

# EVALUACIÓN ECONÓMICA DE UN SECADOR SOLAR PARA MADERA

## ECONOMIC ASSESSMENT OF A WOOD SOLAR DRYER

Juan Quintanar Olgúin<sup>1</sup>, Martha Elena Fuentes López<sup>1</sup> y Juan Carlos Tamarit Urías<sup>1</sup>

### RESUMEN

En el proceso de elaboración y transformación de la madera, el secado es la fase que mayor tiempo y energía consume. Ante la elevada inversión en infraestructura y los altos costos de los energéticos para los secadores convencionales ha sido necesario buscar alternativas viables y de bajo costo para dicha actividad. Una de ellas es el aprovechamiento de la energía calórica mediante el diseño de secadores solares. Normalmente la rentabilidad de uno de estos aparatos depende del costo total del colector, por lo que la tendencia es hacia la simplicidad, que disminuirá al máximo el gasto inicial en infraestructura y de operación, para incrementarla. Además, con el desarrollo de materiales baratos y de buen comportamiento en aplicaciones solares, como los plásticos, es más eficiente utilizar este tipo de insumo para el secado de madera. En el estudio que se describe a continuación se realizó la evaluación económica de un secador solar tipo invernadero. Se calculó el valor actual o flujo de efectivo descontado, el periodo de retorno de la inversión y su rentabilidad. El costo del proceso de secado solar por carga es de \$17,675.00, que al comercializar la madera genera un ingreso de \$43,000.00 y una utilidad de \$25,325.00. El ingreso anual es de \$215,925.00. La recuperación de la inversión se logra al terminar la cuarta carga de secado, con una rentabilidad del 240%.

**Palabras clave:** Análisis económico, flujo de efectivo descontado, madera de encino, rentabilidad, retorno de la inversión, secador solar.

### ABSTRACT

In wood manufacturing and its processing, drying is the greatest time and energy consuming phase. From the high infrastructure investment and energy costs of conventional dryers, it was necessary to find viable alternatives to dry wood at low cost. One of them is calorific energy through solar dryers. Normally the profitability of a solar dryer depends on the total cost of the collector, so the trend in the design of solar dryers is towards simplicity, in order to reduce the infrastructure investment and operating costs to the maximum, and thus to increase their profitability. Therefore, low cost materials with good performance in solar applications, such as plastics, favor the possibility of using solar energy in wood drying. In this study was carried out the economic evaluation of a greenhouse type solar dryer; the present or current value or discounted cash flow was calculated as well as the investment return period and its profitability. The solar drying process cost by load is MEX\$ 17,675.00, which when commercializing the wood generates an income of MEX\$ 43,000.00 and a utility to MEX\$ 25,325.00 M.N. Annual income is \$ 215,925.00. Investment recovery is achieved at the end of the fourth drying load with a profitability of 240 %.

**Key words:** Economic analysis, discounted cash flow, oak wood, profitability, investment return, solar dryer.

Fecha de recepción: 16 de junio de 2010.

Fecha de aceptación: 8 de julio de 2011.

---

<sup>1</sup> CE, San Martinito Tlahuapan. CIR-GOC.INIFAP Correo-e: quintanar.juan@inifap.gob.mx

## INTRODUCCIÓN

En el proceso de elaboración y transformación de la madera, el secado consume el mayor tiempo y energía. Ante la elevada inversión en infraestructura y combustible para los secadores convencionales ha sido necesario buscar alternativas viables a un bajo costo. Una de ellas es el aprovechamiento de la energía solar para optimizar el uso del aire libre.

La principal ventaja del secado solar, comparada con otras modalidades, se basa en la fuente de energía empleada, pues la que procede de la vía de energéticos como el petróleo tiene un alto costo, que es variable en el tiempo; en contraste, al utilizar la radiación solar, el valor de este factor es sumamente bajo.

Para evaluar la factibilidad económica de invertir en un secador solar o para definir el tipo de secador más rentable se deben tomar en cuenta diversos aspectos:

- a) Las ventajas que ofrece la incorporación del proceso de secado al ciclo productivo, para mejorar el valor agregado y considerar posibilidades de industrialización o aumentar el volumen disponible de materia prima a un contenido de humedad adecuado para su transformación.
- b) La eficiencia del secado solar respecto al secado al aire libre o al secado convencional y la importancia de esta tecnología para mejorar la calidad de la materia prima.
- c) El uso de los secadores solares permite aprovechar la mano de obra local y los materiales del lugar. Estos hechos, en la medida en la que los prototipos se generalizan, favorecen el desarrollo regional ya que generan empleo en los niveles básicos de la industrialización.

Algunos elementos técnicos a considerar para confrontar la eficiencia del secado solar en relación al secado al aire libre son:

- Posibilidades de que la madera alcance una humedad final ( $H_f$ ) < a 12%, y con ello poder utilizarla en productos de alto valor agregado.
- Temperaturas apropiadas para el secado de maderas difíciles de secar ( $T < a 60^\circ\text{C}$ ).
- Los tiempos de secado son más cortos y controlados que en el secado al aire libre, lo que favorece la calidad del producto.
- Mayor independencia de las condiciones meteorológicas.

## INTRODUCTION

In wood manufacturing and its processing, drying is the greatest time and energy consuming phase. From the high infrastructure investment and energy costs of conventional dryers, it was necessary to find viable alternatives to dry wood at low cost. One of them is calorific energy through solar dryers to optimize the use of air.

The main advantage of the solar dryer, compared to other options, is based in the source of energy, as that that comes from fuels such as oil is very expensive and variable through the years, while the cost of solar radiation is very low.

In order to assess the economic feasibility to invest in a solar dryer or to define the kind of more profitable dryer, several elements must be taken into account:

- a) The advantages of including the drying process to the productive cycle to improve the added value and to consider the possibilities of industrialization or to increase the available volume of raw material at a suitable moisture content.
- b) The efficiency of solar drying in regard to air drying and/or conventional drying and the importance of this technology to improve the quality of raw material.
- c) The use of solar dryers lets the use of local labor force and local materials. These facts, as prototypes become generalized, favor regional development as they promote employment of basic industrial levels.

Some technical elements that must be taken into account to compare the efficiency of a solar dryer in regard to an air dryer are:

- Feasibility to get < 12% as final wood moisture ( $fM$ ), which is the right one to use for products of high added value.
- Appropriate temperature to dry timber of difficult drying ( $T < a 60^\circ\text{C}$ ).
- Shorter and controlled drying periods than those under air drying, which favors the quality of the product.
- Greater independence from meteorological conditions.

Thus, to assess the profitability of the solar dryer, the comparison with the conventional option must be done under real conditions, that is, in a commercial scheme. Such a comparison will reveal the cost of drying per  $\text{m}^3$  of wood, and obviously, the difference of costs of each method. In

Por lo tanto, para evaluar la rentabilidad del secado solar se requiere que la comparación con la alternativa convencional se establezca bajo condiciones reales, esto es, en un esquema de uso comercial. El resultado indicará el costo de secado por m<sup>3</sup> de madera y, por supuesto, la discrepancia de costos de cada método. Así, la inversión inicial en un secador solar es menor, o a lo sumo, igual a un secador convencional del mismo volumen, por lo que la diferenciación está en los costos de la energía para llevar a cabo el proceso, con tiempos menores de amortización (Corvalán, 1985; Viehbeck, 1999).

Referente a la evaluación económica del secador solar, Lumley y Choong (1979) determinaron que los costos por pie tabla de madera de encino equivalen a la mitad del que se tiene con en el secado convencional. El primero estuvo constituido por 44% de los materiales de construcción y 56% por la mano de obra empleada. Pero a niveles de producción de 59 m<sup>3</sup> (25 millares de pies tabla), el valor de la inversión es semejante y la diferencia se debe básicamente al combustible y al ahorro de energía eléctrica para los ventiladores.

La baja inversión y el reducido consumo de energía del secado solar redundan en una disminución entre 40 y 50% de los costos totales para secar madera de eucalipto (Weiss y Buchinger, s/f). Fuentes (1996) determinó una relación beneficio/costo para secado solar de madera de encino de 3.63, ligeramente mayor que la obtenida para el secado convencional, pero con un mayor margen de ganancias y la generación de contaminantes como ganancia ambiental no cuantificada.

Harpole (1988) propuso dos ecuaciones para estimar la máxima inversión económica (MIE) y los requerimientos de capital de trabajo (RCT) en un sistema de secado solar con capacidad para 14-22.7 m<sup>3</sup> (6-9.6 millares de pies tabla). La máxima inversión económica se estimó, por facilidad, mediante las diferencias en el valor capitalizado de la madera verde y el costo de secarla.

$$MIE = Ccs \left[ \frac{(Vu - 5) * 0.025}{1} + 1 \right] * [1.364(Qs/Ts) - 738]$$

$$RCT = Ccs * [222 + 0.0118(Qmv) * (Ts)]$$

Donde:

Ccs = Capacidad de carga del secador solar

Vu = Vida útil del secador solar

Qs = Costo del secador

Ts = Tiempo de secado en día

Qmv = Costo de la madera verde

this way, the initial investment in a solar dryer is smaller or equal to a conventional dryer of the same volume, which means that the difference lies in the energy costs to carry on the drying process, with shorter times for amortization (Corvalán, 1985; Viehbeck, 1999).

About the economic assessment of a solar dryer, Lumley and Choong (1979) determined that the cost per solar drying of oak timber foot board is half the cost of conventional drying. The first was made up by 44% of building materials and 56% by handwork. But at production levels of 59 m<sup>3</sup> investment costs are similar and savings are mainly in fuel and in the electric energy for fans.

The low investment and the small energy consumption of solar drying help in a reduction between 40 and 50% of the total costs of drying eucalyptus timber (Weiss y Buchinger, w/d). Fuentes (1996) determined a benefit/cost relation for oak wood solar drying of 3.63, slightly over the B/C relation of conventional drying, but with a larger profit margin and the pollution production as a non-quantified environmental profit.

Harpole (1988) proposed two equations to estimate the Maximum Economic Investment (MEI) and the working capital requirements (WCR) in a drying solar system with a 14-22.7 m<sup>3</sup> (6-9.6 milliards of foot boards) capacity. The Maximum Economic Investment was estimated because of the easiness, the differences in the capitalized values of green wood and the cost of drying it.

$$MIE = Ccs \left[ \frac{(Vu - 5) * 0.025}{1} + 1 \right] * [1.364(Qs/Ts) - 738]$$

$$RCT = Ccs * [222 + 0.0118(Qmv) * (Ts)]$$

Where:

Ccs = Load capacity of the solar dryer

Vu = Useful life of the solar dryer

Qs = Dryer cost

Ts = Dryer time of drying in days and

Qmv = Green wood cost

A way to know the economic feasibility of a solar dryer is by calculating the savings from a solar installation against a conventional drying option (Corvalán, 1985).

Another scenario consists in trying to know the feasibility of a solar dryer as the only drying option. In this case it is suggested that in the actual value or discounted cash flow that determines if the present value of the expected flows justifies the initial investment (Quintanar, 1992).

Una forma de obtener la factibilidad económica de un secador solar es a partir del cálculo del ahorro al utilizar una instalación solar frente a una alternativa de secado convencional (Corvalán, 1985). Otro escenario se presenta cuando se desea conocer la factibilidad de un secador solar como única opción de secado. En este caso se sugiere basarse en el valor presente o flujo del efectivo descontado, que determina si el valor actual de los flujos esperados justifica la inversión inicial (Quintanar, 1992).

El atractivo económico de una inversión potencial en energía solar para procesos industriales se puede determinar mediante la comparación del precio de la energía solar con el del combustible fósil, ambos expresados en términos nivelados. Esto requiere del cálculo de la tasa interna de retorno de la inversión solar o, en algunos casos, la tasa de crecimiento de retorno (Dickinson y Brown, 1981).

En la evaluación económica del secador solar se debe determinar el periodo de recuperación de la inversión (PR), para lo cual se aplica la siguiente fórmula (Villatoro, 2005; Passamai y Passamai, 2006):

$$PR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio}}$$

Villatoro (2005) propone para estimar la rentabilidad de la inversión (RI) en un secador solar:

$$RI = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Inversión}}$$

Por otro lado, como la inversión total en un secador solar depende del costo total del colector la tendencia de los diseños ha sido hacia la simplicidad, para disminuir al máximo la inversión en infraestructura y los costos de operación. El objetivo de este trabajo fue realizar un análisis económico de la instalación y operación de un secador solar, con madera de encino.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se practicó a un secador tipo invernadero, en el cual el colector de 30 m<sup>2</sup> forma parte de la cámara de secado (Figura 1), que está recubierta por polietileno transparente calibre 720, con tratamiento especial para rayos ultravioleta (UV), y el movimiento del aire se realiza por medio de dos ventiladores eléctricos de baja potencia (Quintanar, 2005 y Quintanar, 2010). La determinación de los tiempos de secado y productividad del secador (número de cargas por año) se hizo para madera aserrada de encino de 2.54 cm (1") de espesor.

The economic attraction of a potential investment in solar energy for industrial processes can be determined by comparing the price of solar energy with the price of used fossilized fuel, both expressed in balanced terms. This demands a calculation of the internal return rate of the solar investment or, in some cases, the growth return rate (Dickinson and Brown, 1981).

In the economic assessment of the solar dryer, the recovery period (RP) of the investment must be known, so the following formula (Villatoro, 2005; Passamai and Passamai, 2006) is used:

$$RP = \frac{\text{Investment}}{\text{Benefit}}$$

Villatoro (2005) proposed the following formula to determine the profitability of the investment (RI) in a solar dryer:

$$RI = \frac{\text{Benefit}}{\text{Investment}}$$

On the other hand, as the total investment in a solar dryer depends on the total cost of the collector, the tendency of designs has been oriented towards simplicity in order to diminish the most the investment in infrastructure and operation costs. The aim of this paper was to make an economic analysis of the installation and operation of a solar dryer with oak wood.

## MATERIALS AND METHODS

The evaluation was made to a greenhouse type dryer in which the 30 m<sup>2</sup> collector is part of the drying chamber (Figure 1), that is protected by a 720 caliber transparent polyethylene with special ultraviolet (UV) ray treatment, and the movement of air is produced by two low-power electric fans (Quintanar, 2005; Quintanar, 2010). The determination of drying times and the dryer productivity (load numbers per year) was considered for 2.54 cm (1") oak lumber.

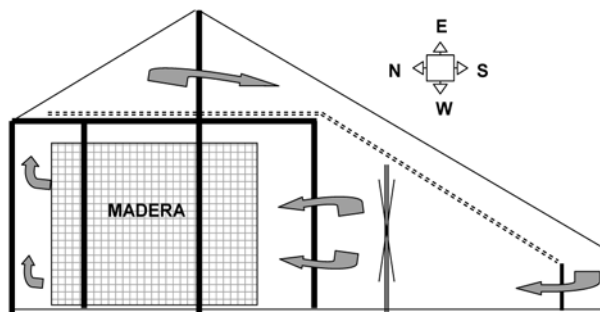


Figura 1. Diseño del prototipo de secador solar evaluado. Figure 1. Assessed solar dryer prototype design.

Se calculó el Valor Presente (VP) o Flujo de Efectivo Descontado (FED), que consiste en establecer si el valor presente de los flujos esperados justifica la inversión, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$VP = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{I_j}{(1+i)^j} - \frac{G_j}{(1+i)^j} \right]$$

Donde:

VP = Valor presente de los flujos totales futuros

$I_j$  = Ingresos en el carga  $j$ -ésima

$G_j$  = Gastos realizados en el secador solar en la carga  $j$ -ésima

$n$  = horizonte de planeación

$i$  = Tasa de descuento

El periodo de recuperación de la inversión, se calculó con la siguiente fórmula:

$$PR = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio}} \quad (1)$$

La rentabilidad de la inversión del secador solar se determinó con la ecuación:

$$RI = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Inversión}} \quad (2)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos que se presentan en este estudio se obtuvieron a partir de un volumen de 6.9 m<sup>3</sup> (2500 Pt) de madera de encino secada por carga en un secador solar. El tiempo promedio de secado fue de 34 días y al tomar en cuenta los tiempos para cargar y descargar la estufa, así como los de mantenimiento e imprevistos se pueden realizar, en promedio, nueve cargas de secado de encino al año, con el secador solar (Quintanar *et al.*, 2009).

Como en el mercado nacional no existe un valor de referencia del precio de venta de la madera aserrada verde de encino, este se calculó con base en el precio medio de la madera en rollo, agregándole el costo de producción de la madera aserrada y un sobreprecio, que corresponde a la

The economic assessment of the dryer was made through the Actual Value calculus (VP) or Discounted Cash Flow (FED), whose aim is to know if the actual value of the expected flows justifies the investment, by the following equation:

$$VP = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{I_j}{(1+i)^j} - \frac{G_j}{(1+i)^j} \right]$$

Where:

VP = Actual value of the total future flows

$I_j$  = Incomes in the  $j$ -esim load

$G_j$  = Expenses made in the solar dryer in the  $j$ -esim load

$n$  = Planning horizon

$i$  = Discount rate

The investment recovery period was calculated by the following formula:

$$RP = \frac{\text{Investment}}{\text{Benefit}} \quad (1)$$

And the profitability of the investment in the solar dryer was determined as follows:

$$RI = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Inversión}} \quad (2)$$

## RESULTS AND DISCUSSION

The data shown in the actual study came from a 6.9 m<sup>3</sup> (2500 lb) oak-wood volume dried by load in a solar dryer. The average drying time was 34 days for oak-wood and when the time invested in loading and unloading the drying kiln is included, around 9 loads of oak-wood drying per year may be accomplished with the solar dryer (Quintanar *et al.*, 2009).

As there is no reference value of green oak lumber in the national market, its value was determined by taking the average sales Price of roundwood and adding to it the cost of lumber production and an overprice which is the profit of industry (Table 1). With this, the final average price per foot board of green mill-run lumber is around MEX\$5.00.

utilidad de la industria (Cuadro 1). De tal manera que el precio medio final por pie tabla de la madera aserrada verde mill-run es de \$5.00, aproximadamente.

Cuadro 1. Valor de madera aserrada de encino en condición verde.

Table 1. Value of green oak- lumber.

Calidad (Grado)	Volumen de madera aserrada (pt)	Precio /pt	Valor (\$)
Mill-run	2,500	5.00	12,500.00

pt = pie tabla.  
pt= foot board

En función del tiempo y de los insumos utilizados para el secado de la madera (energía eléctrica, depreciación del equipo, volumen de madera seca, salarios por carga, descarga, apilado y mano de obra, valor del terreno y costo de administración) según la metodología empleada por Fuentes (1996), el costo de secado se determinó en \$2.05 por pie tabla (Cuadro 2). Este es menor en 30% al costo del secado convencional de encino consignado por Zaragoza (2008) y acorde a la diferencia de costos de secar madera en estufa convencional y secador solar, referidos por Sattar (1994), aun cuando Álvarez y Fernández (1990) mencionan que la energía para el secado solar solo representa un décimo de los costos del secado convencional.

Los gastos para llevar a efecto el proceso de secado de una carga de madera de encino ascienden a un total de \$17,625.00 y un costo de instalación de un secador solar de \$65,000.00. Tradicionalmente, la venta de madera seca se hace a través de intermediarios bajo el esquema de calidad mill-run; un precio común que estos ofrecen es de \$17.20 por pie tabla. Al comercializar la madera procedente de un secador solar bajo este esquema, produce un ingreso de \$43,000.00, lo que implica una utilidad de \$25,325.00 por carga de secado, sin considerar el costo del secador.

Cuadro 3. Flujo neto del proyecto de secado solar de madera en el primer año de servicio.

Table 3. Net flow of the wood solar drying project during the first year in service.

Concepto	Cargas de secado en secador solar								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Inversión	65,000					6,000			
Costo de operación	17,625	17,625	17,625	17,625	17,625	17,625	17,625	17,625	17,625
Ingresos	43,000	43,000	43,000	43,000	43,000	43,000	43,000	43,000	43,000
Saldo	-39,625	25,325	25,325	25,325	25,325	19,325	25,325	25,325	25,325
Flujo neto anual								\$ 156,975.00	

According to time and the inputs used for wood drying (electric energy, depreciation of the equipment, dry wood volume, salaries per load, unloading, stacking and handiwork, land value and administration cost) based in the methods proposed by Fuentes (1996), the drying cost is determined in \$2.05 by foot board (Table 2). It is 30% lower than the cost of drying oak-wood in a conventional kiln as declared by Zaragoza (2008) and which agrees with the costs difference of drying timber in a conventional kiln and a solar dryer, described by Sattar (1994), even when Álvarez and Fernández (1990) mentioned that the energy for solar drying is only a 10<sup>th</sup> of the costs of conventional drying.

Cuadro 2. Costos por pie tabla y costo total del secado solar de la madera de encino.

Table 2. Costos por pie tabla y costo total del secado solar de la madera de encino

Volumen de madera	Costo del secado (\$/pt)	Costo Total del secado (\$)	Valor de la madera aserrada (\$)	Costo total de la madera seca (\$)
2,500	2.05	5,125	12,500	17,625

pt = pie tabla.  
pt= foot board

The expenses to carry out the drying process of an oak-wood load reach a total amount of MEX\$17,625.00 and \$65,000.00 of installation cost of a solar dryer. Traditionally, dry wood sale is done through middlemen under the mill-run quality scheme; a regular price that they offer is MEX\$17.20 per foot board. The marketing of dried timber in a solar dryer under these schemes generates an income of MEX\$43,000.00, which means that there is a MEX\$25,325.00 profit for each drying load, without taking into account the cost of the dryer.

Al aplicar la fórmula del Valor Presente (VP) ó Flujo de Efectivo Descontado (FED) con los datos del Cuadro 3, se generan los resultados consignados en el Cuadro 4. El horizonte de planeación es de 5 años (vida útil promedio del secador solar), con un uso intensivo (realización de 9 cargas por año), un gasto de mantenimiento anual de \$12,000.00 (sustitución de la cubierta de polietileno transparente) y una tasa de descuento anual del 8%. El ingreso anual es de \$215,925.00 y un valor presente al final del horizonte de planeación igual a \$1,019,163.51. Todo bajo la consideración de secar madera de encino y con un uso de tiempo completo del secador solar (9 cargas al año).

Con los ingresos netos del primer año de uso del secador y al aplicar la fórmula (1), se estima un valor de 0.414, que significa una recuperación en menos del año. La carga se calcula con la siguiente operación:

$$RI = 0.414 * 9 = 3.72$$

Donde:

*RI* = rentabilidad de la inversión

El valor obtenido indica que la recuperación se logra al terminar la cuarta carga de secado, en el secador solar, que de utilizarse tiempo completo, esto sería aproximadamente a los 4.5 meses a partir de la inversión. Los resultados concuerdan con el periodo de recuperación de aproximadamente un año, descrito por Sattar (1994) para secadores solares pequeños. Villatoro (2005) destaca un periodo de recuperación de la inversión de 6 meses, cuando los secadores solares son utilizados para el deshidratado solar de manzana. A nivel industrial, Little (1984) señala un periodo de amortización menor a 5 años, para un secador solar con capacidad de 50,000 PT.

When the Actual Value (VP) or Discounted Cash Flow (FED) formula is applied with the data of Table 3, the results of Table 4 are produced. The planning horizon is of five years (Average useful life of the solar dryer) with an intensive use of the solar dryer (9 loads per year), with an annual maintenance expense of MEX\$12,000.00 (replacement of the transparent polyethylene cover), and 8% of annual discount rate. The annual income is MEX\$215,925.00 and a final actual value of the planning horizon of MEX \$1,019,163.51, all of which is determined for drying oak-wood at full time of the solar dryer (9 loads a year).

With the net incomes of the first year of use of the dryer and when applying the first formula, there is a 0.414 value, which means there is a recovery before the end of the first year, and to know in which load it will take place, the following operation is made:

$$RI = 0.414 * 9 = 3.72$$

Where:

*RI*= profitability of the investment

This means that recovery is accomplished when the fourth drying load is finished in the solar dryer, that, if used full-time, this would be around 4.5 months since the investment. These results agree with the recovery period of nearly a year described by Sattar (1994), for small solar dryers. Villatoro (2005) states a recovery period for the investment of six months, when solar dryers are used for the solar dehydration of apples. At an industrial level, Little (1984) indicates an amortization period under 5 years, for a solar dryer with a 50,000 lb capacity.

Cuadro 4. Valor presente del proyecto de secado solar con madera de encino.  
Table 4. Actual value of the oak-wood solar drying project.

Año	Inversión	Flujo del proyecto (\$)	Valor presente (\$)
0	65,000.00	156,975.00	156,975.00
1	12,000.00	215,925.00	199946.55
2	12,000.00	215,925.00	185047.72
3	12,000.00	215,925.00	171444.45
4	12,000.00	215,925.00	158704.87
5	12,000.00	215,925.00	147,044.92
Valor presente del proyecto			\$1,019,163.51

La rentabilidad de la inversión del secador solar se determinó, mediante la fórmula 2, en 2.415. Esto es, que con un flujo anual de \$156,975.00 por nueve cargas de secado, se tiene una rentabilidad del 240%, lo que hace muy atractiva la inversión, a pesar del bajo volumen que se seca por carga; sin embargo, Skarvelis *et al.* (2004) mencionan que el secado solar es más rentable que el convencional para las pequeñas empresas.

La recuperación de la inversión y su respectiva rentabilidad son posibles que se registren en el presente trabajo, bajo el supuesto de que el secador funcionará a su máxima capacidad y todo el tiempo; de lo contrario, al igual que los secadores convencionales, estarán siendo subutilizados y generarán pérdidas económicas.

## CONCLUSIONES

El valor presente de los flujos es positivo desde el primer año de uso, por lo que, se recomienda utilizar los secadores solares en el secado de madera. El periodo de recuperación de la inversión en el secado solar se logra al secar la cuarta carga de madera.

## REFERENCIAS

- Álvarez N., H. and J. J. Fernández-Golfín S. 1990. Solar drying of sawn lumber in Spain. *Holz als Roh- und Werkstoff* 48: 173-178.
- Corvalán P., R. 1985. Secado de madera mediante el aprovechamiento de la energía solar. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 225 p.
- Dickinson, W. C. and K. C. Brown. 1981. Economic analysis of solar industrial process heat systems: A methodology to determine annual required revenue and internal rate of return. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1981easi.rept..D>. (15 de octubre de 2009).
- Fuentes L., M. E. 1996. Análisis comparativo de tres sistemas de secado con madera de encino (*Quercus* sp.). Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 126 p.
- Harpole, G., B. 1988. Investment opportunity in the FLP low cost solar dry kiln. USDA -Forest Service. Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-58. Madison, WI, USA. 5 p.
- Lumley, T. G. and E. T. Choong. 1979. Technical and economic characteristics of two solar kiln designs. *Forest Products Journal* 29(7):47-56.
- Little, R. L. 1984. Industrial use of solar heat in lumber drying: a long-term performance report. *Forest Products Journal* 34(9):22-26.
- Passamai, V. y T. Passamai. 2006. Evaluación de la eficiencia económica de secadores solares como proyecto de inversión. INENCO- CONICET. Salta, Argentina. 2 p.

The profitability of the investment of the solar dryer was determined by the second formula, with a final value of 2.415, that is, when there is a MEX\$156,975.00 annual flow for nine drying loads, there is a 240% profitability, which makes it a very attractive investment, in spite of the low volume obtained from each load; however, Skarvelis *et al.* (2004) declare that solar drying is more profitable than conventional drying for small companies that use this method.

This recovery of the investment and its own profitability is possible starting from the point that the dryer will work at its greatest capacity and at full-time; otherwise, it will be underutilized and generating economic losses, as conventional dryers do.

## CONCLUSIONS

The actual value of the flows is positive since the first year of use, thus, it is advisable to use solar dryers to dry wood. The investment recovery period in solar drying is accomplished when the fourth timber load is made.

*End of the English version*

- Quintanar O., J. 2005. Construcción y operación de un secador solar para madera. INIFAP-CIRCE. Folleto Técnico No.3. Puebla, México. 46 p.
- Quintanar O., J., M. E. Fuentes L. y R. Flores V. 2009. Planeación e instalación de estufas para secado de madera. Folleto Técnico No. 48. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental San Martinito. Pue, México. 48 p.
- Quintanar O., J. 2010. Construcción de un secador solar para madera. Desplegable para Productores No. 18. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental San Martinito. Puebla, México. 2 p.
- Sattar, M. A. 1994. Economics of drying timber in a greenhouse type solar kiln. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 52: 157-161.
- Skarvelis, M., K. Albanis and I. Petinarakis. 2004. Combining different methods of drying for profit maximization: some case studies. Ex proceedings: COST E15 Conference. Athens, Greece. 7 p.
- Viehbeck, P. 1999. Lo básico del secado de madera con energía solar. GATE-GTZ. Eschborn, DE. Traducido por. Ormaza, E. y A.M. Galindo. Servicios Gerenciales Empresariales G. Santa Cruz, Bolivia. 49 p.
- Villatoro M., W. A. 2005. Evaluación de rentabilidad de un proyecto de deshidratación de manzana por medio de energía solar. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 130 p.
- Weiss, W. and J. Buchinger. s/f. Solar drying. Austrian Development Cooperation. Feldgasse, Austria. 110 p.
- Zaragoza H., I. 2008. Evaluación de la pérdida de calidad de la madera en el secado convencional de encinos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx., México. 86 p.