

---

## OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE SECADO SOLAR DE LEÑA PARA SU USO COMO BIOCOMBUSTIBLE

---

**Carlos Alejandro Alegre Ordóñez**

Mtro. en Energía y Ambiente  
caalegreo@gmail.com

**José Antonio Rosal Chicas**

Asesor  
Mtro. en Energía y Ambiente  
biocombustiblesusac@gmail.com

### Resumen

El combustible de mayor uso en Guatemala es la leña. El aporte de la incineración de leña es la capacidad calórica, la cual se ve afectada por características del estado del biocombustible, una de ellas es su contenido de humedad.

Para reducir el contenido de humedad en las trozas de leña, se desarrolla un modelo de secador solar. A partir de la energía solar recolectada, se alteran las propiedades del aire, aumentando su temperatura y de esta manera realizando una transferencia de calor a las trozas. El estudio se realiza para disminuir los tiempos de secado comparado contra el secado tradicional al aire libre.

El estudio se realiza en tres especies maderables: encino, ciprés y capulín. En las tres especies se realiza el proceso de secado de forma tradicional y de forma artificial, siendo el secado artificial más rápido comparado contra el tradicional; obteniendo resultados diferentes en cada especie acorde a la densidad de cada una.

### Palabras clave

Energía, biocombustible, biomasa, secado, energía solar térmica.

### Abstract

*The principal fuel on Guatemala is firewood. The contribution from the incineration of wood is the caloric power, which is affected by characteristics of the state of biofuel like moisture content.*

*To reduce the moisture content in wood logs, a model of solar dryer was developed. From the collected solar energy, air properties were altered increasing its temperature and thereby making a heat transfer logs. The study was carried out to reduce drying times compared to the traditional open-air drying.*

*The study was conducted in three wood species: oak, cypress and chokecherry. In the three species the drying process traditionally and artificially were performed being the artificial drying the fastest one; obtaining different results in each species according to the density of each one of them.*

### Keywords

*Energy, biofuel, biomass, dry, solar thermal energy.*

## Introducción

En la Política Energética 2013-2027 (Ministerio de Energía y Minas, 2012) biomasa se define como “materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía” (p. 48).

Según Fundación Solar en Guatemala (2013), la tasa de deforestación anual es del 2,1 %. La Política Energética 2013 – 2027 (2012), indica que cerca de 16 millones de metros cúbicos de leña se consumen anualmente.

En la Política Energética 2013 – 2027 (Ministerio de Energía y Minas, 2012); se indica que la leña constituye el combustible de mayor demanda en el país, representando en el año 2012, el 57 % del consumo energético del país. FAO (citado en Fundación Solar en Guatemala, 2013), indica que la leña constituye el 63 % del consumo energético del país.

Según Inzunza (2007), la capacidad calórica (C) de cualquier sustancia se define como “la cantidad de calor que se requiere para elevar la temperatura de una sustancia un grado Celsius por cada kilogramo de material” (p. 366).

Al momento de incinerar, las trozas ocupan parte de su capacidad calórica para disminuir su contenido de humedad interna.

El secado solar de leña consiste en realizar el proceso de disminución del contenido de humedad utilizando como fuente de energía el sol.

## Desarrollo del estudio

Se tomó como referencia la panadería San Antonio, ubicada en San Lucas Sacatepéquez, se realiza un censo de consumo de leños en el año 2015, determinando un rendimiento semanal de 600 trozas para 4750 panes.

En la panadería se utiliza como combustible para un horno fabricado de ladrillo tayuyo y recubierto con mezcón, leña principalmente de encino (*quercustristis*), la cual se seca por método tradicional durante un período de 30 días y se incinera con una humedad aproximada de 75,75 %.

Tomando como muestra representativa una tarea de leña (600 leños medianos), considerando la información del mapa de radiación solar de la República de Guatemala del MEM y las condiciones climáticas de la estación Suiza Contenta del INSIVUMEH, se realiza el diseño del secador solar.

El proceso de diseño se basa en la propuesta de Luna y Cruz (2003); considerando el área de colector solar acorde a la incidencia solar, la conductividad térmica del vidrio y la emisividad de la placa colectora. Ver figura 1.

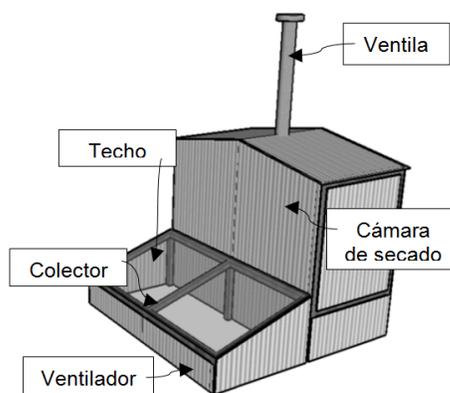


Figura 1. Modelo propuesto de secador solar.

## Resultados obtenidos

Tras evaluar el proceso de secado de tres especies maderables: encino (*quercustristis*), ciprés (*cupressus lusitánica*) y capulín (*trema micrantha*), especies de la región de San Lucas Sacatepéquez utilizadas para cocinar; durante un período de 32 días (comprendidos del 13 de octubre al 13 de noviembre del 2015), se obtuvieron los resultados mostrados en las figuras 2, 3, 4 y tabla I.

Tabla I. Condiciones climáticas durante período de estudio.

Variable	Cantidad	Unidad
Ti media	24,2	°C
Te media	19,1	°C
$\Delta T$	5,2	°C
Ac	45,5	%
Hi media	71,8	%
He media	73,2	%
Nubosidad	6	Octas

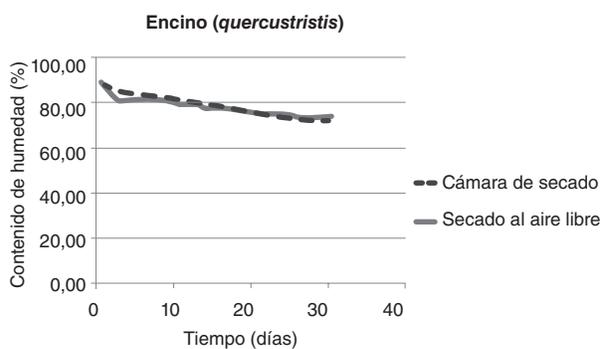


Figura 2. Curva comparativa de secado de encino (*quercustristis*)

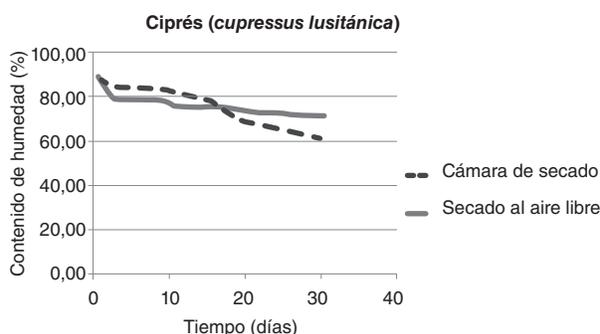


Figura 3. Curva comparativa de secado de ciprés (*cupressus lusitánica*).

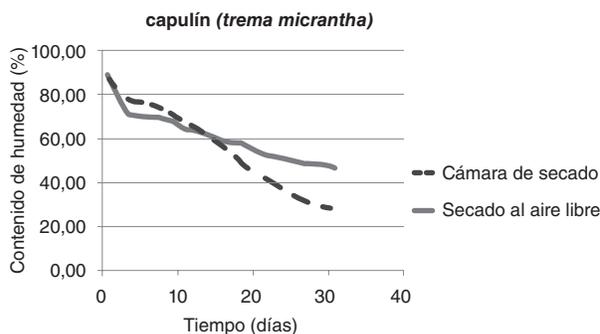


Figura 4. Curva comparativa de secado de capulín (*trema micrantha*).

De manera posterior al estudio y habiendo continuado con el proceso de secado solar, se realiza un comparativo de los resultados obtenidos por el método gravimétrico, tomando muestras analizadas en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la USAC. Los resultados obtenidos en laboratorio son:

Tabla II. Condiciones climatológicas durante período de estudio.

	Especie		
	Quercustristis	Cupressus lusitánica	Trema micrantha
Humedad promedio (%)	15.16	15.16	15.16
Humedad aserrín (%)	13.41	11.52	12.55
Absorción promedio (%)	12.71	13.56	16.40
Contracción volumétrica promedio (g/cm³)	0.82	0.65	0.43
Porcentaje de cenizas (%)	8.17	5.19	6.16

### Discusión de resultados

Al analizar tres especies maderables, se obtienen tres resultados diferentes entre sí, siendo la densidad de cada especie su característica de diferencia. En las tres especies el contenido de humedad tras 32 días de secado de las trozas cuyo proceso se realiza de manera artificial, es menor a las de método tradicional.

Para el encino (*quercustristis*), la diferencia del contenido de humedad final entre secado artificial y tradicional es 1,19 %. De las especies analizadas es la más densa y en la que es más difícil retirar el agua.

Para el ciprés (*cupressus lusitánica*), la diferencia del contenido de humedad final entre secado artificial y tradicional es 10,13 %, lo que representa un 17,25 % del contenido de humedad final obtenido en el interior de la cámara de secado.

Para el capulín (*trema micrantha*), la diferencia del contenido de humedad final entre secado artificial y tradicional es 18,97 %, lo que representa un 69,27 % del contenido de humedad final en el interior de la cámara de secado. Esta especie es la de menor densidad y en la que se obtienen los mejores resultados.

### Conclusiones

1. Durante el censo de condiciones iniciales de humedad y secado realizado en la panadería

San Antonio, San Lucas Sacatepéquez, se determina que el secado se realiza al aire libre, iniciando el proceso con una humedad del 90,0 % (contenido de la troza al ser cortada), se utiliza principalmente encino (*quercustristis*) y se incinera tras un mes de secado, estimando un 75,75 % de contenido de humedad al final del proceso durante un período de 30 días.

2. El principio de operación del modelo se refiere a elevar la temperatura del aire en el colector solar. Por diferencia de presiones, el aire pasa del colector a la cámara de secado, en la cual se eleva la temperatura media interna en un delta de 5,2°C, en la cual la energía colectada realiza un proceso de transferencia de calor hacia las trozas apiladas, reduciendo así su contenido de humedad. El aire se renueva a partir de ingreso de aire en el colector y salida de la cámara de secado, a través de una tubería de escape.
3. El encino (*quercustristis*) presenta un delta de 1.19 % y se llega a un contenido de humedad de 70.45 % en la cámara de secado. El ciprés (*cupressus lusitánica*) presenta un delta de 10.13 % y llega a un contenido de humedad de 58.75 % en la cámara de secado. El capulín (*trema micrantha*) presenta un delta de 18.97 % y se llega a un contenido de humedad de 27.23 % en la cámara de secado, siendo ésta la especie que presenta los mejores resultados disminuyendo considerablemente el período de secado. Tras un tiempo de secado de tres meses en el interior del secador solar, se obtiene un resultado de contenido de humedad de 15.16 % en las tres especies.

### Recomendaciones

1. Desarrollar estudios en búsqueda de optimizar cada componente del secador solar. Se debe enfatizar el uso de aislantes térmicos, para mejorar la eficiencia.
2. Desarrollar estudios de la implementación de sistemas de secado artificial con fuente de energía renovable a gran escala, para evidenciar la

importancia del secado previo a incinerar leña como ahorro del recurso.

### Referencias bibliográficas

- Ábrego Garrués, J., Reseau, A., García Galindo, D. (2010). Energía de la biomasa, volumen I. Universidad de Zaragoza, España.
- Fundación Solar (2013). Estufas ahorradoras de leña, la experiencia de la fundación Solar en Guatemala. Guatemala: PNUD.
- Inzunza, J. (2007). Física: Introducción a la mecánica y calor. Concepción: Chile. Universidad de Concepción.
- Luna, C., Cruz, C. (2003). Diseño y construcción de un secador para maderas con energía solar. (Tesis de grado). Ecuador. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Ministerio de Energía y Minas (2012). Política energética 2013-2027. Guatemala.

### Información del autor

Carlos Alejandro Alegre Ordóñez, Ingeniero Civil, graduado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2012. Maestro en Artes en Energía y Ambiente de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), 2016.