

## SECADO SOLAR DE TABLAS DE PINO EN MONTEVIDEO (34° 50' 13" LAT. S)

C. Mantero<sup>(1)</sup>, J. Burgueño<sup>(2)</sup> y R. Buzzo<sup>(1)</sup>

Recibido: 30 de abril de 1999. Aceptado: 28 de mayo de 1999.

### RESUMEN

Con el fin de estudiar la factibilidad de uso de un secadero solar de tipo semi-invernadero en Sayago, Montevideo (34° 50' 13" Lat. Sur), se construyó un modelo en el que se secó una estiba de tablas de *Pinus taeda* de 30 mm de espesor durante la primavera de 1996. Se compararon los resultados con una estiba similar secada a la intemperie. Se estudió la evolución de la humedad relativa, temperatura y contenido de humedad de equilibrio, en ambas situaciones. Se estudió la homogeneidad de secado de las estibas y se discuten las posibles causas de variación. Los resultados indican que la eficiencia del secado solar es superior a la del secado a la intemperie. Se llegó a una humedad final de 6,8% en 56 días mientras en el mismo período, la estiba secada a la intemperie llegó a 14,8%.

**PALABRAS CLAVE:** secadero, energía solar, humedad, madera.

### SUMMARY

## PINE BOARD SEASONING IN A SOLAR KILN IN MONTEVIDEO (34° 50' 13" LAT. S)

In order to study use feasibility of a semi-greenhouse solar kiln in Sayago, Montevideo (34° 50' 13" Lat. S) a model was constructed and a stack of green *Pinus taeda* 25 mm -thick- boards was dried during spring 1996. A matching air-dried stack was used to compare results. Relative humidity, temperature and equilibrium moisture content, were studied both inside and outside the kiln. Drying homogeneity and posible sources of variation are discussed. Results indicate that solar kiln efficiency is good. The solar kiln stack took 56 days to dry from green to 6,8% moisture content while the air-dried stack reached 14,8% in the same time.

**KEY WORDS:** dry kiln, energy, solar, moisture content, lumber.

### INTRODUCCION

El presente trabajo, es parte de uno mayor que se lleva adelante en el marco del Convenio entre la Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE) y la Facultad de Agronomía, con el fin de estudiar la factibili-

dad de uso del secado solar de maderas en la industria local. Los objetivos del estudio son: 1) la obtención de humedades finales adecuadas a distintos usos finales o procesos intermedios en maderas redondas y escuadradas, 2) la obtención de calidades de secado aceptables en maderas redondas y escuadradas, 3) el ajuste de técnicas y modelos que maximizan la eficiencia del secado solar para las condiciones locales.

En esta instancia, se evalúa durante la primavera de 1996, un secadero solar de tipo semi-invernadero con colector tipo caja, para el secado de tablas verdes de pino de 25 mm de espesor. Se lo compara con el secado a la intemperie de una estiba de tablas de características similares.

(1) Area Forestal, Facultad de Agronomía

(2) Unidad de Estadística y Cómputo, Facultad de Agronomía.

Correspondencia: C. Mantero, Area Forestal, Facultad de Agronomía, Av. Garzón 780 CP 12900 Montevideo - Uruguay.  
Fax: 0598 2 3093004. e-mail: cmantero@fagro.edu.uy

## MATERIALES Y METODOS

### Descripción del secadero

Se trata de un secadero de tipo semi-invernadero según la clasificación usada por Alvarez y Fernández (1989), debido a que posee material transparente sobre los colectores solares pero el resto del mismo está construido con otros materiales. En este caso el techo consiste en chapas de fibra de vidrio dispuestas con una inclinación de 34° hacia el norte, y una superficie de captación de 24,46 m<sup>2</sup>.

El resto de la estructura está constituida por isopaneles autoestructurales que consisten en un núcleo de espuma de poliuretano como aislante térmico y doble cobertura de chapa galvanizada, travesaños de madera de sección rectangular, y un armazón de madera donde van colocados los ventiladores dividiendo el recinto en dos sectores. La base del secadero es de hormigón aislado con espuma de poliuretano. Todo el interior está pintado de negro.

Se trata entonces de un secadero con colector tipo caja, según la clasificación de Lumley y Choong (1978). Este tipo de secadero aumenta la superficie de absorción en más de 100% con igual cantidad de material transparente, frente a la de colectores tipo plato. Como no se han desarrollado colectores perfectos siempre existe reflexión de rayos solares, por lo que los secaderos con colectores tipo caja permiten la posibilidad de absorber parte de los rayos reflejados. Por otro lado, estos diseños requieren una mayor inversión y son más complicados de operar (Lumley y Choong, 1979; Burke, E. J., 1981).

La circulación del aire es forzada por medio de dos ventiladores no reversibles de 0,6 m de diámetro, accionados por un motor de 1,5 CV girando a 1400 r.p.m., dando así velocidades del aire de aproximadamente 3 ms<sup>-1</sup>. La humedad relativa dentro del secadero puede manejarse parcialmente por medio de 3 ventilas operadas manualmente, ubicadas en la pared sur.

### Conducción del secado

El 30 de setiembre de 1996, se armó una estiba en el interior del secadero y otra fuera de éste, ambas con similares características. Se utilizaron tablas de *Pinus taeda* en estado verde, cuyas dimensiones eran de 15,5 x 3 x 250 cm. Las mismas se dispusieron en 25 camadas de 7 tablas cada una, con separación entre las tablas de cada camada a la intemperie y sin separación dentro del secadero. Las dimensiones de la estiba interna fueron de 110 cm de ancho, 150 cm de altura, y 250 cm de largo, mientras que las del exterior fueron de 130 x 150 x 250 cm. El número total de tablas en cada estiba fue de 175 (2,034 m<sup>3</sup> as.).

Entre camada y camada se dispusieron 6 separadores de 120 cm de largo, 5 cm de ancho y 3 cm de espesor, fabricados con la misma madera y con similares condiciones de humedad. La separación entre la base de la estiba y el suelo se hizo mediante pilares de hormigón, travesaños y largueros de madera. Esta separación fue de 40 cm en el inte-

rior del secadero, y de 60 cm a la intemperie, a los efectos de favorecer el barrido del aire húmedo. Como techo de la estiba exterior, se colocó una camada de tablas sin separación entre sí sobre la última camada a secar.

Las ventilas se mantuvieron abiertas durante todo el proceso salvo en los días de lluvia. Los ventiladores funcionaron todos los días de 9:00 a 21:00 horas.

### Control de humedad de la carga

Para el seguimiento de la humedad de la carga se eligieron 10 tablas al azar en cada estiba, 5 de cada costado. De cada una de ellas se obtuvo una muestra de 50 cm de longitud. A partir de cada muestra, se confeccionaron dos probetas, resultando finalmente muestras de 45 cm de largo. Las probetas fueron utilizadas para calcular el contenido de humedad inicial por el método de pesadas sucesivas y calcular el peso anhidro teórico de las muestras, con estos datos se siguió luego el proceso de secado de la estiba, pesando semanalmente las muestras para calcular el contenido de humedad.

Los extremos de las muestras se recubrieron con pintura a los efectos de evitar un secado excesivamente rápido. El proceso finalizó cuando la humedad promedio de las muestras dentro del secadero fue de alrededor de 7%, lo cual ocurrió el 27 de noviembre de 1996. Finalizado el secado, se realizó una medición del contenido de humedad por medio de un xilohigrómetro de resistencia, para visualizar diferencias en la distribución de la humedad en la carga. Para esto se eligieron tres tablas de cada extremo y tres de la parte central a tres alturas diferentes. De cada una se tomaron tres datos lo que hace un total de 27 medidas por estiba.

### Control de factores del secado

Para el seguimiento de la humedad relativa y la temperatura dentro del secadero se utilizó un termohigrógrafo Cole Parmer modelo 37250-10, con cambio semanal de bandas ubicado a la entrada del aire a la estiba. La temperatura se registró diariamente por medio de un par de termocuplas, que a su vez sirvieron para medir la temperatura del aire a la entrada y a la salida de la estiba. La velocidad del viento se determinó con un velómetro Alnor, en las secciones por donde circulaba el aire entre las tablas. Esto permitió realizar las modificaciones necesarias para lograr una distribución más homogénea de la velocidad del aire a través de la estiba.

Como medida de humedad relativa y temperatura a la intemperie, se utilizaron los datos de los boletines de la Estación Agrometeorológica de Sayago, proporcionados por la Cátedra de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía, ubicada 200 m al oeste del secadero. También se dispuso de las bandas semanales del termohigrógrafo de dicha estación.

### Variables registradas

Humedad de la madera en las muestras testigo, temperatura y humedad relativa del aire dentro y fuera del seca-

dero, velocidad del viento dentro del secadero y humedad final de 27 tablas por estiba discriminadas por su posición

### Evaluación del ensayo

Se evaluaron los siguientes aspectos: humedad final alcanzada, comparación de curvas de secado, tasa de secado, homogeneidad de distribución de la humedad en las estibas y la influencia de la posición (superior, media, inferior) y orientación (norte o sur) de las tablas en la estiba. Dentro del secadero, la posición norte corresponde a las tablas más cercanas al ventilador y la sur a las más alejadas

La calidad del secado por presencia de defectos fue evaluada visualmente y no se apreciaron diferencias en este aspecto entre los dos tipos de secado por lo que no se presentan resultados.

### Análisis estadístico

Se utilizaron medidas descriptivas y gráficos para la caracterización de las condiciones de secado.

Se comparó la varianza de la humedad final obtenida al aire con la obtenida en secadero, a través de la prueba de Bartlett (Steel y Torrie, 1980). Se construyeron intervalos de confianza para la media de humedad en secadero y al aire.

A través del análisis de la varianza se estudió la humedad de las tablas en función de la forma de secado, de la posición y dirección de las tablas en la estiba y sus interacciones dobles. Se consideró un modelo de parcela divididas en el tiempo, y se utilizó el nivel de significancia con la corrección de Huynh-Feldt (Rencher, 1995); la comparación de tasas de secado semanal se analizó transformando las variables. Dada la interacción fecha por modo de secado, se realizó un análisis de varianza para cada fecha de medida.

La tasa de secado semanal, se analizó por medio de contrastes.

Para los análisis se utilizó el sistema *Statistical Analysis Systems* (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513 U.S.A.).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Evolución de la temperatura

La temperatura dentro del secadero fue siempre mayor que a la intemperie y las diferencias se hicieron cada vez mayores a medida que avanzaba el proceso (Gráfica 1). La menor diferencia fue de 2°C y la máxima de 25°C.

Estas diferencias coinciden aproximadamente con las reportadas por Gough (1981) aunque su trabajo fue realizado a menor latitud (27° Lat. S) y sus diferencias máximas fueron en pleno verano.

Las menores diferencias al comienzo del secado coinciden con el enfriamiento del aire provocado por la evaporación del agua libre presente al instalar la carga.

El proceso comienza a ser eficiente, mayor tasa de seca-

do, dentro del secadero cuando las diferencias en temperatura entre este y la intemperie se hacen importantes. Esto lleva a pensar que debería ingresarse la madera con contenidos de humedad cercanos al punto de saturación de las fibras, con un período previo de secado a la intemperie. Esta observación coincide con las realizadas por Palmer y Kleinschmidt (1992).

### Evolución de la humedad relativa

La elevada humedad relativa registrada dentro del secadero en los primeros veinte días del secado (Gráfica 2) se debe al elevado aporte de vapor de agua por parte de la madera. La humedad relativa dentro del secadero comienza a descender alrededor del 23 de octubre (cuarta semana), cuando la temperatura se hace sensiblemente superior respecto a la intemperie. Como se aprecia en la figura 6, en esta fecha la madera presenta alrededor de 27% de humedad, lo que indica que al agua libre había sido totalmente removida. A partir de la fecha mencionada, si bien se da una reducción en la humedad relativa en los dos ambientes, la misma es siempre menor en el secadero.

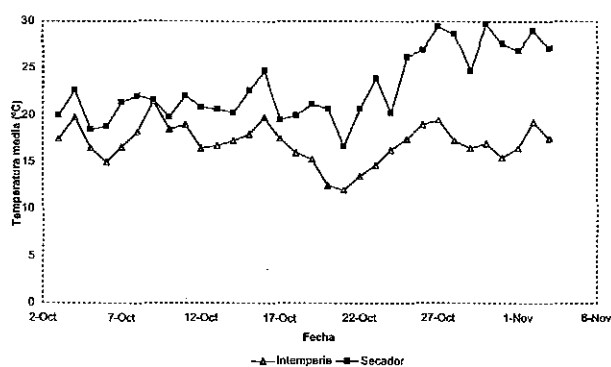


Figura 1. Evolución de la temperatura media diaria en secadero e intemperie.

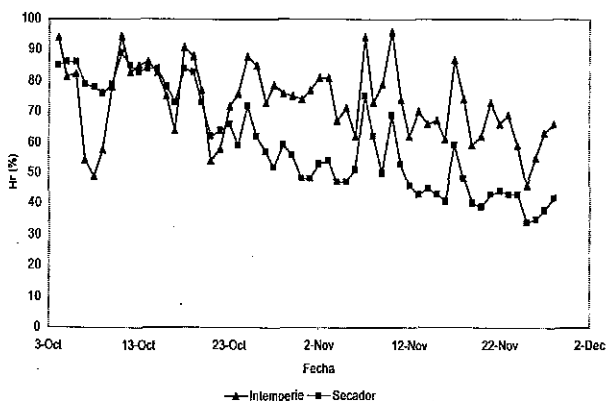


Figura 2. Evolución de la humedad relativa media diaria en secadero e intemperie

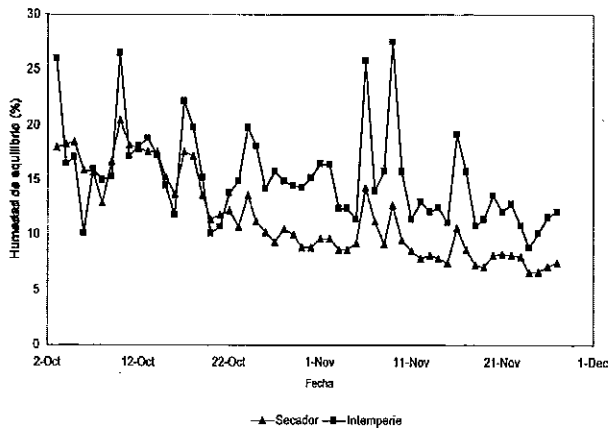


Figura 3. Evolución del contenido de humedad de equilibrio en el período de secado

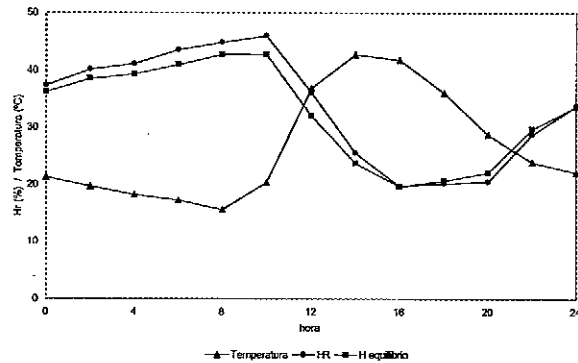


Figura 5. Evolución del contenido de humedad de equilibrio, humedad relativa y temperatura en el día 53 de secado

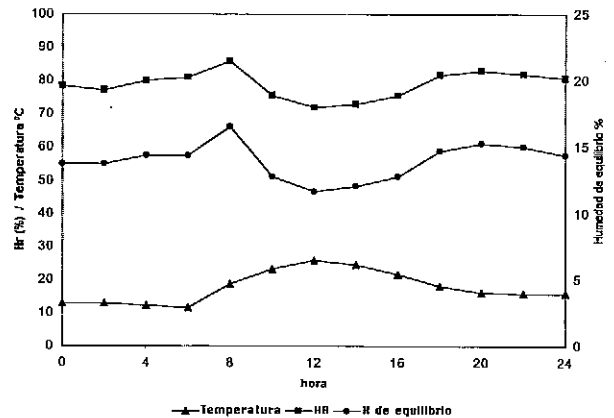


Figura 4. Evolución diaria de humedad de equilibrio, humedad relativa y temperatura en el día 3 de secado

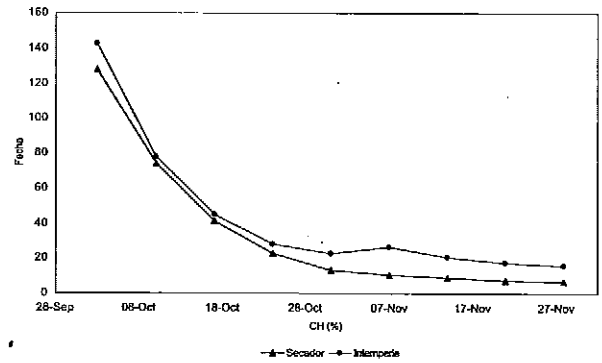


Figura 6. Evolución del contenido de humedad de tablas en secador e intemperie

### Evolución del contenido de humedad de equilibrio

La humedad de equilibrio higroscópico, calculada a partir de las temperaturas y humedades relativas medias diarias a lo largo del período de secado, tuvo la evolución que se observa en la figura 3. Durante las primeras etapas del secado, los contenidos de humedad de equilibrio dentro del secadero pueden ser mayores que los externos por las razones apuntadas para humedad relativa y temperatura. Recién después del 22 de octubre la humedad de equilibrio en el secadero se hace marcadamente inferior a la de la intemperie. La menor humedad de equilibrio registrada al interior del secadero fue de 6,6% mientras que el menor registro a la intemperie fue de 8,8%. La mayor diferencia entre el exterior y el interior fue de 14,8 puntos porcentuales. Las mayores diferencias se dieron siempre en días de lluvia o de muy alta humedad relativa en el ambiente externo.

Evolución diaria de temperatura, humedad relativa y contenido de humedad de equilibrio (CHE) dentro del secadero

Las condiciones de secado dentro del secador, varían con las condiciones climáticas y con la humedad de la carga. En las figuras 4 y 5 se pueden observar las variaciones que se producen en períodos de 24 horas para 2 días diferentes en el proceso de secado. La figura 4 corresponde al tercer día de secado, cuando la humedad de la carga era aún alta. La figura 5 ilustra lo que sucede al final del proceso, cuando la madera está llegando al contenido de humedad objetivo.

Durante las etapas iniciales del secado, el contenido de humedad de equilibrio dentro del secadero fluctuó entre el 20 y 13%. Esta variación entre las horas de mayor y menor (de 10.00 a 17.00 h) contenido de humedad de equilibrio es la que explica la disminución del gradiente de humedad dentro de las piezas de madera durante la noche; que se da por rehidratación de la parte exterior de las piezas disminuyendo las tensiones de secado. La bibliografía resalta como ventaja del secado solar la disminución de los defectos de secado (Plumpton, 1979; Palmer y Kleinschmidt, 1992). Las condiciones de secado pueden hacerse aún más suaves cerrando las ventilas durante este período, lo cual aumentaría el conte-

nido de humedad de equilibrio en caso de secar maderas susceptibles al agrietado y encostramiento.

Las condiciones de secado más severas, se dieron en esta etapa al mediodía y se mantuvieron relativamente constantes entre las 10:00 y las 16:00 horas.

En las etapas finales del proceso, el contenido de humedad de equilibrio varió entre el 9% y el 3,9%. Si bien el rango de variación no es mucho menor que en las etapas iniciales, el contenido de humedad de equilibrio nunca superó el entorno del 10%. Las condiciones más severas de secado se produjeron alrededor de las 16:00 horas, lo cual coincide con lo reportado por Palmer y Kleinschmidt (1992).

El período de secado más intenso fue entre las 12:00 y las 21:30 horas. La repetición diaria de estos ciclos de condiciones severas de secado, explica la humedad final alcanzada en el secadero, ya que sólo dos días el contenido medio diario de humedad de equilibrio fue tan bajo como para justificarla.

### Comparación de las curvas de secado

Como indican las curvas de secado al aire libre y secadero (Figura 6), este último logra una menor humedad final y un secado más rápido.

Las precipitaciones tienen una mayor influencia sobre la humedad de la madera a la intemperie. Esto se ve claramente en el dato de humedad al aire del 6 noviembre, que representa un incremento en la misma respecto a la medida anterior, y que se debió a la ocurrencia de una precipitación de 71,8 mm en dicha fecha. En el secadero, en cambio, si bien se produce un aumento de la humedad relativa, el mismo carece de importancia puesto que se revierte rápidamente. Esta variación en la humedad relativa y en la temperatura se traduce en un aumento de la humedad de equilibrio (Figura 3), aunque mucho más abrupto a la intemperie que en el secadero.

Análisis de las fuentes de variación: tipo de secado, orientación, posición, y sus interacciones.

Por medio de contrastes (Tabla 1) se compararon las tasas semanales de secado; éstas no presentaron diferencias significativas entre tratamientos en las primeras tres semanas. Sin embargo esto merece algunos comentarios adicionales. La varianza en la humedad es mayor cuando las tablas están muy húmedas y disminuye cuando estas se secan. Esto sugiere que el número de diez muestras de humedad puede haber sido insuficiente para encontrar diferencias significativas en las tasas de secado de las primeras semanas. En la cuarta semana habría diferencias para un nivel de significancia de 0,12, pero a partir de la quinta semana y hasta el final, las tasas de secado son diferentes para un nivel de significancia de 0,01.

La tasa de secado en la primer semana fue mayor a la intemperie, mientras que de la segunda a la quinta fue mayor en el secadero. En las tres últimas semanas, la tasa de secado a la intemperie es mayor que en el secadero. Esto se debe en parte, a que la humedad ganada por la lluvia del 6

de noviembre es fácilmente extraíble, y en parte a que cuanto más agua contiene una madera, menos retenida se encuentra.

Del análisis de varianza (Tabla 2, Figuras 7 y 8) surgen los siguientes comentarios:

- En la fecha de inicio del proceso existen diferencias significativas entre la humedad de las muestras del secadero e intemperie. Como se aprecia en la Tabla 3 (Figuras 7 y 8), las muestras del exterior presentaban un contenido de humedad medio superior. En las tres semanas siguientes no existen diferencias, y a partir del 30 de octubre se observan diferencias muy significativas, que se evidencian en menores contenidos de humedad en el secadero.

- Desde la segunda semana y hasta el final del secado a la intemperie, hay diferencias significativas entre las direcciones norte y sur. Durante este período las muestras ubicadas al sur estuvieron promedialmente más húmedas que las del norte.

- Hubo interacción entre tipo de secado y dirección en las primeras dos semanas y desde el 6 de noviembre hasta el final, aunque en el análisis global no se encontraron diferencias al 10%.

**Tabla 1.** Diferencias en tasa de secado por semana

Semana de secado	Tasa de secado semanal Secadero	Tasa de secado semanal Intemperie	Diferencia	Nivel de significancia	Desvío del error
1-2	65,0	53,6	11,4	0,2468	18,101
2-3	32,1	33,1	-1,00	0,8307	9,938
3-4	17,1	18,6	-1,50	0,5370	5,152
4-5	4,9	9,5	-4,60	0,1194	5,284
5-6	-3,3	2,4	-5,70	0,0002	0,925
6,7	5,6	1,7	3,94	0,0001	0,390
7-8	3,1	1,5	1,64	0,0001	0,183
8-9	1,7	0,9	0,83	0,0004	0,160

**Tabla 2.** Niveles de significancia para contenido de humedad según efecto del tipo de secado (SEC), dirección (DIR) y posición (POS), por fecha de medida y para la media del período.

	SEC	DIR	SEC*DIR	POS	SEC*POS	DIR*POS
oct. 2	0,092	0,871	0,016	0,054	0,320	0,242
oct. 9	0,731	0,001	0,047	0,092	0,056	0,594
oct. 16	0,627	0,003	0,621	0,349	0,233	0,539
oct. 23	0,241	0,040	0,654	0,612	0,306	0,626
oct. 30	0,001	0,014	0,128	0,357	0,074	0,443
nov. 6	0,001	0,010	0,003	0,051	0,015	0,161
nov. 13	0,001	0,030	0,009	0,185	0,026	0,243
nov. 20	0,001	0,044	0,007	0,224	0,018	0,179
nov. 27	0,001	0,051	0,008	0,263	0,019	0,155
Global	0,008	0,004	0,112	0,088	0,074	0,653

**Tabla 3.** Evolución del contenido medio de humedad.

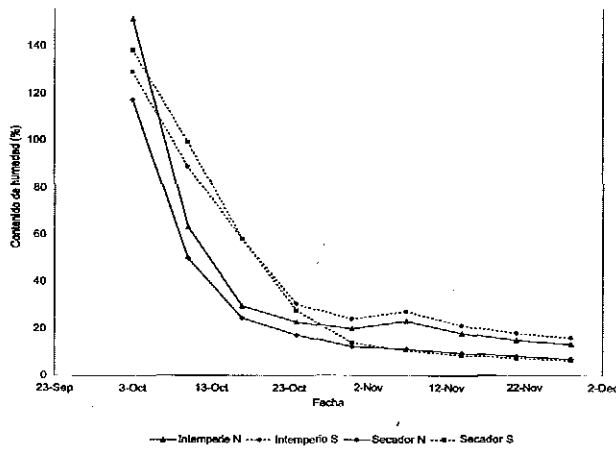
Fecha	Intemperie	Secadero
2/10	140.5	128.0
9/10	76.0	74.4
16/10	43.9	41.3
23/10	26.9	22.7
30/10	21.9	13.2
6/11	25.1	10.8
13/11	19.6	9.1
20/11	16.5	7.7
27/11	14.8	6.8

Excepto en la primer medida, la humedad de las muestras del norte a la intemperie fue siempre menor que la del sur. Esto se explica por la acción directa de los rayos solares sobre esta parte de la estiba. En el secadero, desde el comienzo del proceso hasta el 30 de octubre, las muestras más cercanas a los ventiladores tuvieron un secado mucho más rápido. Esto se debió a la acción de los ventiladores, que por encima del

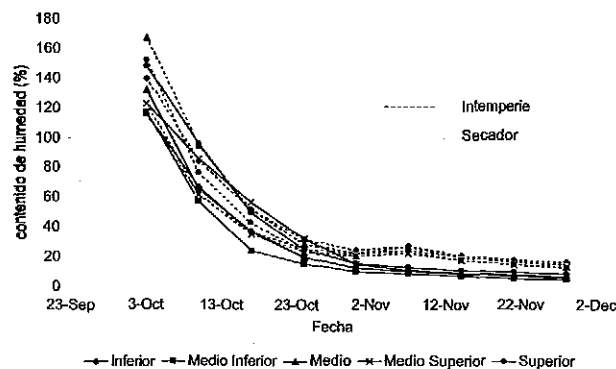
punto de saturación de las fibras es muy importante para la remoción de la humedad. A partir del 6 de noviembre, las muestras más alejadas de los ventiladores son las más secas, y esto no se puede explicar sino por características intrínsecas de las muestras involucradas o por diferencias ambientales dentro del secadero, que no se detectaron.

Existen diferencias en la humedad entre posiciones (superior, superior-media, media, inferior-media e inferior) en tres semanas y a nivel global, pero son apenas significativas y no presentan una tendencia muy clara.

- Hubo interacción del tipo de secado con la posición a partir del 30 de octubre. En el secadero la humedad fue siempre menor en tres posiciones inferiores. Cabe aclarar sin embargo, que la posición superior que finalizó más húmeda, fue la de mayor humedad inicial. Por otro lado, la muestra de la posición media que seguía en humedad inicial a la superior, terminó el secado siendo la segunda tabla más seca. Esto puede explicarse por la distribución del viento que era de mayor intensidad y continuidad en las tres posiciones inferiores (Tabla 4). En la intemperie la muestra superior fue la de menor humedad en la mayor parte del secado, a pesar de haber comenzado con mayor contenido de humedad. La posición inferior, mantuvo la mayor humedad durante casi todo el proceso.



**Figura 7.** Evolución del contenido de humedad en tablas en secador e intemperie según dirección



**Figura 8.** Evolución del contenido de humedad en tablas en secador e intemperie según posición

**Tabla 4.** Distribución de la velocidad del viento ( $\text{ms}^{-1}$ ) para distintas posiciones en vista frontal de la estiba.

Posición	Media					
superior	0,32	0,68	0,96	0,56	0,70	0,64
sup.media	0,46	1,72	0,14	0,36	1,14	0,76
media	1,34	2,64	1,52	1,10	1,86	1,69
inf-media	1,86	2,96	2,60	2,92	2,48	2,56
inferior	1,44	2,90	1,74	2,45	0,12	1,73
Media	1.08	2.18	1.39	1.48	1.26	1.48

La interacción entre la dirección y la posición de las muestras no mostró diferencias significativas en promedio de humedades.

Contenido y variación de humedad al final del secado.

La variabilidad en el contenido de humedad al final del secado resultó no significativa entre sistemas de secado ( $P=0,4873$ ), con desvíos estándar de 1,619 y 2,057 para secador e intemperie respectivamente. A la intemperie el contenido de humedad resultó de 13,1-16,5% contra 5,1-8,5% en secador, con una confianza de 99%.

La variabilidad en el secado de la madera se encuentra dentro de los parámetros aceptados internacionalmente. Las diferencias entre tablas no superan en más de 2 puntos porcentuales el valor medio.

### CONCLUSIONES

- El modelo de secadero solar es efectivo para secar tablas de pino de 30 mm de espesor en primavera en las condiciones del presente trabajo.

- A partir de madera verde, con un contenido de humedad superior al 100%, se llegó en 56 días a un contenido de humedad final de 6,8% dentro del secadero mientras que en el secado a la intemperie se llegó a una humedad final de 14,8% en el mismo período.

- La humedad final lograda a la intemperie en todo el período, se logró dentro del secadero al final de la cuarta semana, de modo que las tablas se podrían haber secado a una humedad final de 14,8% en la mitad del tiempo necesario para hacerlo a la intemperie. Esta humedad final está muy cerca de la humedad de equilibrio higroscópica teórica para los meses considerados que es del 14,3% (Tuset y Durán 1986).

- El secado solar es poco eficiente secando maderas con contenidos de humedad superiores al punto de saturación de las fibras. Las mayores tasas de secado se obtuvieron por debajo de este punto. También es lento el proceso por debajo del 10% de contenido de humedad, aunque la tendencia a la pérdida de humedad se mantiene hasta el final.

- Se pueden lograr contenidos de humedad finales de 7% o menores con el secador solar; lo cual es de importancia para productos con estos requerimientos.

- La homogeneidad del secado solar es aceptable, la variación de la humedad de la carga es de menos de 2 puntos porcentuales de humedad respecto a la media.

- Debe lograrse una mejor conducción del aire a través de la estiba, o disminuir la altura de esta, para reducir una de las fuentes de variación identificadas.

- La inversión del flujo de aire, puede ayudar a disminuir la variación debida a la orientación, pero esto implica un cambio en el diseño del secadero.

- Se debe evaluar el secado en otras estaciones del año, para lograr conocer la eficiencia del secadero en las distintas condiciones posibles.

- Los datos acumulados en este trabajo y otros futuros, pueden ser utilizados para modelar el proceso y establecer pautas de secado para diferentes especies y escuadrías en distintas épocas del año.

## AGRADECIMIENTOS

A Fernando Durán, maestro entrañable y gestor de la idea. Parte del equipamiento del secadero y del instrumen-

tal de control fueron proporcionados por el Instituto de la Construcción de Edificios de la Facultad de Arquitectura.

## BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, H. Y FERNANDEZ-GOLFIN, J. 1989. Desarrollo de un modelo I.N.I.A. para el secado por calor solar de la madera aserrada. Comunicaciones I.N.I.A. Serie: Tecnología Agraria N° 17. Madrid. 47 pp.
- BURKE, E.J. 1981. Solar lumber-drying research -past and present- In Annual Northwest Wood Products Clin., (36th, 1981, Pullman Washington). Proceedings. Pullman Washington. Engineering Extension Service, Washington State University. pp 75-90.
- CHUDNOFF, M.; MALDONADO, E.D. y GOITIA, E. 1996. Solar drying of tropical hardwoods. U.S. Department of Agriculture Forest Service. Forest Service Research Paper ITF02, 26p.
- GOUGH, D.K. 1981. Timber seasoning in a solar kiln. Department of Forestry, Queensland. Technical paper N° 24. 6p.
- JOVANOVSKI, A. y AMATURI, G. 1995. Evaluación de un secadero solar en el noroeste del Chubut. Esquel, Chubut. 10 pp.
- LUMLEY, T.G. and CHOONG, E.T. 1978. Technical and economical characteristics of two solar kiln designs. Forest Products Journal 29(7): 49-56.
- PALMER, G. and KLEINSCHMIDT, S.D. 1992. Timber seasoning in a solar kiln. Queensland Forest Service. Technical Paper N° 50. 8 pp.
- PLUMPTRE, R. A. 1979. Simple solar heated timber dryers: design, performance and commercial viability. Commonw. For. Rev. 58(4): 243-51.
- RENCHER, A. 1995 Methods of multivariate analysis. John Wiley & Sons, Inc. U.S.A. p. 229
- STEEL, R. G. y TORRIE, J. H. 1980 Bioestadística. Principios y Procedimientos. Mc Graw Hill. Colombia.
- TUSET, R. y DURAN, F. 1986. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Hemisferio Sur. 696 p.