

ANÁLISIS COMPARATIVO DE TRES SISTEMAS DE SECADO CON MADERA DE CUATRO ESPECIES DE ENCINOS (*Quercus* spp.)

M.E. Fuentes-López¹; M. Fuentes-Salinas²; J. Zamudio-Sánchez²

¹Campo Experimental Forestal "San Martinito", INIFAP. México.

²División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. C. P. 56230.

RESUMEN

El experimento consistió en secar madera de encino bajo tres sistemas de secado: al aire libre, solar y convencional, así como realizar una comparación entre sistemas en función de la calidad, tiempo y costos de secado con la finalidad de determinar la factibilidad técnica del uso de secadores solares. Para evaluar la calidad de madera seca, se utilizó la Norma Chilena NCh. 178.0f., los niveles de calificación de datos por Kauman y Mittak (1966) y el sistema de evaluación realizado por Fuentes (1992). Para evaluar los tiempos de secado, se utilizaron modelos matemáticos para estandarizar los contenidos de humedad entre repeticiones y entre tratamientos; para evaluar los costos de secado, se empleó la metodología propuesta por la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989). Los resultados obtenidos mostraron que la calidad de la madera de encino secada en secador solar, es similar a la obtenida en estufa convencional y mejor a la que se puede obtener al aire libre. El mayor tiempo de secado se obtuvo al aire libre (128 días), medio en el secado solar (38.5 días) y menor en el secado convencional (9.7 días). Sin embargo, los costos de secado más altos por pie tabla fueron en el sistema convencional (\$ 1.87) y bajos en el solar y al aire libre (\$ 1.16). Estos costos, a precios corrientes de 1996, se consideran aceptables a nivel comercial.

PALABRAS CLAVE: *Quercus* spp., secado de madera, secado solar, calidad de secado.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THREE SYSTEMS OF DRYING LUMBER FROM FOUR SPECIES OF OAK (*Quercus* spp.)

SUMMARY

In this experiment, three kinds of drying systems were used to dry oak: air-drying, solar kiln and conventional kiln. A comparison among the three systems was carried out by taking into account drying quality, drying time, and drying costs to determine the technical feasibility of solar kiln driers. The Chilean Standard NCh.178.0f.79, the grading system of Kauman and Mittak (1966), and the Fuentes (1992) system were used to evaluate the quality of the dried lumber. Mathematical models were used to evaluate drying times by standardizing wood moisture content for both tests and treatments. Drying costs were evaluated by a method proposed by the Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989). The results showed that the lumber quality of the oak obtained in solar kiln drying was similar to that obtained in conventional kiln drying and much better than that obtained with air drying. The longest drying time was for air drying (128 days), followed by solar kiln drying (38.5 days) and then by conventional kiln drying (9.7 days). However, the highest drying cost per board foot was obtained in conventional kiln drying (\$1.87), while the lowest cost was obtained in solar kiln and air drying (\$1.16). These costs (in 1996) are considered acceptable for commercial purposes.

KEY WORDS: *Quercus* spp., lumber drying, solar drying, drying quality.

INTRODUCCIÓN

El género *Quercus*, se encuentra como uno de los de mayor abundancia y distribución en México, ya que cubren a nivel nacional, 24.2 millones de hectáreas que representan el 5.5% de la superficie del país. Los encinos

son actualmente un recurso subutilizado ya que su madera es poco aprovechada en la elaboración de productos con alto valor agregado, principalmente por el desconocimiento que se tiene de sus propiedades y los problemas de tiempo y calidad que se generan durante el secado, destinándose el mayor volumen principalmente a

leña y carbón y en cantidades menores a la elaboración de pulpa para papel, muebles, mangos para herramientas, duela y parquet.

Respecto al proceso de secado de su madera, además de los sistemas tradicionales que se utilizan como son el secado al aire libre y en estufas convencionales, existe una alternativa de secado que se ha fomentado en los últimos 30 años. Esta alternativa es el uso de secadores que aprovechan la radiación solar para el secado de la madera, y de los cuales los trabajos experimentales realizados y reportados, entre ellos los de Peck, (1962); Chudnoff *et al.*, (1966); Lumley y Choong (1979); Yang (1980); Martínez *et al.* (1984) y Chen y Helton (1989), han mostrado que en general el tiempo de secado se reduce en comparación con el secado al aire libre y el costo de operación es considerablemente menor que con el secado en estufas convencionales. Así, con el propósito de fomentar el aprovechamiento de los encinares y dar a conocer la viabilidad del uso de secadores solares para secar la madera de encino se planteó el siguiente:

OBJETIVO

Determinar las diferencias en la calidad, el tiempo y los costos del secado de la madera de cuatro especies de encinos mexicanos, mediante los sistemas de secado al aire libre, en secador solar y en secador convencional, y con ello determinar la factibilidad técnica del uso de secadores solares para el secado de madera de encino.

ANTECEDENTES

Los estudios que a nivel nacional se han realizado sobre secado de madera de encino corresponden principalmente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, al Instituto de Ecología A.C. y al Instituto de Madera, Celulosa y Papel. Sin embargo, a nivel internacional existen diversos estudios relacionados con los tres sistemas de secado que se consideran en el presente trabajo.

Wengert (1971), considera ventajoso el secado de madera de encino al aire libre con respecto a otros procesos, dado su bajo costo inicial y el ahorro considerable de energía que se tiene por unidad de agua removida. Si se compara con el secado convencional, se ahorran de 2.5 a 4.25 millones de BTU por cada 1% de humedad que se pierde al secar madera al aire libre. No obstante lo anterior, Rodríguez *et al.* (1989), señalan que el secado al aire libre tiene fuertes limitaciones para secar madera de calidad a bajos contenidos de humedad, debido a que no se tiene un control suficiente de las condiciones ambientales (humedad relativa, temperatura y velocidad

del aire) originando con ello defectos en la madera y consecuentemente, una merma considerable en los volúmenes de madera aprovechable. Por debajo del 18% de contenido de humedad (CH) tiene un costo excesivo, siendo los dos costos mayores, el de mantener la madera en inventario y la degradación por la pérdida de calidad.

Plumptre (1979), en el Colegio de Magdalena, Oxford, con un secador solar tipo "oxford", secó madera de encino de 2" de espesor de junio a octubre de 1977, desde el 60-100% de CH inicial hasta un 12-14% de CH final. El tiempo de secado al aire libre y en secador convencional, fue de 6 y 1.5 meses, respectivamente. La calidad obtenida en el secador solar fue buena, con pequeñas rajaduras superficiales y ligeras deformaciones, que bien puede compararse con el mejor secado comercial en secador convencional. Los costos unitarios por pie tabla de madera seca fueron de 1.71 libras esterlinas (\$ 1.67 M/N). Las ventajas de este tipo de secadores solares son la calidad de secado que se obtiene particularmente con maderas difíciles o lentas de secar, su bajo costo de operación, la simplicidad en la construcción que representan un considerable ahorro de energía.

Rodríguez, *et al.* (1989), informan que en el Instituto de Madera, Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara, se construyó un secador solar de 1 200 pt de capacidad para maderas duras, donde se realizó un estudio sobre el comportamiento de la madera de tres especies, una de ellas *Quercus* sp., de 2" de espesor. Su secado requirió 2 meses (enero-marzo) desde el 40% de CH inicial hasta un CH final de 12%, no presentando grietas ni alabeos. El secado al aire libre, en un rango de humedad de 42-20%, mostró significativos agrietamientos, alabeos y colapso, mientras que en el secado convencional, para un rango de humedad de 45-10% requirió 45 días, lo cual incrementó el consumo y costo de energía y por consiguiente el del proceso. Concluyen que los tiempos de secado son más cortos que los de al aire libre, considerándolo un sistema apropiado para zonas donde los energéticos resultan muy caros y con poca viabilidad.

Alvarez y Fernández (1990), realizaron 10 pruebas de secado solar con cuatro diferentes especies, una de ellas, *Quercus* sp. de 30 y 55 mm de espesor, que comparó con el secado al aire libre. La madera de encino de 30 mm, llevada del 80 al 10% de CH inicial y final respectivamente, se secó en 68 días. El secado al aire libre desde 78% de CH inicial hasta un 11% de CH final, se secó en 170 días (marzo-agosto). La calidad de secado solar obtenida, resultó mejor que en el secado al aire libre y consideran que puede ser comparable y hasta mayor que la que generalmente se obtiene por métodos convencionales.

Díaz Gómez (1977), señala que en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), se generaron y probaron 49 programas de secado para madera en estufa convencional, de los cuales 18 fueron para coníferas y 31 para latifoliadas, encontrándose entre estas últimas, *Quercus laurina*, *Q. sideroxylla*, *Q. fa/cata* y *Q. ke/loggii*. Estos programas de secado se difundieron y se están aplicando ya a nivel industrial.

Tschernitz y Simpson (1979), en un secador convencional de Madison, secaron en 24 días desde el 84% de CH inicial al 9% de CH final, madera de encino de 29 mm de espesor, obteniendo buena calidad de secado. Los resultados se compararon con el secado solar (54 días), donde el nivel de calidad de madera seca fue bueno. Mientras que al aire libre, al mismo tiempo del solar, apenas se alcanzó el 20% de CH final.

Bejar (1985), en tres sistemas de secado, reporta los resultados experimentales del tiempo de secado de la madera de seis especies de encino de 1" de espesor: al aire libre 98 días a 16.7% de CH final, en estufa convencional 12 días a 9.48% de CH final y en dehumidificador 46 días a 10.2% de CH final, encontrando buena calidad en los tres casos, por lo que recomienda utilizar en el sistema convencional, el programa de secado Especial 1 generado por el INIF, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con madera de *Quercus affinis*, *Q. laurina*, *Q. crassifolia* y *Q. potosina*, colectada de árboles con fustes limpios de por lo menos 5 m de longitud y diámetros superiores a los 30 cm, en un bosque de masas puras de encino y en asociación con pinos, en el municipio de Victoria, Guanajuato. El experimento se llevó a cabo en las instalaciones del Campo experimental San Martinito, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el estado de Puebla, México, cuyas coordenadas son 19° 21' de latitud Norte, 98° 24' de longitud Oeste y altitud de 2 500 msnm, con vientos dominantes de Sur-Oeste y velocidad promedio de 1.6 a 3.3 m/s, temperatura máxima de 30°C en mayo y mínima de 0°C en los meses de enero y diciembre.

Se empleó un secador solar similar al tipo Oxford con 30 m² de área de colector, un patio de secado al aire libre con una superficie real de 45 m² y una estufa experimental de tipo convencional con capacidad de 6 m de madera aserrada. Para cada sistema de secado, se realizaron dos repeticiones, evaluando en cada repetición 100 tablas de 19 mm (3/4") de espesor, 2.44 m (8 pies) de largo y anchos variables en 10, 15 y 20 cm (4, 6 y 8 pulgadas). Previo al secado, a cada tabla se le determinó

ancho, grueso y largo, así como la presencia y magnitud de las grietas, rajaduras y deformaciones (acanaladura, arqueadura, encorvadura y torcedura). El control del proceso en los tres sistemas se realizó con base en la pérdida de humedad de 4 muestras empleadas en cada repetición, conforme al método descrito por Simpson (1991). En el sistema convencional, se utilizó el programa de secado Especial I propuesto por el INIF para madera aserrada de encino de 1" de espesor, Anexo 1.

Para evaluar la calidad del secado en cada sistema, se utilizó la metodología aplicada por Fuentes (1994), determinando la intensidad de grietas, rajaduras y deformaciones que se presentaron durante el proceso, descontando las mediciones tomadas al inicio, y dándoles uno de cuatro grados de clasificación que establece la Norma Chilena NCh.178.0f.79 (Instituto Nacional de Normalización, 1979) que se usó como referencia. Según la intensidad del defecto por pieza evaluada se otorgaron factores de desclasificación que dieron cuatro niveles: de 0.0 para las tablas libres de defectos o de calidad excelente, 0.5 para los defectos ligeros, 2.0 para los defectos regulares, y 2.5 para los defectos intensos. Posteriormente se obtuvo la suma de las medias ponderadas del factor de desclasificación por defectos, para determinar los índices de calidad de secado propuestos por Kauman y Mittak (1966), otorgando la calidad de excelente a muy buena cuando la media ponderada de desclasificación estuvo dentro del rango de 0.0-1.0; de muy buena a satisfactoria cuando el rango fue de 1.01-2.0; se consideró de defectuosa a mala cuando el factor de desclasificación estuvo entre 2.01-5.0 y se le calificó como muy mala cuando su valor ponderado de desclasificación fue superior a 5.0 puntos.

Para determinar el tiempo de secado de la madera en cada sistema, se prepararon cuatro muestras de secado por pila, mediante las cuales se fue registrando la pérdida de humedad a intervalos de tiempo que permitieran registrar una tendencia o curva de secado, elaborándose gráficas de CH-Tiempo, hasta que el CH promedio de las muestras se mantuvieran constante o llegara al 12%. Para evaluar los tiempos de secado a cada tratamiento y entre tratamientos, se desarrollaron modelos matemáticos probados por Fuentes (1994), con los que se estandarizaron las condiciones del proceso, obteniéndose una sola curva de secado por sistema con un contenido de humedad inicial del 63% y un contenido de humedad final de 12%. Los modelos desarrollados fueron:

- | | |
|--------------------------------|--|
| a). $CH_1 = \exp [-b^* (t_1)]$ | Modelo de la Curva estandarizada y |
| b). $Dch=K1$ | Modelo de Curvas equivalentes de secado. |

Donde a su vez, $K1 = [(Chi1 - Chi2)^{1-w} \cdot \exp(-a \cdot t^2)]$ y, CH1 = observaciones de la carga de mayor CH inicial, entre la primera observación; DCH = curva equivalente de secado;; Chi1 = CH inicial mayor; Chi2 = CH inicial menor; t_1 = tiempos de Chi; t_2 = tiempo de Chi2; b, c, w y a = parámetros de la función.

Mediante pruebas de análisis de varianza se determinaron las diferencias estadísticas del ritmo de secado entre sistemas y por rangos de contenido de humedad {de verde al 30% y del 30% al CH final alcanzado}.

Por otra parte, para determinar el costo de secado de la madera por unidad de volumen en cada sistema, se utilizó la metodología propuesta por la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989), en donde se establecen los factores técnico financieros a considerar y la forma de evaluarlos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad de secado

En el Cuadro 1, se presentan los valores de calidad obtenidos de cada sistema de secado, considerando la participación ponderada de los defectos como rajaduras, grietas y deformaciones y de acuerdo al valor del factor de desclasificación resultante para cada sistema de secado.

CUADRO 1. Factor de desclasificación y calidad de madera secada en cada sistema.

| Secado | Desclasificación | Calidad |
|--------------|------------------|------------|
| Solar | 2.2825 | Defectuosa |
| Al aire | 3.1465 | Mala |
| Convencional | 2.7620 | Defectuosa |

En el cuadro anterior se aprecia que el factor de desclasificación obtenido en el sistema de secado solar fue el más bajo, lo que significa que, aunque entra en el mismo nivel de calidad que el secado convencional, los defectos manifestados en la madera fueron menores. Así mismo, al compararse con la calidad obtenida en el secado al aire libre, resulta también mejor la calidad de la madera secada en el secador solar.

El hecho que en general se hayan obtenido niveles bajos de calidad de secado en los tres sistemas puede tener su explicación en la mala conformación de los encinos y sus características y propiedades anatómicas y físicas, aspectos que influyen negativamente en los grados de desclasificación manejados en el sistema de evaluación aplicado y establecido por Kauman y Mittak (1966), ya que una característica que manifiesta la made-

ra durante el proceso de secado, es el desarrollo de esfuerzos internos como resultado de las contracciones desiguales por efecto de la pérdida de humedad por debajo del punto de saturación de la fibra (PSF), pudiendo dar lugar a defectos como las rajaduras, grietas, aplanamiento y colapso, (Schniewind, 1960).

Respecto a la participación porcentual por tipo de defecto evaluado, el de mayor influencia en la desclasificación de los tres sistemas de secado fue el de acanaladura, defecto ocasionado principalmente por la anisotropía de las contracciones de la madera y que en el caso de las especias ensayadas es muy alta al registrar valores de relación de anisotropía de hasta 2.3 (Fuentes, 1990) para *Quercus laurina*, *Q. crassifolia* y *Q. affinis*). El defecto de acanaladura participó en la desclasificación de la calidad de secado con: 43.8, 30.7 y 27.4% para el secado al aire libre, en secador solar y en estufa convencional, respectivamente.

Se debe también considerar que el uso de altas temperaturas propicia una mayor velocidad de secado, pero también incide en la ocurrencia de una mayor intensidad de defectos, así mismo, al existir un gradiente de humedad mayor en las piezas de madera, se desarrollan mayores esfuerzos de secado, que son los promotores de una mayor presencia de grietas y rajaduras. El secado convencional es el más rápido en cuanto a velocidad de secado, por lo que se da la posibilidad de que éstos defectos se presenten con mayor intensidad, aun cuando en este sistema tanto la temperatura como la humedad relativa y velocidad del aire, se establecieron con base en el programa de secado utilizado y ya probado para garantizar buena calidad de secado.

Las variaciones de humedad relativa fueron más severas en el secado al aire libre en un rango del 25% entre mañanas y tardes con respecto a las horas de mayor insolación. En tanto que para el secado solar las variaciones dentro de la cámara, al disminuir la temperatura, fueron del orden del 10%. En el secado convencional, la humedad relativa se mantuvo controlada, reduciéndola conforme fue disminuyendo el contenido de humedad en la madera, por lo que el porcentaje atribuible a grietas fue el más bajo entre los tres, y sin embargo, las diferencias entre éste y el secado solar, no son tan marcadas al quedar ambos sistemas en el mismo nivel de calidad.

Tiempos de secado

En lo referente al tiempo de secado, las curvas equivalentes de secado obtenidas para cada uno de los tres sistemas, mismas que se muestran en la Figura 1, presentan la disminución del contenido de humedad prome-

dio de la madera respecto al tiempo en horas, siendo éste de 3 196, 924 y 234 horas (133.2, 38.5 y 9.75 días) para el secado al aire libre, solar y convencional respectivamente. Como se muestra en la Figura 1, el tiempo que requiere el secado solar es significativamente menor que el requerido en el proceso del secado al aire, reduciéndose en más del 75%. Asimismo, con referencia al secado convencional, requiere tres veces mayor tiempo que éste.

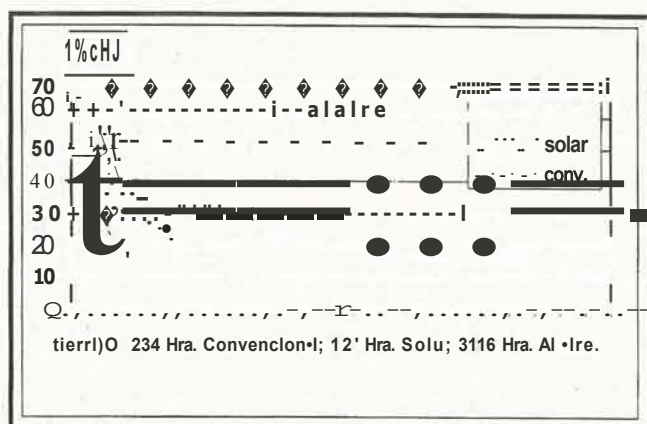


Figura 1. Curvas equivalentes de secado en los tres sistemas

El ritmo de secado de la madera, mostró diferencias estadísticamente significativas. Estas diferencias pueden explicarse por la influencia de la temperatura y velocidad del aire, que influyen de manera importante en el arrastre de humedad, provocando una mayor evaporación de humedad de la capa superficial de las tablas en el rango de agua libre. El ritmo más alto se presentó en el secado convencional, en el secado solar fue medio y muy bajo al aire libre, con una proporción porcentual por tratamiento de 100, 36.86 y 20.34% al perder humedad en el rango de agua libre y de 100, 15.32 y 4.27% en el rango de agua de imbibición o del 30% de CH hasta la humedad final alcanzada respectivamente. Lo anterior, nos indica el efecto significativo de la velocidad del aire, en los tres tratamientos a diferentes rangos de humedad y, sobre todo, el efecto de la mayor temperatura de secado en los dos primeros. Sin embargo, el ritmo de secado en el secador solar es mayor comparativamente con el secado al aire.

Los tiempos de secado reportados por Tschernitz y Simpson (1979), coinciden con los obtenidos en este estudio tanto para el secado convencional como el solar y son inferiores a los que reporta Rodríguez *et al.* (1989) para el secado solar y al aire libre.

Costos de secado

En el Cuadro 2 se presentan los costos del secado de la madera obtenidos en cada sistema, tanto por m³ como por pie tabla.

CUADRO 2 Costos de secado de la madera por cada sistema

| Sistema de secado | Costo \$/m ³ | Costo \$/pt |
|-------------------|-------------------------|-------------|
| Al aire libre | 493.01 | 1.16 |
| Solar | 490.60 | 1.16 |
| Convencional | 792.44 | 1.87 |

En dicho cuadro se aprecia que el costo de secado de la madera utilizando el secador convencional es el más alto. Aquí se debe considerar que impactan en ese costo los resultantes de la depreciación del equipo e instalaciones, los costos de los insumos (combustible, agua y electricidad) y salario de los operadores, mismos que no intervienen en el secado al aire libre. En el caso del secado solar y al aire libre, se obtiene en éstos un costo menor, reflejándose en el caso del secado solar el menor costo del equipo de secado pues sólo requiere de electricidad para el sistema de ventilación y pocos gastos de operación por no demandar de tanto personal para su funcionamiento, y en el caso del secado al aire libre, se debe al efecto del intemperismo en la desclasificación de la madera seca por lo prolongado del tiempo y a los altos intereses del capital circulante. Comparando los costos anteriores, el secado solar y al aire libre representan sólo el 62.0% del costo requerido para el secado convencional (100%).

Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado por Little (1984), Martínez *et al.* (1984), Rodríguez *et al.* (1989) Y Alvarez y Fernández-Golfín (1990), quienes señalan que de los tres sistemas de secado, el costo mayor se obtiene en el secado convencional y el más bajo el secado al aire libre, ya que el secado al aire por debajo de un 18% de CH, tiene un costo excesivo y, el secado solar ante el secado convencional, representa un considerable ahorro en el consumo de combustible y de energía. También coinciden con Plumtree (1979), quien reporta un costo unitario de madera de encino de 2" de espesor, con un valor de 59.9 libras esterlinas/m³ (\$ 1.673/pt)¹. Martínez *et al.* (1984) reportan para el secado convencional, solar y al aire libre, sólo una proporción porcentual de costos por pie tabla, de 100, 60 y 46%, respectivamente, que difiere únicamente en el porcentaje reportado para el secado al aire libre.

Se debe considerar que los altos costos obtenidos en el secado convencional se ven influenciados por el poco

¹Colludón de la Libra esterlina al 01/Junio/1996: S 11.84/L

volumen de madera aserrada sobre el cual se realizó el cálculo, ya que a una escala industrial, donde normalmente se cuenta con cámaras de secado de mayor capacidad, los costos se reducen al secar un mayor volumen de madera.

CONCLUSIONES

La calidad de la madera de encino secada en secador solar, es similar a la obtenida en estufa convencional e incluso mejor a la que se puede obtener al aire libre. El tiempo de secado de la madera de encino en secador solar logra reducirse a una cuarta parte del que se requiere para el secado de la misma al aire libre y sólo es un poco mayor al del secado en estufa convencional. De igual manera los costos del secado de la madera en el sistema solar a nivel comercial son equivalentes a los generados en el secado al aire libre.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ N., H.; FERNÁNDEZ-GOFIN, S. 1990. Solar drying of sawn lumber in Spain. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 48: 173-178.
- BEJAR M., G. 1985. Algunas recomendaciones prácticas para la utilización de madera de encinos. 11 Seminario Nacional sobre Utilización de Encinos. Publicación especial No. 49. SARH-INIF. pp. 380-384. México, D. F.
- CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. 1979. Norma Chilera Oficial. 178. Madera aserrada de pino insigne. Clasificación por aspecto. Santiago, Chile. 5 pp.
- CHEN, P.Y.S.; CH. E. HELTON. 1989. Design and evaluation of a low-cost solar kiln. *Forest Prod. J.* 39(1):19-22.
- CHUDNOFF, M.; E. D. MALDONADO; E. GOYTIA. 1966. Solar drying of tropical hardwoods. USDA. FS., Res. Pap. ITF-1. Inst. Trop. For., Río Piedras, Pto. Rico, 26 p.
- DÍAZ GÓMEZ, V. 1977. Secado de maderas en estufa. 1er. Seminario sobre Industrialización Forestal. SARH-SF-INIF. 7 pp. México, D. F.
- FUENTES LÓPEZ, M. E. 1990. Propiedades físico-mecánicas de cinco especies de encino (*Quercus* sp.) del estado de Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. 57 p. Texcoco, México.
- FUENTES SALINAS, M. 194. Secado de la madera aserrada de *Pinus radiata* D. Don, impregnada con sales hidrosolubles CCA. Tesis de Maestría Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 162 p.
- JUNAC. 1989. Manual del grupo andino para el secado de maderas. Proyecto subregional de promoción industrial de la madera para construcción. Junta del Acuerdo de Cartagena. Lima. 418 p.
- KAUMAN, W.; MITIAK, G. 1966. Ensayos de secado en Coigue (*Nothofagus dombeyi*). Inf. Tec. No. 25. Instituto Forestal. Santiago, Chile. 25 p.
- LUMLEY, T. G.; CHOONG, E. T. 1979. Technical and economic characteristics of two solar kiln designs. *Forest Prod. J.* 29(7):49-56.
- LITILE, R. L. 1984. Industrial use of solar heat in lumber drying: along-term performance report. *Forest Prod. J.* 134(9):22-26.
- MARTÍNEZ E.; PINILLOS Y GUETO. 1984. Secadora solar para maderas. Nota Técnica No. 10. 14 p. INIREB-LACITEMA. Xalapa, Ver.
- PECK E., C. 1962. Drying 4/4" red oak by solar heat. *Forest Prod. J.* 12:103-107.
- PLUMPTRE, R. A. 1979. Simple solar heated timber dryers; desing, performance and commercial viability. *Commonwealth Forest Rev.*, 58(4):243-251.
- RODRÍGUEZ A. R.; FUENTES, F. J.; MONTES R., E. 1989. El uso de secadores solares en la industria de la madera. AMATL. Bol. Difusión No. 9 pp. 22-33. Guadalajara, Jal.
- RZEDOWSKI, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 432 p.
- SCHNIEWIND, A.P. 1960. On the nature of drying stresses in wood. *Holzforschung*. 14(6):161-168.
- SIMPSON, W.T. 1991. Dry kiln operator's manual. USDA. FS. FPL. 274 P. Madison.
- TSCHERNITZ; J.L.; SIMPSON, W. T. 1979. Solar-heated, torced air, lumber dryer for tropical latitudes. Technical Note. *Solar Energy*. 22: 563-566. Madison.
- WENGERT, E.M. 1971. Improvements in solar dry kiln designs, USDA FS.FPL. Research Note No. 212. Madison.
- YANG K. C. 1980. Solar kiln performance at a high latitude, 48 No. *Forest Prod. J.* 30(3):37-40.