
<b>8. LITERATURA CITADA.</b>	<b>45</b>
<b>9. ANEXO</b>	<b>48</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Cuadro 1. Composición Química de la Madera. Fuente Gáfaró, 1995.....	18
Cuadro 2. Características de los Xilohigrómetros.....	31
Cuadro 3. Estadística descriptiva de las variables en estudio.....	36
Cuadro 4. Modelos estadísticos para Delmhorst J2000.....	37
Cuadro 5. Modelos estadísticos para Amesti.....	38
Cuadro 6. Modelos estadísticos Delmhorst J2000 para <i>Nothofagus obliqua</i> .....	39
Cuadro 7. Modelos estadísticos Delmhorst J2000 para <i>Eucalyptus globulus</i> .....	40
Cuadro 8. Modelos estadísticos Amesti para <i>Nothofagus obliqua</i> .....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumo de Energía Primaria 2006.....	11
Figura 2. Estándar de Certificación.....	14
Figura 3. Xilohigrómetro de conductividad eléctrica.....	19
Figura 4. Medición de masa por método gravimétrico.....	23
Figura 5. Xilohigrómetro de conductividad eléctrica.....	25
Figura 6. Xilohigrómetro Amesti.....	30
Figura 7. Dispersión entre las variables de la humedad estimada con xilohigrómetro con respecto a la Humedad estimada con el método gravimétrico (% b.s).....	35
Figura 8. Modelo potencial de Dispersión entre las variables de la humedad estimada con xilohigrómetro Delmhorst con respecto a la Humedad estimada con el método gravimétrico (% b.s).....	36
Figura 9. Modelo potencial de Dispersión entre las variables de la humedad estimada con xilohigrómetro Amesti con respecto a la Humedad estimada con el método gravimétrico (% b.s).....	37
Figura 10. Modelo potencial de Dispersión de xilohigrómetro Delmhorst para <i>Nothofagus obliqua</i> .....	38
Figura 11. Modelo potencial de Dispersión de xilohigrómetro Delmhorst para <i>Eucaliptus globulus</i> .....	39
Figura 12. Modelo potencial de Dispersión de xilohigrómetro Amesti para <i>Nothofagus obliqua</i> .....	40
Figura 13. Modelo potencial de Dispersión de xilohigrómetro Amesti para <i>Eucaliptus Globulus</i> . ....	41

## 1. INTRODUCCIÓN.

El uso de la leña en la zona sur del País es de gran importancia, ya que se usa principalmente para calefaccionar y cocinar; sin embargo tiene importantes consecuencias ambientales, la cual es la principal generadora de emisiones contaminantes, alta concentración de material particulado fino (MP10) y monóxido de carbono, los cuales provocan un daño ambiental, y a la salud de las personas sobre todo a la tercera edad y recién nacidos.

En la ciudad de Temuco y Padre las Casas el elevado consumo de leña más las condiciones climáticas de bajas temperaturas, densa neblina, además de considerarse el combustible más económico y que se le da una doble función en los hogares para la calefacción y cocinar.

Para controlar la contaminación de Temuco y Padre las casas, la Corporación Nacional del Medio Ambiente ha dispuesto realizan periódicas mediciones a las leñerías y a comprometer a estas haciéndolas certificar.

Como consecuencia de la contaminación, la COREMA declaró la ciudad de Temuco como zona saturada, la cual requiere un Plan de Descontaminación.

Es por ello que la CONAMA realiza inspecciones periódicas como ente fiscalizador a leñerías que están establecidas formalmente, las que son multadas cuando traspasan la norma (25% de Humedad)

La fiscalización se realiza con Xilohigrómetros portátiles, los cuales son un instrumento de rápida medición de contenido de humedad de la leña, sin embargo estas mediciones están influenciadas por diferentes factores por lo tanto no son muy exactas.

En este contexto, el presente trabajo de título tiene los siguientes objetivos.

**Objetivo General**

- Evaluar el nivel de precisión de los Xilohigrómetros para la estimación del contenido de humedad de la leña certificada en *Nothofagus obliqua* y *Eucaliptus glóbulus* en la ciudad de Temuco- Padre las Casas

**Objetivos Específicos**

- Analizar la humedad de la leña certificada de *Nothofagus obliqua* y *Eucaliptus glóbulus* de la ciudad de Temuco- Padre las casas.
- Evaluar modelos de estimación de humedad en leña basados en medición de xilohigrómetro.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

### 2.1 Importancia de la Leña

Bull (1999) define leña como madera en bruto (de troncos y ramas de árboles) destinada a combustible para cocinar, para calefacción y para producir energía.

Bello (2002) señala que el uso de la leña es una de las fuentes de energía de mas larga data en la historia de la humanidad, por ello tiene un fuerte vínculo con la cultura. Además, con el paso del tiempo, su uso no solo se ha limitado al ámbito residencial y domestico, sino que se ha extendido también al industrial y público.

La leña es la segunda fuente energética de Chile, con casi el 20% de la matriz primaria. Millones de hogares la consumen, tanto para cocinar como para calefaccionar, y si bien este uso es mayor en el sur de país, la zona central también aporta grandes cantidades de leña al año. (SNLC)

Burschel, Hernández, Lobos (2003) señalan que la leña adquiere particular relevancia, pues su uso se encuentra generalizado en casi todos los estratos de la sociedad, tanto en el sector urbano como en el rural; no así Medel (2005) que dice que el uso de la leña es generalizado en las clases sociales mas bajas. Y el CENMA (2002) señala que el uso que se le da a la leña en equipos o artefactos de combustión residencial, se diferencia claramente por el nivel de ingresos del consumidor.

En los sectores urbanos de la IX Región el uso de la leña representa el energético más importante 93,3 %

De acuerdo a la Norma Chilena NCh. 2907-2005 (Combustible sólido-leña-requisito), define leña seca aquella que posee un contenido de humedad por debajo del punto de saturación de la fibra; para propósito de esta norma se considera leña seca la que tiene un contenido de humedad menor o igual a 25%.

### 2.1.1 Energía

Bellefontaine (2002), en los países en desarrollo, la madera sigue siendo la fuente de energía más utilizada, así además lo confirma Emanuelli y Milla (2006) la participación forestal en la matriz energética nacional en el uso de la madera como combustible, tanto en Biomasa para uso dendroenergético, leña residencial, Carbón Vegetal, Pellets y Briquetas. La leña es el principal insumo dendroenergético utilizado en el país, con un 74% del consumo total, seguido por los desechos lignocelulósicos (provenientes de la cosecha y de la industria) con un 24% y por el carbón vegetal con un solo 2% de participación.

Burschel, Hernández, Lobos (2003) señala que en la IX Región de la Araucanía la leña es, y probablemente continuara siendo por mucho tiempo, la fuente de energía primaria de mayor importancia relativa.

Según antecedentes del Sistema Nacional de Certificación de Leña, ésta es la segunda fuente de energía más importante del país y se calcula que, al año, se consumen en el país cerca de 14 millones de metros cúbicos. Más del 50% de los hogares, desde Rancagua al sur, la demandan para calefacción.

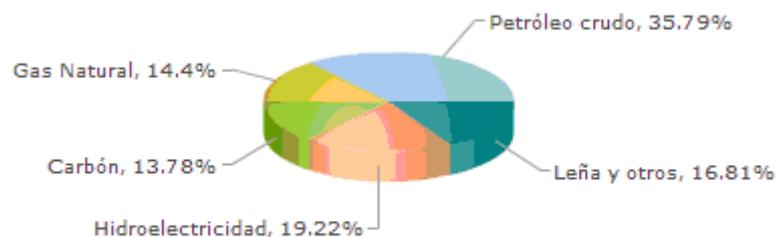


Figura 1. Consumo de Energía Primaria 2007. Fuente: CNE 2010.

<http://www.cne.cl/enerchile>.

## **2.2 Combustión**

Serrano (1993) señala que la madera es fundamental, un compuesto de celulosa cuyas partes principales son el carbono y el hidrogeno. Ambas, al oxidarse, liberan una cantidad de energía. Esta oxidación se produce al juntar estos elementos mediante una reacción química con el oxígeno del aire.

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.

La calidad de la madera como combustible esta dada principalmente por su densidad y su contenido de humedad. Una mayor densidad de la madera implica un mayor peso de combustible por unidad de volumen, en tanto un menor contenido de humedad permite un mayor poder calorífico por unidad de peso. Infor (1989).

### **2.2.1 Daño Ambiental**

Sobre los aspectos ambientales Burschel, Hernández, Lobos (2003), señala que el uso de la leña como combustible puede tener efectos ambientales negativos, entre los cuales la contaminación atmosférica producida por las emisiones generadas durante el proceso de combustión es el más importante.

Cada uno de los hogares que utilizan leña para la calefacción, suma en la contaminación de gases tóxicos, Burschel, Hernández, Lobos (2003), señala que por cada kilo de leña consumida produce 2,4 gramos de partículas; 6,7 gramos de orgánicos condensables; 1.9 NOX (óxidos de nitrógeno); 22 gramos de CO y 0.031 gramos de materia orgánica policíclica.

CONAMA (2008) Los compuestos orgánicos presentes en el humo dependen de las condiciones de la combustión y del contenido de lignina en la madera. Las principales especies presentes de HAPs son: Acenaftileno, Naftaleno, Antraceno, Fenantreno, Benzo (a) pireno y Benzo (b) pireno. Otros compuestos incluyen una variedad de Aldehídos, Fenoles, Alcoholes, Cetonas, Ácidos Carboxílicos, Etano y Etanol. Los compuestos orgánicos como Formaldehídos, Benceno, Tolueno, Xileno, y HAP's, incluyendo benzo(a)pireno son conocidos por su nivel de toxicidad carcinógeno en el aire.

Burschel, Hernández, Lobos (2003), el problema no radica en encontrar o desarrollar tecnologías de combustión que presenten un menor nivel de emisiones, ya que éstas están disponibles.

### **2.2.2 Norma Ambiental**

N La norma primaria de calidad del aire para el contaminante Material Particulado Respirable MP10, es ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normal (150 mg/m<sup>3</sup>N) como concentración de 24 horas.

Se considerará sobrepasada la norma de calidad del aire para material particulado respirable cuando el Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual a 150 mg/m<sup>3</sup>N.

Asimismo, se considerará superada la norma, si antes que concluyese el primer período anual de mediciones certificadas por el Servicio de Salud competente se registrare en alguna de las estaciones monitoras de Material Particulado Respirable MP10 clasificada como EMRP, un número de días con mediciones sobre el valor de 150 mg/m<sup>3</sup>N mayor que siete.

Según la estación de monitoreo las Encinas en la ciudad de Temuco-Padre las Casas este año 2010 se ha sobrepasado en 18 oportunidades, muy por debajo considerando a la misma fecha del año pasado la cual se había sobrepasado en 35 oportunidades.

### 2.3 Certificación de la Leña

La certificación es abordada desde su definición como un instrumento de mercado de carácter voluntario, donde un tercero proporciona una garantía estricta de que un producto o servicio cumple con ciertos requisitos o estándares.

Gómez (2005), estima que en el año 2000, el 83,9% del consumo de madera de especies nativas correspondía al consumo de leña, producción que en la mayoría de los casos no está regulada por un plan de manejo que garantice la sustentabilidad del bosque. Hoy en día el Sistema Nacional de Certificación de leña (SNCL) conformado por diversos organismos, tanto públicos como privado busca regular este mercado en Chile, hasta hoy sin legislación, basándose en cuatro principios básicos que dan sustento al SNCL: el cuidado del bosque nativo, cumplimiento de la ley, tanto laboral como forestal, descontaminación del aire y derechos del consumidor.

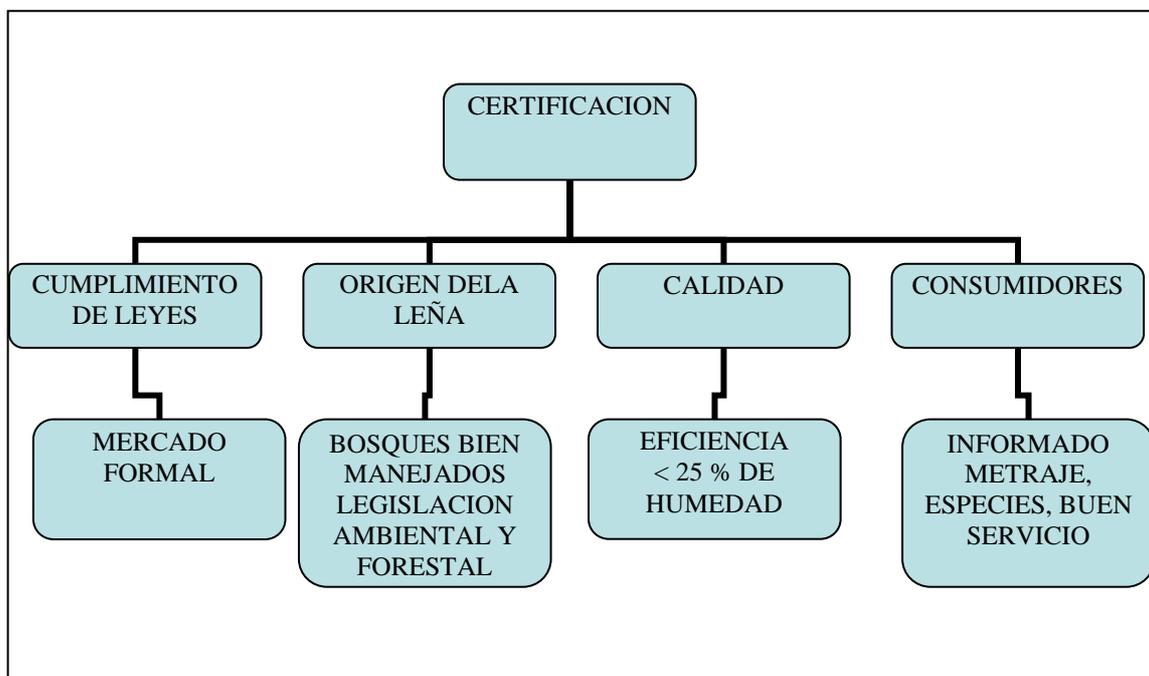


Figura 2. Estándar de certificación. Fuente: [www.lena.cl](http://www.lena.cl)

### **2.3.1 Institucionalidad**

Las instituciones públicas que pertenecen en el Sistema Nacional de Certificación de Leña y que tienen participación en el Consejo Nacional, son: Corporación Nacional de Forestal (CONAF), Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Servicio Nacional del Consumidor (SERNAC) y Servicio de Impuestos Internos (SII).

- **Sistema Nacional de Certificación de Leña**

El SNCL está encargado de entregar la certificación que en definitiva es fijar estándares de calidad y origen para la comercialización de la leña en Chile, con el objeto de disminuir el deterioro de los bosques y la contaminación atmosférica.

- **Comisión Nacional del Medio Ambiente**

CONAMA es la institución del Estado de Chile que tiene como misión promover la sostenibilidad ambiental del proceso de desarrollo y coordinar las acciones derivadas de las políticas y estrategias definidas por el gobierno en materia ambiental.

- **La Corporación Nacional Forestal**

(CONAF) es una entidad de derecho privado dependiente del Ministerio de Agricultura, cuya principal tarea es administrar la política forestal de Chile y fomentar el desarrollo del sector.

Burschel, Hernández, Lobos (2003) CONAF tiene atribuciones claras para garantizar un manejo silvícola apropiado, como lo es el Plan de Manejo Forestal.

- **Servicio Nacional al Consumidor**

El SERNAC fue creado mediante la dictación de la Ley 19.496, sobre Protección de los Derechos del Consumidor. Este servicio público tiene como finalidad velar por el

cumplimiento de dicha ley y de las que digan relación con los derechos del consumidor y realizar acciones de difusión y de educación a los mismos.

SERNAC en conjunto con la CONAMA, han desarrollado iniciativas que contemplan entre sus acciones la entrega de una lista con los locales que ofrezcan leña seca certificada y que respondan a la norma 2907/2005.

Además de contrastar precios de las leñerías certificadas.

- **Agrupación de Ingenieros Forestales por el Bosque Nativo (AIFBN)**

La AIFBN, como grupo de personas con un fin común que trabaja formalmente asociado, promueve el desarrollo forestal sustentable con énfasis en el bosque nativo y la distribución equitativa de los beneficios de este recurso a toda la sociedad, en asociación con otros grupos, instituciones y/o personas que compartan sus valores.

- **Servicio de Salud**

La IX Región cuenta con dos Servicios de Salud (Araucanía Sur y Araucanía Norte) dependientes directamente del Secretario Regional Ministerial, que constituye el nexo con la autoridad del ministerio respectivo. Estos organismos estatales son funcionalmente descentralizados, dotados de personalidad jurídica y patrimonio propio. Dentro de las funciones les corresponde la supervisión, coordinación y control de los establecimientos y servicios del Sistema comprendido en su territorio, para los efectos del cumplimiento de las políticas, normas, programas y directivas generales impartidas por el Ministerio de Salud.

Dentro de sus funciones también se comprenden aquellas vinculadas a la protección de un ambiente adecuado que no presente riesgos para la población, actividad que se desarrolla a nivel de departamento al interior de estos servicios.

- **Instituto Nacional de Normalización**

Dentro de las funciones principales del INN se encuentra la elaboración de normas técnicas Nacionales, la acreditación de Organismos de certificación de calidad (orientado a sistemas y productos), el desarrollo de la Red Nacional de Metrología y la difusión de la información generada por estas actividades.

- **Municipalidad de Temuco y Padre las casas**

Desarrollar las actividades locales, la participación y cooperación de las autoridades locales será un factor determinante en el cumplimiento de sus objetivos. Las autoridades locales construyen, operan y mantienen la infraestructura económica, social y ambiental, supervisan los procesos de planeamiento, establecen políticas y regulaciones locales ambientales.

- **Sector Privado (Empresas)**

La relación con las empresas que están asociadas al proyecto ha sido excelente. A lo largo de estos años se ha generado una red de empresas que aportan recursos a la iniciativa (campaña de sensibilización al consumidor), tanto a nivel nacional como regional y local. Varias de ellas han incorporado mensajes de la campaña en sus propios medios publicitarios (Web, folletos, etc.), fortaleciendo así la divulgación del tema.

## **2.4. Madera**

Ray Mond (1991), define madera como todo material vegetal en el sentido de que comienza con la ecuación fotosintética, en el cual el dióxido de carbono y el agua se combinan por medio de la energía solar, para producir glucosa y oxígeno.

García (2003) define madera al conjunto de tejidos del xilema que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos con tejidos conductores especializados en xilema y floema que tienen crecimiento secundario.

Iglesias (2001) señala que la madera no es un material homogéneo de estructura uniforme, sino un conjunto de células muy dispares que en el vegetal vivo cumplen funciones específicas.

#### **2.4.1 Propiedades de la Madera**

Las propiedades de la madera varían en función de su contenido de humedad.

- **Propiedades Químicas.**

La madera está compuesta de forma general por tres grupos de sustancias, las que conforman la pared celular, donde se encuentran las principales macromoléculas, celulosa, poliosas (hemicelulosa) y ligninas, que están presente en todas las maderas; el otro grupo lo conforman las sustancias de baja masa molar conocidas también como sustancias extraíbles que se encuentran en menor cantidad, y las sustancias minerales.

Cuadro N° 1. Composición Química de la Madera. Fuente Gáfaró, (1995).

Carbono	49 %
Oxígeno	44 %
Hidrogeno	6 %
Nitrógeno y Minerales	1 %

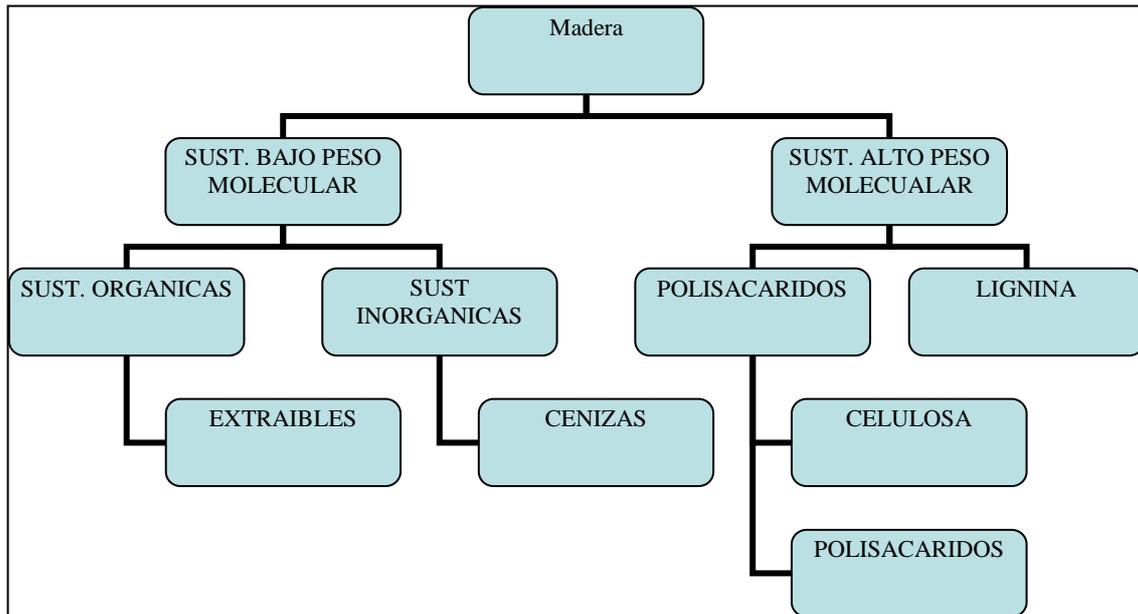


Figura 3. Características químicas de las sustancias de la madera.

- **Propiedades Físicas.**
- **Punto de Saturación de la Fibra**

La S E C F. (2005) define Punto de Saturación de la fibra como el estado de la madera en el que las paredes celulares están saturadas de humedad y las cavidades celulares vacías. Este punto señala el momento a partir del cual hacen acto de presencia la contracción durante el secado.

El contenido de humedad en el punto de saturación de la fibra 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.

- **Anisotropía**

La madera es un material Anisotrópico, es decir la magnitud de sus propiedades no es igual y varía según el plano que se este estudiando. Vignote (2006) señala que el comportamiento

mecánico de resistencia según la dirección de la madera: la madera resiste de entre 20 a 200 veces más en el sentido del eje del árbol que en el sentido transversal del árbol.

- **Higroscopía de la madera**

Es la capacidad que tiene la madera de absorber humedad de la atmosfera que la rodea y de retenerla en forma de agua líquida o vapor de agua. La madera contiene huecos en el lumen celular, entre las microfibrillas las cuales son susceptibles de ser ocupados por el agua

Las microfibrillas son tan pequeñas que originan fuerzas de Van der Waal, capilares y de adhesión que pueden captar agua desde la atmosfera; y como la atmosfera tiene una fuerza de desecante, dependiendo de la temperatura, humedad relativa y presión a la que se encuentra, es capaz de captar agua de la pared celular de la madera. Dependiendo de la fuerza de uno u otro, la madera capta o cede agua.

Según Vignote (2006) el agua puede estar en la madera de las siguientes formas:

Agua de sorción: Es la que esta retenida por las fuerzas de Van der Waals, consecuencia de los grupos polares activos de la pared celular. Este es el que mas fuertemente queda retenido por la pared celular. La madera puede llegar a contener u 8% de peso de agua respecto del peso de la madera seca.

Agua de adsorción: Es el agua que queda retenida en la pared celular como consecuencia de la fuerza de adhesión superficial. La madera puede llegar a contener hasta un 6 a un 8% de peso de agua respecto del peso de la madera seca.

Agua de condensación o capilar: Es la retenida por la fuerzas capilares, provocadas por los espacios entre microfibrillas. La madera puede llegar a contener entre un 14 a un 16% de peso de agua respecto del peso de la madera seca.

Agua libre: Es la contenida en el lúmen de las células prosenquimatosas. Su fuerza de retención es muy pequeña, de forma que no puede captar agua de la atmosfera, solo si se produce una inmersión de la madera en agua.

- **Humedad de Equilibrio Higroscópico**

Vignote (2006), Define Humedad de Equilibrio Higroscópico como aquella humedad de la madera en la que se equilibran las fuerzas de absorción de humedad de la madera como la fuerza de secante del aire, señala además que se puede definir como el porcentaje de humedad que alcanzaría una madera a lo largo del tiempo, sometida a unas ciertas condiciones de humedad y temperatura del medio ambiente.

- **Densidad específica**

Es la relación entre el peso seco de la madera y el volumen de la madera cuando esta tiene una humedad superior al punto de saturación de fibra. (Martínez 2006).

- **Contracción**

Las contracciones se producen con la disminución del espesor de las paredes de las fibras, al evaporarse la humedad. Torricelli (1941).

- **Humedad de la Madera**

Según, Fiske. (1999), la humedad superficial de la madera, como resultado de precipitaciones atmosféricas, forma una capa con muy poca resistencia y una elevada constante dieléctrica junto con una gran potencia de absorción de radio de frecuencia

La cantidad de humedad en la madera es importante para su utilización así lo señala Torricelli (1941), ya que afecta su peso, resistencia, contracciones, durabilidad, conductividad del calor y electricidad.

Torricelli (1941) indica que el peso de la madera depende de varios factores: Su densidad, es decir, de la cantidad de paredes celulares. La cantidad de materia mineral o cenizas. La resina y otras sustancias no minerales que no forman parte de las paredes de las células.

La madera, como un material proveniente de seres vivos que son los árboles, contiene desde su origen una gran cantidad de agua en su interior.

- **Propiedades Eléctricas**

CORMA (2003), la madera en estado anhidro y a temperatura ambiente tiene una resistencia eléctrica cercana a los 1016 Ohms-metro decreciendo a 104 Ohms-metro cuando la madera se encuentra en estado verde. Esta gran diferencia que se produce cuando su contenido de humedad varía entre un 70 a 30 %, constituye la base para el diseño de los instrumentos que miden la humedad en forma no destructiva. Sin embargo, desde el punto de saturación de las fibras hasta el estado de saturación total de la madera, su resistencia eléctrica sólo decrece en 105 Ohms-metro, lo cual es poco en comparación a las 10 a 12 veces que disminuye entre humedades. Comprendidas entre 0 % y 30 %.

- **Propiedades Mecánicas**

Las propiedades mecánicas son las que indican la capacidad que tiene la madera para resistir diversos usos. Infor (1989).

## 2.5 Determinación del contenido de Humedad de la Madera

Ananias (2007), define el contenido de humedad como la masa de agua contenida en una pieza de madera expresada como porcentaje de la masa de la pieza en estado anhidro.

El contenido de humedad de la madera se calcula con la expresión siguiente: masa anhidra

$$CH = \frac{\text{masa.Agua}(PG)}{\text{masa.anhidra}(PO)}$$

Donde: masa de agua = masa inicial madera - masa madera anhidra es decir,

CH= contenido de humedad que tiene como unidad porcentaje.

PG = masa inicial de la madera que tiene como unidad gramos.

PO = masa de la madera en estado anhidro que tiene como unidad gramos.

### 2.5.1 Método Gravimétrico

La norma Nch176/1.Of84 para la Determinación de Humedad, señala que este es el método aplicable a maderas con cualquier contenido de humedad y sirve para la determinación del contenido humedad tanto de lotes de piezas de madera como de probetas destinadas a ensayos de laboratorio.

- **Principio**

Determinación por pesada de la pérdida de masa de la probeta cuando se seca hasta masa constante y cálculo de la pérdida de masa en porcentaje de la masa de la probeta después del secado.

Ananias (2005) Para determinar el contenido de agua en la madera, con el método gravimétrico. Se corta una probeta de un largo de 3 a 4 cm en la dirección de las fibras se pesa con una precisión de 0,1 g (PG). En seguida, la probeta se seca en una estufa a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 24 horas y se pesa nuevamente (P0). Finalmente se calcula el porcentaje del contenido de agua. Para obtener un buen resultado se deben tomar varias precauciones: La probeta debe cortarse no menos de 15 cm de los extremos de la tabla. No se debe dejar pasar más de algunos minutos entre el corte y la primera pesada de la probeta, si no envolver la probeta en una bolsa o film de polietileno y mantener en un congelador bajo  $-10^\circ\text{C}$ .

La Formula es:

Donde: 
$$CH \% = \frac{(Mh - Mo)}{Mo} * 100$$

CH: contenido de humedad

Mh: masa en gramos de la muestra en estado húmedo

Mo: masa en gramos de la muestra en estado seco.

El método de secado en estufa no es conveniente para maderas con gran cantidad de sustancias volátiles y para maderas impregnadas con productos químicos, sean éstos volátiles o no, por lo que se recomienda usar el método de destilación.

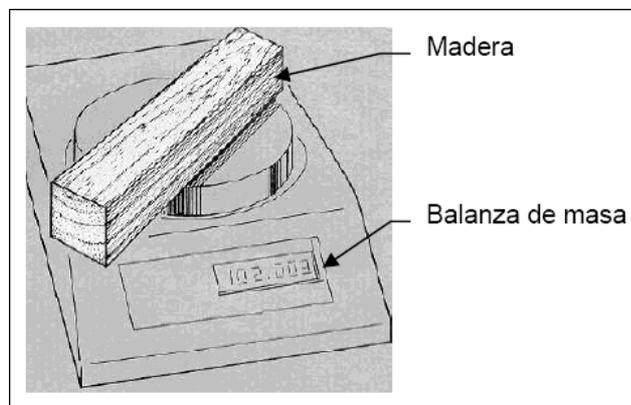


Figura 4. Medición de masa por método gravimétrico.

### 2.5.2 Método del Xilohigrómetro

El xilohigrómetro eléctrico mide las propiedades eléctricas de la madera, tales como la resistencia eléctrica y la constante dieléctrica.

El xilohigrómetro de resistencia es un instrumento que mide la resistencia eléctrica de la madera mediante electrodos en forma de agujas montadas en el extremo de un martillo y que se clavan con un golpe en la madera.

Este método es aplicable a madera con un contenido de humedad entre 7% y 28% y no requiere cortar probetas. Sirve para determinar el contenido de humedad de un lote o de piezas de madera. Este método es apto para determinaciones en terreno. Este método no es aplicable en casos de arbitraje.

El método del xilohigrómetro presenta grandes errores cuando se usa en madera impregnada con sales u otros electrolitos. No es conveniente su uso cuando la madera ha sido tratada con sales preservantes o retardadores de fuego, así como tampoco cuando la madera ha estado en contacto prolongado con agua de mar. Cuando el contenido de humedad es menor de 8% estas alteraciones son despreciables. Las sales retenidas dan valores aumentados de humedad, pero aun así el xilohigrómetro podría usarse para establecer los límites superiores de humedad en maderas tratadas con sales.

La madera tiene una resistencia eléctrica que varía fuertemente con el contenido de humedad y en menor grado con la temperatura. Además depende de la especie. En el estado seco (a 9% de humedad y 20 °C) la madera es un muy buen aislante eléctrico con una resistencia (Ananias 2005).

- **Xilohigrómetros.**

El xilohigrómetro es un instrumento que sirve para medir el porcentaje de humedad con relación a la resistencia ejercida por la madera al paso de una corriente continua que, a su vez, es proporcional a su contenido de humedad.

- **Xilohigrómetros de Conductividad.**

Aquellos que miden principalmente la conductividad iónica entre dos puntos de tensión aplicados sobre la madera, las escalas están graduadas para indicar directamente el contenido de humedad (en base seca). Estas mediciones son prácticamente independientes de la densidad relativa (peso específico) de la especie. ( Nch2827).



Figura 5. Xilohigrómetro de conductividad eléctrica

- **Xilohigrómetros dieléctrico**

Aquellos que se caracterizan por su modo de respuesta: admitancia (o capacidad). Tienen electrodos de contacto de superficie y escalas de lectura que usualmente están graduadas en unidades arbitrarias. La mayoría opera en un radio de frecuencia entre 1 MHz y 10 MHz. Estas mediciones están significativamente afectadas por la densidad relativa (peso específico) de la especie. ( Nch2827).

La Madera actúa como resistencia en el circuito eléctrico para su medición de humedad y esto requiere que se haga un contacto con la madera en dos puntos.

### 2.5.3 Método de Destilación

Para este caso, la norma Nch176/1.Of84, señala que este método se aplica para maderas con cualquier contenido de humedad y cualquier contenido de sustancias volátiles.

Siguiendo con la norma, se recomienda este método para determinar la humedad en maderas impregnadas con productos solubles como tolueno, xileno, benceno y especialmente con preservantes creotosados u oleosos.

El principio consiste en remover el agua de la madera con un solvente y recolección por Condensación en una trampa de agua que permite medir el volumen de ésta. Este sistema utiliza aparatos como matraz de vidrio, refrigerante de flujos, tubos colectores, manta calefactora, balanzas, reactivos, solventes, entre otros.

## **2.6. Características de las especie en estudio**

### **2.6.1. *Nothofagus obliqua***

El roble pertenece al género *Nothofagus*, familia de las Fagáceas, presenta una madera de color claro, blanquizco-cremoso en la albura. En la albura se observa un color marrón castaño y rojizo. Se distinguen, albura y duramen por fuertes contrastes de colores. Los radios medulares son heterogéneos y biseriados, pero también se presentan uniseriados y triseriados.

CORMA ( 2003), la madera de Roble tiene un peso específico de  $624 \text{ kg/m}^3$  en estado verde y de  $447 \text{ kg/m}^3$  en estado seco, siendo clasificada como madera pesada.

Comúnmente a la albura se le conoce como “hualle” y al duramen como “pellín”. La parte apellinada es el centro del tronco que comienza a producir el árbol a partir de los 80 a 100 años, dependiendo del lugar donde crezca.

*Nothofagus obliqua*, roble, tiene una importante área de distribución en el país, y la calidad de su madera es reconocida por su importancia en la construcción de viviendas. Se ha usado como vigas, piezas estructurales, durmiente, estacas, revestimientos externos, entre otros, su densidad varía entre  $0.6 \text{ kg/m}^3$  y  $1 \text{ kg/m}^3$ , su madera tiene una alta durabilidad y su proceso de duraminización ocurre después de los 30-40 años.

### **2.6.2 *Eucaliptus globulus***

El *Eucaliptus globulus* (Labill), tiene su hábitat natural en Australia en las regiones: Tasmania, promontorio de Wilson, costa adyacente de Victoria y las islas en el estrecho de Bass entre Tasmania y el continente. Altura máxima de establecimiento varía entre 0 a 300 m.s.n.m., la precipitación está entre los rangos de 500 a 1500 mm. Estación seca hasta 3 meses, no rigurosa. Temperaturas Media Máxima 18-23°C, T. Media Mínima 4°C. (FAO. 1991).

El *Eucalyptus globulus* (Labill), originario de Tasmania y Australia es cultivado hoy en día en todo el mundo debido a la trascendencia económica que ha logrado para el rubro forestal, especialmente en la industria de celulosa y papel. Con propiedades tan llamativas como su rápido crecimiento, una buena adaptabilidad a diversas condiciones ambientales y una variada gama de productos de alto valor comercial, hacen que esta especie sea para los países forestales muy apetecida, su densidad alcanza valores de 510kg/m<sup>3</sup> (Martínez, 1981).

### **2.7 Horno de Secado Marca Shel-Lab**

Similares a los hornos de convección natural (o por gravedad), pero con convección mecánica. El aire es forzado en forma horizontal, resultando una operación más eficiente y a temperatura más uniforme. Además, cuenta con un sistema de protección contra sobre temperatura, con sensibilidad de 0.05° C, funciona con corriente 120 Volts / 60Hz (Disponible en 220 Volts).

### 3. MATERIAL Y MÉTODO

#### 3.1 Material

Las etapas de este estudio son las siguientes:

##### *3.1.1. Toma de Muestras*

La toma de muestras se realizó en terreno bajo las techumbres de las mismas leñerías Certificadas

- *Xilohigrómetro portátil Delmhorst Modelo J-2000*
- *Xilohigrómetro portátil Amesti.*
- *Motosierra*
- *Balanza digital*
- *Leña (astilla de 30 cms)*
- *Hacha manual.*
- *Sacos para el traslado de trozos*
- *Formulario de registro de datos.*

##### *3.1.2. Toma de datos en Laboratorio.*

Estas se realizaron en el laboratorio de silvicultura de la Universidad de la Frontera

- *Horno de secado Marca Shell Lb 1375*
- *Balanza digital*
- *Formulario de registros de datos.*

##### **3.1.3. Análisis de datos**

- Programa: Software Microsoft (Excel)

#### 3.2 Descripción de los Instrumentos

##### **3.2.1 Xilohigrómetro Delmhorst J 2000**

Instrumento fabricado por la firma Norteamericana Delmhorst Instrumento CO, modelo J2000, el cual se basa en el principio de conductividad eléctrica de la madera. Posee una pantalla digital que entrega lecturas con una precisión de un decimal (0,1%).

- **Rango de temperatura**

De acuerdo con el manual del usuario, se menciona que tiene incorporado un rango de temperatura en el cual el instrumento trabaja de manera óptima y fuera del cual se hace necesaria una corrección. Este rango va desde los 10°C (50°F) a 32°C (90°F). Sin embargo, se indica que el instrumento está calibrado para trabajar a una temperatura de 20°C (70°F) en la madera.

- **Electrodos de contacto.**

Posee un par de electrodos no aislados de 10 mm de largo, los cuales en su base son planos (contacto con el instrumento) y en los extremos terminales son puntiagudos (para facilitar la penetración en la madera). El instrumento trae incorporado un conector externo en el cual se puede conectar un accesorio llamado martillo, el cual permite tomar lecturas a mayor profundidad debido a que éste trabaja con un par de electrodos de 23 mm de largo. 33.

- **Set de especies**

El instrumento posee un set de 48 especies diferentes con las cuales se puede trabajar en la estimación de humedad.

- **Rango de humedad**

Según las especificaciones del fabricante este instrumento entrega lecturas dentro del rango 6% a 40% de contenido de humedad en base seca. Cuando se registra una por debajo del 6% el instrumento indica - ##.# y para lecturas por sobre el 40%, se muestra el valor de 99.99. Ambos valores se consideran como fuera de rango

- **Otras características del instrumento.**

Otra particularidad de este instrumento, es que posee un botón de auto calibración (para temperatura o especie) y el cual además, entrega resultados que se almacenan en forma automática: cantidad de muestras, promedio y valor máximo. Se puede almacenar un máximo de 100 datos en la memoria interna de este instrumento.

### 3.2.2 Xilohigrómetro Amesti

- **Rango de temperatura**

De acuerdo con el manual del usuario, se menciona que tiene incorporado un rango de temperatura en el cual el instrumento puede trabajar. Este rango va desde los 0°C a 40°C.

- **Electrodos de contacto.**

Posee un par de electrodos no aislados de 10 mm de largo, los cuales en su base son planos (contacto con el instrumento) y en los extremos terminales son puntiagudos (para facilitar la penetración en la madera).

- **Set de especies**

No especificado (automático). Debido a que este instrumento es capaz de medir la humedad a diferentes materiales.

- **Rango de humedad**

Según las especificaciones del fabricante este instrumento entrega lecturas dentro del rango 6% a 42% de contenido de humedad en base seca. Cuando se registra una por debajo del 6% el instrumento indica - ##.# y para lecturas por sobre el 42%, se muestra el valor de 99. Ambos valores se consideran como fuera de rango

- **Otras características del instrumento.**

Otra particularidad de este instrumento, es que se puede medir papel, cartulina, concreto, yeso, posee un solo botón de encendido en el cual al mantenerlo presionado nos puede indicar temperatura ambiente, humedad de material, porcentaje (unidad de humedad), posee una auto calibración.



Figura 6 Xilohigrómetro Amesti

- **Características de los Xilohigrómetros de resistencia**

Las características principales de los Xilohigrómetros de resistencia de detallan en la siguiente tabla resumen.

Cuadro N° 2 Características de los Xilohigrómetros

<b>Características</b>	<b>Resistencia</b>
Elementos de Medición	Electrodos
Profundidad de Medición	A elección
Contacto	Clavando los electrodos en la madera
Rango de Medición	6-40%
Factores que influyen en la medición	Especie
	Humedad superficial
	Espesor de la madera
	Temperatura
	Contacto de los electrodos
	Presencia de electrolitos
	Madera Tratada
	Humedad Relativa Alta
	Numero de Determinaciones
Factor Personal	

### 3.3 Método

Para esta metodología se oriento a través de las Normas Oficiales del Instituto Nacional de Normalización.

- NCh 2965 Of2005. Combustible Sólido Leña - Muestreo e Inspección
- NCh 2907 Of2005. Combustible Sólido Leña – Requisitos
- NCh 2827 Of2003. Calibración y uso de Xilohigrómetros Portátiles
- NCh 176/1 Madera: Determinación de humedad.
- NCh 48 1960. Combustible sólido. Análisis Inmediato

#### 3.3.1 Muestreo

Para la recolección de estas muestras se visitaron 5 leñerías Certificadas o en vías de certificación debidamente establecidas, de las cuales se tomaron 20 muestras por especie a evaluar. Se eligieron las muestras al azar dentro de la leñerías tanto de la que estaba a disposición para la venta picada como la que estaban acopiadas de a metro, esta ultima se trozaba y se seleccionada el trozo del centro, luego se partía con el hacha (incluyendo la que

ya estaba picada) para poder realizar la medición al centro con el xilohigrómetro, posterior a esto se realizaba la extracción de las probetas y se registro su peso inmediatamente.

Las muestras no debían estar contaminadas con ningún preservante o algún tratamiento previo.

Las muestras sólo son *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. Y de *Eucaliptus globulus*.

El largo del leño no fué menor de 20 cm ni mayor a 35 cm.

### **3.3.2. Obtención de Humedad mediante xilohigrómetro.**

El leño se parte por la mitad en sentido longitudinal con el hacha y se rotuló con un número identificador (ID) e inmediatamente se tomó la humedad sobre la cara interior del leño con cada instrumento.

Se calibraron los Xilohigrómetros para la especie a ser medida y a la temperatura ambiente donde se esta trabajando.

Se realizaron 5 mediciones por leño, una medición en el centro y dos mediciones en cada uno de los extremos a 2/3 de este. La medición se hizo a una profundidad de 5 milímetros aproximadamente. Se realizó este procedimiento para todas las muestras y con cada uno de los 2 instrumentos en el siguiente orden: Xilohigrómetro Delmhorst Modelo J-2000, Xilohigrómetro Amesti. Con este proceso se obtuvo la humedad interior del leño.

Una vez concluido con lo anterior se procedió a extraer una probeta de cada una de las muestras medidas. Se pesó en el mismo sitio y se guardó en un saco para ser llevadas al laboratorio para ser secadas al horno.

Esta información se registró en un formulario para su posterior análisis.

### **3.3.3. Obtención de humedad mediante el Método gravimétrico**

Siguiendo al método propuesto en la Nch 176/1. Of. 1984, cada probeta se llevó al horno de secado en el cual permaneció por 12 hrs. a una temperatura de 105°C. Luego de este periodo de tiempo, el peso de cada leño se verificó a intervalos de 8 hrs. hasta llegar a una masa constante, entendiéndose por masa constante cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igual o inferior a 0,5%.

Posterior a esto, cada muestra se enfrió a temperatura ambiente y nuevamente se llevó a la balanza digital. La obtención de esta masa permitió calcular el contenido de humedad, en base seca, expresado en porcentaje para cada leño, según la siguiente fórmula:

En donde 
$$CH \% = \frac{(M1 - M2)}{M2} * 100$$

M1: es la masa, en gramos de la probeta antes del secado, llamada masa fresca o masa verde.

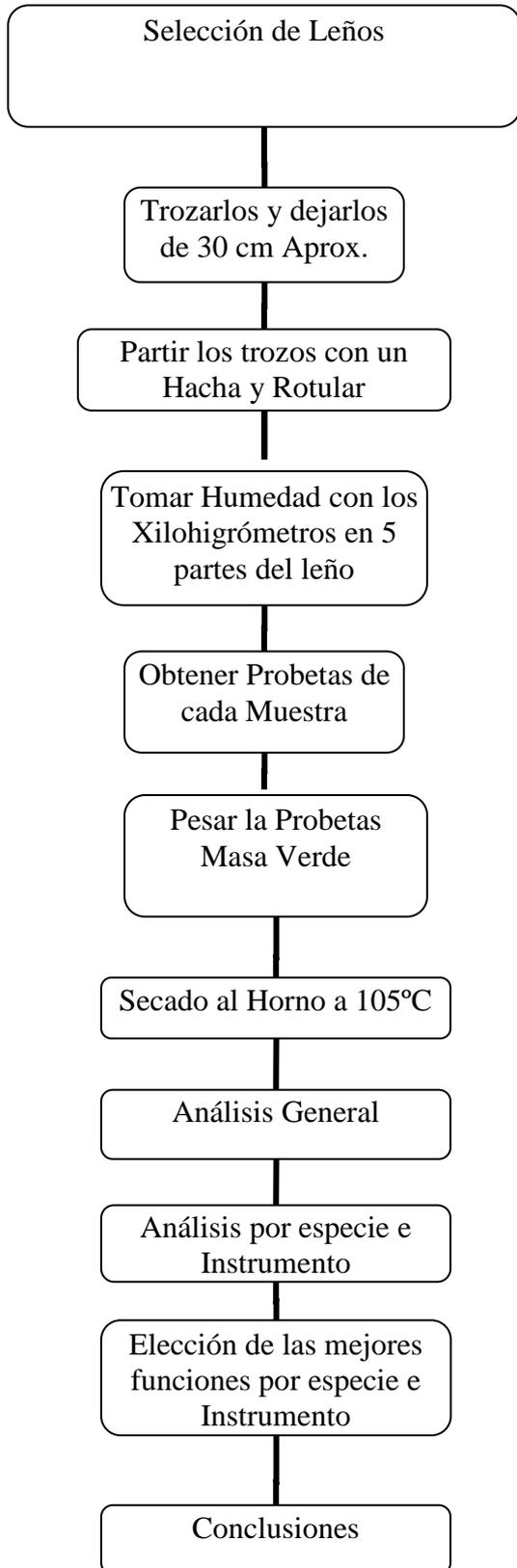
M2: es la masa, en gramos, de la probeta después del secado o bien, masa anhidra.

El resultado de esta fórmula será considerado como el patrón de referencia para el análisis estadístico y correlación de variables.

### **3.3.4 Análisis.**

Con los datos obtenidos se realizó un análisis general con las dos especies en estudios para cada xilohigrómetro considerando que la toma de datos en terrenos por parte de las instituciones fiscalizadores no identifican plenamente la especie que será muestreada. Se hará un análisis detallado por especie y por xilohigrómetro identificando el mejor modelo entre lineal, logarítmico y potencial que estime más fehacientemente el contenido de humedad de la leña al ser medida con este tipo de instrumentos, los cuales son los más usados tanto por la entidad fiscalizadora como los vendedores de leña.

### 3.3.5. Diagrama de la metodología empleada



## 4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis General de las Muestras

Se trabajó al principio con un total de 120 muestras, sin embargo, hubo un 4.2% que no cumplió con los requisitos para continuar con este estudio (principalmente, fueron muestras que estaban fuera del rango de medición de los Xilohigrómetros) por ende, la muestra inicial bajó a un total 115 muestras.(Anexo 1)

#### 4.1.1 Análisis entre el contenido de Humedad Real y el contenido de Humedad Estimado con xilohigrómetros.

La Figura 7 muestra la relación que existe la humedad estimada con xilohigrómetro y la humedad real.

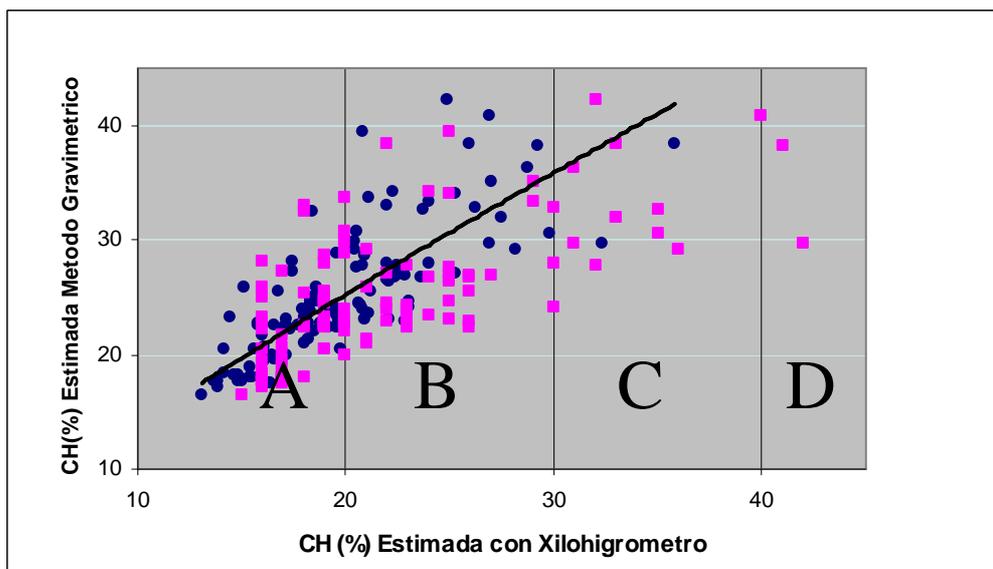


Figura 7. Dispersión entre las variables de la humedad medida con xilohigrómetro con respecto a la Humedad estimada con el método gravimétrico (% b.s).

En los puntos azules se ve la dispersión de los datos obtenidas por el instrumento Delmhorst J2000, el cual tiene una mayor concentración de los puntos. En rosado se han graficado las mediciones obtenidas por el xilohigrómetro Amesti.

Se puede observar una concentración de la mayoría de los datos entre el sector A y B (entre 10 y 30 % de humedad estimada por los Xilohigrómetros).

El Área C y D presentan una mayor dispersión de los datos, esto debido a que según el fabricante estos instrumentos a partir de un 30% de humedad aproximadamente no son buenos estimadores del contenido de humedad en madera.

#### 4.1.2 Análisis entre el contenido de Humedad Real y el contenido de Humedad Estimado con xilohigrómetro Delmhorst J2000.

##### 4.1.2.1 Modelos de estimación para el Xilohigrómetro Delmhorst J2000

Cuadro N° 3. Modelos estadísticos para Delmhorst J2000

Modelo	Lineal	Logarítmico	Potencial
Función	$y = 0.9156x + 6.9218$	$y = 21.225\ln(x) - 37.802$	$y = 2.2952x^{0.7985}$
R	0.801	0.825	0.835

Según el cuadro anterior se desprende que el mejor modelo para la estimación de humedad en leña con el xilohigrómetro Delmhorst J2000 es el modelo potencial con un R de 0.83, lo que indica una buena correlación para la estimación de Humedad.

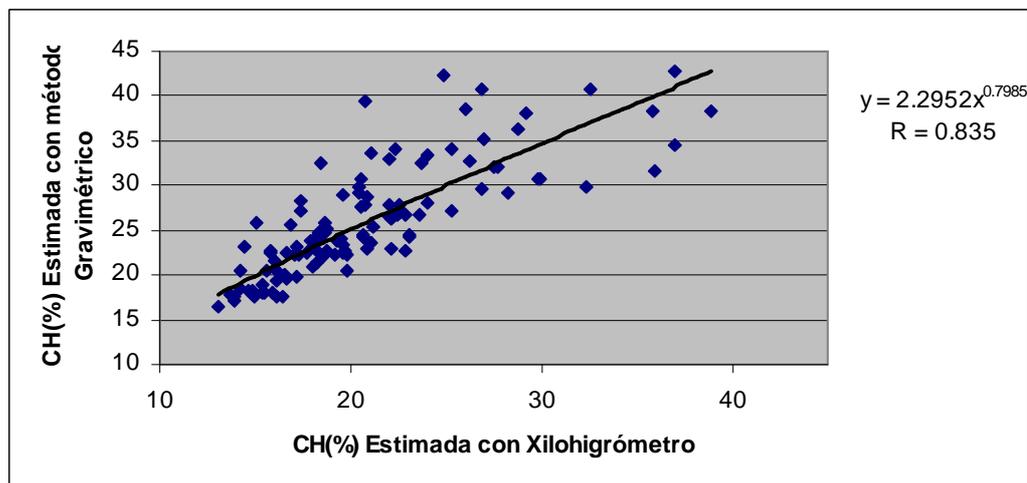


Figura 8. Modelo potencial de Dispersión entre las variables de la humedad estimada con xilohigrómetro Delmhorst con respecto a la Humedad estimada con el método gravimétrico (% b.s).

### 4.1.3 Análisis entre el contenido de Humedad Real y el contenido de Humedad Estimado con xilohigrómetro Amesti

#### 4.1.3.1 Modelos de estimación para el Xilohigrómetro Amesti

Cuadro N° 4. Modelos estadísticos para Amesti

Modelo	Lineal	Logarítmico	Potencial
Función	$y = 0.652x + 10.917$	$y = 16.081\ln(x) - 23.937$	$Y = 3.7183x^{0.6183}$
R	0.679	0.688	0.697

Según el cuadro N° 4 se desprende que el mejor modelo para la estimación de humedad en leña con el xilohigrómetro Amesti es el modelo potencial con un R de un 0.69, lo que indica una buena correlación para la estimación de Humedad.

Se podrá estimar con un alto porcentaje de asertividad usando este modelo para la determinación de humedad con el xilohigrómetro Amesti.

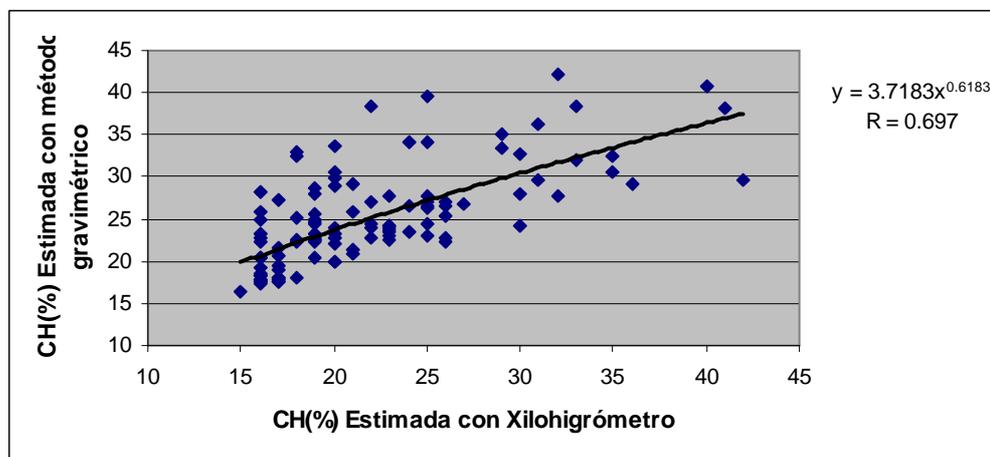


Figura 9. Modelo potencial de Dispersión entre las variables de la humedad estimada con xilohigrómetro Amesti con respecto a la Humedad estimada con el método gravimétrico (% b.s).

## 4.2 Análisis entre el contenido de Humedad Real y el contenido de Humedad Estimado con xilohigrómetro Delmhorst J2000 para *Nothofagus obliqua* y *Eucaliptus globulus*.

### 4.2.1. Contenido de humedad estimado en leña de *Nothofagus obliqua*.

Cuadro N°5. Modelos estadísticos Delmhorst J2000 para *Nothofagus obliqua*

Modelo	Lineal	Logarítmico	Potencial
Función	$y = 0.9029x + 8.4635$	$y = 22.042\ln(x) - 39.149$	$y = 3.0721x^{0.7177}$
R	0.774	0.774	0.793

Según el cuadro anterior se desprende que el mejor modelo para la estimación de humedad en leña con el xilohigrómetro Delmhorst J2000 en *Nothofagus obliqua* es el modelo potencial con un R de 0.79, lo que indica una buena correlación para la estimación de Humedad.

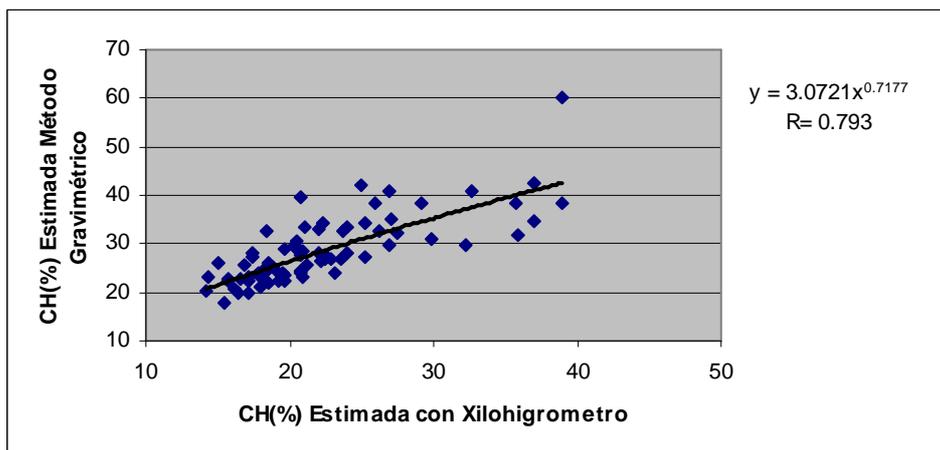


Figura 10. Modelo potencial de Dispersión de xilohigrómetro Delmhorst para *Nothofagus obliqua*.

En el gráfico se observa un alto grado de asociación hasta un 30% de CH gravimétrico, después del 30% existe una mayor dispersión de los datos.

#### 4.2.2. Contenido de humedad estimado en leña de *Eucalyptus globulus*.

Cuadro N° 6. Modelos estadísticos Delmhorst J2000 para *Eucalyptus globulus*

Modelo	Lineal	Logarítmico	Potencial
Función	$y = 0.96x + 3.973$	$y = 19.05\ln(x) - 33.364$	$y = 2.0281x^{0.8754}$
R	0.932	0.924	0.935

Del cuadro anterior se desprende una alta correlación de las variables para los 3 modelos del análisis el cual puede estar directamente relacionado con la especie en estudio aunque levemente el mejor modelo para la estimación de humedad en leña con el xilohigrómetro Delmhorst J2000 en *Eucalyptus globulus* es el modelo potencial con un R de 0.935, lo que indica que con este modelo tendremos un 93 % de asertividad en la estimación de Humedad.

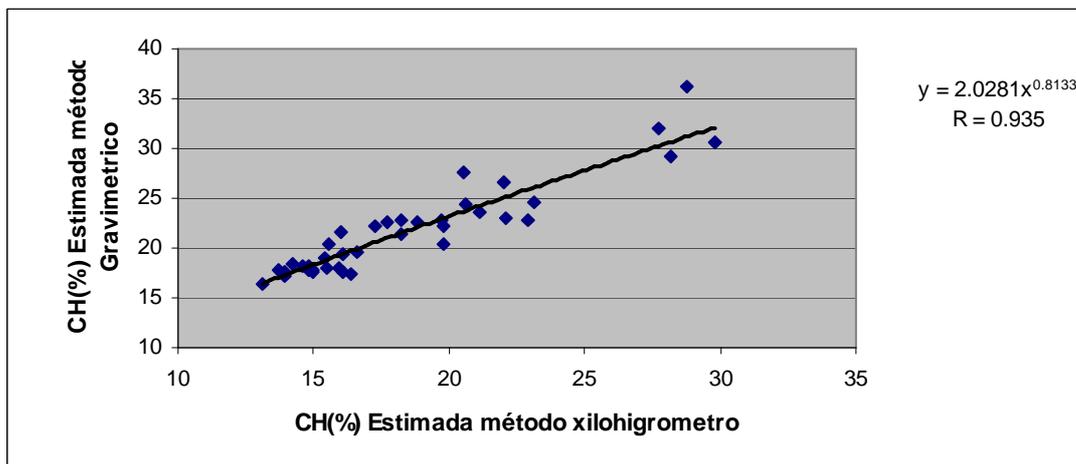


Figura 11. Modelo potencial de Dispersión de xilohigrómetro Delmhorst para *Eucalyptus globulus*.

En el gráfico se puede observar la tendencia de los datos lo que explica un buen modelo para estimar la humedad con el xilohigrómetro Delmhorst J2000 para *Eucalyptus globulus*. Aun siendo estos datos mayores a 30 % de humedad gravimétrica.

### 4.3 Análisis entre el contenido de Humedad Real y el contenido de Humedad Estimado con xilohigrómetro Amesti para *Nothofagus obliqua* y *Eucaliptus globulus*.

#### 4.3.1. Contenido de humedad estimado en leña de *Nothofagus obliqua*.

Cuadro N° 7. Modelos estadísticos Amesti para *Nothofagus obliqua*

Modelo	Lineal	Logarítmico	Potencial
Función	$Y = 0.5112x + 15.489$	$Y = 12.724\text{Ln}(x) - 12.274$	$Y = 6.8028x^{0.441}$
R	0.575	0.565	0.562

Del cuadro N° 7 se desprende que los modelos según el R existe una baja correlación para la estimación de humedad en *Nothofagus obliqua* con el xilohigrómetro Amesti.

El mejor modelo para la estimación de humedad en leña de Roble con el xilohigrómetro Amesti es el modelo lineal con un R de 0.57 %.

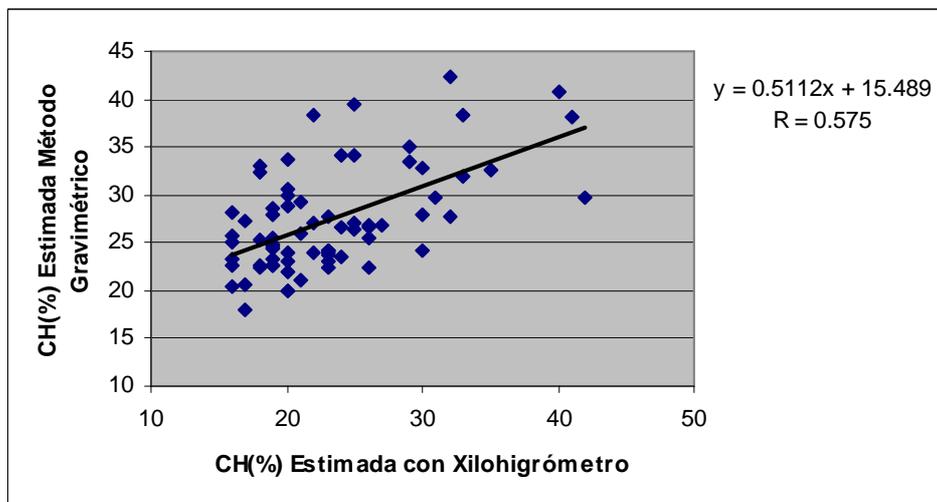


Figura 12. Modelo potencial de Dispersión de xilohigrómetro Amesti para *Nothofagus obliqua*.

El gráfico nos indica que existe una dispersión de los datos considerable al sobrepasar el 30% del CH. en ambas estimaciones, tanto del método gravimétrico como del xilohigrómetro.

### 4.3.2 Contenido de humedad estimado en leña de *Eucalyptus Globulus*.

Cuadro N°8. Modelos estadísticos Amesti para *Eucalyptus Globulus*

Modelo	Lineal	Logarítmico	Potencial
Función	$Y = 0.7184x + 7.0861$	$Y = 16.558\text{Ln}(x) - 27.67$	$Y = 2.5817x^{0.7078}$
R	0.885	0.892	0.896

Del cuadro anterior se desprende una buena correlación de las variables para los 3 modelos del análisis, el mejor modelo para la estimación de humedad en leña con el xilohigrómetro Amesti en *Eucalyptus globulus* es el modelo potencial con un R de 89.6% de la variable explicativa.

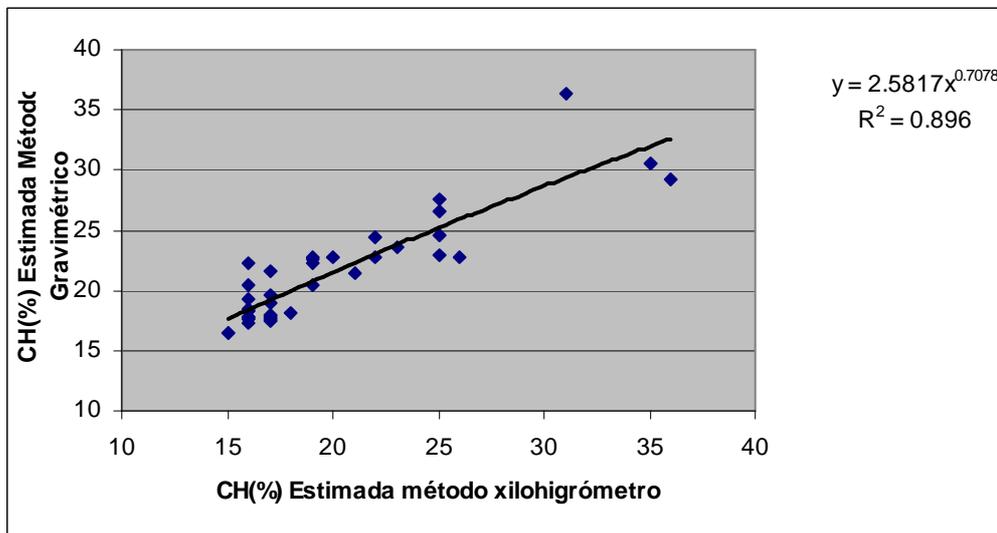


Figura 13. Modelo potencial de Dispersión de xilohigrómetro Amesti para *Eucalyptus Globulus*.

El gráfico nos indica una correlación significativa entre el 15 y el 28% de humedad gravimétrica para la estimación del contenido de humedad en leña de *Eucalyptus globulus* con este instrumento. Por sobre el 30% se aprecia una clara dispersión de los datos.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los adjetivos planteados en este estudio, se puede concluir que las mejores funciones para la estimación de humedad en leña en base al método gravimétrico en base seca para las especie de *Nothofagus obliqua* y *Eucaliptus globulus* en conjunto es del tipo potencial con el xilohigrómetro Delmhorst J2000, la función es  $Y = 1.8878x^{0.8658} = \text{CH\% Gravimétrico}$

La mejor función para la estimación de humedad en leña en base al método gravimétrico en *Nothofagus obliqua* es del tipo potencial con el xilohigrómetro Delmhorst J2000, la función es:  $Y = 3.0721x^{0.7177} = \text{Ch\% Gravimétrico}$ .

Si se desea estimar el contenido de humedad para *Nothofagus obliqua* con el xilohigrómetro Amesti el mejor modelo es de tipo lineal y su función es:  $Y = 0.5112x + 15.489 = \text{CH\% Gravimétrico}$

La mejor función para la estimación de humedad en leña en base al método gravimétrico en *Eucaliptus globulus* es del tipo potencial con el xilohigrómetro Delmhorst J2000, la función es:  $Y = 2.0281x^{0.8133} = \text{Ch\% Gravimétrico}$ .

Si se desea estimar el contenido de humedad para *Eucaliptus globulus* con el xilohigrómetro Amesti el mejor modelo es de tipo potencial y su función es:  $Y = 2.5817x^{0.7078} = \text{CH\% Gravimétrico}$ .

La humedad de la leña certificada analizada en conjunto ambas especies presenta un contenido de humedad que varia entre un 16.4 % y 82. % en base al método gravimétrico. Lo cual explica que los instrumentos utilizados en este estudio no son buenos estimadores del contenido de humedad en leña con un contenido de humedad por sobre el punto de saturación de la fibra.

Según las mediciones de estimaciones del contenido de humedad mediante los xilohigrómetros respecto del contenido de humedad de la leña mediante el método gravimétrico el mejor estimador es el xilohigrómetro Delmhorst J2000.

Debido a la importancia salud-medioambiental que representa el uso de la leña en Temuco y Padre las Casas y a la gran diversidad de esta, se recomienda el desarrollo de instrumentos con mayor precisión para la estimación del contenido de humedad de la leña.

## 6. RESUMEN

El presente estudio tiene como principal objetivo evaluar las estimaciones de humedad de la leña de *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. y *Eucaliptus globulus* de teñerías certificadas de la Ciudad de Temuco y Padre las Casas a través de 2 xilohigrómetros basados en la conductividad eléctrica.

La metodología empleada fue tomada de las normas chilenas NCh 2827 Of2003 Calibración y uso de Xilohigrómetros Portátiles, NCh 2907 Of2005 Combustible Sólido Leña - Requisitos y NCh 176/1 Madera: Determinación de humedad.

A través del análisis estadístico se evaluaron los modelos lineales, logarítmicos y potenciales de manera conjunta y para las 2 especies con los 2 xilohigrómetros en estudio, los que a través de sus estadísticos de correlación se determinaron los mejores modelos para la estimación de Humedad en leña de las especie Roble y Eucaliptus.

Según las mediciones de estimaciones del contenido de humedad mediante los xilohigrómetros respecto del contenido de humedad de la leña mediante el método gravimétrico el mejor estimador es el xilohigrómetro Delmhorst J2000. Sin embargo los instrumentos utilizados en el estudio no son buenos estimadores del contenido de humedad gravimétrico sobre un 30%.

## 7. SUMMARY

This study's main objective is to evaluate the estimates of moisture on wood of *Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst. and *Eucalyptus globulus* certified tanneries of the city of Temuco and Padre Las Casas through 2 xilohigrómetros based on electrical conductivity.

The methodology used was taken from the 2827 Chilean standards NCh Of2003 Xilohigrómetros Calibration and Use of Portable, Solid Fuel NCh Of2005 Wood 2907 - Requirements and NCh 176 / 1 Wood: Determination of moisture.

Through statistical analysis assessed the linear, logarithmic and potential jointly and for the 2 species with 2 xilohigrómetros study, those who through their statistical correlation is determined the best models for the estimation of moisture in wood of Oak and Eucalyptus species.

Estimates as measured moisture content through xilohigrómetros on the moisture content of wood by the gravimetric method is the best estimator xilohigrómetro Delmhorst J2000. However, the instruments used in the study are not good estimates of gravimetric moisture content of 30%.

## 8. LITERATURA CITADA.

**ANANIAS, R. 2007.** Física de la Madera. Departamento de Ingeniería en Maderas. Universidad del BíoBío, CI (41p)

**BELLO, A. 2002.** “Aspectos Sociales y Culturales involucrados en la Producción, Consumo y Uso de la Leña.”. Seminario: "uso de leña y descontaminación en Temuco". CONAF-CONAMA. 2002

**BELLEFONTAINE, R., PETIT, S., PAINORCET, M., DELEPORTE, P., BERTAULT, J. G. - 2002** Los árboles fuera del bosque. Hacia una mejor consideración. 220 Pág.

**BULL, G., MABEE, W., SCHARPENBERG, R. - 1999** Modelo de suministro mundial de fibras. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 69 Pág.

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

**CENMA/CONAMA, 2002,** “Elaboración del inventario de Emisiones Atmosféricas en la zona denominada Gran Concepción”.

**CONAMA 2008.** “Actualización del inventario de emisiones atmosféricas en las comunas de Temuco y Padre las Casas”. 379. Pág.

**EMANUELLI, P., MILLA, F. 2006.** Alternativas de Productos Madereros del Bosque Nativo de Chile. 160 Pág.

**FENGEL, D., WEGENER, G. (1984)** "Wood Chemistry, Ultrastructure Reaction", Walter de Gruyter, Berlín, p.2-220,.

**GAFARO, J., 1995** Acabados para la madera: arte, arquitectura, diseño. Pontificia Universidad Javeriana. 69 Pág.

**GARCIA, E., GARCIA, L. 2003.** La madera y su anatomía: anomalías y defectos, estructura microscópica de coníferas y frondosas, identificación de maderas, descripción de especies y pared celular. 327 Pág

**GOMEZ, A., LOBOS 2005.** El consumo de leña en el sur de Chile: ¿Por qué nos debe preocupar y qué se puede hacer?. Revista Ambiente y Desarrollo. Departamento de Economía, Universidad de Chile. 47Pág.

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

**IGLESIAS, J., MONEO, R. 2001** Actas de los XI Cursos Monográficos sobre el Patrimonio Histórico.440 páginas.

**INFOR.** Secado artificial de la madera aserrada en la Región del Bío-Bío/ Instituto Forestal

**INFOR. (1989)** Eucalyptus. Principios de Silvicultura y manejo. 200 Pág.

**INN. 2003. Norma Chilena Oficial 2827. NCh 2827.** Calibración y uso de Xilohigrómetros

**INN. 2005 Norma Chilena Oficial 2965. NCh 2965.** Combustible Sólido Leña Muestreo e Inspección.

**INN. 2005 Norma Chilena Oficial 2907. NCh 2907.** Combustible Sólido Leña – Requisitos

**INN. 1984. Norma Chilena Oficial 176/1. NCh 176/1.** Madera: Determinación de humedad.

**INN. Norma Chilena NCh 176/1** Madera: Determinación de humedad.

**JUACIDA, R., SIEBERT, H. TORRES, M. 2000** Edad y durabilidad natural de renovales de *Nothofagus obliqua*. Revista Bosques. Universidad Austral de Chile. Vol. 21, N° 1.96 Pág.

**SERRANO, P. 1993.** Uso eficiente de la Leña. Ilustraciones 79 Pág.

**S. E. C. F., Sociedad Española de Ciencias Forestales 2005.** Diccionario Forestal. Mundi-Prensa Libros, 1314 páginas.

**VIGNOTE, S., MARTINEZ, I. 2006.** Tecnología de la Madera. Tercera Edición.MP Madrid. 678 Pág.

WWW.LEÑA.CL

**<http://www.cne.cl/enerchile>.**

## 9. ANEXOS

Anexo 1. Formulario toma de Datos

ID	Leñería	Muestra	Especie	xilohi. 1	Mediciones Xilohigrómetro Delmhorst					Promedio	Xilohi. 2	Mediciones Xilohigrómetro Amesti					Promedio	Horno L-B Humedad Gravimetrica
					Med 1.1	Med 1.2	Med 1.3	Med 1.4	Med 1.5			Med 2.1	Med 2.2	Med 2.3	Med 2.4	Med 2.5		
1	1	1	2	1	27.7	26.2	27.7	33.3	37	30.38	2	21	35				28	32.0
2	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	82.0
3	1	3	2	1	19.6	19.7	19.7	20.5	18	19.5	2	23	20	22	23	24	22.4	22.8
4	1	4	2	1	15.8	17.7	16.4	17.3	15.4	16.52	2	18	21	17	18	17	18.2	17.5
5	1	5	2	1	21.1	19.3	22.1	20.9	18.2	20.32	2	23	22	25	24	21	23	23.0
6	1	6	2	1	30.3	24.9	22.9	30.9	27.6	27.32	2	41	34	26	30	35	33.2	22.8
7	1	7	2	1	20.5	21.5	22	23	22.4	21.88	2	24	26	25	24	28	25.4	26.6
8	1	8	2	1	17.1	17.6	17.7	17.8	18.6	17.76	2	17	19	19	19	20	18.8	22.6
9	1	9	2	1	20.2	28.3	28.8	26	23.8	25.42	2	23	40	31	35	30	31.8	36.3
10	1	10	2	1	18.9	19.2	18.8	19	19.5	19.08	2	21	23	20	21	21	21.2	22.7
11	1	11	2	1	19.2	19.7	21.1	19.6	21.2	20.16	2	22	20	23	21	21	21.4	23.5
12	1	12	2	1	17.9	18.2	18.2	19.4	17.9	18.32	2	18	19	19	18	18	18.4	22.8
13	1	13	2	1	28.4	28.9	28.2	27.2	31	28.74	2	32	33	36	34	35	34	29.2
14	1	14	2	1	21	16.1	19.8	21.1	17.9	19.18	2	22	16	19	22	18	19.4	20.5
15	1	15	2	1	22.8	23.3	20.5	22	22.8	22.28	2	23	23	25	24	26	24.2	27.6
16	1	16	2	1	21.4	20.2	20.6	20.1	21.1	20.68	2	23	23	22	23	22	22.6	24.4
17	1	17	2	1	24.4	23.8	23.1	23.8	21.3	23.28	2	29	27	25	26	25	26.4	24.5
18	1	18	2	1	27.1	34.4	29.8	29	30.8	30.22	2	34	37	35	39	38	36.6	30.6
19	1	19	2	1	14.4	14.7	13.1	13.9	13.1	13.84	2	15	16	15	15	16	15.4	16.4
20	1	20	2	1				33	28	30.5	2	40				32	36	49.1

21	2	1	1	1	19.9	17.2	22.3	19.6	20.1	19.82	2	25	20	24	22	20	22.2	34.2
22	2	2	1	1	17.9	17.5	20.8	21.8	19.9	19.58	2	24	28	25	20	22	23.8	39.5
23	2	3	1	1	16.3	18.7	16.6	13.6	18.8	16.8	2	20	18	19	22	18	19.4	22.6
24	2	4	1	1	19.6	19.1	17.9	18.5	14.2	17.86	2	21	17	22	21	16	19.4	23.9
25	2	5	1	1	23	21.1	18.3	19.3	18	19.94	2	24	22	19	17	23	21	24.8
26	2	6	1	1	14.6	14.3	14.4	15.1	14.2	14.52	2	16	17	16	16	16	16.2	23.2
27	2	7	1	1	20.8	17.2	18.3	16.4	14.7	17.48	2	23	19	23	17	16	19.6	23.8
28	2	8	1	1	16.7	18.4	16.8	18.8	19.3	18	2	20	21	19	21	22	20.6	25.6
29	2	9	1	1	13.6	14.2	14.2	14.2	14.4	14.12	2	16	16	16	16	16	16	20.5
30	2	10	1	1	15.7	15.8	17.1	14.6	15.7	15.78	2	17	18	18	16	17	17.2	22.4
31	2	11	1	1	16.2	16.3	17.2	14.4	15.1	15.84	2	20	18	20	17	16	18.2	19.9
32	2	12	1	1	14.3	14.6	16.5	18.6	17.6	16.32	2	16	16	20	20	20	18.4	20.0
33	2	13	1	1	16.6	16.3	17.2	18.6	17.2	17.18	2	23	19	20	22	19	20.6	23.1
34	2	14	1	1	18.1	17	17.2	17.3	16.7	17.26	2	23	20	19	21	20	20.6	22.5
35	2	15	1	1	17.5	18.1	18.6	19.2	16.8	18.04	2	21	21	21	19	20	20.4	25.9
36	2	16	1	1	14.3	17.4	19.6	16.4	16.5	16.84	2	18	20	23	21	23	21	22.4
37	2	17	1	1	26	24.4	20.8	19.2	16.8	21.44	2	34	33	23	24	22	27.2	27.7
38	2	18	1	1	17.2	18.5	20.8	16.9	18.5	18.38	2	23	24	23	21	22	22.6	24.0
39	2	19	1	1	14.9	18.5	15.8	14.8	19.6	16.72	2	16	21	18	17	21	18.6	22.5
40	2	20	1	1	17.4	16.8	19.3	17.1	16.5	17.42	2	19	19	20	20	19	19.4	23.9
41	3	1	1	1	17.9	20.8	19.2	16.8	19.6	18.86	2	24	20	26	20	25	23	22.4
42	3	2	1	1	21.6	23.9	23.1	18.1	17.8	20.9	2	28	33	30	22	22	27	24.2
43	3	3	1	1	21.7	21.4	21.2	22.4	21.9	21.72	2	24	28	26	29	26	26.6	25.5
44	3	4	1	1		34.3	37	19.2	23	28.375	2				24	25	24.5	34.6
45	3	5	1	1	21.3	21.5	26.2	24.8	25.5	23.86	2	29	28	30	36	34	31.4	32.7
46	3	6	1	1	20	18.8	18	15.5	15.3	17.52	2	24	21	21	17	17	20	21.0
47	3	7	1	1	15.1	14.5	15.8	12.8	14.5	14.54	2	16	16	16	17	16	16.2	22.7
48	3	8	1	1	26.9	25.6	29.9	25.9	29.3	27.52	2	38	39			42	39.7	30.8

49	3	9	1	1	14.8	14.6	15.4	14.6	14.4	14.76	2	16	16	17	16	16	16.2	18.0
50	3	10	1	1	18.8	19.2	19.6	19.6	19.6	19.36	2	22	22	24	23	23	22.8	23.4
51	3	11	1	1	25.4	27.4	37	26	34	29.96	2	33	39		36		36	42.7
52	3	12	1	1	17.7	19.1	19.5	21.1	19.5	19.38	2	22	22	23	25	23	23	24.1
53	3	13	1	1	23.5	32.7	26.9	26.1	26.7	27.18	2	29	41	40	33		35.75	40.8
54	3	14	1	1	23.9	23.2	22.5	22.9	23.9	23.28	2	32	30	32	25	26	29	27.8
55	3	15	1	1	33.3	28.4				30.85	2							50.9
56	3	16	1	1	32.9	27.7	32.6		35	32.05	2	30	37				33.5	40.7
57	3	17	1	1	31.3	26.1	29.2	37.5	26.8	30.18	2		42	41	39	38	40	38.2
58	3	18	1	1	14.7	19.5	32.3	25.8		23.075	2	16	33	42	35		31.5	29.7
59	3	19	1	1		33.3	38.9	34.6	32.4	34.8	2							38.3
60	3	20	1	1	34	32.1	35.9	31.6	30.9	32.9	2				38	35	36.5	31.7
61	4	1	1	1	22.9	26.8	27.5	24.7	23.2	25.02	2	29	32	33	29	23	29.2	32.0
62	4	2	1	1	18.8	18.8	20.7	28.3	18.2	20.96	2	22	21	23	20	20	21.2	24.2
63	4	3	1	1	21.4	23.1	20.9	17.6	16.3	19.86	2	25	28	23	19	18	22.6	23.0
64	4	4	1	1	22.1	22.4	23.6	22.6	21.4	22.42	2	24	25	26	26	25	25.2	26.6
65	4	5	1	1	19.8	21.4	22.1	22.8	20.4	21.3	2	25	25	25	25	22	24.4	26.3
66	4	6	1	1	23.1	24	26.9	26.4	24.3	24.94	2	27	27	31	31	27	28.6	29.7
67	4	7	1	1	24.3	34.1	39	29		31.6	2	32			36		34	60.2
68	4	8	1	1	26.3	26.1	35.8	28.3	25.5	28.4	2	23		33	37	33	31.5	38.4
69	4	9	1	1	17.2	17.6	18.6	17.1	19.6	18.02	2	18	18	19	18	20	18.6	24.7
70	4	10	1	1	17	16.7	18.5	19.9	16.3	17.68	2	20	18	20	22	17	19.4	22.0
71	4	11	1	1	19.8	21.4	24	22.4	22.6	22.04	2	25	25	30	25	26	26.2	28.0
72	4	12	1	1	19.6	19.3	22.4	20.4	21.4	20.62	2	23	21	24	22	23	22.6	26.7
73	4	13	1	1	18.2	24.1	22.5	19.8	21.9	21.3	2	20	30	26	20	24	24	26.9
74	4	14	1	1	12.8	13.4	15.1	14	10.7	13.2	2	16	16	16	16	16	16	25.8
75	4	15	1	1	22.9	24.1	24.9	26	28.7	25.32	2	28	27	32	28	30	29	42.3
76	4	16	1	1	22.3	21.4	22.6	20.8	22.1	21.84	2	26	25	25	24	25	25	27.1

77	4	17	1	1	21.4	25	23.7	22.5	22.8	23.08	2	25	24	35	27	27	27.6	32.6
78	4	18	1	1	23.9	21.7	22.9	25.9	25	23.88	2	31	35	27	34	29	31.2	26.8
79	4	19	1	1	20	19.7	24	20.8	23.7	21.64	2	23	22	29	24	25	24.6	33.4
80	4	20	1	1	15.2	15.4	16.1	15.4	16.4	15.7	2	16	16	17	14	17	16	20.6
81	4	1	2	1	23.7	17.1	17.3	14.1	17.5	17.94	2	22	19	16	28	29	22.8	22.2
82	4	2	2	1	17.3	15.9	15.6	19	16.9	16.94	2	21	17	16	20	16	18	20.4
83	4	3	2	1	24.9	17	19.8	22.6	17.7	20.4	2	32	23	19	30	20	24.8	22.3
84	4	4	2	1	14.9	14.8	13.7	15.1	14.1	14.52	2	17	16	16	17	17	16.6	17.7
85	4	5	2	1	17	14.8	16.1	17.2	15.1	16.04	2	19	17	16	22	17	18.2	19.3
86	4	6	2	1	13.6	17	15	14.1	16.8	15.3	2	16	18	17	16	16	16.6	17.8
87	4	7	2	1	17.2	17.2	16	19	17.2	17.32	2	24	17	17	21	19	19.6	21.6
88	4	8	2	1	17.4	14.1	14.2	16.8	14.6	15.42	2	18	16	16	18	16	16.8	18.4
89	4	9	2	1	15.7	15.8	15.4	16.1	15.4	15.68	2	16	17	17	17	17	16.8	18.9
90	4	10	2	1	17.9	17.1	18.2	24.5	17.5	19.04	2	20	23	21	35	19	23.6	21.4
91	4	11	2	1	15.7	15.3	15.9	15.6	15.9	15.68	2	17	16	18	17	18	17.2	18.0
92	4	12	2	1	14.4	25.2	14.6	15.6	15.6	17.08	2	16	16	16	16	17	16.2	18.2
93	4	13	2	1	15.6	16.1	15.5	15.6	15.8	15.72	2	17	17	17	17	17	17	18.0
94	4	14	2	1	15	15.2	14.8	16.3	15.4	15.34	2	17	16	16	13	17	15.8	18.3
95	4	15	2	1	14.8	15.1	15	14.6	14.8	14.86	2	16	16	16	16	17	16.2	17.6
96	4	16	2	1	14.8	15.5	13.9	15.4	15.3	14.98	2	17	17	16	16	15	16.2	17.6
97	4	17	2	1	14.6	13.9	13.9	11.3	14.2	13.58	2	16	16	16	17	16	16.2	17.2
98	4	18	2	1	14.8	15.4	16.1	15.1	14.7	15.22	2	17	17	17	17	17	17	17.6
99	4	19	2	1	15.1	14	14.8	15.3	15.2	14.88	2	16	16	16	17	17	16.4	17.7
100	4	20	2	1	15.4	18.1	16.6	14.6	15.8	16.1	2	19	16	17	20	17	17.8	19.6
101	5	1	1	1	22.4	17	25.3	24.3	17	21.2	2	22	17	25	23	17	20.8	34.1
102	5	2	1	1	18.3	17.8	18.4	17.1	15.8	17.48	2	18	18	18	16	16	17.2	32.5
103	5	3	1	1	18.5	16.9	19.6	16.3	17.8	17.82	2	17	16	20	16	17	17.2	28.9
104	5	4	1	1	22.6	17.3	26	18.8	21.3	21.2	2	21	22	22	16	18	19.8	38.5

105	5	5	1	1	22.9	23	21.1	17.5	19.3	20.76	2	24	18	20	17	17	19.2	33.6
106	5	6	1	1	15.2	15	17.4	16.3	15.4	15.86	2	16	16	16	16	16	16	28.2
107	5	7	1	1	15.6	16.4	18	15.8	18	16.76	2	16	16	19	15	16	16.4	23.3
108	5	8	1	1	17.2	18.8	22	17.1	16.5	18.32	2	15	18	19	16	16	16.8	27.9
109	5	9	1	1	15	18.1	18.4	15.1	17.8	16.88	2	16	18	16	16	16	16.4	25.0
110	5	10	1	1	15.4	16.7	18.3	16.3	16.9	16.72	2	16	14	19	16	17	16.4	24.4
111	5	11	1	1	15.8	18	25.3	16.7	19.9	19.14	2	16	18	22	16	17	17.8	27.1
112	5	12	1	1	24.7	20.4	24.6	20.4	22.7	22.56	2	22	18	25	18	19	20.4	69.6
113	5	13	1	1	17.7	21.3	27	23	24.7	22.74	2	18	22	29	23	25	23.4	35.1
114	5	14	1	1	17.7	19.1	20.5	18.5	20.6	19.28	2	17	18	20	17	17	17.8	30.7
115	5	15	1	1	24.7	18.1	20.9	19.5	19	20.44	2	20	16	19	16	16	17.4	28.7
116	5	16	1	1	16.2	17.4	17.4	16.3	15	16.46	2	16	16	17	15	15	15.8	27.3
117	5	17	1	1	20.4	18.3	20.4	20.4	20.4	19.98	2	18	18	20	18	18	18.4	29.9
118	5	18	1	1	16.4	16.6	18.8	15	16.2	16.6	2	17	18	18	16	16	17	25.2
119	5	19	1	1	19.7	19.5	22	22.6	20.6	20.88	2	19	22	18	19	20	19.6	32.9
120	5	20	1	1	18.4	12.8	20.4	16.2	17.5	17.06	2	19	17	21	15	16	17.6	29.2