

NOTA TÉCNICA N° 11

Secado solar en invierno de *Eucalyptus grandis*. Estudio comparativo entre dos sitios ubicados al norte y al sur.

Andrés Ono ¹
Alejandro Venturino ²
Patricia Cárdenas ³
Raúl de Castro ⁴

Introducción

En esta nota técnica se presentan los resultados de dos secados solares y de un secado a la intemperie. Uno de los secados solares, se realizó en el secador solar de Forestal Caja Bancaria ubicado en Piedras Coloradas (Paysandú), el otro de los secados solares se realizó en el secador solar del Departamento de Proyectos Forestales del Laboratorio Tecnológico del Uruguay (LATU) ubicado en Montevideo. El secado a la intemperie también se realizó en las instalaciones del LATU (Montevideo). En todos los casos se secaron tablas de *Eucalyptus grandis* de 25 mm de espesor. Los secados se realizaron durante los meses de julio a setiembre de 2005. Se determinaron las curvas de secado, contenido de humedad (CH) inicial y final alcanzado, tiempo requerido, distribución de CH dentro de las tablas y contracción de las tablas durante el secado.

Materiales y Métodos

Las tablas utilizadas para este trabajo fueron de *Eucalyptus grandis* de plantaciones de Forestal Caja Bancaria. La madera provino de rodales de la zona de Piedras Coloradas, de árboles correspondientes a un primer raleo de 12 años de edad promedio.

Las tablas utilizadas para este trabajo presentaron un peso específico básico promedio de 0,46 g/cm³.

Se relevó ancho, espesor, largo y peso de las tablas verdes y luego de secadas. Las dimensiones iniciales de las tablas utilizadas por el LATU, para los dos secados (solar e intemperie) fueron de 105 mm x 27 mm x 215 cm. Las dimensiones iniciales de las tablas utilizadas por FCB (Forestal Caja Bancaria) fueron: la mitad de las tablas 142 mm x 27 mm x 215 cm., la otra mitad de 107 mm x 27 mm x 215 cm.

También se evaluó el gradiente de humedad interna de las tablas secadas al finalizar el secado, para esto se tomaron probetas de las tablas y se obtuvo el CH en 5 posiciones.

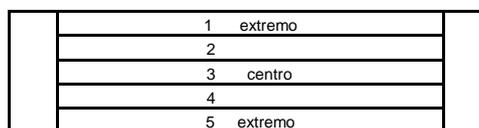


Figura N° 1: Croquis de probetas de gradiente de humedad (corte transversal).

¹ Ing. Quim. Ono, A. Departamento de Proyectos Forestales LATU (desde 2002 a 2006)

² Ing. Agr. Venturino, A. Departamento de Proyectos Forestales LATU (desde 2004 a 2006)

³ Ing. Agr. Cárdenas, P. Departamento de Proyectos Forestales LATU

⁴ Ing. Quim. de Castro, R. Departamento de Proyectos Forestales LATU, rdecas@latu.org.uy, www.latu.org.uy

Metodología de trabajo en Forestal Caja Bancaria

Dentro del horno se depositaron un total de 8 paquetes, cada uno con aprox. 1 m³ de tablas

4 paquetes que tenían tablas de dimensiones 142 mm x 27 mm x 215 cm.

4 paquetes que tenían tablas de dimensiones 107 mm x 27 mm x 215 cm.

Las estibas se construyeron con separadores de 25 mm espaciados entre sí a 40 cm (5 separadores por fila). Sobre los paquetes no se colocó peso, algunos paquetes sí tuvieron peso debido a que se colocó otro paquete sobre ellos.

Se tomaron 3 muestras (testigos) para evaluar la evolución del contenido de humedad de la madera durante el secado. De cada muestra se extrajeron 2 probetas para obtener el contenido de humedad inicial de cada testigo.

Se colocó un registrador (TANDD thermo Recorder TR 72 S) de humedad y temperatura para tener registro de las condiciones dentro del horno solar.

El seguimiento del contenido de humedad de los testigos se realizó semanalmente por parte de Forestal Caja Bancaria.

Una vez finalizado el secado se extrajeron tablas para ver la distribución del CH. final.

Características del secador solar de Forestal Caja Bancaria

Ubicación: Piedras Coloradas, Dpto. de Paysandú, cubierta transparente inclinada orientada hacia al Norte. Latitud 32° 20' 57'' S, longitud 58° 02' 13'' W, altitud 61.00 m s.n.m

- Secador tipo Semi-Invernadero, aislación de espuma de poliestireno expandido (Espumaplast) entre tablas de madera de pino tratadas con CCA.
- Techo de poliéster reforzado con fibra de vidrio con superficie total 50 m², 28 m² con una inclinación de 50° y 22 m² con una inclinación de 20°.
- Colector solar tipo plato (chapas de OSB negro). Los colectores son móviles. Los colectores superiores se colocan apoyados sobre la pila de madera. Las paredes internas del horno se encuentran pintadas de negro (actuando como colectores).
- Ventiladores: 2 de 1/2 HP cada uno (50 cm de diámetro) con variadores de velocidad.
- Ventilas: 2 al frente, en la parte superior con 2 extractores.
- Piso: losa de hormigón 58,7 m² y 30 cm. de alto.
- Capacidad: 8 m³ de madera.
- Área de colector por volumen de capacidad: 6,25 m²/m³

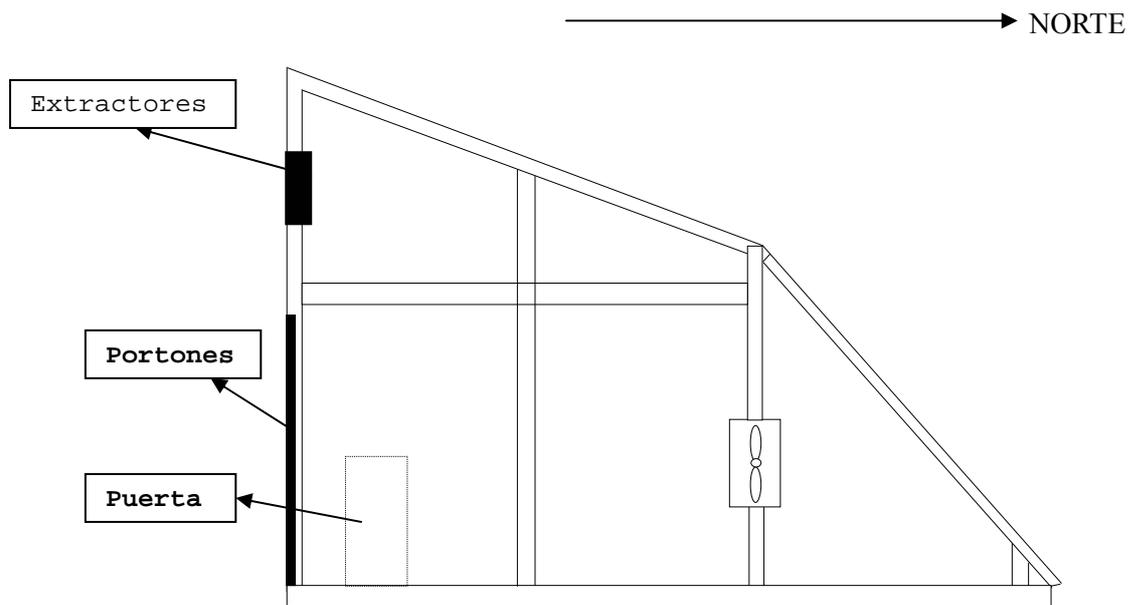


Figura N° 2: Secador solar de FCB (vista lateral)



Figura N° 3: Secador solar de Forestal Caja Bancaria

Metodología de trabajo en el LATU

Con las tablas a secar se armaron dos estibas, una para el horno solar y otra para secar a la intemperie, protegida por una chapa en la parte superior.

Las estibas se construyeron con separadores de 28 mm x 28 mm colocados cada 40 cm. (5 separadores por fila). Sobre cada una de las estibas se colocó un peso de 700 kg. a razón de 350 Kg/m².

De ambas estibas se extrajeron 8 muestras (4 para la estiba del horno solar y 4 para la estiba de secado a la intemperie) para el monitoreo del CHM (contenido de humedad media) durante el secado. Para la obtención del CHM de las muestras se hizo el mismo procedimiento que en FCB.

Se colocó un registrador (TANDD thermo Recorder TR 72 S) de humedad y temperatura en el horno solar y otro en la estiba a la intemperie para evaluar ambas condiciones de secado.

El seguimiento del contenido de humedad de los testigos se realizó semanalmente por parte del LATU.

Una vez finalizado el secado se extrajeron tablas para estudiar la distribución del CH final.

Características del secador solar del LATU.

- Ubicación: Departamento de Montevideo,
Latitud $34^{\circ} 54' 43''$ S, longitud $56^{\circ} 04' 28''$ W, altitud 26.7 m s.n.m.
- Horno tipo Semi-Invernadero con aislación de poliestireno expandido entre tableros de contrachapados fenólicos
- Techo de policarbonato 24 m^2 , inclinación 36°
- Colector solar tipo plato y tipo caja, de contrachapado fenólico pintado de negro.
- Ventiladores: 2 de 1/2 HP cada uno (60 cm. de diámetro) con variadores de velocidad.
- Ventilás: 2 al frente del horno.
- Piso: losa de hormigón 25 m^2 y 15 cm. de alto.
- Capacidad: $2,5 \text{ m}^3$ de madera.
- Área de colector por volumen de capacidad: $9,6 \text{ m}^2/\text{m}^3$

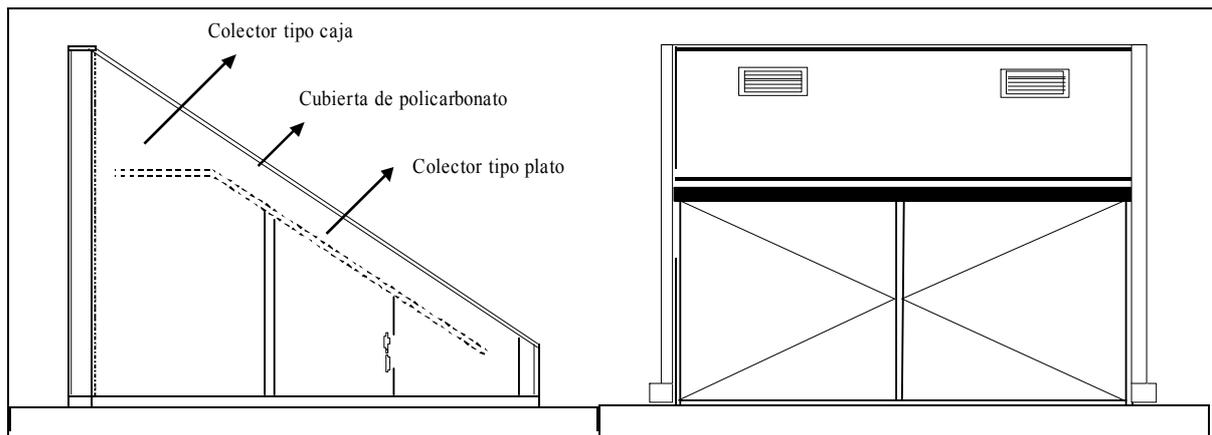


Figura N° 4: Esquema de Horno Solar de LATU.



Figura N° 5: Secador solar de LATU con carga de *E. grandis*.

Resumen de los costos de los secadores solares

A continuación se presenta el resumen de los costos del secador solar de Forestal Caja Bancaria. (Cuadro N° 1)

Cuadro N° 1: Resumen de costos del secador solar de FCB.

Ítem	Costo (USD)
Maderas tratadas	850.00
Nivelación y losa	1320.00
Ventiladores + motores	398.00
Variador de velocidad	395.00
Instalación eléctrica	260.00
Galvanizado para puertas	130.00
OSB para colectores	155.00
Pintura	68.00
PVC cristal	370.00
Chapas Poliéster reforzado	1035.00
Total	5074.00

El cuadro N° 2 resume los costos del LATU para la construcción de su horno solar.

Cuadro N° 2: Costos del secador solar del LATU

Ítem	Costo (USD)
Losa de hormigón	1240.00
Ventiladores	759.00
Variadores de velocidad	955.00
Aislación de Espumaplast	95.00
Tableros de contrachapado fenólico	1295.00
Pintura	17.00
Placas de Policarbonato	503.00
Perfiles de aluminio	57.00
Juntas y burletes	134.00
Tablero eléctrico	160.00
Total	5215.00

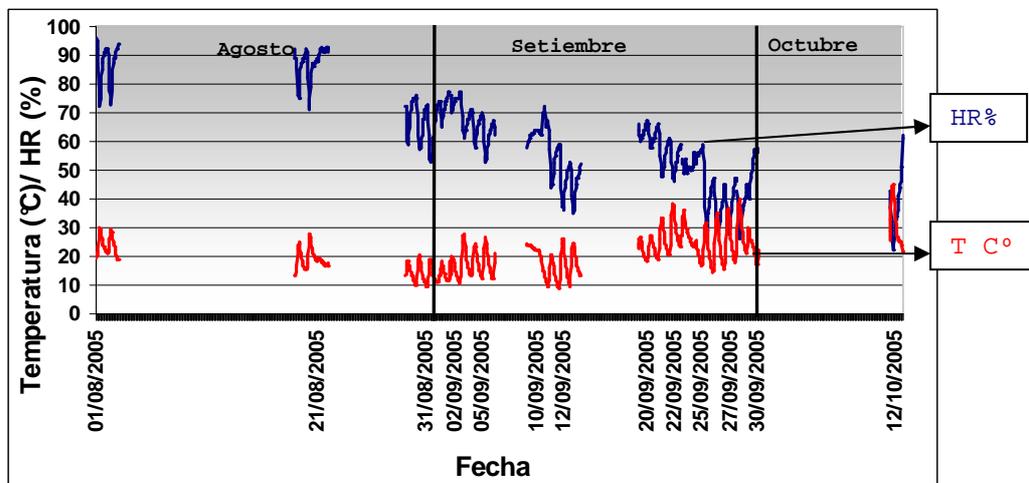
Sin incluir los costos de mano de obra, el secador solar de FCB tuvo un costo de construcción por metro cúbico de capacidad de 507 USD/m³, para 8 m³ mientras que el horno solar del LATU fue de 2086 USD/m³, para una capacidad de 2,5 m³. Es importante resaltar que fueron construidos con diferentes fines. Si bien ambos hornos son a escala piloto el horno de FCB se acerca más a lo que sería un horno a escala industrial, mientras que el horno solar del LATU se construyó con fines de investigación.

RESULTADOS DEL SECADO SOLAR DE *Eucalyptus grandis* EN FORESTAL CAJA BANCARIA.

Monitoreo de temperatura y de humedad relativa

El gráfico N° 1 resume las condiciones que se generaron dentro del horno solar durante el secado.

Gráfico N° 1: Condiciones de temperatura y humedad relativa dentro del horno solar.

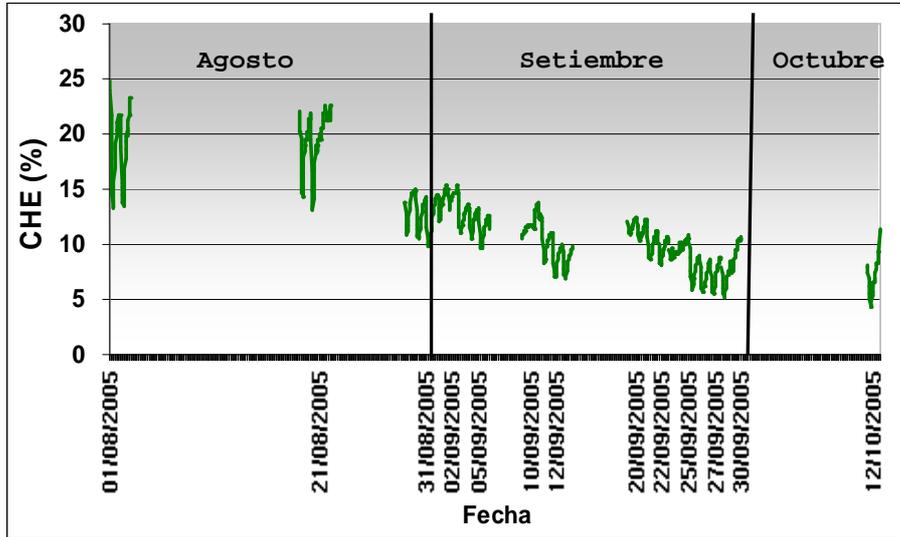


La temperatura máxima registrada fue de 45,9° C y la mínima HR fue de 22 % (gráfico N° 1).

Contenido de humedad de equilibrio

Los datos registrados muestran la tendencia a la disminución del CHE a medida que avanza el secado (gráfico N° 2).

Gráfico N° 2: Contenido de humedad de equilibrio dentro del horno solar.



El valor mínimo registrado para el CHE fue de 4,3 %.

Evolución del contenido de humedad de la madera

El secado llevó un período de 95 días y se llegó a un CHM final de 10,5 %.(Cuadro N° 3).

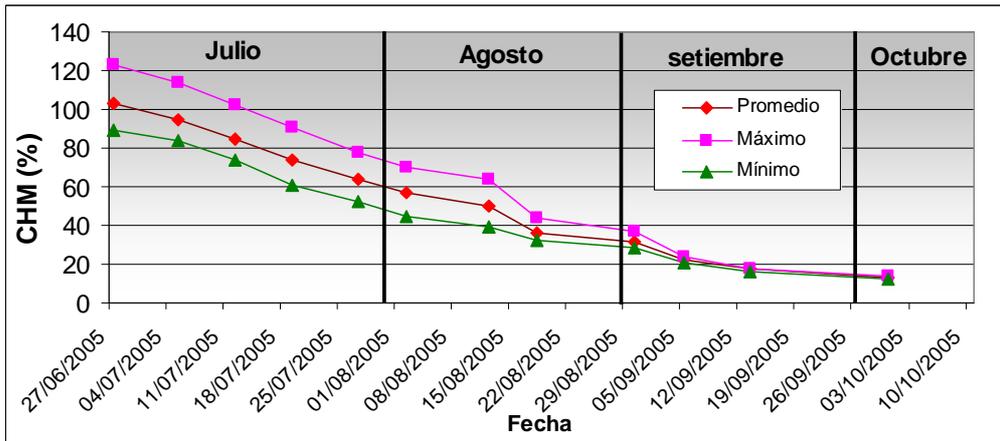
Cuadro N° 3: Contenido de humedad de la madera.

	CHM inicial	CHM final
Promedio (%)	103	10,5
Desviación Estándar	17,6	0,8
C .V.(%)	17	8

El promedio de CHM llegó a 12 % en 78 días.

En el gráfico N° 3 se puede observar la evolución del secado, donde se puede notar no sólo la disminución del CHM sino también la disminución de la variabilidad entre tablas.

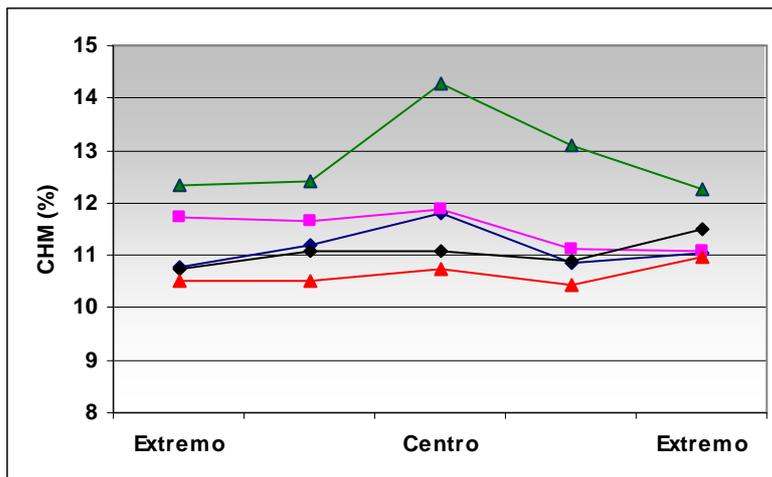
Gráfico N° 3: Curva de secado en horno solar FCB.



Gradiente de humedad interna

En el gráfico N° 4 se describe la distribución del gradiente de humedad interna para 5 tablas distribuidas en el ancho de la estiba.

Gráfico N° 4: Gradiente de humedad interna



Excepto la muestra que se encontró con valores de CHM superior al 12 %, el gradiente de CHM entre el centro de la tabla y sus extremos fue aceptable.

Contracción volumétrica

En el cuadro N° 4 se resume la contracción volumétrica que se dio de CHM inicial (103%) a CHM final (10,5%) para 6 tablas de 142 mm. x 27 mm. x 215 cm. y para 9 tablas de de 107 mm. x 28 mm. x 215 cm.

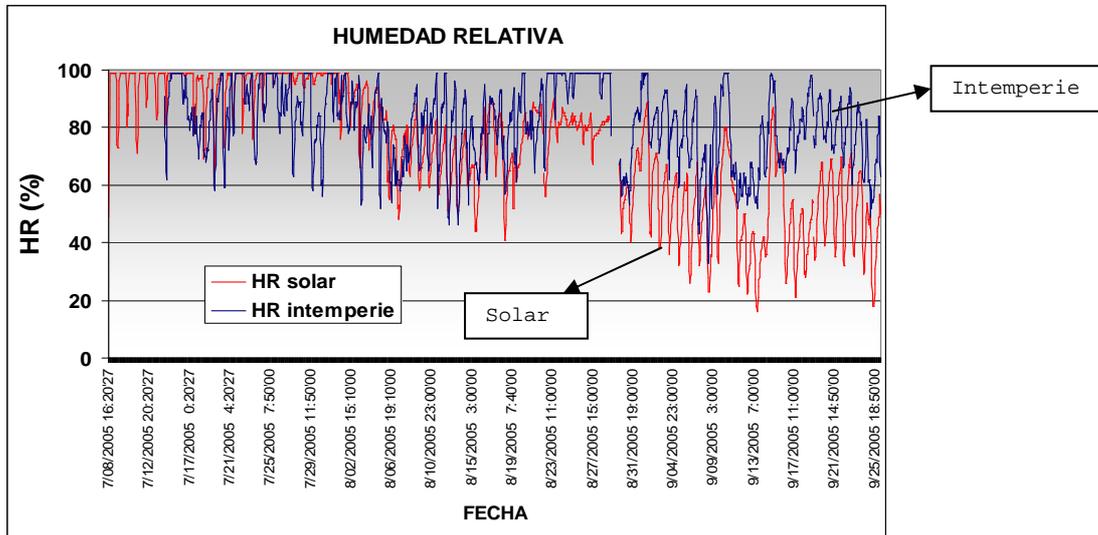
Cuadro N° 4: Contracción luego del secado

Ancho de tablas	Contracción (%)		
	Ancho	Espesor	Volumétrica
142 mm	7,6	5,2	12,8
107mm	6,8	3,8	10,6

RESULTADOS DEL SECADO SOLAR DE *Eucalyptus Grandis* EN EL LATU.

Condiciones de humedad relativa ambiente y dentro del horno solar

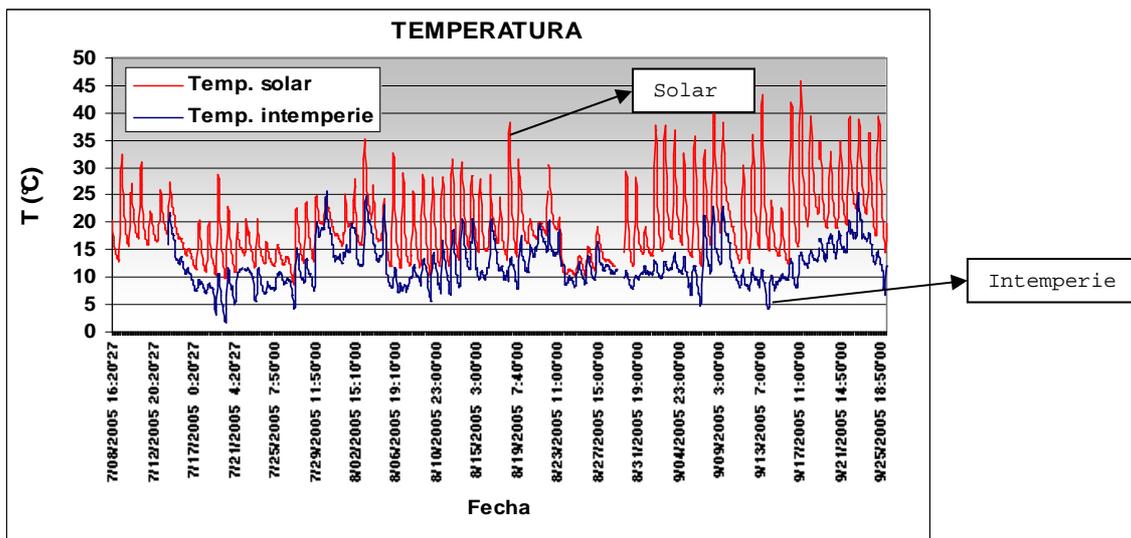
Gráfico N° 5: Humedad relativa ambiente y en el interior horno solar



La humedad relativa dentro del horno no tuvo variaciones bruscas durante las primeras semanas, con valores altos que permitían un secado progresivo. Cuando el contenido de humedad de la madera estaba aproximadamente en 40%, la humedad relativa dentro de la cámara comenzó a bajar, llegando a niveles que resultaron en un gradiente que mantiene el potencial de secado.

Condiciones de temperatura ambiente y dentro del horno solar

Gráfico N° 6: Temperatura ambiente y en el interior del horno solar



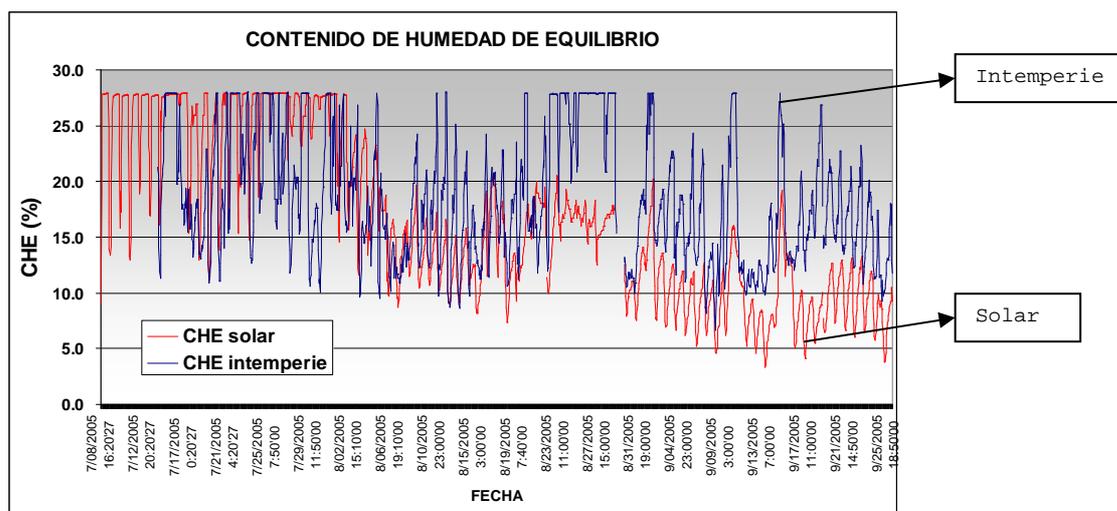
La temperatura dentro del horno fue en promedio 7,4 °C superior a la temperatura ambiente.

Cuadro N° 5: Temperaturas promedio, máxima y mínima según mes del año.

Fecha	Temperatura (°C)					
	Julio		Agosto		Setiembre	
	ambiente	solar	ambiente	Solar	ambiente	solar
Promedio	10,8	16,3	12,6	18,4	12,7	23,3
Máxima	25,8	28,7	24,8	38,2	25,4	45,9
Mínima	1,8	8,7	5,5	10,3	4,1	12,1

Contenido de humedad de equilibrio

Gráfico N° 7: Contenido de humedad de equilibrio a la intemperie y en el horno solar.



El comportamiento del CHE fue similar al de la humedad relativa. (Gráfico N° 7)

Cuadro N° 6: Contenido de humedad de equilibrio promedio, máximo y mínimo según mes del año

Fecha	Contenido de humedad de equilibrio (%)					
	julio		agosto		setiembre	
	ambiente	Solar	ambiente	Solar	ambiente	solar
Promedio	21,1	25,8	18,9	15,4	16,2	9,7
Máxima	28	28	28	27,8	28	20,2
Mínima	10,1	11,1	8,6	7,4	6,6	3,3

Evolución del contenido de humedad de la madera

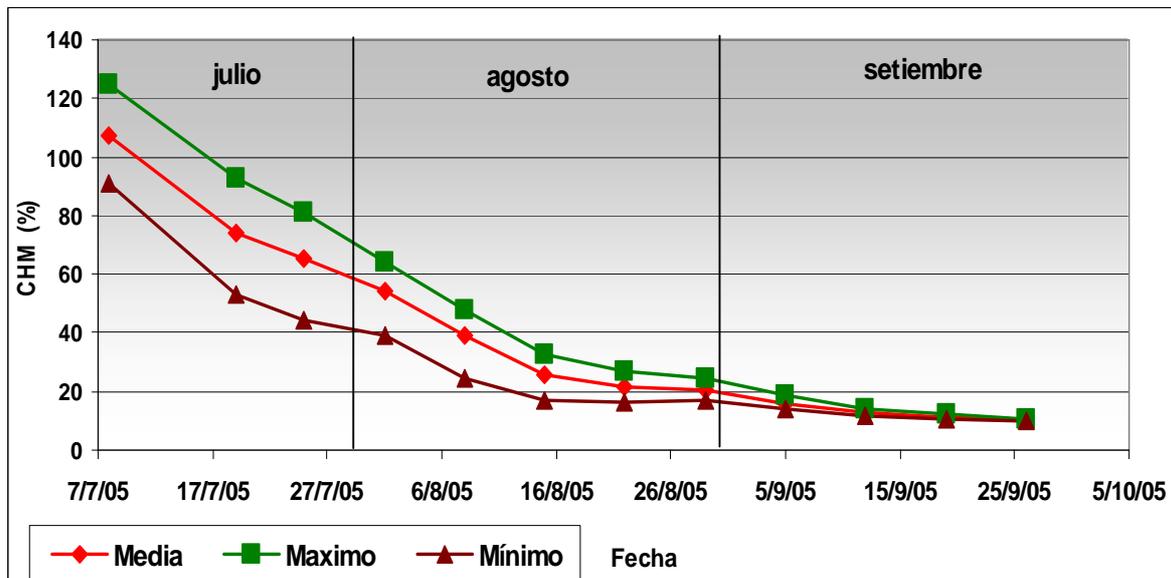
El secado de *Eucalyptus grandis* fue llevado a cabo en 80 días como se ve en el gráfico 8. Se partió de un contenido de humedad de la madera de 107 % y se llegó a 10,5 %. (Cuadro N° 7).

Contenidos de humedad inicial y final del secado a la intemperie

Cuadro N° 7: Contenido de humedad de la madera del secado solar

	CHM inicial	CHM final
Promedio (%)	107,3	10,5
Desviación Estándar	18,5	0,3
C.V. (%)	17,2	2,7

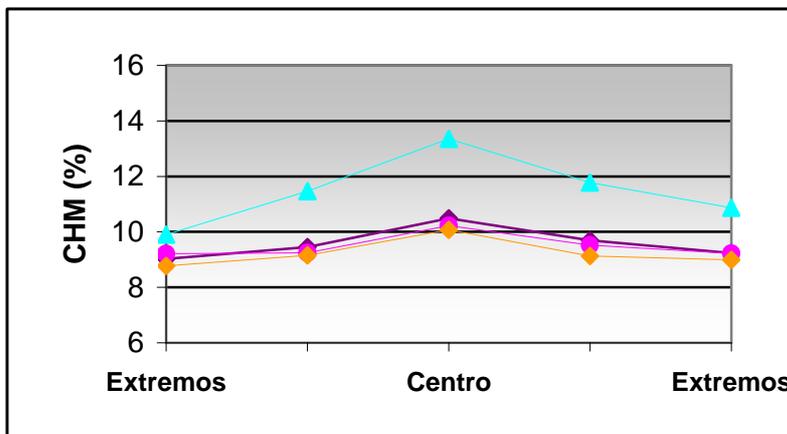
Gráfica N° 8: Curva de secado solar LATU.



Gradiente de humedad interna

El gráfico N° 9 describe la distribución del gradiente de humedad interna para las 4 tablas testigos.

Gráfico N° 9: Gradiente de humedad interna



Excepto una tabla que se encontró con valores de CHM superior al 12 % , las restantes presentaron gradientes entre el centro y sus extremos aceptables, dentro del 1% de variación.

Contracción volumétrica y defectos de secado

La contracción volumétrica de condición verde a 11% se detalla en el cuadro N° 8.

Cuadro N° 8: Contracción volumétrica de tablas

	Contracción (%)		
	Ancho	Espesor	Volumétrica
Promedio (%)	6,4	4,7	11,1

Contenidos de humedad inicial y final del secado a la intemperie

El secado a la intemperie se inició y finalizó al mismo tiempo que el secado solar.

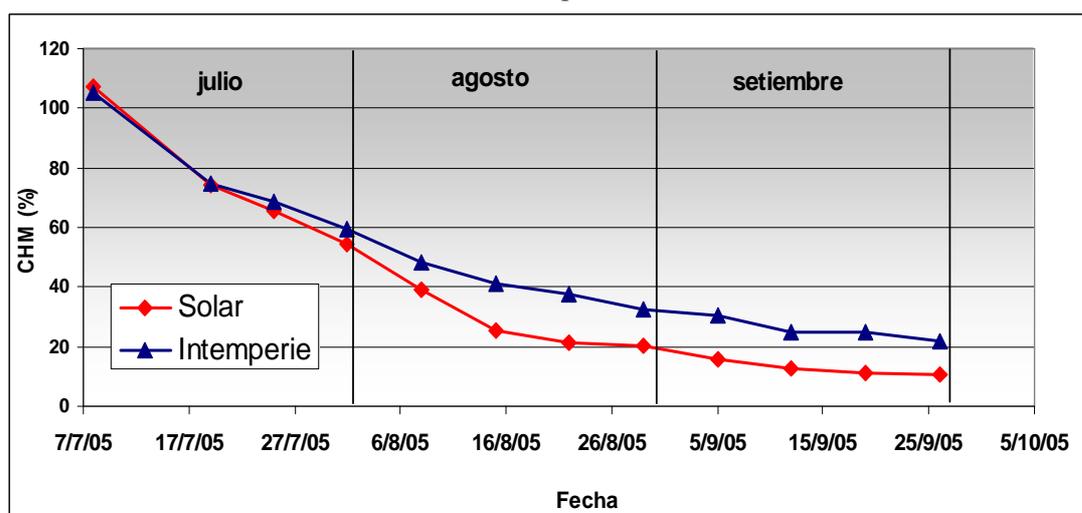
El período de secado fue de 80 días llegando a un CHM final de 22,1 %. (Cuadro N° 9).

Cuadro N° 9: Contenido de humedad de la madera estibada a la intemperie

	CHM inicial	CHM final
Promedio (%)	105,4	22,1
Desviación Estándar	18,2	2,9
C.V. (%)	17,3	13,3

Comparación de secado solar y secado a la intemperie

Gráfico N° 10: Curvas del secado solar e intemperie



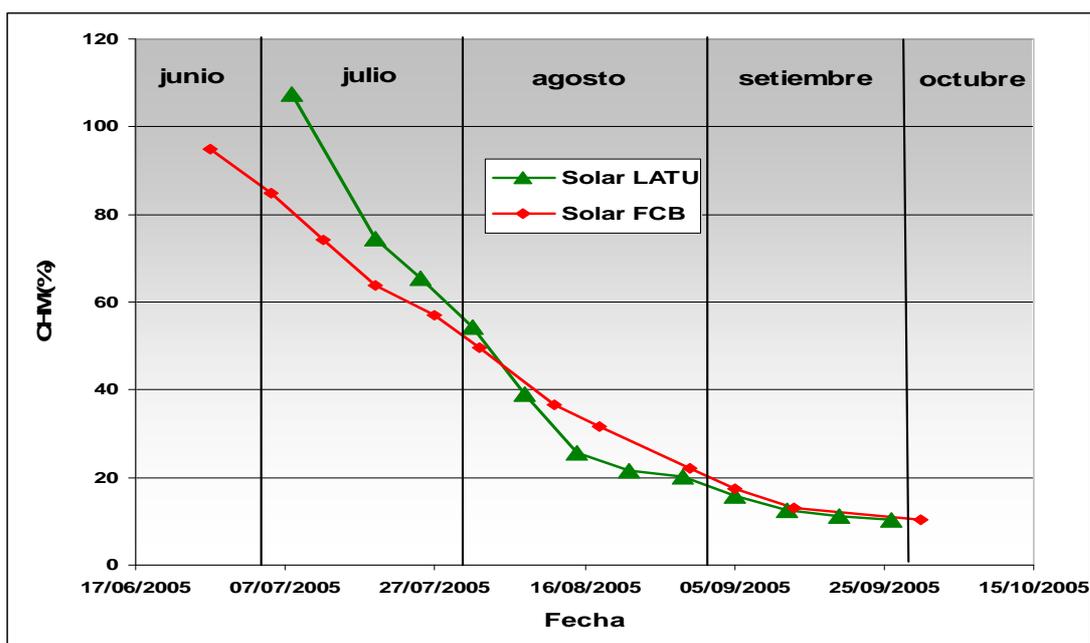
Como se observa en el gráfico N° 10, a partir de un CHM de 60%, se comienza a ver una ventaja del secado solar respecto al secado a la intemperie. Durante un mismo período (80 días) el secado solar llegó a un CHM de la mitad respecto al CHM del secado a la intemperie.

Resultados FCB y LATU

En el horno solar del LATU se obtuvo un secado un poco más rápido que el del horno de FCB. Hay que tomar en cuenta las diferencias en diseño, capacidad y ubicación geográfica de ambos hornos (gráfica N° 11). El horno solar del LATU tiene casi un 50% más de superficie colectora por m³ de capacidad con respecto al horno solar de FCB.

En las etapas finales se puede observar que prácticamente no hay diferencias entre el secador del LATU y el de FCB.

Gráfico N° 11: Curvas de secado solar en FCB y LATU



Conclusiones

Se obtuvieron resultados de secado similares para ambos secadores solares teniendo en cuenta las diferencias en diseño, ubicación y capacidad. Considerando además, que el secado se desarrolló durante los meses de julio a setiembre, donde las condiciones de radiación solar no son las óptimas, el resultado fue bueno, obteniéndose valores de CHM final por debajo del 12% en 3 meses, partiendo de madera en condición verde.

Dentro del secador solar se generan mejores condiciones de secado que a la intemperie, una mayor velocidad de secado, y en condiciones controladas, que generan menos defectos como ser grietas y rajaduras.

Comparado con un secado a la intemperie durante la misma época del año, el secador solar llevó a la madera desde condición verde hasta 22 % de CH en la mitad de tiempo. Por otra parte, un secado a la intemperie difícilmente va a lograr un CH de madera por debajo del CHE dado por las condiciones de intemperie (14-18%).

En base a los resultados obtenidos es posible la construcción de secadores solares para madera con costos razonables y que pueden abaratare con materiales que se consiguen en el aserradero. Los costos de operación y mantenimiento son mínimos. El costo de operación se limita a la alimentación eléctrica de los forzadores.

El secado solar es una alternativa que puede reemplazar el secado a la intemperie que se lleva a cabo antes del secado convencional, en la estación que se estudió (invierno).

Se podría utilizar la combinación de secado solar /secado convencional logrando así menores tiempos de secado que los requeridos por la combinación de secado intemperie /secado convencional.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a Forestal Caja Bancaria, en especial, a las siguientes personas: Ing. Horacio Arévalo, Ing. Waldemar Annunziatto, e Ing. Carlos Sarazola, que hicieron posible este trabajo.