

Medición de Variables de Experimentación en un Prototipo de Secador Solar para Madera

Nelli Silvana S.^a*, <https://orcid.org/0000-0002-6782-2856>, sofiasnelli@gmail.com

Mantulak Mario J.^a, <https://orcid.org/0000-0002-7873-8270>, mantulak@fio.unam.edu.ar

Feltan Corina M.^b, feltan@fio.unam.edu.ar

Bresciani Julio C.^a, julioesarbresciani@gmail.com

^a Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Gestión Tecnológica y Estadística Aplicada, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.

^b Universidad Nacional de Misiones, Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Electromecánica, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.

Resumen

En la República Argentina, Provincia de Misiones, la industria forestal es una actividad muy importante, sin embargo, son pocos los aserraderos que cuentan con un sistema apropiado de secado de madera. Estos aserraderos son los de mayor envergadura, mientras que los más pequeños en general realizan el secado al aire libre. En este trabajo se han realizado ensayos del funcionamiento de un prototipo de secador solar de madera con el objetivo de comparar las condiciones de secado en el prototipo con respecto al secado al aire libre y así brindar una alternativa sustentable a estos pequeños aserraderos. Dichos ensayos consistieron en realizar el secado de madera de pino mediante el prototipo y se contrastaron dichos resultados con un grupo testigo de secado natural. El secado fue por radiación solar y convección forzada de aire caliente generados por los colectores solares. Las variables medidas fueron humedad, temperatura ambiente y en el interior del secador solar. Los principales resultados obtenidos fueron, una reducción de humedad que ronda el 50 por ciento, mientras que la temperatura se incrementó alrededor de un 90 por ciento en el interior del prototipo, en comparación con las mediciones realizadas al aire libre.

Palabras Clave – Energía solar, Secador solar, Madera, Aserraderos, Prototipo.

Abstract

In the Argentine Republic, In Misiones Province, the forestry industry constitutes a highly important activity; however, few sawmills have an appropriate wood drying system. These sawmills are the largest ones, while the smallest generally use an air-drying system. In order to provide a sustainable alternative for small sawmills, in this work, tests were carried out on the operation of a solar wood dryer prototype. The aim was to obtain a functionality and performance determination of this prototype; and to this end, pine wood was used to perform the tests. The results were contrasted with a natural drying control group. Solar radiation and forced convection of hot air generated by the solar collectors were used for drying. The variables measured were humidity, ambient temperature and temperature inside the solar dryer. Compared to air-drying measurements, the main results were a humidity reduction of around 50 percent and a temperature increase of around 90 percent inside the prototype. In addition, it was found that wood dried with an air-drying system presented stains and fungal growth, while wood dried in the prototype did not show these drawbacks.

Keywords – Solar energy, Solar dryer, Wood, Sawmills, Prototype.

1. Introducción

La provincia de Misiones, en Argentina, cuenta con una importante industria forestal. En el año 2017 el 39,87% de la producción nacional de madera en sus diversas formas, provino de la provincia de Misiones [1]. Cabe además mencionar que según datos aportados el Ministerio de Hacienda posee la mayor superficie implantada del país [2].

Del censo Foresto industrial del año 2018, surge que en esta región existen 438 empresas dedicadas a la producción maderera de las cuales el 13% se hallan radicadas en el departamento de Oberá; y si se tiene en cuenta las regiones aledañas, esta cantidad asciende al 47,7 por ciento [3].

Según la base de datos que se confeccionó para tal fin, se desprende que las micro y pequeñas MiPyMEs a nivel regional, cuya renta es el aserrado de madera, no poseen un equipamiento para realizar el secado artificial. Las empresas que realizan este secado utilizando calderas son pocas en la región, ya que la inversión para su instalación y puesta en marcha genera un costo considerablemente mayor al de un secador solar [4].

Además, se debe considerar el costo del combustible para generar energía térmica utilizada en el secado artificial de la madera, sumado al hecho que en la combustión se generan gases contaminantes [5].

Por otro lado, se analizó el secado al aire libre, que consiste en secar la madera en las condiciones naturales externas, sin ninguna edificación, excepto por las bases para el apilado de madera y los separadores [6]. Este sistema de secado posee diversos inconvenientes, como ser la cantidad de tiempo que demanda, depende de muchas variables como la cantidad de luz solar, la velocidad del viento, la humedad relativa ambiental [7]. También posee una alta incidencia del factor climático, estacional que afectan a los tiempos de secado, lo que conlleva a un menor rendimiento económico. Esta discontinuidad en los tiempos de secado afecta el cumplimiento de las entregas de madera en los plazos acordados, repercutiendo en la confianza que tienen los clientes en la empresa [5].

Otro inconveniente que se genera es la formación de hongos y manchas en la madera; para esto se suele impregnar la madera con sustancias químicas que son nocivas para el hombre y el medio ambiente. [8] En el caso de que no se realice dicha impregnación, y la madera tenga hongos y manchas, disminuye el precio al que se podrá vender [9].

El secado artificial de madera posee ciertas ventajas importantes como son, la disminución del tiempo de secado y el menor riesgo de rajaduras y agrietamientos [10]. Es por este motivo que se pretende analizar un prototipo del secador solar de madera.

La implementación de un secador solar, es una posible opción económica para los aserraderos que no poseen acceso a otro tipo de tecnología apropiada. Además, se debe tener en cuenta que la energía solar es una fuente libre y limpia de suministro de energía sin influencia destructiva para el medio ambiente [11].

El trabajo se basa en ensayos realizados en un prototipo de secador solar de madera, como parte de una investigación hecha en el marco del desarrollo del trabajo de tesis de la Maestría en Ingeniería de la Energía de la Facultad de Ingeniería de la UNaM. Además, se encuadra dentro del proyecto de investigación denominado “Estadística aplicada e innovación tecnológica en el sector de aserrado de madera – PDTs-UNaM”, el cual se encuentra circunscripto como proyecto perteneciente al Laboratorio de Gestión Tecnológica y Estadística Aplicada (GTEA) de la Facultad de Ingeniería de

la UNaM. El propósito de estos ensayos es continuar con la investigación para evaluar la factibilidad de la implementación de secadores solares de madera en aserraderos de la región que no cuenten con tecnología apropiada y que actualmente estén realizando exclusivamente secado al aire libre.

Objetivo General

- Realizar una comparativa de las condiciones de secado de madera al aire libre y en el prototipo de secador solar para madera.

Objetivos Específicos

- Realizar ensayos de secado en el prototipo, y al aire libre de muestras de madera de pino de la región.
- Analizar los datos obtenidos utilizando herramientas estadísticas, como diagramas de cajas, para realizar comparativas entre las variables medidas para los tipos de secado ensayados.

2. Materiales y Métodos

2.1. Madera para secado

Para la realización de los ensayos se trabajó con madera de pino resinoso: *Pinus Taeda* y *Pinus Elliottii*. Dado que en la provincia de Misiones el 87% de las especies forestales cultivadas corresponden a estas variedades, con un total de 2 497 010 m³ implantadas, seguida por el eucalipto con un 9% [12]. Estas maderas son utilizadas para la construcción, muebles, tableros, pallets, etc.[12], [13].

Características del pino

Una de las características más importantes a tener en cuenta de la madera es la densidad ya que de ella dependen muchas de sus características físicas. La madera de pino tiene una densidad aparente promedio que varía entre 0.41 y 0.52 $\frac{gr}{cm^3}$ de acuerdo con la edad del árbol, la zona en que se encuentre, etc.[12].

La madera verde posee un contenido de humedad que puede variar entre el 50% al 120% y en algunos casos hasta el 200% [14]; sin embargo, la madera seca a la salida del aserradero debe tener un porcentaje de humedad que varíe entre el 8% y el 12%, para que se minimicen las deformaciones y el riesgo de producción de grietas [15].

2.2. Materiales e instrumentos utilizados

Para la realización de los ensayos se utilizaron los siguientes materiales e instrumentos:

- Medidor de humedad y Medidor de temperatura. Para las mediciones en el exterior se utilizó un registrador de datos HOBO U10. Este permite realizar mediciones de temperatura en el rango de -20 °C a 70 °C con una exactitud de $\pm 0,53$ °C. Con respecto a la humedad relativa el rango de medición es de 25% a 95% con un error de $\pm 3,5\%$, su rango de operación va de 0% a 95% de humedad relativa.

Para las mediciones en el interior del prototipo se utilizó un registrador de datos HOBO ux100-003 que puede medir temperaturas en un rango de -20 °C y 70 °C con una exactitud de $\pm 0,21$ °C, mientras que el sensor de humedad posee un rango de medición de 15% a 95%, con una exactitud de $\pm 3,5\%$.

También se utilizaron instrumentos manuales para la medición de humedad y temperatura, como ser Temperature & Humidity Meter. El mismo posee un rango de medición de temperatura entre -30 °C y 100 °C, con una exactitud de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. El rango de medición del sensor de humedad relativa es de 0% a 100%, con una exactitud de $\pm 2\%$.

- Balanza electrónica. Es una balanza digital con una sensibilidad de 2g.
- Prototipo de secador solar para madera.
- 18 Tablas de madera de pino verdes de igual dimensión provisto por aserraderos locales. (Cantidad por ensayo)

2.3. Variables

Las variables que se tuvieron en cuenta para este trabajo son la humedad relativa ambiente y dentro del secador solar, también la temperatura ambiente y la temperatura dentro del secador. Además, se realizaron mediciones del peso de las muestras de madera para obtener el porcentaje de humedad de las mismas.

2.4. Prototipo

La estructura del prototipo está construida por un armazón con tirantes de madera de 1,5 pulgadas; sobre la cual están montadas las paredes, el piso y la puerta que son de madera terciada. En la parte superior se encuentra un techo realizado utilizando una lámina de policarbonato alveolar de color transparente que permite el paso de los rayos solares al colector. El secador en su interior tiene dos sectores: uno que es el sector del colector y el sector del secado. Los mismos están interconectados por dos aberturas que permiten el flujo de aire de un sector a otro.

El prototipo cuenta además con dos forzadores de aire que trabajan a 220 V de 1400 rpm con un diámetro de 15cm, los cuales cumplen la función de forzar la circulación de aire. Tiene cuatro aberturas de ventilación para permitir la salida de humedad, las cuales permanecen cerradas la mayoría del tiempo. Este prototipo se encuentra cubierto por un plástico de polietileno transparente para su protección contra los agentes climáticos.

- Descripción y esquema

En la Fig. 1 se observa el esquema del prototipo utilizado para los ensayos. Se puede ver que en la parte superior posee un colector, que es una placa absorbente que aumenta su temperatura debido a la exposición solar. Es una superficie metálica negra plegada en V, lo que mejora su contacto térmico.

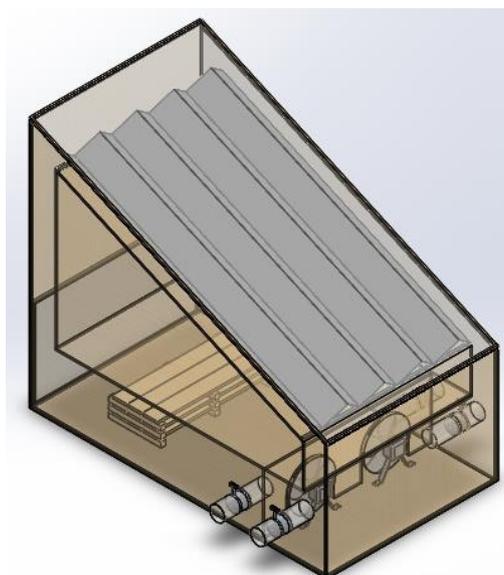


Fig. 1. Esquema del secador solar.

El secador solar de madera permite la transferencia de calor por convección. El aire de la región del colector aumenta su temperatura, y ya que la región de secado se encuentra a menor temperatura comienza una circulación de aire dentro del secador. El aire a mayor temperatura transporta el calor a la masa de aire a menor temperatura; este flujo se muestra en la Fig. 2, dentro del secador se encuentran además dos forzadores que favorecen esta circulación natural de aire.

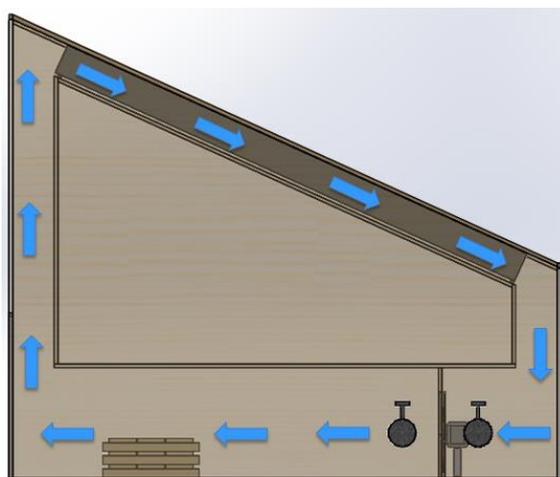


Fig. 2. Esquema del secador solar, vista lateral izquierda. Circulación de aire.

En las figuras 3, 4 y 5 se presentan fotografías del prototipo utilizado para los ensayos, en la Fig. 3 se observa la vista anterior donde puede verse la lámina de policarbonato alveolar que cubre el colector.



Fig. 3. Prototipo secador solar vista anterior

En la Fig. 4 se observa una vista lateral del prototipo; en esta fotografía se visualizan dos ventilas que se abren periódicamente para permitir la salida de humedad del interior. En la Fig. 5 se muestra una fotografía del colector solar descrito anteriormente.



Fig. 4. Prototipo secador solar vista lateral izquierda.



Fig. 5. Prototipo secador solar. Colector.

1.1 Protocolo de ensayos

Para este trabajo se realizaron cuatro ensayos en diferentes estaciones del año, durante el período 2020 – 2021, con el fin de recabar datos de temperatura, humedad, peso de las tablas, de los cuales en este trabajo se presentan dos que son representativas. Para cada ensayo se toma una muestra de 18 tablas provenientes de un aserradero de la zona. Se decidió trabajar con madera de pino, ya que es una de las más utilizadas en la región. [3]

El proceso de secado se realiza por varios días en los cuales se registran humedad (ambiente y en el interior del secador), temperatura (ambiente y en el interior del secador), como se mencionó anteriormente. Estos datos se midieron diariamente cada hora, con los registradores de datos.

3. Resultados

A continuación, se presentan dos de los ensayos realizados de secado de madera, primeramente, las mediciones de temperatura realizadas en el interior de secador y la temperatura ambiente. Como puede observarse en la Fig. 6 donde se ve el primer ensayo, se obtuvo un incremento de hasta 96,2% en la temperatura dentro del secador con respecto a la temperatura ambiente, alcanzando temperaturas de 68.92°C, cuando la temperatura ambiente llegó a un máximo de 42,79°C.

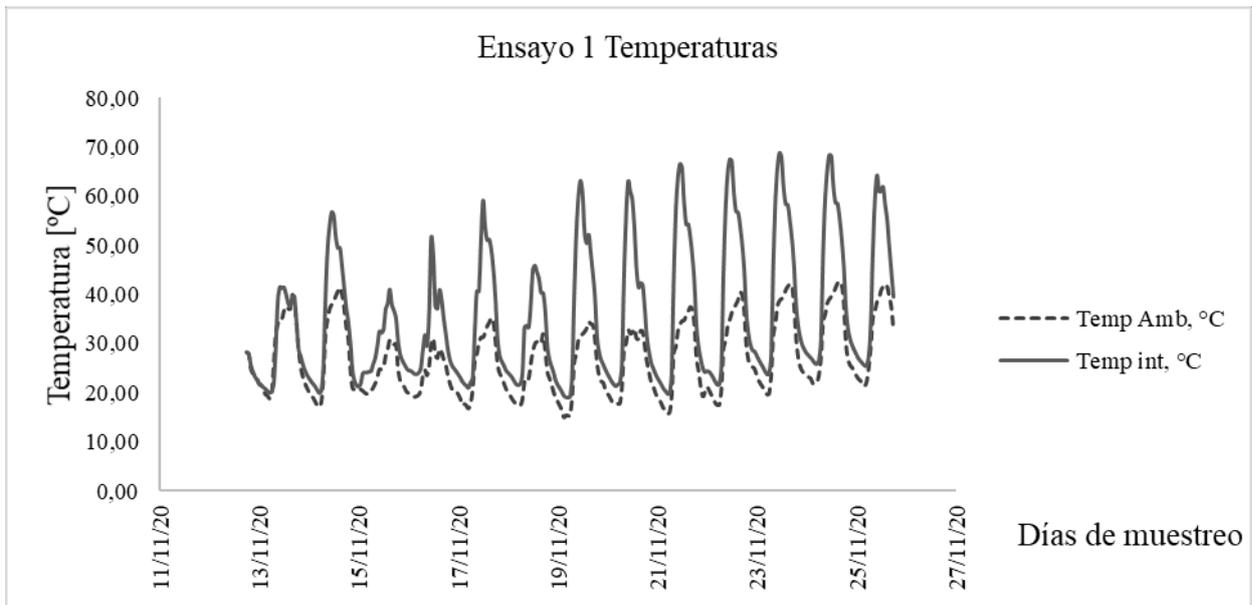


Fig. 6. Mediciones de temperatura ambiente e interior del secador

En la Fig. 7 se pueden observar los diagramas de caja de la temperatura ambiente y en interior del secador. Puede observarse que hay un incremento de la temperatura interior del secador y la temperatura ambiente en un 97.4% de las mediciones. El 50% de los valores de temperatura ambiente se encuentran entre 20,66°C y 32,76°C, mientras que en el interior del secador entre 24°C y 45,62°C, lo que muestra un aumento en la temperatura ambiente dentro del prototipo.

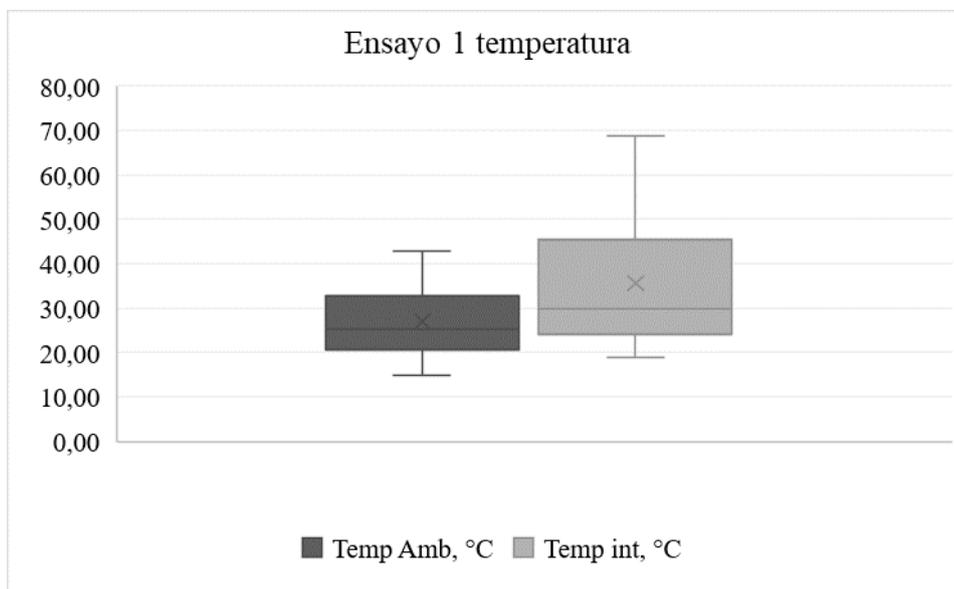


Fig. 7. Diagrama de Cajas Temperatura ensayo 1

En la Fig. 8 se presentan los datos de las mediciones de humedad ambiente y en el interior del secador en el 90% de las mediciones, se puede observar que se obtuvieron valores inferiores de humedad interior en un orden de hasta con el 41% (en algunos momentos) con respecto a la humedad ambiente.

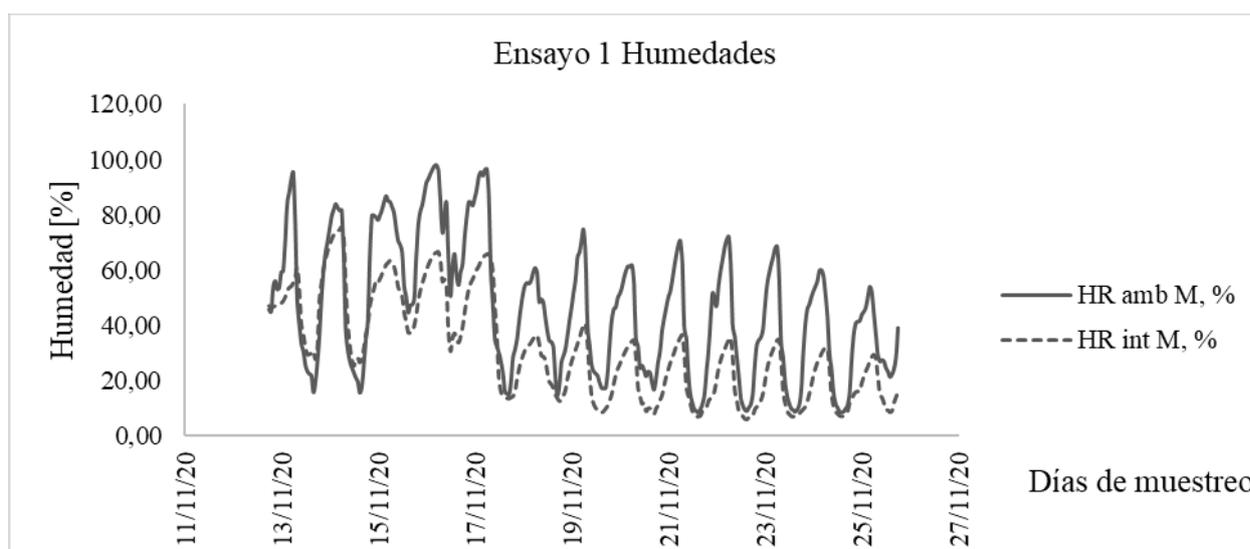


Fig. 8. Mediciones de humedad ambiente e interior del secador

En la Fig. 9 se puede observar los diagramas de caja de la humedad ambiente y en interior del secador. Se puede notar que la humedad en interior del secador es inferior a la humedad ambiente. El 50% de los valores de la humedad ambiente se encuentran entre 25,64% y 64,12%. Mientras que en el interior del secador entre 13,99% y 44,56%.

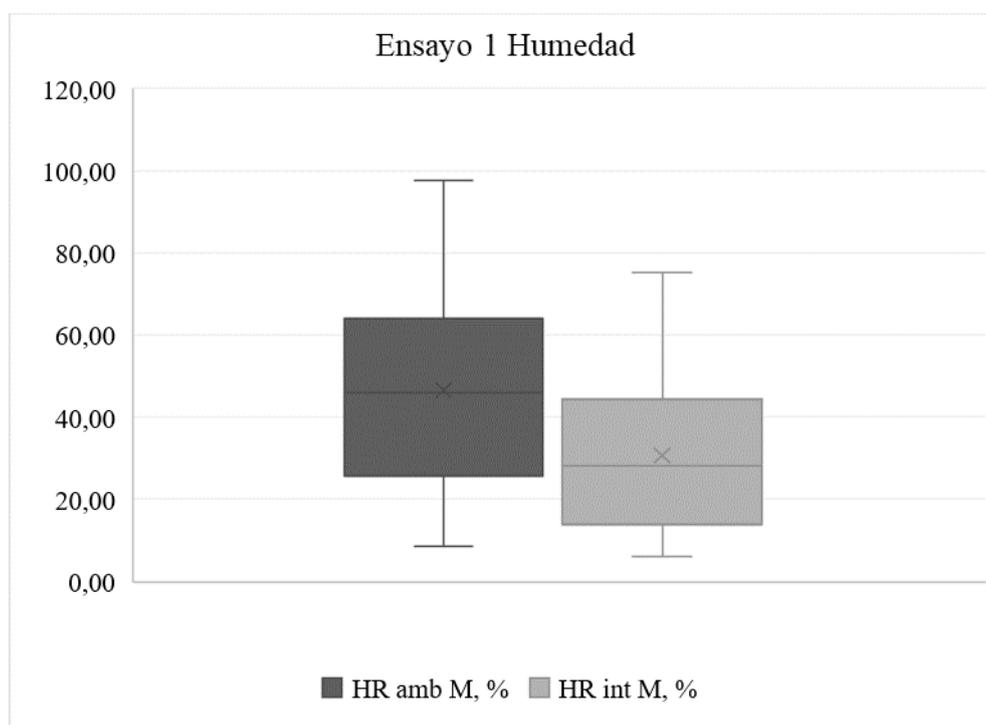


Fig. 9. Diagrama de Cajas Humedad ensayo 1

En la Fig. 10 se muestran los resultados de un segundo ensayo realizado. En este ensayo también se observan temperaturas superiores en el 98% de las mediciones realizadas dentro del secador solar, donde se alcanzaron temperaturas de hasta 67,35 °C, cuando la temperatura ambiente máxima fue de 36,11 °C. La temperatura del interior alcanzó en un determinado momento hasta de un 107% superior a la temperatura ambiente.

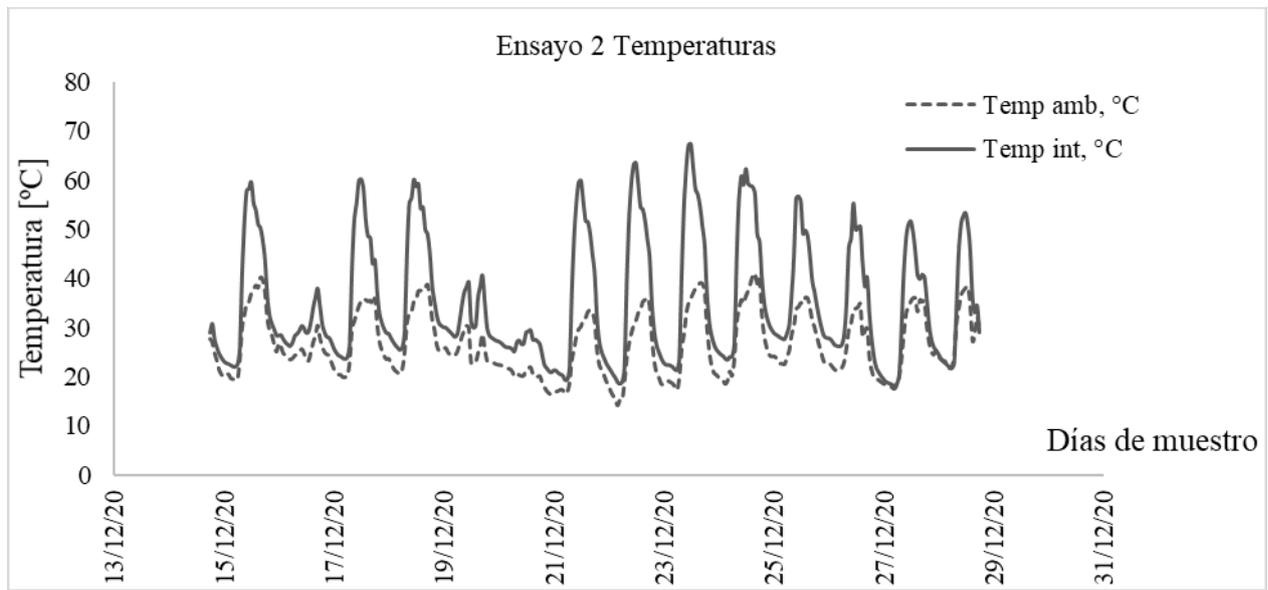


Fig. 10. Mediciones de temperatura ambiente e interior del secador

En la Fig. 11 se pueden ver los diagramas de caja de la temperatura ambiente y en interior del secador. Puede observarse que hay un incremento de la temperatura interior del secador y la temperatura ambiente. El 50% de los valores de temperatura ambiente se encuentran entre 21,32 °C y 32,37°C, mientras que en el interior del secador entre 25,92°C y 45,61°C.

El 29,67% de las mediciones de temperatura interior superaron a la máxima temperatura ambiente que fue de 41,17°C.

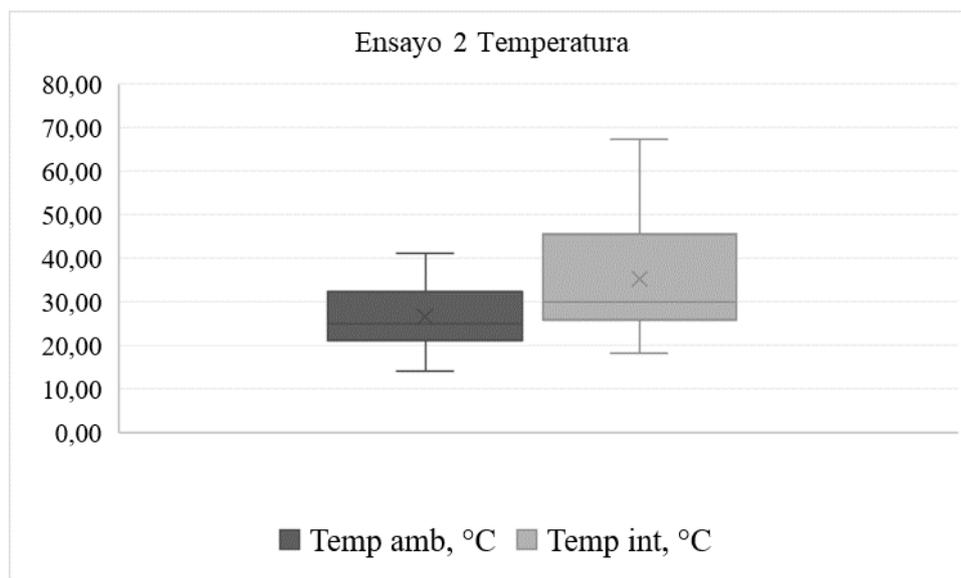


Fig. 11. Diagrama de Cajas Temperatura ensayo 2

En la Fig. 12 se observa que la humedad en el interior del prototipo se mantiene, en el 93,76% de las mediciones realizadas, por debajo de la humedad ambiente. Teniendo una disminución de hasta un 72,5% la humedad en el interior del secador con respecto a la ambiental.

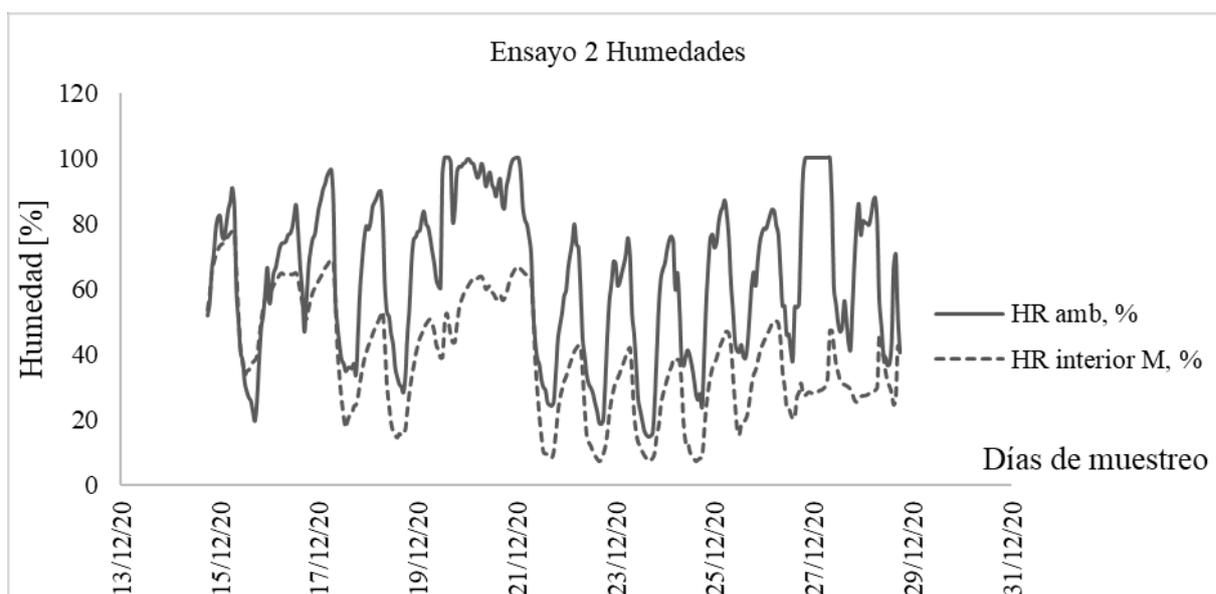


Fig. 12. Mediciones de humedad ambiente e interior del secador

En la Fig. 13 se pueden observar los diagramas de caja de la humedad ambiente y en interior del secador. Puede verse que la humedad en interior del secador es inferior a la humedad ambiente. El 50% de los valores de la humedad ambiente se encuentran entre 43,40% y 82,45%. Mientras que en el interior del secador entre 26,05% y 53,62%. En este ensayo se observa un aumento en la humedad con respecto al anterior, debido a que hubo varios días con lloviznas y lluvia.

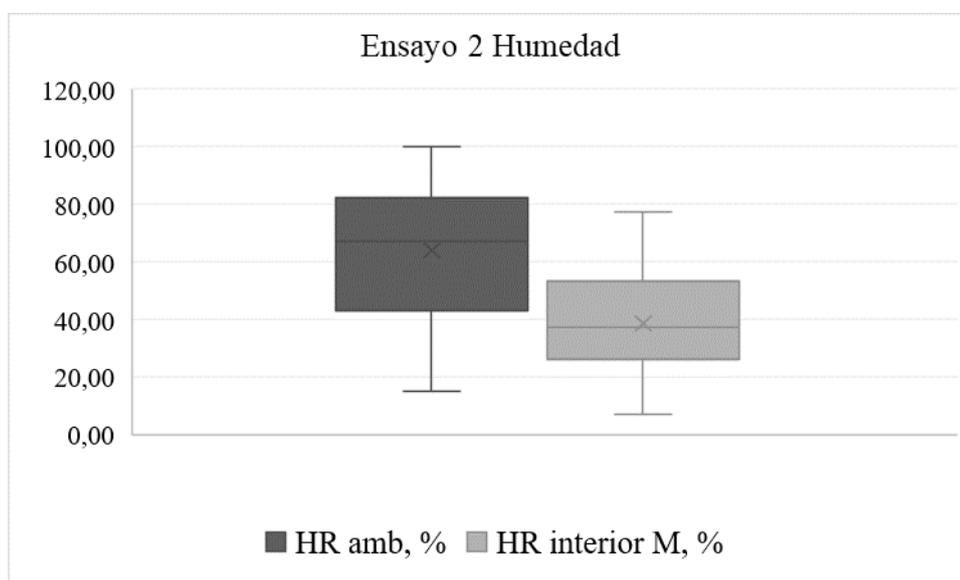


Fig. 13. Diagrama de Cajas Humedad ensayo 2

Como puede observarse, a partir de los ensayos realizados, se obtiene un aumento de la temperatura y una disminución de la humedad en el prototipo de secador solar, con respecto a las condiciones de medio ambiente, lo que conlleva a la mejora de las condiciones de secado de la madera.

4. Conclusiones

En el primer ensayo se puede observar que hubo un incremento de la temperatura interior del secador con respecto a la temperatura ambiente en un 97.4% de las mediciones. El incremento fue de hasta 96,2%, alcanzando valores de 68.92°C, cuando la temperatura ambiente llegó a un máximo de 42,79°C. El 50% de los valores de temperatura ambiente se encuentran entre 20,66°C y 32,76°C. Mientras que en el interior del secador entre 24°C y 45,62°C. Se observa también que se obtuvieron valores inferiores de humedad interior en un orden de hasta con el 41% con respecto a la humedad ambiente. La humedad en interior del secador es inferior a la ambiente en el 90 % de las mediciones. El 50% de los valores de la humedad ambiente se encuentran entre 25,64% y 64,12%. Mientras que en el interior del secador entre 13,99% y 44,56%.

En el segundo ensayo se observan temperaturas superiores en el 98% de las mediciones dentro del secador solar con respecto a la del ambiente, se alcanzaron temperaturas de hasta 67,35°C, cuando la temperatura ambiente máxima fue de 36,11°C. La temperatura del interior alcanzó un valor de hasta un 107% superior a la ambiente. El 50% de los valores de temperatura ambiente se encuentran entre 21,32°C y 32,37°C. Mientras que en el interior del secador entre 25,92°C y 45,61°C.

Se observa que la humedad en el interior del prototipo se mantiene en el 93,76% de las mediciones por debajo de la humedad ambiente. Teniendo una disminución de hasta un 72,5% la humedad en el interior del secador con respecto a la ambiental. El 50% de los valores de la humedad ambiente se encuentran entre 43,40% y 82,45%. Mientras que en el interior del secador entre 26,05% y 53,62%.

Este trabajo consistió en la presentación de parte de las experimentaciones realizadas dentro de un trabajo de investigación, donde se pudieron verificar, mediante los ensayos que hubo una mejora en las condiciones ambientales para el secado de madera dentro del prototipo de secador solar, con respecto al secado al aire libre. Presentándose una disminución de la humedad y un aumento de temperatura dentro del secador solar.

5. Referencias

- [1] E. Misirlian, "Análisis del complejo foresto industrial maderero en Argentina," pp. 1–40, 2019.
- [2] Ministerio de Hacienda, "Informes productivos provinciales. Misiones," *Enero 2018*, 2018. [Online]. Available: https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas_provinciales/Misiones.pdf. [Accessed: 28-Jun-2018].
- [3] Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial, "Censo nacional de aserraderos," Misiones, 2018.
- [4] Q. Olguín, F. López, M. Elena, T. Urías, and J. Carlos, "Evaluación económica de un secador solar para madera," *Rev. Mex. Ciencias For.*, vol. 2, no. 7, pp. 97–104, 2011.
- [5] R. Brázzola, C. Brandt, M. J. Mantulak, S. Edgardo, and A. Katogui, "Secadero Solar Demostrativo para Madera Demonstrative Solar Drying Room for Wood," vol. 701, no. 2009, pp. 401–410, 2017.
- [6] R. Córdoba-Foglia, "Conceptos básicos sobre el secado de la madera," *Rev. For. Mesoam. Kurú*, vol. 2, no. 5, p. pág. 88-92, Nov. 2012.

- [7] Fabrizio Ciurlo, “Conceptos Básicos del Secado de Madera.” [Online]. Available: <https://studylib.es/doc/6484716/conceptos-básicos-del-secado-de-madera>. [Accessed: 06-Jan-2021].
- [8] I. S. D. Magnago, “PROPIEDADES DE LAS MADERAS DE *Pinus taeda* L. Marion y *Bastardiopsis densiflora* (Hook. & Arn.) Hassl. IMPREGNADAS CON COBRE - TEBUCONAZOL,” 2016.
- [9] L. V. Aquino-González, J. Rodríguez-Ramírez, L. L. Méndez-Lagunas, and S. Sandoval-Torres, “Evaluation of drying schedules for chalamite wood (*Pinus pseudostrobus*),” *Madera Bosques*, vol. 16, no. 2, pp. 35–46, 2010.
- [10] Ing. Raúl Oswaldo Contreras Vidal, “Análisis del uso de un Secador Solar para Madera en la Ciudad de Cuenca.,” Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas., Cuenca, 2017.
- [11] M. Azizi, N. Mohebbi, and F. De Felice, “Developing a Rating Model for Selection Solar Wood Drying Location,” *Agric. Agric. Sci. Procedia*, vol. 8, pp. 378–386, 2016.
- [12] E. M. Weber, “Caracterización Física Y Mecánica De *Pinus Taeda* Origen Marion En Plantaciones De Diferentes Edades Y Determinacion De Usos Potenciales, Misiones, Argentina,” pp. 2–4, 2005.
- [13] J. Sackser, Mirian Raquel; Valdés, Pablo Amilcar; Grance, Luis; Bohren, Alicia Violeta; Aguilera, Angélica; Andrade, Nardia Yani; Grance, “2018 Sackser Densidad De La Madera De *Pinus Elliottii* Var. *Elliottii* Engelm De 21 Años De Edad, A Distintas Alturas Desde La Medula A La Corteza; Estimación Del Límite Madera Juvenil Madura.,” pp. 29–37, 2018.
- [14] A. P. M. Galvão and I. P. Jankowsky, *Secagem racional da madeira*. editorial Nobel, 1985.
- [15] C. F. Aguilar and R. A. Sanhueza, “Caracterización y Estandarización de Productos, Procesos y Equipos en la Industria del Aserrío,” p. 270, 2003.