

SECADOR SOLAR: UNA ALTERNATIVA DE BAJO COSTO PARA SECAR MADERA ASERRADA EN LA SIERRA JUÁREZ, OAXACA

SOLAR DRIER: A LOW-COST ALTERNATIVE TO DRY WOOD SAWN IN SIERRA JUÁREZ, OAXACA

Herrera-Bolaños, O.¹; Ruiz-Aquino, F.^{1*}; Santiago-García, W.¹; Sarmiento-Bustos, D.¹

¹Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Av. Universidad s/n, Ixtlán de Juárez C.P. 68725, Oaxaca.

*Autor de Correspondencia: ruiz.aquino@unsij.edu.mx

RESUMEN

Se describen los detalles del diseño y construcción de un prototipo de secador solar para madera aserrada con capacidad de 1.7 m³. En su construcción se utilizaron materiales disponibles en el mercado local y su funcionamiento se evaluó secando madera de *Pinus* sp., de 25 mm de espesor, 1.8 m de largo y anchos variables. La estructura del secador se construyó con tubos metálicos y reforzó con bastidores de madera. La cámara de secado se construyó con plástico tipo invernadero y en conjunto el secador quedó ensamblado sobre un piso de concreto de 10 cm de grosor. Se realizaron dos ensayos de secado; uno al aire libre, expuesto a las condiciones ambientales y el otro en el secador solar. Se determinó que la madera en el secador solar alcanzó un contenido de humedad por debajo del 12% en 16 días, mientras que la madera que se expuso a secado al aire libre en 25 días su contenido de humedad se mantuvo por encima del 17%. En el secador solar la madera presentó pocos defectos (rajaduras, grietas y manchas) en porcentajes mínimos, los cuales se pueden fácilmente eliminar con el cepillado.

Palabras clave: contenido de humedad, calidad de la madera, defectos en madera.

ABSTRACT

The details of the design and construction of a prototype of solar drier for sawn wood with a capacity of 1.7 m³ are described. Materials available in the local market were used for its construction, and its functioning in drying *Pinus* spp. wood, 25 mm thick, 1.8 m long and of variable widths was evaluated. The structure of the drier was built with metallic tubes and reinforced with wood frames. The drying chamber was built with greenhouse type plastic and together with the drier was assembled on concrete floor of 10 cm thickness. Two drying assays were performed; one outdoors, exposed to environmental conditions, and another one in the solar drier. It was determined that the wood in the solar drier reached a moisture content below 12 % in 16 days, while the wood exposed to drying outdoors for 25 days kept its moisture content above 17 %. In the solar drier the wood presented few defects (cracks, slits and stains) in minimal percentages, which can be easily eliminated with brushing.

Keywords: moisture content, wood quality, wood defects.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 9, septiembre, 2017. pp: 84-89.

Recibido: diciembre, 2016. **Aceptado:** julio, 2017.

INTRODUCCIÓN

La energía solar es una fuente de energía sustentable debido a tres factores: es gratuita, es ilimitada y no contamina (Vidal *et al.*, 2012). Los secadores de madera que utilizan la energía solar para incrementar la temperatura en la cámara de secado, surgen como alternativa que contribuye a satisfacer las necesidades de las industrias forestales (Ugwu *et al.*, 2015), ayudan a reducir contenidos de humedad, tiempos de secado y mejoran la calidad de la madera sin alta inversión como lo representan las estufas convencionales (Fuentes-Salinas *et al.*, 2003; Awadalla *et al.*, 2004). Los secadores solares constan de cuatro partes fundamentales (colector solar, cámara de secado, ventiladores y ventilas) y tienen la capacidad de almacenar el calor que es generado por la incidencia de los rayos solares sobre un colector de temperatura (Salas-Garita *et al.*, 2008), con lo que se disminuye la humedad relativa del aire (Vidal *et al.*, 2012), lo que se traduce en tiempos de secado más cortos (Cruz de León, 2012; Ugwu *et al.*, 2015). En México el secado de la madera en estufas industriales es poco utilizado, debido a que la inversión inicial es muy alta y muchos aserraderos no tienen la capacidad económica para adquirirlas (Solís-Rodríguez *et al.*, 2003). En el presente trabajo se evaluó el funcionamiento de un prototipo solar de bajo costo para secar madera aserrada en la Sierra Juárez de Oaxaca, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La estufa solar se construyó en la Universidad de la Sierra Juárez, ubicada en la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México, donde la precipitación promedio es de 800 a 1200 mm al año (Fuente-Carrasco *et al.*, 2012). Dentro del Campus universitario se ubicó en un área donde la estructura quedara expuesta más tiempo a los rayos del sol, y se colocó sobre un concreto de 3 m de largo por 2 m de ancho y 10 cm de grosor, utilizando como material de carga tubos metálicos de 5 cm de diámetro, los cuales se colocaron a una distancia de 1 m. Para la construcción de la estructura del techo se utilizaron chambranas metálicas y tiras de madera de dimensiones variadas,

éstas se colocaron en conjunto con la lámina acrílica. El recolector solar se construyó con 2 láminas galvanizadas Calibre 32 pintadas de color negro mate. La estufa solar tiene una altura máxima de 2.20 m y una altura mínima de 1.47 m (Figura 1a), resultando una pendiente del 10% (Salas-Garita *et al.*, 2008). Una vez instalada la estructura, se procedió a colocar el plástico de recubrimiento para las cuatro paredes, y enseguida se colocó un ventilador de tambor de alta velocidad (diámetro 40 cm). La estufa solar cuenta con una puerta de carga (Figura 1b), así como dos ventilas colocadas en la pared superior, cuya finalidad es el intercambio de aire del interior de la cámara de secado al exterior.

Validación de la estufa solar

Para la validación de la estufa solar se consiguió madera de pino 25 mm de espesor, 1.8 m de largo y anchos variables. Posteriormente se realizó el apilado horizontal de la madera tanto en la cámara de secado, como al aire libre, utilizando cuatro separadores de madera, secos y del mismo grosor (Shupe y Mills, 1992). Los separadores quedaron distribuidos uniformemente a lo largo de la pila y colocados de tal manera que estuvieran perfectamente alineados

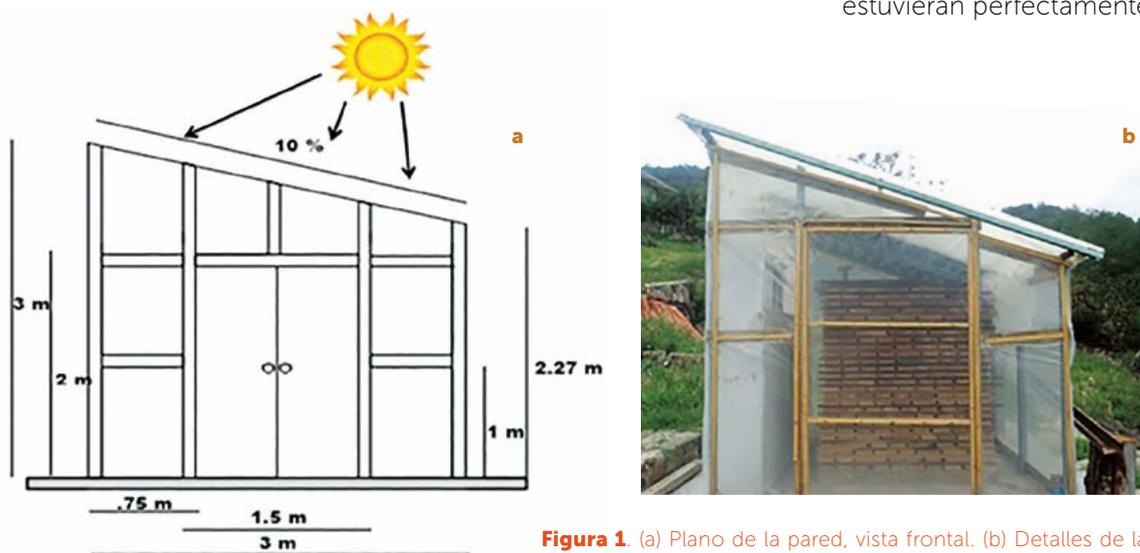


Figura 1. (a) Plano de la pared, vista frontal. (b) Detalles de la construcción de la puerta y de la estructura de la estufa solar.

a lo alto de la pila (Bárceñas-Pazos *et al.*, 2013), el volumen de madera que se apiló para ambas estibas fue de 1 m^3 , ya que el tamaño de la carga depende de la capacidad y tipo de secador a ser empleado (Viscarra, 2013). Para el registro de la temperatura en el proceso de secado, se colocó un termómetro de mercurio en el colector solar, uno en la cámara de secado y otro al aire libre; también, para registrar la humedad relativa de la cámara de secado, se instaló un psicrómetro construido con dos termómetros de mercurio (Medrano, 2003), en dicha lectura se consultó la carta psicrométrica. Para evaluar la disminución del contenido de humedad de la madera, se tomaron tres tablas por cada pila (Martínez-Pinillos, 1997), de estas tablas se obtuvieron muestras de 450 mm de longitud (Viscarra, 2013), de las cuales en cada extremo se cortaron probetas de 25 mm. Estas probetas fueron registradas con una clave única y se utilizaron para calcular el contenido de humedad inicial de la tabla muestra. Para determinar el contenido de humedad se utilizó el método por pesadas mediante la ecuación 1 (Owoyemi *et al.*, 2015).

$$CH = \frac{P_i - P_o}{P_o} * 100 \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

CH=Contenido de humedad.

P_i =Peso fresco de la madera al momento de cortar la sección y la muestra.

P_o =Peso seco o constante de la sección de madera secada al horno.

Posteriormente, se obtiene un valor que se denomina peso seco calculado (PSC) para cada una de las muestras grandes mediante la ecuación 2 (Solís-Rodríguez *et al.*, 2003).

$$PSC = \frac{P_i}{1 + CHI} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

PSC=Peso seco estimado de las muestras.

P_i =Peso inicial de las muestras.

CHI=Contenido de Humedad inicial.

El valor de PSC calculado se utiliza para determinar cómo disminuye el contenido de humedad de la muestra grande mediante la ecuación 3.

$$CH = \frac{P_f - P_{sc}}{P_{sc}} * 100 \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde:

CH=Contenido de humedad de la madera.

P_f =Peso fresco de la madera al momento de pesar la muestra secada en la estufa.

P_{sc} =Peso seco calculado o Peso seco constante de la muestra, como si fuera secada en estufa.

Con los datos obtenidos en cada medición y mediante la ecuación 3, se determinó el momento en que la madera llega al contenido de humedad

deseado para dar por terminado el proceso de secado (Martínez-Pinillos, 1997). Además se debe utilizar un higrómetro para el seguimiento de la disminución de la humedad de las muestras de madera (Solís-Rodríguez *et al.*, 2003). Para tener un buen control del proceso de secado se realizaron monitoreos en diferentes horas del día (12:00, 14:00 y 16:00 h), registrando la temperatura del colector, de la cámara y del medio ambiente. También, en estos tiempos se registró la humedad relativa del interior de la cámara de secado, en el caso de que fuera muy elevada (>60 %), se abrían las ventilas con la finalidad de desalojar la humedad relativa de la cámara de secado. Es muy importante tener un buen control durante el proceso y tratar de perder la menor cantidad posible de calor (Steinmann, 1989). La calidad de secado se evaluó con base en Fuentes-Salinas (2008), considerando rangos permisibles según el defecto que presentaron las tablas como son rajaduras en los extremos, grietas superficiales, acanaladura, arqueadura, encorvadura y torcedura. Para esta evaluación se consideraron 162 tablas de diferentes dimensiones, que representan el 100 % de las tablas que se introdujeron en el secador solar.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

El costo de construcción fue de \$14,330.00 MXN, de los que \$7,600.00 correspondieron a mano de obra y el restante a materiales. La inversión inicial fue relativamente baja, debido a que los materiales utilizados son de bajo costo. La Figura 2 muestra la variación de temperaturas alcanzadas en el proceso de secado; en el colector solar se alcanzó una temperatura máxima de $45.6 \text{ }^\circ\text{C}$, debido a que en esta zona

se concentra todo el calor absorbido. En la cámara de secado, se registró una temperatura máxima de 40.6 °C y al aire libre se alcanzó una temperatura máxima de 27.3 °C. El periodo de secado se realizó del 02 al 20 de Junio del año 2016, cabe resaltar que durante este periodo se presentó abundante precipitación, así como días nublados debido a que en la región donde se localiza la estufa solar la precipitación es alta.

En promedios las temperaturas registradas fueron: colector solar 35.9 °C, cámara de secado 30.6 °C y aire libre 23.6 °C, resultando una diferencia de temperatura de 7 °C entre la cámara de secado y al aire libre, esta diferencia es la responsable de que el secado sea más rápido en la estufa solar. En el estudio realizado por Fuentes-Salinas *et al.* (2003) para el mismo fin, la temperatura promedio de la cámara de secado fue de 32.4 °C y al aire libre 24.1 °C. Martínez-Pinillos (1997), en su estudio registró temperaturas promedio de 39.4 °C para la cámara de secado y 22.3 °C al aire libre. Cabe mencionar que estas temperaturas están en función a la región geográfica donde se ubican las estufas solares y dependen de la estación del año.

La humedad relativa que se registró fue muy variable, debido a que durante el proceso de secado se presentaron altas precipitaciones; los valores promedio registrados fueron

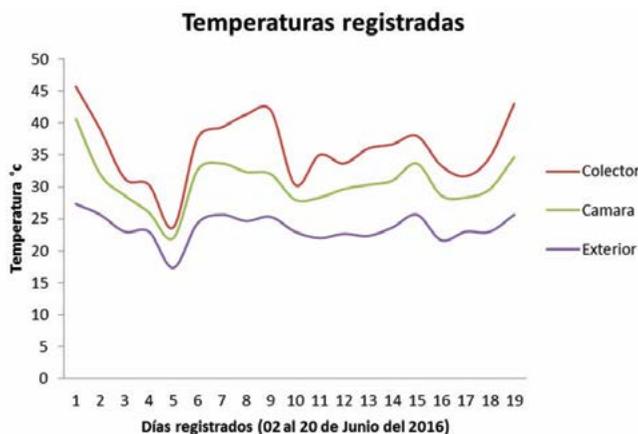


Figura 2. Variación de la temperatura en el transcurso del día al aire libre, en el secador solar y en la cámara de secado (02 al 20 de Junio del 2016).

Tiempos de secado

El promedio del contenido de humedad inicial de las muestras de madera fue de 32.18%, este valor es superior del punto de saturación de la fibra reportado por Rodríguez-Justino (2012), en la misma área de estudio para *Pinus patula* Schl. Et cham 29.46% y *Pinus pseudostrobus* Lindl. 29.37%. Con base en las diferencias de temperatura alcanzadas en la estufa solar y al aire libre, se presentaron tiempos de secado diferentes (Figura 3). En un periodo de 18 días, la madera que se apiló en la estufa solar presentó en promedio un contenido de humedad de 11.76%, se continuó con el registro, pero los resultados se mantuvieron estables. Sin embargo, en el mismo periodo la madera que se apiló al aire libre presentó en promedio un contenido de humedad de 17.11%, el registro para este caso se siguió tomando durante dos semanas más, presentando poca variación, ya que el contenido de humedad disminuyó al 17.09%. Esto representa de cierta manera pérdidas en el proceso de secado y mayor probabilidad de que la madera presente defectos (Quintanar *et al.*, 2011).

En el estudio realizado por Fuentes-Salinas *et al.* (2003), la madera de pino de 2.5 cm de espesor, se secó a un CH del 12% en un periodo de 17 días.

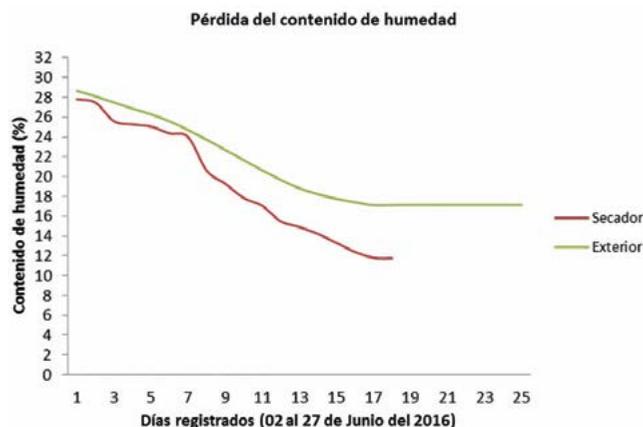


Figura 3. Curvas de secado al aire libre y en el secador solar, de la madera de *Pinus* spp.

superiores a 50% (Figura 3), valor crítico para el proceso de secado, ya que si este valor sobrepasa 60%, las ventilas tienen que estar abiertas con la finalidad de equilibrarla con el medio ambiente. Además es importante tener en funcionamiento todo el tiempo el ventilador con el objetivo de circular todo el vapor de agua y no permitir que el exceso humedad genere manchas en la madera.

En el estudio de Martínez-Pinillos (1997) para cuatro cargas de madera de pino, la madera de 2.5 cm de espesor se secó en un periodo de 9 a 18 días, alcanzando contenidos de humedad menores al 12%. Solís-Rodríguez *et al.* (2003), reportan un tiempo de secado de 35 días para madera de *Enterolobium cyclocarpum*. Mediante esta información también se puede verificar la

eficiencia de la estufa solar presentada, ya que reduce considerablemente los tiempos de secado. Esto se debe a que en el secador solar se incrementa la temperatura y disminuye la humedad relativa, este control aumenta la velocidad de secado y se alcanzan niveles de humedad más bajos (Tschernitz y Simpson, 1979). La eficiencia de la estufa solar en comparación con el secado al aire libre, es muy notoria, en pocos días la madera alcanza contenidos de humedad apropiados para la industrialización de la madera, además la implementación de este tipo de secadores no requiere de altos costos de inversión y pueden ser recuperados rápidamente debido a que los gastos de operación son económicamente bajos; la utilización de la energía renovable del sol hace que la propuesta sea un producto sustentable, al no utilizar combustibles derivados del petróleo en la operación, no existe un grado de emisión de contaminantes al medio ambiente y también ayuda a mejorar la eficiencia en industrias forestales, aumentando el valor agregado de la madera.

Defectos evaluados

Al terminar el proceso de secado se evaluaron todas las tablas introducidas en el secador solar (162 piezas de diferentes dimensiones), para evaluar los defectos originados por el proceso de secado, tales como rajaduras, manchas y grietas, cuantificándolos en 11% con grietas, 3% con rajaduras y 10% con manchas. Las grietas solo se presentaron en los extremos de las piezas, con una profundidad menor a 1 mm por lo cual, la afectación en la calidad de la madera es mínima ya que se pueden corregir realizando un cepillado en la madera (Alcoba-Campos, 2009). Estas grietas se originan como resultado de la tensión capilar que supera la resistencia mecánica de la madera, especialmente en células de madera temprana, donde la pared celular es más delgada, también ocurren como resultado de la tensión del líquido desarrollada por el movimiento del agua al salir de los lúmenes (Vera et al., 2007). En el estudio de secado a nivel laboratorio en madera de teca (*Tectona grandis*) realizado por Alcoba-Campos (2009), el porcentaje de grietas fue de 16%. Gómez y Moya (2008) reportan para *Bombacopsis* y *Tectona grandis*, valores de grietas superiores a 30%. A su vez, Zarate (2006), en un estudio de evaluación de un programa de secado de *Pinus radiata*, registró 28% de rajaduras. Las grietas y rajaduras se presentaron debido al tipo de corte que presenta la pieza de madera (tangencial) y por la estructura anatómica que ésta presenta. Las dimensiones de los radios son las variables anatómicas que más influencia tiene en el

proceso de secado, debido a que presenta una pared celular primaria flexible, poco engrosada y constituyen puntos débiles en la madera por la ausencia de la pared secundaria (Vera et al., 2007; Ruiz-Aquino et al., 2016).

En la evaluación de un programa de secado de *Pinus radiata*, realizada por Zarate (2006), el valor de rajaduras fue de 17% y en el estudio de secado a nivel laboratorio de madera de teca, presentado por Alcoba-Campos (2009), el valor de rajaduras fue de 15%. Estos porcentajes son más altos a los que se registraron en este estudio (3%).

El porcentaje de las manchas registradas (10%) tienden a afectar directamente la calidad de la madera, principalmente a la apariencia física, ya que esta le da una coloración oscura a la pieza. La resistencia mecánica de la madera no se ve afectada por este tipo de defecto y su utilización en la industria puede ser muy amplia. En otros trabajos de investigación publicados por Alcoba-Campos (2009); Gómez y Moya (2008) y Tenorio-Monge (2011), el secado de la madera presentó defectos, tales como: alabeo, abarquillado, arqueadura, encorvadura y torcedura, los cuales en este estudio no se presentaron, los autores lo atribuyen a que se realizó un apilado incorrecto y a las altas temperaturas utilizadas durante el proceso.

Calidad del secado

Con base en los criterios de calidad de secado de Fuentes (2008), la madera secada en la estufa solar se clasificó en el intervalo de G2, debido a que los defectos se presentaron de manera ligera, por lo que se considera que el proceso fue de buena calidad. El secado de la madera incrementa la resistencia mecánica de la misma, aumenta la facilidad de impregnación de preservadores, minimiza la infestación por hongos y facilita las uniones (Owoyemi et al., 2015). Con estos resultados la propuesta es recomendable para pequeños y medianos productores forestales de la región de la Sierra Juárez de Oaxaca, México, ya que se reducen considerablemente los tiempos de secado comparado con el secado al aire libre, se puede obtener madera de buena calidad, además de que al utilizar la energía del sol, los costos de operación resultan económicamente bajos.

CONCLUSIONES

Es importante seleccionar los materiales de construcción adecuados y la buena ubicación, para

asegurar la mayor cantidad de radiación solar durante el día. Los porcentajes de humedad que se registraron en la madera secada al aire libre fueron en promedio entre 17% y 18%, mientras que en el secador solar fue de entre el 11% y 12%. El tiempo que transcurrió para que la madera disminuyera su contenido de humedad en el secador solar resultó mucho menor comparado con el secado al aire libre, por lo que el secador solar propuesto es una buena alternativa para secar madera aserrada con mínimo porcentaje de defectos.

LITERATURA CITADA

- Alcoba-Campos R. 2009. Desarrollo de un programa de secado convencional para la madera de Teca (*Tectona grandis* Lin. f.), a escala de laboratorio. Tesis de Maestría. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. 103 p.
- Fuente-Carrasco M.E., Ruiz-Aquino F., Aquino-Vásquez C. 2012. Conocimiento indígena contemporáneo y patrimonio biocultural en la Sierra Juárez de Oaxaca: Aportaciones empíricas y analíticas hacia la sustentabilidad. Universidad de la Sierra Juárez. México. 166 p.
- Awadalla H.S.F., El-Dib A.F., Mohamad M.A., Reuss M., Hussein H.M.S. 2004. Mathematical modelling and experimental verification of wood drying process. *Energy Conversion and Management* 45(2): 197-207.
- Bárceñas-Pazos G.M., Martínez-Castillos J.L., Rodríguez de Anda R., Quintanar-Olguin J. 2013. Estufa solar de secado de madera. Manual de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 37 p.
- Cruz de León J. 2012. Secado de la madera. Academia Española. México. 234 p.
- Fuentes-Salinas M. 2008. Sistema para clasificar el proceso de secado de madera aserrada. Manual de prácticas. Universidad Autónoma Chapingo. México. 5 p.
- Fuentes-Salinas M., Luna-Sánchez D., Osorio-Suárez J., Corona-Islas J. 2003. Construcción y validación de un secador solar para madera aserrada. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9(2): 171-176.
- Gómez P., Moya R. 2008. Comportamiento y costos de secado al aire y preservación por inmersión-difusión de madera de *Tectona grandis* L. f. y *Bombacopsis quinata* (Jacq.) Dugand de plantaciones de rápido crecimiento en el norte de Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal* 5(13):1-13.
- Martínez-Pinillos C.E. 1997. Diseño y ensayo de un secador solar para madera. *Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Madera y Bosques* 3(2):13-28.
- Medrano S. 2003. Medición de Humedad Relativa con Psicrómetro. Boletín periódico del laboratorio de metrología. México. 4 p.
- Owoyemi J.M., Oyebamiji W.O., Aladejana J.T. 2015. Drying Characteristics of Three Selected Nigerian Indigenous Wood Species Using Solar Kiln Dryer and Air Drying Shed. *Journal of Science and Technology* 2(4): 176-182.
- Quintanar O.J., Fuentes L.M.E., Tamarit U.J.C. 2011. Evaluación económica de un secador solar para madera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(7):97-104.
- Rodríguez-Justino R. 2012. Propiedades físicas de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., y *Pinus pseudostrobus* Lindl., de la región de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad de la Sierra Juárez. México. 116 p.
- Ruiz-Aquino F., González-Peña M. M., Valdez-Hernández J. I., Romero-Manzanares A. (2016) Estructura anatómica de la madera de dos encinos de Oaxaca. *Madera y Bosques* 22(1):177-189.
- Salas-Garita C., Moya-Roque R., Córdoba-Foglia R. 2008. Diseño y construcción de un secador solar para madera. *Kurú: Revista Forestal* 5(14):1-26.
- Shupe F.T., Mills H.R. 1992. Procesos de Secado Para Evitar Defectos en la Madera Verde. Louisiana State University Agricultural Center. EUA. 24 p.
- Solís-Rodríguez L.E., Cerón-Cardeña M.A., González-Ahumada I. 2003. Diseño y operación de una estufa solar para secar madera. *Ingeniería* 35-48.
- Steinmann D. 1989. Control of equilibrium moisture in a solar kiln. *Wood Drying Symposium. IUFRO. Washington, EUA.* 221 p.
- Tenorio-Monge C. 2011. Factores de variación del contenido de humedad, color y defectos en la madera de *Acacia mangium* (Willd) antes y después del secado. Tesis de licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 76 p.
- Tschernitz J. L., Simpson W.T. 1979. Solar-heated, forced-air, lumber dryer for tropical latitudes. *Solar energy* 22(6): 563-566.
- Ugwu S.N., Ugwuishi W.B.O., Ekechukwu O.V., Njoku H., Ani A.O. 2015. Design, construction, and evaluation of a mixed mode solar kiln with black-painted pebble bed for timber seasoning in a tropical setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41: 1404-1412.
- Vera S.J., Ananías R.A., Díaz-Vázquez J.E. 2007. Condicionantes de las grietas internas dentro de los anillos durante el secado de pino radiata. *Maderas: Ciencia y tecnología* 9(2): 145-159.
- Vidal S.A., Velázquez C.O., Iñaki C.R., Ortega M.G. 2012. Diseño y construcción de un secador portátil. *Academia Journal* 4(2): 1613-1618.
- Viscarra S. 1998. Guía para el secado de la madera en hornos. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR. Bolivia. 64 p.
- Zarate J.A. 2006. Evaluación de un programa de secado de *Pinus radiata* D. Don impregnado con sales de CCA. Tesis de licenciatura. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 63 p.