

# Estufa solar de secado de madera

Transferencia de tecnología es... *producir mejor*



**GOBIERNO  
FEDERAL**

**SEMARNAT**



**Vivir Mejor**

PAQUETE TECNOLÓGICO  
**Estufa solar de secado de madera**



## **Presentación:**

El presente material tiene como objetivo divulgar técnicas para el aprovechamiento forestal sustentable que sean apropiadas para las condiciones de las zonas marginadas no urbanas de nuestro país.

Con este manual de transferencia tecnológica daremos a conocer una metodología práctica para la construcción de un secador solar para madera.

Este manual surge del proyecto Desarrollo Tecnológico para la Optimización de los Procesos de Secado de Madera de Encino en el Estado de Oaxaca del Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR, en conjunto con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y forma parte de una serie que contiene distintos paquetes tecnológicos para el aprovechamiento eficiente de los recursos naturales, los cuales se encuentran a su disposición en la página de Internet:

[www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal).

Aquí podrá encontrar los beneficios, el procedimiento y el material necesario para la adopción de este paquete.

Esperamos le sea de utilidad para realizar la transferencia y divulgación de tecnologías sustentables.

# ÍNDICE

<b>Introducción</b>	<b>6</b>
Objetivos generales	7
Importancia del secado de la madera	7
Beneficios del secado de madera	7
Secado solar de madera	8
<b>Capítulo 1</b>	
Estufa solar de secado de madera	9
Partes que conforman la estufa solar de secado de madera	9
A) Colector solar	9
B) Cámara de secado	10
C) Sistema de circulación del aire	10
D) Sistema de control de humedad	10
Orientación	10
<b>Capítulo 2</b>	
Proceso de construcción	11
Estufa solar fija	11
Paso 1 Cámara de secado	11
Etapa 1 Losa de cimentación	11
Etapa 2 Cámara de secado	11
Etapa 3 Muros	12
Etapa 4 Puertas y ventilas	14
Paso 2 Colector solar	15
Paso 3 Sistema de circulación del aire	18
Paso 4 Registro de temperatura y humedad	19
Estufa solar tipo invernadero	21

### **Capítulo 3**

Uso de la estufa	<b>24</b>
Carga de la estufa	<b>24</b>
Paso 1 Acomodo de la madera	<b>24</b>
Paso 2 Separadores de madera	<b>25</b>
Paso 3 Determinación del contenido de humedad de la madera	<b>25</b>
Paso 4 Tiempos de secado	<b>28</b>
Recomendaciones de mantenimiento	<b>28</b>
Almacenamiento de madera estufada	<b>29</b>
Defectos que pueden presentarse al secar madera en una estufa solar	<b>30</b>

<b>Literatura citada</b>	<b>32</b>
--------------------------	-----------

<b>Glosario</b>	<b>33</b>
-----------------	-----------

# Introducción

La madera ha sido un material ligado a los humanos desde tiempos inmemoriales y ha sido utilizado en la construcción, alimentación y transporte, entre otros usos. México es un país con una gran diversidad de especies arbóreas maderables en bosques y selvas. Su superficie forestal ocupa el 33% del territorio, con una extensión de 64.5 millones de hectáreas (World Wildlife Fund México, 2009).

Una buena parte de la población del país tiene como principal fuente de ingreso la venta de la madera o derivados de ésta, por lo que es de vital importancia cuidar la calidad que se pueda ofrecer en el momento de su comercialización. Tradicionalmente y por razones prácticas y económicas, la madera en las poblaciones rurales se seca al aire libre y como consecuencia, generalmente presenta una baja calidad, así como desperdicio y retraso en los tiempos de secado. Existen opciones para el secado de la madera: por ejemplo las denominadas estufas técnico-convencionales, cuyos costos de inversión y de consumo de energéticos son elevados, por lo que quedan fuera del alcance del pequeño productor maderero. Otra opción viable y a bajo costo, son las estufas solares para secado de madera, cuya eficiencia se sitúa en un punto intermedio entre el secado al aire libre y el técnico-convencional.

Este manual ofrece la información básica sobre la construcción y funcionamiento de una estufa solar para este fin, tecnología que utiliza el sol como recurso energético para deshidratar o extraer la humedad de la madera en tiempos menores que el secado al aire libre; sobre las prácticas adecuadas para un buen secado, que ayude a disminuir las pérdidas como consecuencia de rajaduras y torceduras provocadas por un proceso inadecuado y para incrementar el valor de la madera en el mercado. Estas tecnologías pueden ser utilizadas en conjunto o por separado, según sea el caso. El sistema completo está dividido en dos: un purificador solar y un esterilizador de luz UV.

## Objetivos generales

- Transferir un paquete tecnológico para replicarse en diferentes comunidades del país, en beneficio de la población.
- Promover la construcción de una estufa solar de secado de madera para reducir el tiempo del proceso de deshidratado y agregar un valor extra a los productos, con mejor calidad.
- Mejorar los procesos de secado de madera que hasta hoy se hacen en forma tradicional (al aire libre), a través de una tecnología económica y amigable con el medio ambiente.

## Importancia del secado de la madera

El principal objetivo al secar la madera, cualquiera que sea el procedimiento para lograrlo, es remover o eliminar el exceso de humedad que posee, para mejorar sus condiciones de uso. El contenido de humedad (expresado como un porcentaje del peso de la madera seca) por remover dependerá de la cantidad de agua que contenga al principio del secado y del uso al que se destinará.

El secado eficaz de madera puede definirse como el proceso de eliminación del exceso de agua que contiene la madera, mediante la aplicación de técnicas apropiadas que minimicen los defectos causados por la pérdida de humedad, en tiempos cortos y con costos mínimos (Quintanar O. J. *et al.* 2008).

## Beneficios del secado de madera

La madera seca tiene ventajas sobre la madera sin secar que la hacen más atractiva hacia el consumidor y elevan sus características de trabajo. Por ejemplo, los que menciona Quintanar *et al.* (2008).

- Disminuye su peso y por consiguiente los costos de manejo y transporte
- Se reduce el riesgo de daños causados por hongos y organismos xilófagos
- Aumenta su resistencia mecánica, lo que facilita su maquinado
- Se estabilizan sus cambios de volumen
- Se reduce la presencia de rajaduras y torceduras
- Es más fácil la aplicación de adhesivos y barnices

## **Secado solar de madera**

Tradicionalmente, la madera se seca mediante la exposición a la luz solar al aire libre, pero ante la necesidad de contar con materia prima de mayor calidad, se ha desarrollado una variedad de secadores solares que optimizan el uso de esta energía, y emplean diversos materiales adecuándolos a diferentes condiciones geográficas. Estas ventajas y los elevados costos en infraestructura que requiere un secador convencional, convierten a éste en la opción de menor costo, sin mermar la calidad resultante del proceso. Esta tecnología ha sido probada con éxito en diferentes regiones del país.

# Capítulo 1

## Estufa solar de secado de madera

La eficiencia de la estufa de secado de madera depende de su diseño para captar en forma óptima el calor del sol. En las zonas con mayor número de horas con radiación solar por día, se obtiene una mayor captación de ésta.

El funcionamiento de la estufa de secado inicia cuando los rayos solares atraviesan la cubierta transparente del colector y éstos se convierten en energía calorífica. El aire que entra al colector se calienta y al circular a través de la madera recoge la humedad y la seca. El aire húmedo es expulsado por las ventilas o recircula, calentándose nuevamente al pasar por el colector (Quintanar, 2005).

### Partes que conforman la estufa solar de secado de madera

El diseño básico de un secador solar, consta de cuatro partes fundamentales, aun cuando pueden existir variaciones o uso de más equipos, según el diseño o grado de sofisticación, los elementos principales son:

#### A) Colector solar

Es la parte más importante de esta tecnología, ya que es donde se capta la energía solar que será la que caliente el aire del interior de la cámara, permitiendo la reducción de la humedad de la madera. Está compuesto de tres partes:

- 1. Recubrimiento:** Es la parte externa del colector, su función es dejar pasar la radiación solar y evitar que escape el calor producido.
- 2. Zona de circulación de aire:** Es un espacio entre el recubrimiento y la superficie de absorción, donde el aire se calienta y se permite la circulación del mismo dentro de la cámara de secado.
- 3. Superficie de absorción:** Es donde ocurre el intercambio del calor atrapado entre el recubrimiento y la zona de circulación de aire.

## **B) Cámara de secado**

Es la cámara principal de la estufa, donde se apila (o arpillá como se dice técnicamente) la madera a secar. No existen especificaciones estrictas de sus dimensiones o diseño, ya que puede adaptarse a las condiciones y materiales locales, que se adecúen para su construcción.

## **C) Sistema de circulación del aire**

Es un sistema que hace circular continuamente el aire caliente dentro de la estufa, entre la madera apilada, arrastrando la humedad y después a través de la zona de circulación de aire del colector, para calentarlo nuevamente. El objetivo de este sistema es que el aire caliente se distribuya uniformemente en toda la estufa.

## **D) Sistema de control de humedad**

Es un sistema que ayuda a regular la temperatura interna de la cámara de secado y permite la salida del aire que arrastra la humedad de la madera, es básicamente un sistema de ventilas que se abren conforme lo requiera el avance del secado. Con instrumentos de medición de humedad, en el aire y en la madera, y de temperatura se controlan las condiciones del proceso.

## **Orientación**

La estufa deberá orientarse de tal forma que el colector quede expuesto hacia el Sur. Deberá estar inclinado un ángulo igual a la latitud del lugar en donde se encuentre, más diez grados. Esta inclinación es la recomendada para el mejor funcionamiento, tanto en verano como en invierno, pues permite que el colector tenga la mayor incidencia de luz solar (Rodríguez *w.*, 1989).

La estufa debe construirse en un sitio despejado, donde la sombra de árboles o edificaciones no afecte su funcionamiento, impidiendo la recepción de luz solar. Debe buscarse que el sitio en donde se construya sea plano, que cuando llueva no se acumule el agua a su alrededor y se debe mantener libre de vegetación, para que no se humedezcan los muros.

# Capítulo 2

## Proceso de construcción

### Estufa solar fija

#### Paso 1 Cámara de secado

##### Etapa 1 Cimentación:

Debe construirse una cimentación para fijar la secadora al piso, puede ser independiente de la losa del piso o colarse todo junto. También puede desplantarse sobre un muro o pilotes que la separen del suelo, siempre y cuando se asegure que no habrá paso de la humedad del suelo al interior de la secadora que pueda retardar el proceso de secado.

##### Etapa 2 Cámara de secado:

El material para construir la cámara debe tener propiedades aislantes (como se detalla en las páginas siguientes), además de ser lo suficientemente resistente para soportar el peso del techo colector. Los materiales más utilizados son: ladrillos, bloques de cemento, adobe, muros de pacas de paja y bastidores de madera.

Cuando se construya la cámara de secado, se puede agregar para mejorar su funcionamiento, una capa de algún material aislante, como fibra de vidrio, unicel o tableros de yeso, dependiendo del material utilizado en los muros.

La cámara de secado deberá tener las siguientes características:

La altura de las paredes sur y norte, será de acuerdo con la tabla y la región en donde será construida la estufa (Figura 3), sin importar el largo de ésta.

La distancia entre la pared norte y sur deberá de ser de tres metros para utilizar la tabla 1, pudiendo ser más ancha, pero entonces se debe ajustar la altura de los muros norte y sur, para mantener siempre la misma inclinación de los colectores.

El largo de la cámara de secado debe estar en función de la cantidad y el largo de las piezas de madera que se pretende secar con mayor frecuencia. Se le colocarán también tres o cuatro ventilas en la pared sur, que servirán para regular la temperatura interior y permitir la salida del aire húmedo.

Región	Altura de la pared sur en metros	Altura de la pared norte en metros
A	2.5	5.10
B	2.5	4.92
C	2.5	4.76
D	2.5	4.60
E	2.5	4.44
F	2.5	4.26
G	2.5	4.16
H	2.5	4.02
I	2.5	3.89

Tabla 1. Alto de las paredes sur y norte de la estufa en relación a la región del país en que se encuentre (Figura 3)

### Etapa 3 Muros:

su construcción dependerá del material seleccionado para ser utilizado. A continuación se describen los pasos a seguir para algunos materiales.

#### Ladrillo o bloque de cemento

Para levantar los muros de estos materiales se procede con el método tradicional de mampostería con la correspondiente utilización de castillos de varilla de metal, para reforzar las esquinas y partes medias de los muros.

## **Adobe**

Existen dos métodos de construcción de muros con adobe: el primero es cuando son prefabricados en otro lugar diferente a donde estará la barda. El segundo es cuando se fabrican sobre el mismo muro, ayudados de un molde que se coloca en el sitio en donde quedarán permanentemente, y con cada adobe que se añade, se va construyendo el muro.

## **Muros de pacas de paja**

Las pacas de paja se utilizan para dar estructura y relleno a los muros, como en la mampostería tradicional, utilizando una paca de paja como si fuera un bloque de cemento. En este caso la cimentación se hará por lo menos 30 centímetros por arriba del suelo, para evitar que la humedad deteriore las pacas. A este cimiento elevado se le coloca en la base unas mangueras de lado a lado, por donde pasarán los flejes de estabilización. También, hay que colocar unas varillas de 50 centímetros en el eje central del cimiento lateral: en ellas se encajará la primera fila de pacas del muro.

Con este tipo de construcción, para darle rigidez a la estufa solar, se debe construir una estructura de soporte que será la que cargue el peso del techo colector. Esta estructura se puede construir con bloques de cemento y/o castillos de varilla, en las esquinas y en la parte media de las paredes norte y sur, cuando éstas tengan más de cuatro metros de largo. Los pilares o castillos deberán ser del mismo ancho que las pacas a utilizar, para evitar tener que rellenar las esquinas o uniones entre las pacas y los pilares.

Se utilizan pacas para rellenar los espacios entre estos pilares y son acomodadas de la siguiente manera:

Las filas de pacas se colocan intercaladas de la misma manera que un muro de ladrillos y cada tres filas de pacas se colocan unas varillas de metal de un metro de largo para unir las pacas entre sí, utilizando dos varillas por cada paca. Para las puertas se deja el espacio ayudados de un marco de madera, de acuerdo

con el diseño planeado de la secadora. Una vez que los muros tienen la altura deseada, se coloca encima de la última fila de pacas un marco de madera que servirá para agregar peso y soportar el fleje. El fleje se pasa por los orificios de la manguera en los cimientos y por encima del marco de madera del muro. Se fleja en diferentes direcciones para darle resistencia y unión al muro. Para el enjarre de los muros, se utiliza una mezcla de barro con cemento y paja, similar a la utilizada para la construcción de adobes. Habrá que rellenar muy bien todos los huecos para que la cámara quede bien sellada con el colector y evitar fugas de aire caliente.

Si requiere mayor información, vea el manual de Tecnologías Alternativas para el uso Eficiente de Recursos, publicado por CONAFOR ([www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal)).

Muro con bastidores de madera: en sitios donde no se consigan con facilidad materiales procesados como bloques o tabiques, o se disponga de adobe, pero se trate de una zona boscosa, es recomendable hacer los muros con madera. Se elaboran bastidores de madera, con piezas de 3.8 x 78 x 240 centímetros (1 ½ x 4 pulgadas x 8 pies), clavadas sobre una pieza horizontal a cada 41 centímetros, hasta formar un bastidor de 122 centímetros de ancho x 244 centímetros de alto. Para alcanzar la altura del muro norte, se fabrican los bastidores de la altura requerida. Estos bastidores se atornillan a la loza de cimentación y entre ellos, para formar la cámara de secado.

#### **Etapa 4 Puertas y ventilas:**

Éstas deberán construirse según el tipo de muro o paredes con que se haya hecho la cámara de secado. La puerta se construye en una de las paredes laterales, con las dimensiones necesarias para que pueda entrar fácilmente la madera a secar.

Las ventilas deben estar en la pared sur y se recomienda que sean cuadradas, de aproximadamente 40 centímetros por lado.

Independientemente del material de que estén contruidos los muros de la cámara de secado, la puerta o puertas deberán de tener un empaque de hule espuma u otro material que sirva de sello, una vez cerrada la estufa para evitar las fugas de calor.

Las paredes laterales tienen que ser del mismo material que las paredes sur y norte. El espacio angular que queda de la diferencia entre las paredes sur y norte, deberá sellarse en su totalidad, sin dejar huecos entre la estructura y el colector. Se pueden usar tableros contrachapados (triplay) y lona, siempre y cuando esté bien fijada a los cuatro muros, para que no se mueva con la fuerza de los extractores.

## Paso 2 **Colector solar**

El recubrimiento deberá ser un material transparente como vidrio, acrílico, plexiglás o policarbonato. Para la superficie de absorción, los materiales más comunes son: aluminio, cobre, latón y acero. Las láminas galvanizadas onduladas son las más recomendables, tanto por sus características para transmitir el calor, como por su bajo costo.

Para su construcción se necesita fabricar un marco que sostendrá la lámina y la superficie aislante, la madera (de polines) es el material más recomendable (Figura 1).

La superficie aislante debe ser de un material que no permita el paso del calor fuera del colector, puede ser un tablero contrachapado (triplay) o duela de madera; se clava o atornilla a la parte inferior del marco del colector (Figura 1). Debe dejarse una separación entre ésta y los muros de la secadora, el más alto y el de menor altura, de 40 centímetros a todo lo largo de la cámara de secado. Este espacio será después cubierto con malla metálica.

La superficie absorbente (lámina galvanizada), se pintará de color negro mate (sin brillo) para que absorba la mayor cantidad de radiación solar. Después, se colocará sobre la superficie aislante (madera o triplay) separada de ésta cinco centímetros por piezas de madera.

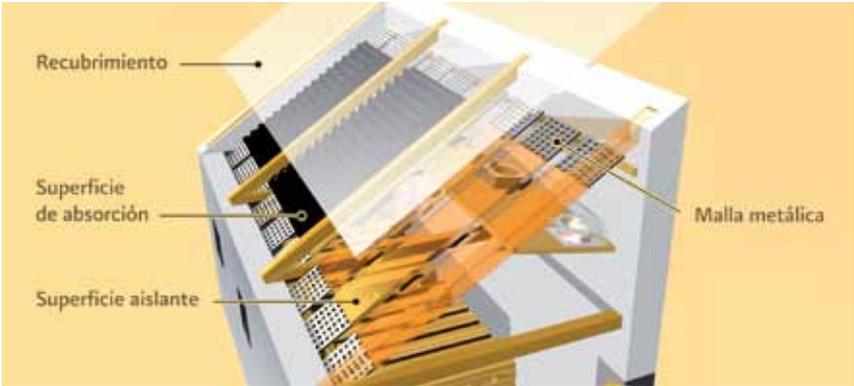


Figura 1. Vista interior de la estufa.

El marco de madera que rodea a todo el colector solar, debe estar soportado dentro de las paredes de la cámara de secado y dispuesto de tal manera que la distancia entre la lámina negra y las láminas transparentes, sea de diez a 11 centímetros.

Las láminas transparentes deben estar sobre los muros de la cámara de secado, cubriéndola en su totalidad a manera de techo, sin dejar huecos. Para unir estas láminas debe utilizarse un pegamento resistente a temperaturas altas y a la humedad. Para fijar las láminas transparentes a la cámara de secado, se utilizan pijas y se pondrá un sello de hule en cada pija para evitar la entrada de agua.

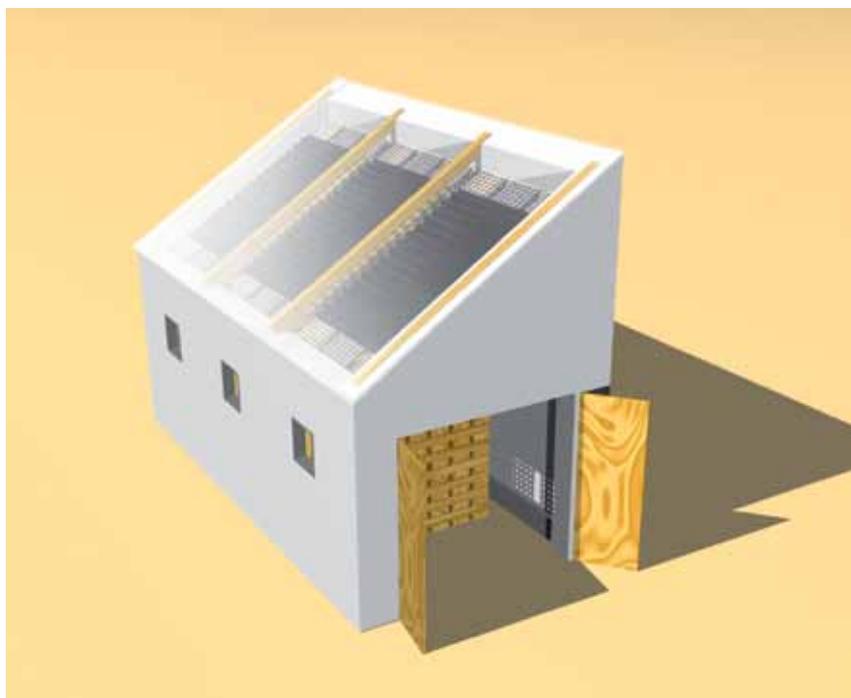


Figura 2. Vista lateral de la estufa.

Para dar esta inclinación sólo es necesario ver la región en la que se encuentra el sitio donde será construida la estufa, según la (Figura 3), y seguir las especificaciones de alturas de los muros, según la tabla para la construcción de la cámara de secado (Tabla 1).



Figura 3. Regionalización del país para encontrar las alturas de los muros de la estufa.

### Paso 3 Sistema de circulación del aire

La forma más usada para hacer circular el aire en el interior de la cámara de secado es con ventiladores conectados a la red eléctrica local o a una celda fotovoltaica cuando no hay líneas eléctricas. El ventilador o ventiladores deberán ser de uso industrial, se recomiendan de  $\frac{1}{2}$  caballo de fuerza y diámetro de 50 centímetros, para mover el aire a una velocidad de entre 1.5 y 2 metros por segundo. Es recomendable utilizar un regulador de intensidad colocado en el encendido de los ventiladores, con la finalidad de regular la velocidad del movimiento del aire. Los ventiladores deberán estar sujetos en la parte alta del techo colector, empujando el aire hacia el interior de la cámara de secado (Figura 4).



Figura 4. Vista interior del techo colector con ventiladores.

#### Paso 4 Registro de humedad y temperatura

Es necesario registrar constante o periódicamente, la temperatura y la humedad relativa en el interior de la estufa solar durante su funcionamiento. Se pueden utilizar psicrómetros, termómetros ambientales de carátula, o eléctricos con registro continuo (instalados dentro de la cámara de secado en un lugar visible desde las ventilas), sin abrir la puerta. Después, hacer un registro para elaborar un programa de secado, utilizando la tabla 2. Se deben realizar pruebas previas a la carga de madera a secar. Una vez conocida la temperatura y hechas las pruebas necesarias, se podrá establecer un promedio del tiempo y la temperatura necesarios para obtener un buen secado de la madera.

Especie	Tipo de maquinado	Dimensiones			
		Largo: Ancho: Grosor:			
Número de día	Temperatura por la mañana	Temperatura por la tarde	Temperatura por la noche	Promedio de humedad relativa de la cámara de secado	Observaciones

Tabla 2. Formato de ayuda para el programa de secado.

## Estufa solar tipo invernadero

Este tipo de estufas solares se basa en un diseño tipo invernadero donde la estructura principal se construye concón polines de madera unidos con pegamento y clavos. Se debe construir un panel o marco de madera por cada una de las paredes de la cámara de secado, así como las puertas y el soporte para el colector, lo que permite que la estufa sea portátil y pueda ser instalada según las necesidades (Figura 5).

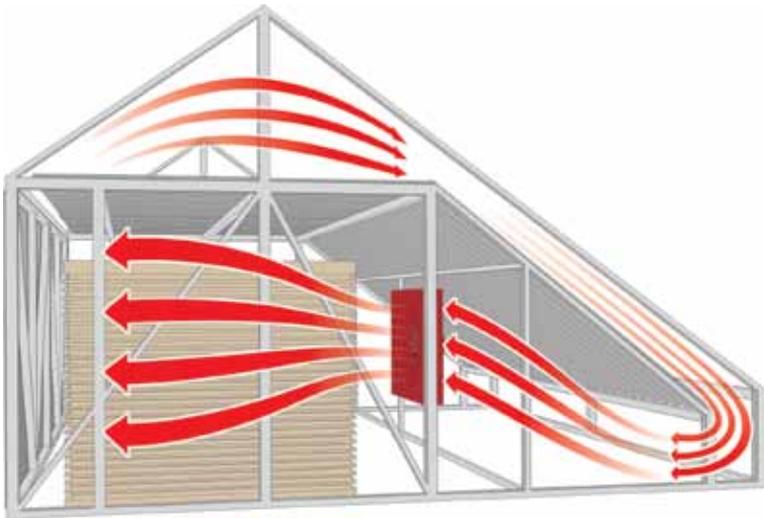


Figura 5. Diagrama del secador solar tipo invernadero.

El sistema de calentamiento o colector solar, se ubica como un techo interior en la cámara de secado, con una orientación hacia el sur y una inclinación igual a la latitud del lugar. Con el fin de minimizar costos, se construye con lámina galvanizada del calibre más bajo, pero pintada de negro mate en la parte expuesta al sol (Figura 6).



Figura 6. Ubicación del colector solar.

Toda la estructura es recubierta de polietileno transparente para invernadero, se recomienda el calibre 750 con tratamiento especial para rayos UV. El polietileno es fijado a la estructura con grapas para madera, cerciorándose que no queden huecos por donde pueda escapar el calor del interior.

El movimiento del aire al interior del secador solar es continuo, tanto para que se caliente al pasar por el colector, como para que circule a través de las pilas de madera y se realiza con ventiladores accionados por motores de baja potencia (Figura 7).



Figura 7. Ubicación del ventilador.

Debido a que la humedad y temperatura al interior del secador dependen fundamentalmente de las condiciones ambientales, su control básico es manual, mediante la apertura y cierre de ventilas.

El proceso de secado solar de la madera se realiza formando pilas de madera al interior del secador. El aire calentado por el colector solar se hace circular a través de las pilas, mediante los ventiladores, para trasportar la humedad evaporada de la superficie expuesta de la madera (Figura 8). Los ventiladores se encienden por la mañana y se apagan por la tarde-noche. Al inicio del proceso de secado se recomienda abrir las ventilas para desalojar con mayor rapidez la humedad que es removida de la madera.



Figura 8. Acomodo de la madera en la estufa solar.

# Capítulo 3

## Uso de la estufa

### Carga de la estufa

#### Paso 1 Acomodo de la madera

Debido a que las propiedades de la madera varían de acuerdo con la especie, es recomendable apilar sólo madera de un tipo y espesor por carga, para evitar problemas en su manejo y secado. La forma más práctica de apilar la madera es en camas, colocando una capa de tablas lo más juntas posibles, sobre ella una capa de separadores uniformemente distribuidos y sobre éstos otra cama de tablas; así sucesivamente hasta alcanzar la altura deseada. La pila de madera finalmente debe tener alrededor de 2.5 metros de alto, un metro de base y un largo equivalente a la longitud de las tablas a secar. Es recomendable que las tablas superiores, que tienden a torcerse, sean de menor calidad para evitar desperdiciar tablas de buena calidad; también se recomienda colocar sobre ellas un peso extra para minimizar la aparición de torceduras. Las pilas se deben poner de manera que el largo de las tablas quede perpendicular al flujo de aire, para que el aire caliente circule uniformemente entre la madera (Figura 9).



Figura 9. Vista interior de la cámara de secado, donde se aprecia la pila de madera.

## Paso 2 Separadores de madera

Su principal función es separar las camas o capas de tablas que se están secando al dejar pasar el aire caliente entre ellas. Deben ser de madera densa y estar completamente secos para evitar la aparición de una mancha azul en la madera a secar. La longitud de los separadores debe ser de por lo menos el ancho de la pila y todos del mismo grosor y ancho (se recomienda de 20 a 30 milímetros de ancho y 13 a 25 milímetros de grueso para tablas de  $\frac{3}{4}$  a  $1\frac{1}{2}$  de pulgada de espesor), se deben colocar de tal manera que queden perfectamente alineados a lo alto de la pila. Debe haber separadores en los extremos de las tablas alineados al ras de sus cabezas y, al menos, uno cada 50 centímetros a lo largo de pila o distribuidos uniformemente a lo largo de las tablas de manera, para que las tablas inferiores no soporten cargas desiguales que les provoquen deformaciones.

## Paso 3 Determinación del contenido de humedad de la madera

Existen varios métodos para conocer el contenido de humedad de la madera, el más sencillo y usado es el método de las pesadas, que consiste en tomar muestras de la madera (de la misma tabla) varias ocasiones y realizar una sencilla operación matemática, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Seleccione una muestra de la madera durante el proceso de apilado y acomode la pila de tal manera que podamos extraer periódicamente esta muestra de la cámara de secado. La muestra y sus secciones para determinar humedad, deben estar libres de defectos (grietas o nudos) y sin resina, deben tomarse del centro de la tabla (Figura 10).



Figura 10. Muestra de secado y secciones para determinar humedad.

2. Pese e identifique la muestra (con una clave que permita identificarla sin equivocaciones) y las secciones de humedad, anote los datos, que son las referencias a seguir.
3. Ponga a secar las secciones para determinar humedad en un horno a  $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta alcanzar un peso constante (aproximadamente en 24 horas). La muestra debe ser acomodada dentro de la estufa, para que se seque con el resto de la pila, de manera que pueda ser removida periódicamente para registrar su peso y dar seguimiento al avance del secado.
4. Para determinar el contenido de humedad de las secciones de madera, realice la siguiente operación matemática:

$$CH = \frac{pf - Ps}{Ps} = x100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad de la sección.

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

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

El resultado es el porcentaje de humedad que tiene la madera al terminar de apilar y cortar la muestra, es decir el contenido de humedad inicial de secado.

5. Con este contenido de humedad estimado o determinado y el peso de la muestra al momento de cortarla (terminando el apilado), se calcula el peso que tendría la muestra como si hubiera sido secada en horno como las secciones. Utilice la siguiente expresión matemática:

$$PSE = \frac{PF}{CH+100} = \times 100$$

Donde:

PSE = Peso Seco Estimado de la muestra.

PF = Peso Fresco de la muestra de secado al cortarla (terminando el apilado).

CH = Contenido de humedad obtenido de las secciones de humedad secadas al horno.

6. Para monitorear el avance de secado durante el periodo que esté dentro del secador, tome la muestra que introdujo en la estufa, obtenga su peso y vuelva a acomodarla dentro.
7. Utilice este peso y el peso que tendría la muestra si fuera secada en horno y realice la siguiente operación matemática.

$$CH = \frac{Pf - Psc}{Psc} = \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad de la madera.

Pf = Peso fresco de la madera al momento de pesar la muestra sacada de la estufa.

Psc = Peso seco calculado o Peso seco constante de la muestra, como si fuera secado en horno.

El resultado es el porcentaje de humedad que tiene la madera al momento del pesaje de la muestra que se encuentra dentro de la estufa y representa el contenido de humedad de la madera que está en la estufa.

La operación de pesaje de la muestra tendrá que realizarse las veces necesarias hasta llegar a la cantidad de humedad deseada en la madera.

Para la mayoría de los usos de la madera es necesario un contenido de humedad relativamente bajo, entre el 18 y 5 % (Tabla 3).

Usos	Contenido de humedad %
Madera para construcción	18 – 20
Elementos de construcción en habitaciones	8 – 12
Muebles	8 – 10
Tablados o entarimados	12 – 14
Plafones	5 – 7
Ventanas exteriores y puertas	12 – 15
Muebles o piezas al aire libre	18 – 20

Tabla 3. Relación entre los usos comunes de la madera y el contenido de humedad necesario (tomado de Quintanar *et al.*, 2008).

#### Paso 4 **Tiempos de secado**

El tiempo de secado de la madera depende de la especie y del grosor de las tablas, además de la variación de las condiciones climáticas. Por estas razones, es necesario hacer las pruebas de pesado, para ir conociendo el funcionamiento de la estufa solar. Con el tiempo y la práctica se podrá calcular un aproximado de los días necesarios para el secado de cada especie y tipo de madera.

### **Recomendaciones de mantenimiento**

Para un funcionamiento óptimo de la estufa, es necesario que todos sus componentes se encuentren en excelentes condiciones de uso.

Es necesario hacer revisión a detalle antes de iniciar cada proceso de secado, que incluya la limpieza y verificación visual de toda la estufa, poniendo especial cuidado en posibles huecos o fugas de aire hacia el exterior. Si se encontraran fugas deben ser reparadas sellando con cemento, silicón o algún material parecido, que sea aislante y que no sufra daños por cambios de temperatura y humedad.

El recubrimiento del colector tendrá que ser revisado, para reparar cualquier fuga posible de aire caliente. Debe limpiarse con agua por simple escurrimiento; si es necesario tallar la superficie para su limpieza, se debe tener cuidado de utilizar materiales que no rayen profundamente este componente. Hay que poner especial atención durante la verificación del sello en los empaques de las puertas y ventilas.

## **Almacenamiento de madera estufada**

Algunos de los defectos de la madera son atribuidos, en ocasiones erróneamente, al proceso de secado, sin embargo, los beneficios de un buen secado pueden ser anulados cuando el almacenamiento posterior no es el adecuado.

Una serie de recomendaciones para mantener la calidad de la madera secada en estufa son:

- Mantener la madera estufada apilada sin separadores hasta el momento de su uso.
- Si se piensa utilizar la madera en un lapso menor a 30 días, puede almacenarse en un cuarto cerrado, en donde no se presenten cambios en el nivel de humedad.
- Si el lapso de almacenamiento antes de su utilización será mayor, entonces las pilas de madera deben ser cubiertas con polietileno para evitar que vuelvan a adsorber humedad ambiental.

## Defectos que pueden presentarse al secar madera en una estufa solar

Usos	Contenido de humedad %	Contenido de humedad %
Secado desigual: diferentes valores de contenido de humedad en distintos puntos de las tablas	Mala circulación del aire a través de la pila	Homogeneizar la circulación del aire en toda la estufa
Homogeneizar la circulación del aire en toda la estufa	Homogeneizar la circulación del aire en toda la estufa	Usar separadores más delgados que tengan poco punto de contacto con la madera
Rajaduras en los extremos	Deficiencia en el secado. La humedad se pierde demasiado rápido por las cabezas de las tablas	Usar separadores más delgados que tengan poco punto de contacto con la madera
Torceduras: las esquinas de las piezas no se encuentran en un mismo plano	Nudos. Grano espiralado	Buen apilado, utilización de sobrepeso sobre las pilas

Tabla 4. Defectos de secado y posibles soluciones (tomado de Quintanar *et al.*, 2008).



## Literatura Citada

Quintanar O. J., M. E. Fuentes L. y R. Flores V. 2008. Manual para el secado de madera de encinos de Oaxaca. Comisión Nacional Forestal, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 67 p.

Quintanar O. J. 2005. Construcción y operación de un secador solar para madera. Campo Experimental San Martinito. INIFAP – CIRCE. Folleto Técnico No. 2. Puebla, México. 46 p.

Martínez – Pinillos C. E. 1984. “Secadora solar para maderas”. Nota Técnica No. 10. INIREB. Lacitema. Xalapa, Ver. 15 p.

Rodríguez A. R., F. J. Fuentes T. y E. Montes R. 1989. “El uso de los secadores solares en la industria de la madera”. Amatl, Boletín de Difusión del Instituto de Madera, Celulosa y Papel. No. 9. México. Pp. 22-30

World Wildlife Fund México. Bosques Mexicanos.

[http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog\\_bosques.php](http://www.wwf.org.mx/wwfmex/prog_bosques.php) consultado el 21 de abril de 2009.

## Glosario de términos:

**Absorber:** Dicho de una sustancia sólida: Ejercer atracción sobre un fluido con el que está en contacto, de modo que las moléculas de este penetren en aquella.

**Adsorber:** Atraer y retener en la superficie de un cuerpo moléculas o iones de otro cuerpo.

**Aislante:** Material que no conduce el calor o la electricidad.

**Densa:** Que tiene mucha masa en poco volumen; que es muy pesada.

**Fotovoltaica:** Un dispositivo capaz de transformar la energía luminosa en electricidad.

**Homogeneizar:** Uniformizar la composición y estructura de los elementos de un compuesto, mediante procedimientos físicos o químicos.

**Incidencia:** Ejecución frecuente de hechos que suceden en alguna acción.

**Mampostería:** Obra de albañilería hecha con mampuesto o piedras sin labrar y sin formar hiladas, unidas con algún cementante.

**Plexiglás:** Material plástico, transparente e incoloro, compuesto por metacrilato de metilo, usado en objetos domésticos e industriales.

**Policarbonato:** Grupo de termoplásticos fácil de trabajar, moldear y termoformar, utilizado ampliamente en la manufactura moderna. Su nombre proviene de los polímeros que presentan grupos funcionales unidos por grupos carbonato en una larga cadena molecular.

**Polín:** Pieza de madera de forma prismática de longitud variable que sirve para apoyar sobre él lo que se desea mantener en alto o, para la construcción como vigas.

**Punto cardinal:** Cada uno de los cuatro puntos en que se divide el horizonte: Norte, Sur, Este y Oeste.

**Radiación solar:** Energía que llega proveniente del sol. Se sobreentiende como calor y principalmente luz.

**Ventilas:** Pequeñas ventanas que permiten controlar la entrada y salida de aire en la cámara de secado.

**Xilófago:** Organismo que degrada la madera.



## Catálogo de postales (vol. 1)



Estos paquetes de tecnología los puedes adoptar a través de ProÁrbol D4.3 transferencia y adopción de tectología.

[www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca-forestal)  
[www.conafor.gob.mx/conacyt-conafor](http://www.conafor.gob.mx/conacyt-conafor)  
[tt@conafor.gob.mx](mailto:tt@conafor.gob.mx)

