

# INTERRELACIÓN DE LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA MADERA POR DESECACIÓN Y CON MEDIDORES DE HUMEDAD.

Zavala Zavala David \*  
Hernández Cortés Moisés R. \*\*

## RESUMEN.

La determinación del contenido de humedad (CH) de la madera es esencial para el control del proceso de secado y para optimizar su utilización en los productos con base en madera.

Un método preciso pero lento es el de desecación en estufa, y otro rápido y sencillo, pero con cierto margen de error, es por medio de medidores eléctricos.

Con la finalidad de determinar la diferencia entre estos dos métodos, se compararon distintos CH en la madera de:

*Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz.

*Quercus laurina* Humb. et Bonpl.

*Alnus jorullensis* H B K.

Para llevar a cabo lo anterior se usaron muestras secadas al aire libre bajo techo, a las cuales se determinó su CH cada tercer día con un medidor eléctrico de martillo y por desecación a través del peso seco calculado (P S C), determinado por medio de secciones de humedad de cada muestra.

La interrelación de los datos de los dos sistemas de medición del CH, se ajustó a través de modelos de regresión, que fueron:

Para el encino:	$CH_m = 2.63 + 0.84 (CH_r)$ con $r^2 = 0.79$ .
Para el pino:	$CH_m = 2.85 + 0.71 (CH_r)$ con $r^2 = 0.78$ .
Para el aile:	$CH_m = 4.74 + 0.55 (CH_r)$ con $r^2 = 0.84$ .

\* Investigador Titular. Campo Experimental Coyoacán. CIR-Centro. INIFAP-SARH.

\*\* Ex-alumno de la U A C H.

Con estos modelos se derivaron las tablas de corrección del C H para el medidor, por medio del C H real determinado por desecación en un rango de 7 a 25%.

En el caso del encino se presentó una menor diferencia en los C H del medidor y por desecación, que para el rango citado, fue de -1.51 a 1.37%; para el pino la diferencia entre los dos métodos fue de -0.82 a 4.4% y para el aile de -1.59 a 6.51%.

Debido a que no fue posible acondicionar las muestras de madera a C H constantes en un cuarto de acondicionamiento, la variación en el C H entre muestras fue muy acentuada, reflejándose en lecturas muy dispersas en ambos sistemas de medición.

Se sugiere que las tablas de corrección se utilicen únicamente como indicadores y para el tipo de medidor empleado en este trabajo.

Palabras clave: Tecnología de la madera, secado de madera, pino, encino, aile.

## ABSTRACT.

Wood's moisture content (M C) determination is essential for the control of the drying process and for its optimum utilization in most of the wood-based products.

A precise method but slow is trough the using drying stove for wood samples and another one faster and easier, but with a marginal error, is with electric meters.

In order to determine the difference between these two methods, the data of different M C of three species are compared:

*Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz.

*Quercus laurina* Humb. et Bonpl.

*Alnus jorullensis* H B K.

The data were derived from samples dried under shed at environmental conditions, measuring their M C every other day, with an electric meter and by the drying stove method through the oven dry weight of sections, from each sampled board.

The data from both measuring systems of M C, were adjusted through linear regression models for each species.

For oak:  $CH_m = 2.63 + 0.84 (CH_r)$  with  $r^2 = 0.79$ .  
For pine:  $CH_m = 2.85 + 0.71 (CH_r)$  with  $r^2 = 0.78$ .  
For alder:  $CH_m = 4.74 + 0.55 (CH_r)$  with  $r^2 = 0.84$ .

The difference in M C determined by the electric meter and by the drying stove method for oak was small, from -1.51 to 1.37% for the range specified previously; for pine the difference for the two methods was from -0.82 to 4.4%, and for alder from -1.59 to 6.51%.

Since the wood samples were not brought up to a constant M C in a conditioning room, a large variation of M C of the samples was observed for both measuring systems.

Therefore, it is suggested that the correction factors are used only as indicators and for the type of moisture meter specified in this study.

Key words: Wood technology, wood drying, pine, oak, alder.

## INTRODUCCIÓN.

La determinación del C H de la madera es una práctica común en procesos que demandan un control adecuado de su humedad, para lograr optimizar la calidad de los productos que se elaboran con ella.

Generalmente en la industria forestal, cuando se determina el contenido de humedad de la madera, se hace en forma directa por medio de medidores de humedad.

Sin embargo, la lectura emitida por estos aparatos únicamente se aproxima al C H real de la madera, dependiendo de los rangos de humedad, del tipo de medidor empleado, de las especies maderables y de las condiciones ambientales, como temperatura y humedad relativa.

Para contrarrestar esta deficiencia de la determinación del C H con los medidores, se utilizan factores de corrección por especie o grupos de especies, derivados del C H real determinado por métodos de laboratorio, los cuales generalmente se ordenan para su manejo en tablas de corrección.

Estos factores se desconocen para las especies mexicanas debido a la falta de trabajos de investigación sobre el tema.

Los medidores, por su facilidad de operación, son una herramienta práctica en relación al método tradicional de desecación utilizado en el laboratorio, que aun cuando es

relativamente simple, por el tiempo y equipo que se requiere, no es factible aplicarlo en la industria.

Sin embargo, con la interrelación de estos dos procedimientos se puede lograr:

- Una herramienta económica, efectiva y de fácil manejo u operación que genere rápidamente una lectura del C H.
- Una precisión aceptable dentro del rango de C H deseado.

## **OBJETIVO.**

Este trabajo se realizó con la finalidad de determinar la interrelación del C H de la madera con medidores y por desecación, en tres especies de los géneros más comunes de los bosques de clima templado y frío: pino, aile y encino; considerando los siguientes objetivos:

1. Determinar la variación en la determinación del contenido de humedad con medidores y por desecación en horno, de muestras de madera de las tres especies señaladas.
2. Derivar modelos de regresión para correlacionar los C H determinados por los dos métodos anteriores y generar tablas de corrección de los C H determinados con medidores, con base en los C H reales obtenidos por desecación.

## **ANTECEDENTES.**

Para la determinación del C H de la madera se emplean diferentes métodos entre los cuales destacan los siguientes:<sup>1, 2</sup>.

Desecación en estufa.  
Desecación con sustancias higroscópicas.  
Desecación por vacío.  
Destilación.  
Procedimientos calorimétricos.  
Métodos eléctricos.  
Microondas.  
Radicación nuclear.

<sup>1</sup> Kollmann, F. P. and Côté, W. Jr. 1968. Principles of wood science and technology.

<sup>2</sup> Troughton, E. G. and Clarke, R. M. 1987. "Development of a new method to measure moisture content in unseasoned veneer and lumber". pp. 13-19.

Entre los métodos más importantes sobresale el de desecación en horno y el de destilación. El primero se utiliza para calibrar otros métodos y consiste en relacionar el peso del agua de una muestra de madera, con su peso anhidro expresado en porcentaje.

El peso anhidro de la madera se determina por deshidratación de una muestra de madera en un horno a una temperatura de  $100 \pm 2$  °C, hasta alcanzar un peso constante o anhidro.

Debido a que los pesos de las muestras utilizadas para la determinación de la pérdida de humedad son medidos directamente, este método es el más preciso y conocido hasta ahora<sup>3</sup>.

Para maderas que contienen compuestos orgánicos volátiles o tratadas con preservadores, el método por destilación puede ser más exacto que el de secado en horno. En este método, el agua se remueve de la muestra de madera en un sistema cerrado y se colecta y mide directamente; algunos materiales orgánicos presentes en la madera se disuelven de la muestra por un solvente orgánico durante el proceso de extracción del agua.

Por lo tanto, se considera como el método más exacto, en comparación con el de desecación, para algunas especies que contienen materiales volátiles diferentes al agua (James *op.cit.*).

En algunos casos, en maderas tratadas con preservadores derivados del petróleo (creosota, pentaclorofenol), o con CCA-C, las lecturas de los medidores no se alteran por la presencia de estos compuestos<sup>4</sup>.

## **Medidores para determinar el contenido de humedad de la madera.**

La industria forestal requiere de métodos seguros, eficientes, rápidos, no destructivos y económicos para determinar el C H de la madera, lo cual se logra a través de los medidores de humedad electrónicos<sup>5</sup>.

A la fecha se han desarrollado tres tipos de medidores eléctricos de humedad, basados en la relación del contenido de humedad de la madera y su propiedad dieléctrica:

1. El medidor de conductancia, denominado tipo resistencia, utiliza la relación entre el C H y la corriente eléctrica conducida directamente, la conductancia se incrementa con el C H y es el recíproco de la resistencia.

2. El medidor de pérdida de poder, que utiliza la relación entre el C H y el factor de pérdida dieléctrica de la madera.

<sup>3</sup> James, W. L. 1988. Electric moisture meters for wood.

<sup>4</sup> Smith, B. W. 1992. "Determining moisture content in eastern redcedar". pp. 67-69.

<sup>5</sup> A S T M. 1988. "Direct moisture content measurement of wood and wood-base materials". pp. 4 442-4 492.

3. El medidor de tipo capacitancia, que utiliza la relación entre el C H y la constante dieléctrica de la madera.

Los dos últimos utilizan radio-frecuencia (R F) como principio de operación. (James *op.cit.*).

Respecto al medidor de conductancia, Salomon<sup>6</sup> indica que hay una relación aproximada entre el C H y la resistencia, en el rango de 7% a 25%.

Respecto a los medidores de pérdida de poder y de capacitancia, considera que la R F es la medida del factor de pérdida de poder cuando la corriente de R F penetra la madera. La pérdida de poder es la proporción de poder retenido por la madera, durante el ciclo de oscilación de corriente, del total almacenado durante dicho ciclo.

### **Medidor tipo conductancia (resistencia).**

Se considera que el medidor tipo resistencia con 2 agujas y electrodos aislados, es el más común para determinar el C H de la madera aserrada<sup>7</sup>.

Los medidores de humedad tipo conductancia portátiles, operan con baterías en un cierto rango de mediciones en ohms. Algunos aparatos cuentan con escalas directas de lectura, calibradas en porcentaje de C H; en otros, se requieren tablas de corrección para diferentes especies.

Para la medición de la conductancia eléctrica en una muestra de madera, a través del flujo eléctrico, se requiere que los dos electrodos de aguja del medidor penetren en la madera, para asegurar un buen contacto entre los electrodos y la madera. (James *op.cit.*).

La calibración de los medidores de humedad tipo conductancia se realiza con el flujo de la corriente paralelo al grano o hilo de la madera. Cuando se utilizan medidores de este tipo, los electrodos se deben orientar con el flujo de la corriente paralela al grano y las lecturas deberán efectuarse después de que los electrodos hayan penetrado en la madera (James *Ibidem*).

La lectura de los medidores de humedad tipo conductancia no es confiable arriba del punto de saturación de la fibra (P S F), por la poca resistencia de la madera al paso de la corriente.

Abajo del 7% de C H, la conductancia es muy baja (alta resistencia de la madera al paso de

<sup>6</sup> Salomon, M. 1971. *Portable electric moisture meters for quality control.*

<sup>7</sup> Panshin, A. J. and Garrahan, P. 1986. "New temperature correction factors for the portable resistant-type moisture meter". pp. 28-30.

la corriente) y se dificulta su medición, por lo tanto, el medidor tipo resistencia es útil solamente en el rango de 7% a 25% de contenido de humedad y cuando se aplican los factores de corrección correspondientes<sup>8,9</sup>, James, *op.cit.*

### **Factores que afectan las lecturas de los medidores de humedad.**

Además del efecto de la humedad en la madera para la determinación del CH con medidores, otros factores que afectan la exactitud de las lecturas de los medidores son:

- Las características de las especies.
- El peso específico.
- La distribución de la humedad en la madera.
- El espesor.
- La temperatura de la madera.
- La penetración de los electrodos en la madera.
- La dirección del grano.

Respecto al efecto de la temperatura, al aumentarse ésta, la conductancia eléctrica de la madera también se incrementa.

Para contenidos de humedad mayores de 10%, la conductividad de la madera aumenta aproximadamente al doble por cada incremento en la temperatura de 10 °C (James *op.cit.*).

En relación a la orientación del hilo de la madera, la conductancia paralela al grano es prácticamente el doble que en el sentido perpendicular. Las proporciones de conductancia perpendicular al grano, en relación a la longitudinal, son de 0.055 para el eje radial y de 0.50 para el eje tangencial, (James *idem*).

### **Factores de corrección para medidores de humedad.**

Hay diversos trabajos sobre tablas de corrección para especies y por temperaturas, para los CH determinandos con medidores, entre los cuales destacan el de Salomon, *op.cit.*, quien analizó las características de los tres tipos de medidores de humedad más comúnmente utilizados en Columbia Británica, Canadá:

- El Delmhorst (R M M) del tipo de resistencia.
- El medidor Lauck sentry de alta frecuencia, del tipo de capacitancia.
- El medidor de alta frecuencia de pérdida de poder.

<sup>8</sup> Pfaff, F. 1974. Electric moisture meter correction factors for eastern canadian species.

<sup>9</sup> Holmes, S. and Ferrer, J. 1989. "Lumber moisture content and temperature changes with kiln conditions". pp. 67-70.

El autor concluye que los medidores del tipo de resistencia y los de pérdida de poder, presentan una exactitud similar en la determinación del C H, lo que corroboró a través del método de desecación en horno.

También fueron similares en precisión, con intervalos de tolerancia de aproximación + 1.5% para *Lodgepole pine* y + 3% para *White spruce*.

En relación a la diferencia de las lecturas entre los dos métodos, por desecación y con medidores eléctricos, Salomon, *Ibidem*, determinó que el promedio de las lecturas sin corregir del medidor tipo resistencia, subestima el C H determinado por desecación en horno de *White spruce*, aproximadamente 2.3% en 14% de C H y de 4% en 18.5% de C H.

Sin embargo, cuando se utiliza la tabla de corrección de especies, esta diferencia se reduce en 0.2% en 14% de C H y de 1.5% en 18.5% de C H. Con la finalidad de disminuir la diferencia en la determinación del C H entre los dos métodos, Salomon<sup>10</sup>, desarrolló tablas de corrección del C H para algunas especies del oeste de Canadá.

Dichas tablas fueron desarrolladas para el medidor estándar de humedad tipo resistencia, Delmhorst, calibrado con la especie *Douglas-fir*. Los datos de corrección del C H por especies los determinó por diferencia de los C H del medidor y los C H determinados por desecación.

Cech y Pfaff<sup>11</sup>, determinaron los factores de corrección del C H con medidores del tipo de resistencia en un rango de 7% a 21% de C H para algunas especies del este de Canadá.

A través de modelos de regresión lineal, derivaron las correcciones para las lecturas de los C H con medidores y las determinadas por desecación. Encontraron discrepancias con los factores de corrección del fabricante del medidor, de 1.8% a 7.7% en el rango de 7% a 21% de C H en *Eastern spruce* y de 5% en *Stika*.

Pfaff, *op. cit.*, reporta que a un C H específico, la resistencia de la madera a la conductividad eléctrica varía con la especie, probablemente debido a las diferencias en estructura y concentración electrolítica.

Analiza los factores de corrección para la misma especie, considerando su origen y concluye que los factores de corrección para diferentes regiones de las especies *White pine* y *White spruce* son similares.

Sin embargo, para las especies de *Balsam fir*, los factores de corrección difieren

<sup>10</sup> Salomon, M. 1972. "Resistance moisture meter correction factors for western softwood species". pp. 46-47.

<sup>11</sup> Cech, M. Y. and Pfaff, F. 1973. Electric moisture meter correction factors for some species.



significativamente entre la madera de la región marítima y la del valle de Ottawa en Canadá; sugiere un estudio adicional, para determinar las causas de esta variación, tanto en un mismo árbol, como entre árboles y sitios de crecimiento diferentes.

Milota<sup>12</sup> determinó los factores de corrección para Jelutong con el medidor de resistencia y el dieléctrico, reportando una discrepancia de 2.5% a 2.8% de C H real más alto que el C H determinado con el medidor de resistencia.

Respecto a las desventajas de las tablas de corrección, Bramhall y Salomon<sup>13</sup> señalan que el principal inconveniente de su utilización es lo tedioso de su manejo, sobre todo cuando se requiere interpolar diferentes valores de C H.

### **Diferencias experimentales entre los trabajos analizados.**

Existen diferencias en cuanto al número y dimensiones de las muestras o probetas utilizadas en los diferentes trabajos analizados, de 3" a 5" de ancho, de 3" a 9" de largo, y de 6 a 124 probetas por especie.

Salomon, *ops.cit.* y Milota, *Ibidem*, utilizaron probetas de madera seca de 6% a 8% de C H y después las humedecieron colocándolas en cuartos de acondicionamiento a C H E predefinidos, para determinar los C H en ascenso.

Cech y Pfaff *op.cit.*, y Pfaff *idem*, utilizaron madera recién aserrada para generar las probetas, las cuales colocaron húmedas en cámaras de acondicionamiento, para obtener C H E en descenso de 22% hasta 8%, con intervalos de 2% en cada fase.

Respecto al tipo de medidor, Salomon *ops.cit.* utilizó medidores con cuatro electrodos sin aislante en toda la longitud.

Cech y Pfaff *op.cit.*, Pfaff *Ibidem* y Milota *idem*, utilizaron medidores con 2 electrodos y aislados en su longitud, excepto en la punta del electrodo.

Estas diferencias representaron discrepancias en las lecturas de los medidores en la misma especie, como lo reporta Pfaff *op.cit.*, quien determinó una diferencia de C H de 1.6% para C H de 19% menor que la determinada con 4 electrodos y de 0.5% de C H menor para la temperatura de 73 °F utilizada por Pfaff al momento de realizar la determinación de los C H en relación a la utilizada por Salomon *ops.cit.* de 80 °F.

<sup>12</sup> Milota, R. M. 1991. "Correction factors for moisture-meter measurements of jelutong *Dyera costulata*", pp. 49-50.

<sup>13</sup> Bramhall, G. and Salomon, M. 1972. Combined species-temperature correction tables for moisture meters.

Respecto a los modelos de regresión, prácticamente todos mostraron una correlación muy alta entre los CH determinados por los dos métodos, de desecación y con los medidores de humedad, con coeficientes de determinación de 0.96% a 0.99%

## MATERIALES Y MÉTODOS.

Este trabajo se realizó con el apoyo y colaboración del departamento de Productos Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), que proporcionó los medios para el transporte de la trocería, aserrío de la madera, preparación de las muestras y equipo de laboratorio para los ensayos, los cuales se describen a continuación.

### Materiales.

Para la realización de este trabajo, se seleccionaron tres especies de clima templado y frío de los géneros más comunes en México:

*Quercus laurina* Hum et Bonpl.  
*Pinus oocarpa* var. *ochoterenai* Mtz.  
*Alnus jorullensis* H B K.

Estas especies se localizaron y recolectaron en la comunidad de San Pedro el Alto, en Zimatlán, Oaxaca.

De cada especie se seleccionaron seis árboles, para generar trozas de 2.62 m de longitud, que se procesaron en el aserradero de la División de Ciencias Forestales de la UACH, en la forma tradicional para generar madera con cortes típicos y bastardos, con dimensiones de las tablas de 2.54 cm (4/4") de espesor, anchos de 15 cm a 30.48 cm (6 a 12"), con intervalos de 5 cm (2") y de 2.44 m (8') de longitud.

De la madera aserrada que se obtuvo, se seleccionaron 30 tablas por especie, con base en el mínimo de defectos, principalmente nudos.

De estas 30 tablas, se utilizaron 10 para generar las muestras que se emplearon para determinar la interrelación del CH por medio de medidores y por desecación.

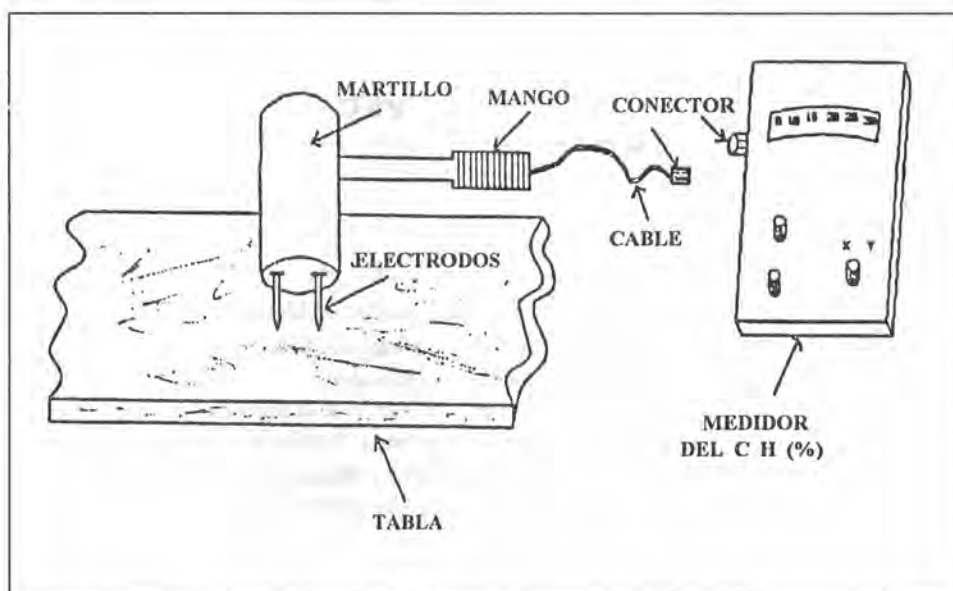
Las otras 20 tablas se usaron para evaluar el comportamiento del secado al aire libre de la madera de las especies indicadas.

Para la desecación de las secciones de humedad con las que se determinó el CH de las

muestras, se utilizó un horno con termostato que permitió controlar la temperatura a 100 °C, con una variación de ( $\pm 2$  °C).

Para la determinación de los pesos, tanto de las muestras como de las secciones de humedad, se empleó una balanza mecánica con precisión de un gramo y una balanza electrónica con precisión de centésima de gramo.

Para la determinación de los CH con medidor, se utilizó un xilohigrómetro de martillo con dos electrodos, marca Irvington-Moore, serie MM-3.



**Figura N° 1.** Determinación del contenido de humedad de la madera con medidor de martillo.

## **Métodos.**

Cada una de las 10 tablas seleccionadas se dimensionó a la mitad para generar dos muestras, obteniendo en la parte media de las tablas una sección de 1" de ancho, que se utilizó para determinar el CH de las muestras, con el siguiente procedimiento:

Las secciones se pesaron inmediatamente, para determinar su peso inicial y posteriormente se secaron en un horno, a una temperatura de  $100 \pm 2$  °C, hasta obtener un peso constante.

Ambos datos se usaron para determinar el CH de cada sección y el peso seco calculado de cada muestra, por medio de las siguientes relaciones:

$$CH_s = \frac{P_i - p_f}{P_f} \times 100$$

$$PSC = \frac{P - I \cdot (100)}{100 + CHS}$$

$$CH_m = \frac{PI_m - PSC}{PSC} \times 100$$

donde:

CH es el contenido de humedad de las secciones.

Pi es el peso de la madera húmeda de la sección.

Pf es el peso anhidro de la sección.

PSC es el peso seco calculado de la muestra.

PI el peso inicial de la muestra al momento de determinar el PSC.

CHm es el contenido de humedad de la muestra.

PIm peso inicial de la muestra al momento de determinar el CHm<sup>14</sup>.

Las muestras se pesaron cada tercer día, para determinar su contenido de humedad con la relación indicada anteriormente.

En el momento en que los contenidos de humedad se aproximaron al 30%, se inició la toma de lecturas con el medidor de humedad, haciendo penetrar las agujas en la muestra aproximadamente 10 mm, en forma paralela a la dirección del grano, con la finalidad de obtener un flujo normal de la corriente eléctrica del higrómetro.

Las mediciones se suspendieron cuando las muestras adquirieron un peso constante y lecturas del medidor estables, indicadores de que la madera se estabilizó con el contenido de humedad en equilibrio (CHE) del medio ambiente donde se realizó el trabajo.

<sup>14</sup> Simpson, T. W. 1991. Dry kiln operator's manual.

En la fase final de experimento, se volvieron a dimensionar a la mitad todas las muestras utilizadas, para obtener una sección de humedad de 1" de ancho, la cual se empleó para determinar, por el método de desecación, el C H de las secciones y posteriormente el de las muestras, con el método descrito anteriormente.

Estos datos se utilizaron para comparar los pesos secos calculados, obtenidos al inicio del proceso de secado, con los que se generaron al final de experimento.

Esta nueva determinación del C H se realizó con la finalidad de corroborar los datos iniciales, así como para localizar y corregir posibles errores del proceso.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

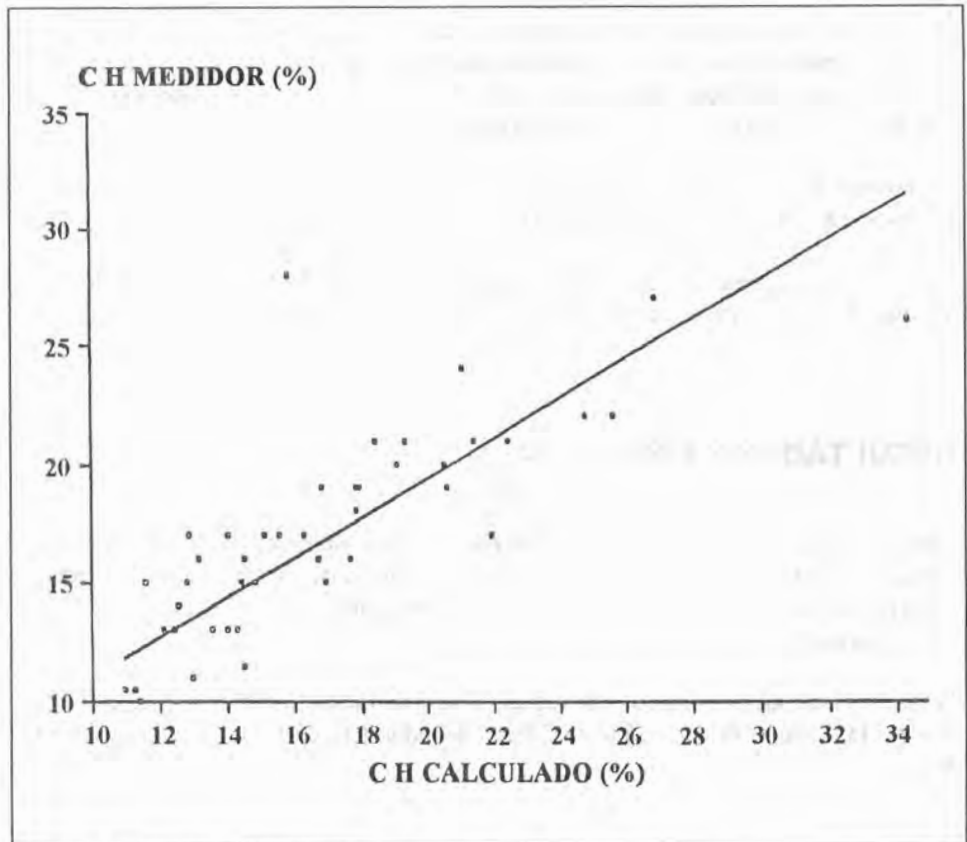
Para analizar la interrelación de los datos obtenidos por desecación y con el medidor, se elaboraron gráficas de los C H de las tres especies estudiadas, y con base en su distribución o tendencia, se derivaron modelos de regresión para correlacionar los valores de C H de ambos métodos.

Posteriormente, con los modelos de regresión se elaboraron las tablas de corrección para generar los factores de corrección de C H del medidor, a través de los C H calculados por desecación.

### **Interrelación del C H con el medidor y por desecación en la madera de encino.**

De la distribución de los C H determinados con el medidor y por desecación, *vid., infra*, figura 2, se observa que ambos parámetros muestran una relación lineal ascendente.

Dicha relación coincide con lo reportado en otros trabajos similares sobre la determinación de la relación de los C H de ambos métodos (Salomon *ops.cit.*, Cech y Pfaff *Ibidem*, Pfaff *idem* y Milota *id*).



**Figura N° 2.** Distribución y correlación de los C H en encino.

Del análisis de la interrelación de las observaciones de los dos tipos de C H, el modelo de regresión que mejor relacionó ambos parámetros fue:

$$C H m = 2.63 + 0.84 (C H r)$$

en donde:

**C H m** es el C H determinado con el medidor.  
**C H r** es el C H real de la madera;  
con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.79$ .

Con los datos ajustados por medio del modelo indicado, se determinaron los C H para el medidor, con base en los C H r de la madera. Esta relación se determinó para los rangos de humedad del 7% al 25%.

C H m (%)	C H r (%)	FACTOR DE CORRECCIÓN
8.51	7	-1.51
9.35	8	-1.35
10.19	9	-1.19
11.03	10	-1.03
11.87	11	-0.87
12.71	12	-0.71
13.55	13	-0.55
14.39	14	-0.39
15.23	15	-0.23
16.07	16	-0.07
16.91	17	0.09
17.75	18	0.25
18.59	19	0.41
19.43	20	0.57
20.27	21	0.73
21.11	22	0.89
21.95	23	1.05
22.79	24	1.21
23.63	25	1.37

CHm = Contenido de humedad con medidor.

CHr = Contenido de humedad real.

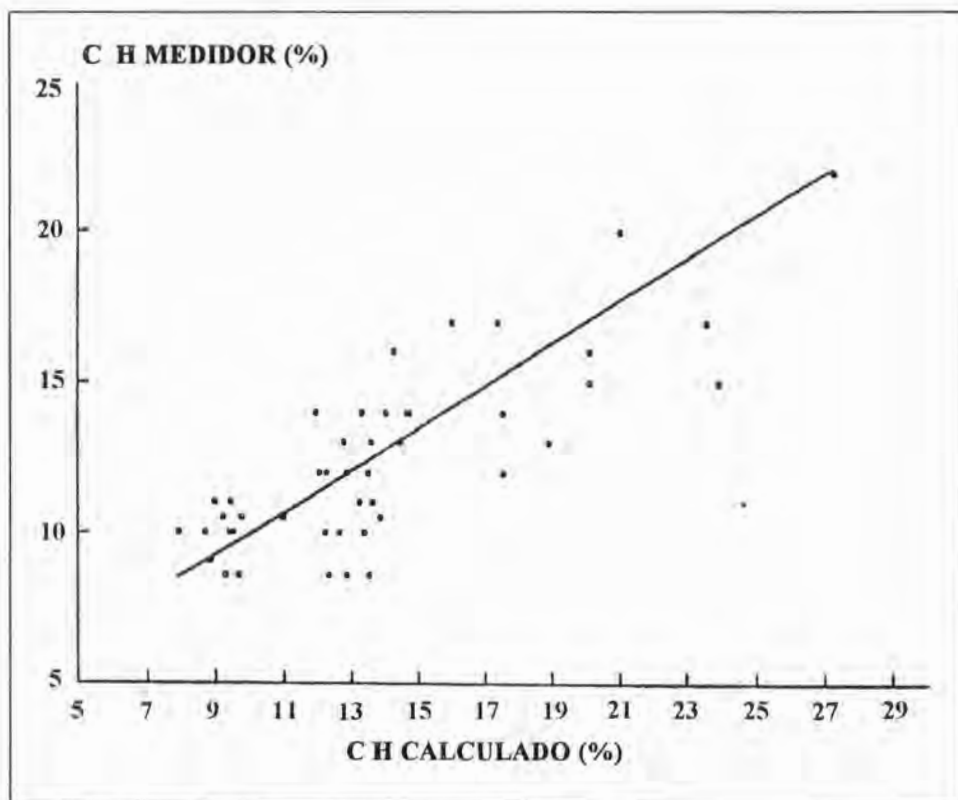
**Cuadro N° 1.** Contenido de humedad y factor de corrección en medidores eléctricos para madera aserrada de encino

En la tabla de corrección del CH, la primera columna indica la lectura del CHm del medidor. La tercera columna es el factor de corrección empleado, que se determinó por

la diferencia entre los dos C H analizados (el medidor y los reales).

### Interrelación del C H con el medidor y por desecación en la madera de pino.

De la distribución de las observaciones de los C H determinados con el medidor y por desecación, *vid.*, figura 3, se observa que ambos parámetros muestran, al igual que en el caso anterior, una relación lineal ascendente.



**Figura N° 3.** Distribución y correlación de los C H en pino.

Del análisis de la interrelación de las observaciones de los dos tipos de C H, el modelo de regresión que mejor relacionó ambos parámetros fue:

$$\text{C H m} = 2.85 + 0.71 (\text{C H r})$$

con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.78$ .



Como en el caso anterior, con los datos ajustados a través del modelo indicado, se determinaron los  $CH_m$  para el medidor con base en los  $CH_r$  de la madera.

Esta relación se determinó para los rangos de humedad del 7% al 25%, como se muestra en el cuadro N° 2.

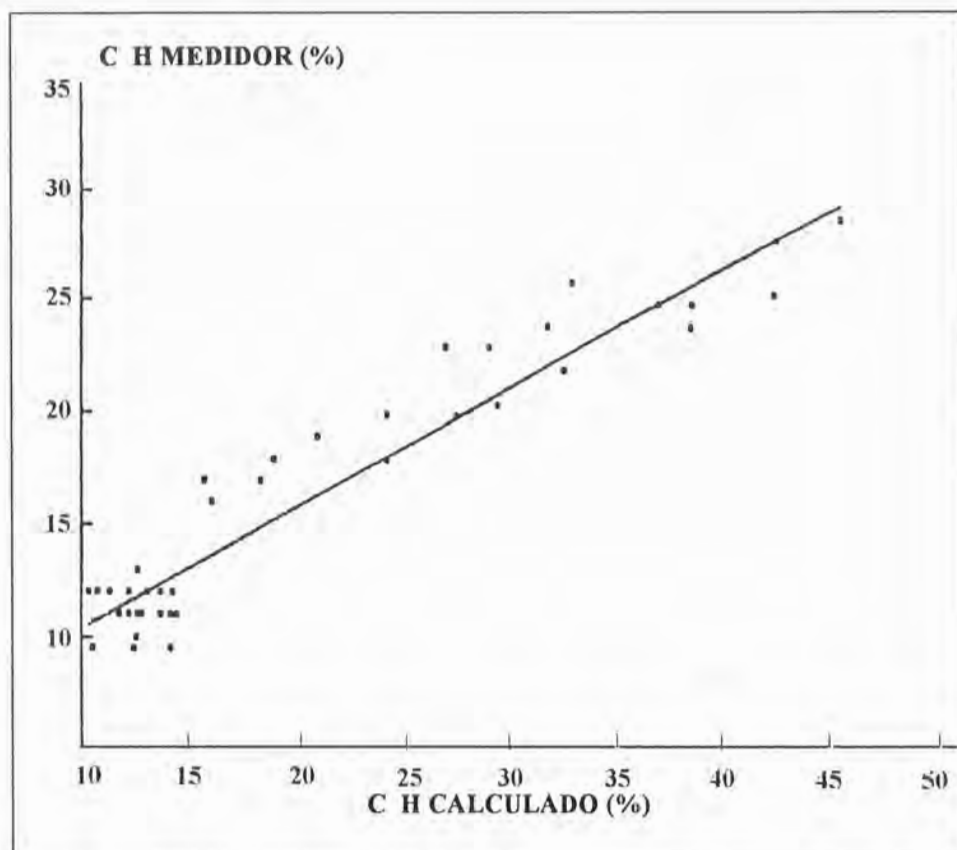
$CH_m$ (%)	$CH_r$ (%)	FACTOR DE CORRECCIÓN
7.82	7	-0.82
8.53	8	-0.53
9.24	9	-0.24
9.95	10	0.05
10.66	11	0.34
11.37	12	0.63
12.08	13	0.92
12.79	14	1.21
13.50	15	1.50
14.21	16	1.79
14.92	17	2.08
15.63	18	2.37
16.34	19	2.66
17.05	20	2.95
17.76	21	3.24
18.47	22	3.53
19.18	23	3.82
19.89	24	4.11
20.60	25	4.40

$CH_m$  = Contenido de humedad con medidor.  $CH_r$  = Contenido de humedad real.

**Cuadro N° 2.** Contenido de humedad y factores de corrección en medidores eléctricos para madera aserrada de pino

### Interrelación del C H con el medidor y por desecación en la madera de aile.

De la distribución de las observaciones de los C H determinados con el medidor y por desecación, se observa que ambos parámetros muestran, al igual que en los dos casos anteriores, una relación lineal ascendente.



**Figura N° 4.** Distribución y correlación de los C H en aile.

Del análisis de la interrelación de las observaciones de los dos tipos de C H, el modelo de regresión que mejor relacionó ambos parámetros fué:

$$\text{C H m} = 4.74 + 0.55 (\text{C H r})$$

con un coeficiente de determinación  $r^2 = 0.84$ .

Este modelo fue el que mejor ajustó las observaciones de ambos métodos.

Al igual que en los dos casos anteriores con los datos ajustados a través del modelo indicado, se determinaron los CH m para el medidor con base en los CH r de la madera. Esta relación se determinó para los rangos de humedad del 7% al 25%.

CH m (%)	CH r (%)	FACTOR DE CORRECCIÓN
8.59	7	-1.59
9.14	8	-1.14
9.69	9	-0.69
10.24	10	-0.24
10.79	11	0.21
11.34	12	0.66
11.89	13	1.11
12.44	14	1.56
12.99	15	2.01
13.54	16	2.46
14.09	17	2.91
14.64	18	3.36
15.19	19	3.81
15.74	20	4.26
16.29	21	4.71
16.84	22	5.16
17.39	23	5.61
17.94	24	6.06
18.49	25	6.51

CH m = Contenido de humedad con medidor. CH r = Contenido de humedad real.

**Cuadro N° 3.** Contenido de humedad y factores de corrección en medidores eléctricos para madera aserrada de aile.

## **Comparación de este trabajo con otros similares.**

Coincidiendo con los trabajos ya citados de los autores: Salomon, Cech y Pfaff, Pfaff y Milota, se aprecia en los cuadros N° 1, 2 y 3 que, conforme se separan las lecturas del medidor del rango de 7% a 21%, la diferencia entre los dos C H se incrementa, generando lecturas poco confiables de los medidores fuera del rango indicado.

A diferencia de otros trabajos, los modelos de regresión mostraron una menor relación entre los dos C H, como lo indican los coeficientes de determinación ( $r^2$ ).

Se considera que en esta menor correlación, como lo señala Pfaff *op.cit.*, el tipo de medidor empleado y el procedimiento experimental fueron decisivos en los resultados generados.

En los trabajos citados, todas las probetas se acondicionaron a un determinado C H E, por el tiempo que fuera necesario para lograr un peso constante.

En este trabajo no fue posible ajustar las probetas a un mismo C H E, las lecturas se realizaron cada tercer día, indistintamente de lograr un C H E definido, lo cual causó también una mayor variación de los C H m del medidor.

Además, el C H r se determinó en forma indirecta con el P S C, mientras que, en los trabajos citados se determinó directamente con las probetas al momento de la lectura del C H con los medidores.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Se concluye que los C H determinados con el medidor eléctrico difieren de los calculados por el método de desecación, y que la baja correlación de los C H se pudo deber, en parte, al tipo de higrómetro utilizado (de martillo).

Los datos generados tienen limitantes debido a que se utilizó un solo tipo de medidor, que seguramente no es el más común en la industria maderera.

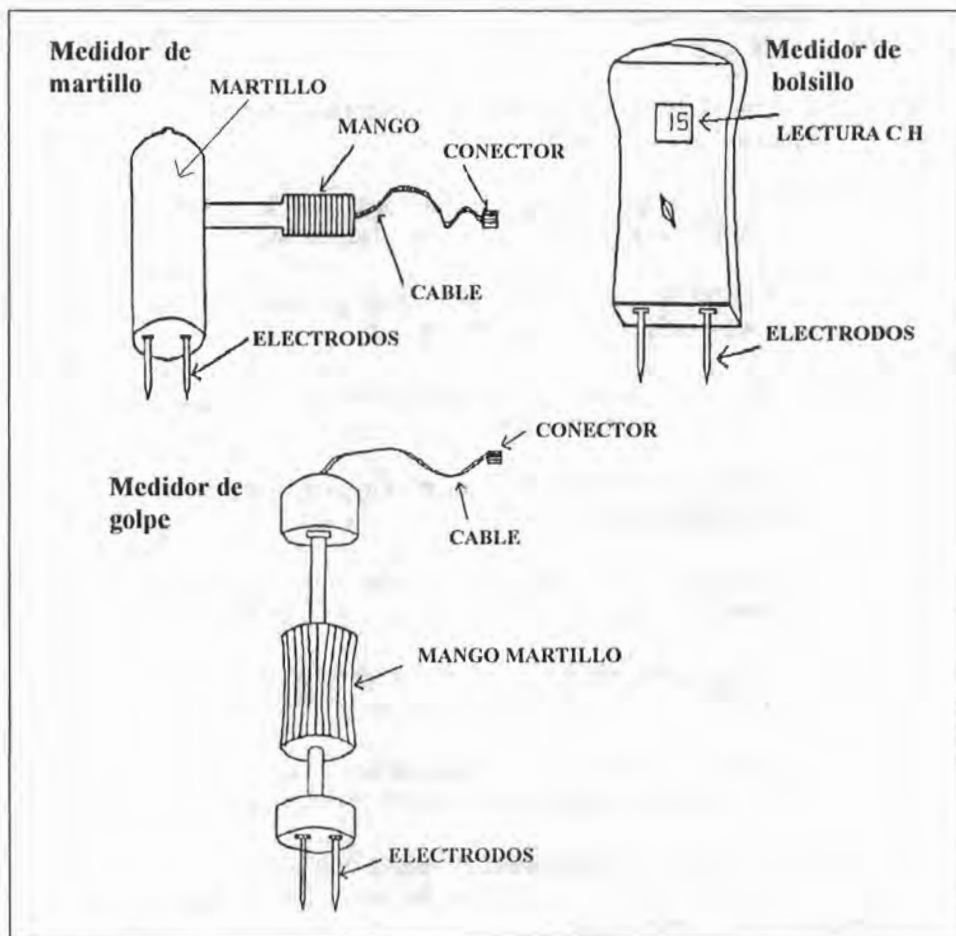
Se presentaron problemas de penetración y contacto de los electrodos con la madera, que posiblemente originaron la baja correlación de los C H.

Debido a que no se acondicionaron las probetas a un determinado C H E, ni tampoco se realizaron los ajustes correspondientes al efecto de la temperatura de la madera en los medidores de humedad; se sugiere que los factores de corrección se empleen exclusivamente para medidores de martillo y a una temperatura ambiente de 25 °C a 30 °C.

Se recomienda que para futuros trabajos, se acondicionen las muestras o probetas, utilizando una temperatura constante de 70 °F en cuartos de acondicionamiento a C H en forma descendente, de húmedo a seco; en rangos entre cada fase de 3%.

Los C H por desecación se deberán determinar en el momento de realizar la lectura del C H con el medidor.

Con la finalidad de generar información de utilidad para la industria forestal del país, se recomienda que se deriven tablas de corrección para los otros dos tipos de medidores: de golpe y de bolsillo.



**Figura N° 5.** Medidores de humedad para madera aserrada.

## BIBLIOGRAFÍA.

- American Society for Testing and Materials. 1988. "Direct moisture content measurement of wood and wood-base materials". ASTM Standard D. Philadelphia, Pa. U S A. pp. 4 442- 4 492
- Bramhall, G. and Salomon, M. 1972. Combined species-temperature correction tables for moisture meters. Information report VP-X-103. Western forest products laboratory. Vancouver, B.C. Canada. 12 p.
- Cech, M. Y. and Pfaff, F. 1973. Electric moisture meter correction factors for some species. Information report OP.X.55. Eastern forest products laboratory, Ottawa, Ont. Canada. 18 p.
- Holmes, S. and Ferrer, J. 1989. "Lumber moisture content and temperature changes with kiln conditions". Forest prod. J. 39 (4). pp. 67-70.
- James, W. L. 1988. Electric moisture meters for wood. Gen Tech. Rep. FPL.GRT-6 U S D A. Forest Service. Forest products lab. Madison. WI. 17 p.
- Kollmann, F. P. and Côté W. Jr. 1968. Principles of wood science and technology. I Solid wood. Springer-Verlag. New York. 592 p.
- Milota, R. M. 1991. "Correction factors for moisture-meter measurements of jelutong (*Dyera costulata*)". Forest prod. J. 41(2). pp. 49-50.
- Milota, R. M. and Stephen L. Q. 1990. Influence of kiln temperature on the performance of handheld moisture meters. Forest prod. J. 40(11/12). pp. 35-38.
- Panshin, A. J. and Garrahan, P. 1986. "New temperature correction factors for the portable resistant-type moisture meter". Forest prod. J. 16(3). pp. 28-30.
- Pfaff, F. 1974. Electric moisture meter correction factors for eastern canadian species. Report POX89E. Eastern forest products laboratory, Ottawa, Ont. Canada. 45 p.
- Richards, J. M. 1990. "Effect of CCA-C wood preservative on moisture content readings by the electronic resistance-type moisture meter". Fores prod. J. 40(2). pp. 29-33.
- Salomon, M. 1971. Portable electric moisture meters for quality control. Information report VP-X-80. Canadian Forestry Service. Forest products laboratory. Vancouver, B.C. Canada. 36 p.

- Salomon, M. 1972. "Resistance moisture meter correction factors for western softwood species". Forest prod. J. 41(2). pp. 46-47.
- Simpson, T.W. 1991. Dry kiln operator's manual. U S D A. Forest Service. FPL. Madison, Wis. 274 p.
- Smith, B.W. 1992. "Determining moisture content in eastern redcedar". Forest prod. J. 42(7/8). pp. 67-69.
- Troughton, E. G. and Clarke, R.M. 1987. "Development of a new method to measure moisture content in unseasoned veneer and lumber". Forest prod. J. 37(1). pp. 13-19.