

## **Comparación del Proceso de Secado de Madera de Pino en Misiones, Argentina: Análisis entre Secado al Aire Libre y Secado en Secador Solar**

Nelli Silvana S.<sup>a\*</sup>, Mantulak Mario J.<sup>a</sup>, Pirelli Marisol I.<sup>a</sup> Bresciani Julio C.<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Lab. GTEA, Departamento de Ing. Industrial, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.*  
e-mails: silvana.nelli@fio.unam.edu.ar, mantulak@fio.unam.edu.ar, marisol.pirelli@fio.unam.edu.ar,  
julio.bresciani@fio.unam.edu.ar

---

### **Resumen**

Este estudio realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, Argentina, como parte de la investigación para una tesis de la maestría en Ingeniería de la Energía, consistió en realizar el proceso de secado de tablas de madera de pino. Estos ensayos se efectuaron con nueve tablas que fueron secadas al aire libre y nueve tablas secadas en un prototipo de secador solar. El objetivo del trabajo fue comparar el secado por ambos métodos. Los principales resultados muestran que hubo una reducción en el contenido de humedad en las tablas secadas en el secador solar de entre un 21% a un 25% en comparación con las secadas al aire libre. Además, mostraron una menor cantidad de machas y formación de hongos, lo que hace que estas tablas sean más apropiadas para las aplicaciones donde se utilizarán posteriormente.

*Palabras Clave* – *Curva de secado, ensayos, Secado de Madera, Secador solar.*

### **1 Introducción**

La madera de pino es muy utilizada en la construcción y carpintería, en el 2017 el 39,87% de la producción nacional de madera en sus diversas formas, provino de la provincia de Misiones. [1]. Además, en la provincia, se cuenta con una de las mayores superficies implantadas del país según el Ministerio de Hacienda [2].

El proceso de secado de la madera es una etapa fundamental en el proceso de transformación al producto final, ya que uno de los requisitos básicos para que su posterior uso es que el contenido de humedad de la misma esté ajustado a las condiciones de uso.[3] La madera recién cortada, tiene un contenido de humedad muy alto, por lo que, es necesario eliminar este exceso de humedad para poder garantizar que la madera se encuentre en las condiciones adecuadas para usos futuros. Para la mayor parte de estos usos es necesario reducir el contenido de humedad a un nivel que sea apropiado al lugar donde se utilizará.[4] Esto es importante para que pueda alcanzar la estabilidad dimensional que se requiere para su utilización final, en especial si está destinada a la fabricación de muebles u otras aplicaciones de interior.[5]

En este trabajo tiene como objetivo comparar dos métodos de secado: el secado al aire libre y en un secador solar. Se llevaron a cabo dos ensayos para 18 tablas de madera de pino, en cada ensayo se trabajó con dos grupos, nueve tablas de madera que fueron secadas al aire libre y nueve en el secador solar para comparar ambos métodos y analizar los resultados. También se registraron los valores de temperatura y humedad ambiental, y dentro del secador solar durante el ensayo de secado.

### *1.1 Importancia del Secado de Madera de Pino*

El secado de la madera, como se mencionó anteriormente, es un proceso importante ya que cuando la madera recién cortada contiene un alto porcentaje de humedad y debido a esto puede sufrir deformaciones y agrietamientos a medida que se seca naturalmente al aire libre. [6] Esto puede afectar la calidad de los productos finales realizados a partir de la misma. Además, se debe considerar que la madera con alto porcentaje de humedad es propensa a la proliferación de insectos y hongos, que pueden dañarla gravemente. Los hongos son responsables de pérdidas en los productos hechos a partir de madera ya que pueden descomponer la materia orgánica [7] Por lo tanto, el secado adecuado de las tablas de madera de pino mejora su durabilidad, y la protege de plagas y hongos que pueden afectarla, de esta manera se puede mejorar la calidad del producto final obtenido a partir de ella.

### *1.2 Estado Actual del Secado de Madera de Pino en Misiones Argentina*

En la provincia de Misiones, la industria maderera cumple un rol fundamental en la economía regional.[1] La madera de pino es una de las más utilizadas en diversas aplicaciones, como la fabricación de muebles, la construcción de viviendas, y la industria papelera.[8]

El secado al aire libre de madera es uno de los métodos más utilizados en la región, ya que es un método sencillo y económico que utiliza energía solar como fuente de energía. Sin embargo, el secado por este método puede llevar mucho tiempo, desde 3 a 4 semanas hasta 1 o 2 años aproximadamente, hasta que el contenido de humedad alcance el equilibrio con la humedad del lugar donde se realice. [4] Además, es altamente dependiente de factores climáticos como ser, temperaturas, niveles de humedad y precipitaciones.

En la región, otro método que se utiliza para realizar el secado son secadores con calderas, los mismos requieren una alta inversión inicial para su instalación. [9] Además, utilizan combustibles para generar vapor, de esta manera secan la madera con energía térmica, de acuerdo a Brázzola et al [10]. Se debe considerar el gasto generado por la utilización del combustible de la caldera y al quemar dicho combustible se generan gases contaminantes. [11] En la región, se han estudiado secadores solares para realizar secado de la madera. [12] En este trabajo se considera esta opción, para mejorar el proceso de secado de la madera de pino, con respecto al secado al aire libre, lo que puede permitir acelerar el proceso e incrementar la calidad de la madera obtenida luego del secado, sin los efectos negativos y costes elevados de los secadores con calderas.

La investigación originaria está inmersa dentro de un trabajo de Tesis para la Maestría en Ingeniería de la Energía realizado en la Facultad de Ingeniería de Oberá, Misiones. Además, se encuentra dentro de un proyecto de investigación denominado “Industria 4.0 y Filosofía LEAN como Instrumentos de Competitividad en Pymes de Manufactura de la Provincia de Misiones”, el que se encuentra comprendido dentro de las actividades del Laboratorio de Investigación de Gestión Tecnológica y Estadística Aplicada (GTEA) de la Facultad de Ingeniería de la UNaM.

## 2 Desarrollo

### 2.1 Marco Teórico

El secado de la madera es un proceso de suma importancia, ya que influye en la calidad de la madera. La madera recién cortada posee un contenido de humedad alto, entre 50% y 110% [13] aproximadamente, que debe reducirse a niveles adecuados para su posterior uso. El valor inicial de la humedad puede variar dependiendo de diversos factores tales como la especie forestal, región de procedencia, época del año, etc.[13][14] También es importante considerar los factores climáticos de la región, los bosques de la provincia de Misiones tienen una temperatura anual media de 21°C, una precipitación media anual de 2000mm que se distribuye uniformemente en el año. [15]

El objetivo que se persigue mediante el secado de la madera es reducir el contenido de humedad hasta un punto de equilibrio con el ambiente. Ya que para obtener estabilidad dimensional el contenido de humedad de la madera debe alcanzar un equilibrio con el contenido de humedad del ambiente.[16] Una humedad excesiva puede conducir a problemas generar un ambiente favorable para la acción de hongos, disminución de la resistencia mecánica, etc.[3]

Muchos de los aserraderos de Misiones realizan el secado de la madera de pino al aire libre. Este método es muy utilizado debido a su simplicidad y bajo costo. Sin embargo, al ser un proceso que depende en gran medida de las condiciones climáticas del sitio donde se coloque la madera,[3] puede llevar a retrasos en la entrega de la madera, o disminución en la calidad de la misma.

### 2.2 Metodología

Para realizar la investigación se realizaron ensayos de secado de tablas de madera de pino al aire libre y en el secador solar como se muestra a continuación.

#### *Ensayos*

Primeramente, se seleccionaron dos grupos de nueve tablas de madera de pino de iguales dimensiones. Nueve de ellas fueron colocadas al aire libre, donde se realizaron mediciones de temperatura y porcentaje de humedad ambiente, además se registró la variación de peso de las mismas con el transcurso del tiempo, para evaluar su contenido de humedad. Las nueve tablas restantes se secaron dentro de un prototipo de secador solar utilizado en esta investigación, donde también se midieron la temperatura y humedad internas del prototipo y se registraron los pesos de las tablas. Ambas pruebas de secado se llevaron a cabo simultáneamente. Luego se repitió para otro lote de dieciocho tablas nuevamente.

Luego de registrar los datos de peso de las tablas se realizó un análisis con para determinar el porcentaje de humedad de la madera en ambos grupos de tablas, para ambos ensayos. Y posteriormente se realizaron las curvas de secado de las mismas.

### *Madera para secado*

Para la llevar a cabo los ensayos se utilizó madera de pino resinoso: *Pinus Taeda* y *Pinus Elliottii*. Debido a que en la provincia de Misiones el 87% de las especies forestales cultivadas pertenecen a estas variedades, teniendo un total de 2 497 010 m<sup>3</sup> implantadas. [11] Las maderas de pino son utilizadas para la construcción, muebles, pallets, etc. [17]

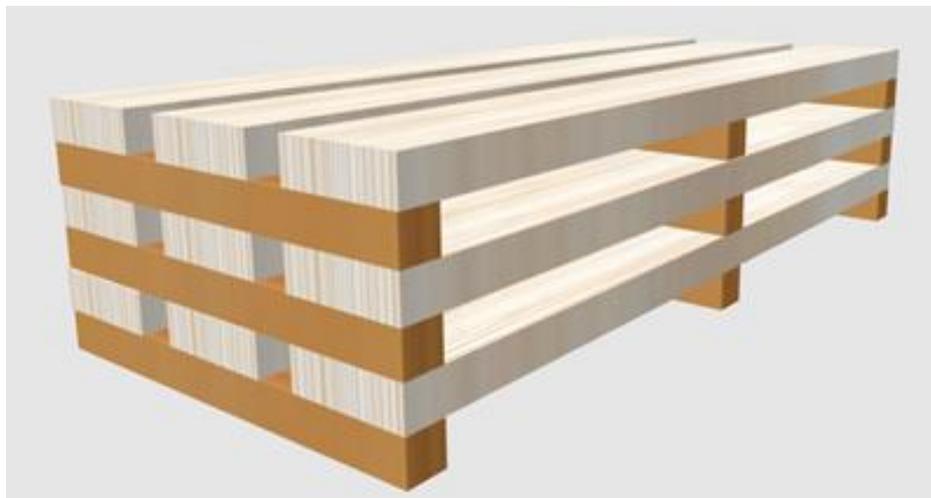
### *Materiales e instrumentos*

Para la realizar de los ensayos se utilizaron:

- Medidor de humedad temperatura. Registrador de datos HOBO U10: Para las mediciones en al aire libre.
- Registrador de datos HOBO ux100-003. Para las mediciones en el interior del secador.
- Prototipo de secador solar para madera provisto por la Facultad.
- Dieciocho tablas de madera de pino verdes provisto por aserraderos locales de igual dimensión. (Cantidad por ensayo)[18]

### *Disposición para el secado*

Debido a que se deseaba realizar una comparación entre el secado de las tablas en el secador solar y al aire libre se utilizó en ambos casos el mismo apilado: apilado horizontal. Que consiste en apilar las tablas que se hallan dispuestas en forma horizontal, con separadores, como se muestra en la Fig. 1:



**Fig. 1. Apilado Horizontal.**

## Separadores

Los separadores son listones de madera de sección cuadrada que se utilizan para separar hileras de madera aserrada, lo que permite facilitar la circulación de aire a través de la pila.[16] Sus dimensiones varían de acuerdo al espesor de las tablas que se desea secar. Deben estar hechos de madera seca y escuadrada. La elección del espesor de los mismos es importante y va a depender del espesor y peso de las tablas que desea secarse. Cuanto más delgado sea el separador se podrán introducir mayor cantidad de madera al secador, es decir se aprovecha mejor el espacio. Pero tiene la desventaja de que puede provocar marcas en la madera, y se rompen con mayor facilidad.

La tabla 1 muestra el espesor aproximado del separador en función del ancho de la madera:

**Tabla 1:** Relación entre el espesor del separador y el espesor de las tablas a secar [19]

Espesor de la madera (mm)	Espesor del separador (mm)
Menos de 20	20
20 - 25	25
40 - 50	30
50 - 65	35
65 - 80	40
Más de 80	45

También debe a tenerse en cuenta la distancia entre los separadores, esta distancia dependerá del tipo de madera, ya que cuanto más susceptible a deformarse sea, menor deberá ser dicha distancia.

En la tabla 2 se presenta algunos valores orientativos:

**Tabla 2:** Distanciamiento de separadores en función del espesor de las tablas a secar.[19]

Espesor de la tabla (mm)	Distanciamiento (m)
Hasta 30	0,30 - 0,40
30 - 50	0,40 - 0,70
Más de 50	0,70 - 1,00

Los separadores de los extremos siempre deben coincidir con el extremo de la madera, como se muestra en la Fig. 1.

Para el correcto secado de la madera las estibas deben permitir la circulación de aire, esto sucede cuando los espacios vacíos que dejan los separadores están alineados, es decir, cuando los separadores se colocan de manera adecuada (alineados). Si no es así el secado se verá retardado ya que se generan turbulencias.[19]

### Método de obtención del porcentaje de humedad de las tablas

Cada una de las tablas se encuentra identificada, por lo que se posee un registro de la variación de peso de cada una de ellas. Y de esta manera se puede obtener el porcentaje de humedad de las mismas. Utilizando la expresión (1):

$$H(\%) = \frac{P_H - P_S}{P_S} \cdot 100\% \quad (1)[20]$$

En donde:

$H(\%)$  es el porcentaje de humedad de la tabla en función al peso anhidro de la misma.

$P_H$  es el peso de la tabla húmeda, es decir, la madera en su estado inicial.

$P_S$  es el peso anhidro de la tabla, que es el que se obtiene secando la misma a 100°C hasta que su peso no varíe.

### 2.3 Resultados

En la Fig. 2., se presenta la gráfica de las curvas de secado del ensayo de secado al aire libre. Donde vemos una disminución inicial del peso abrupta para luego estabilizarse.

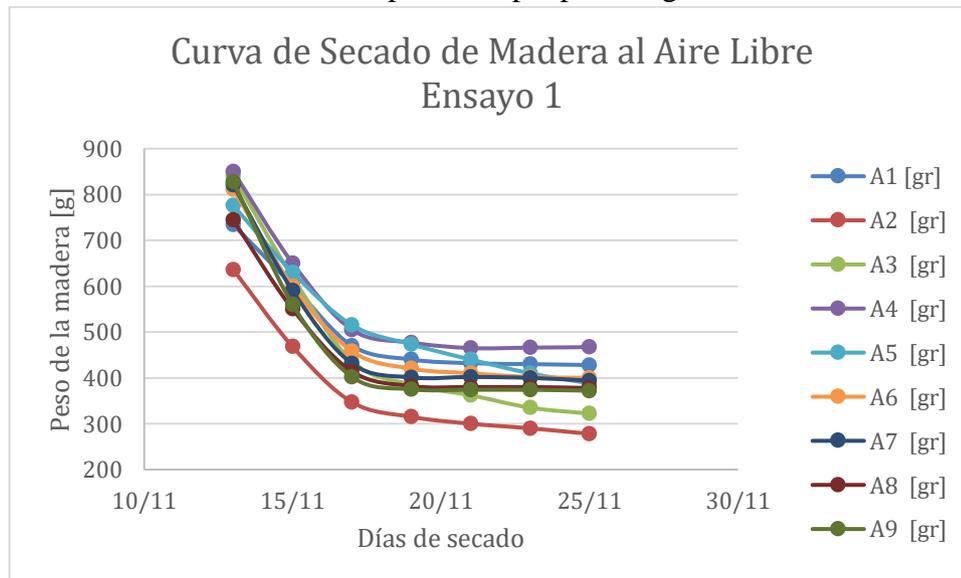
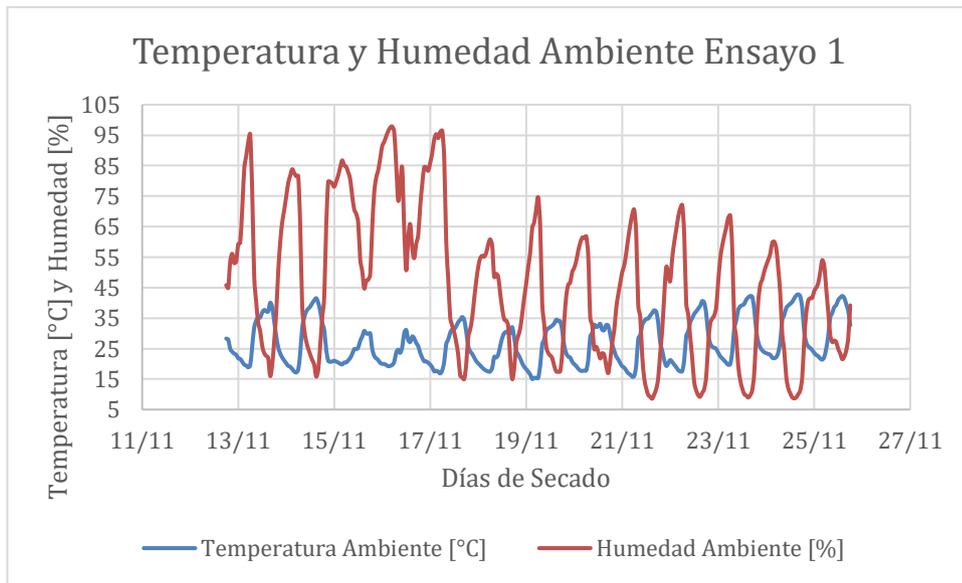


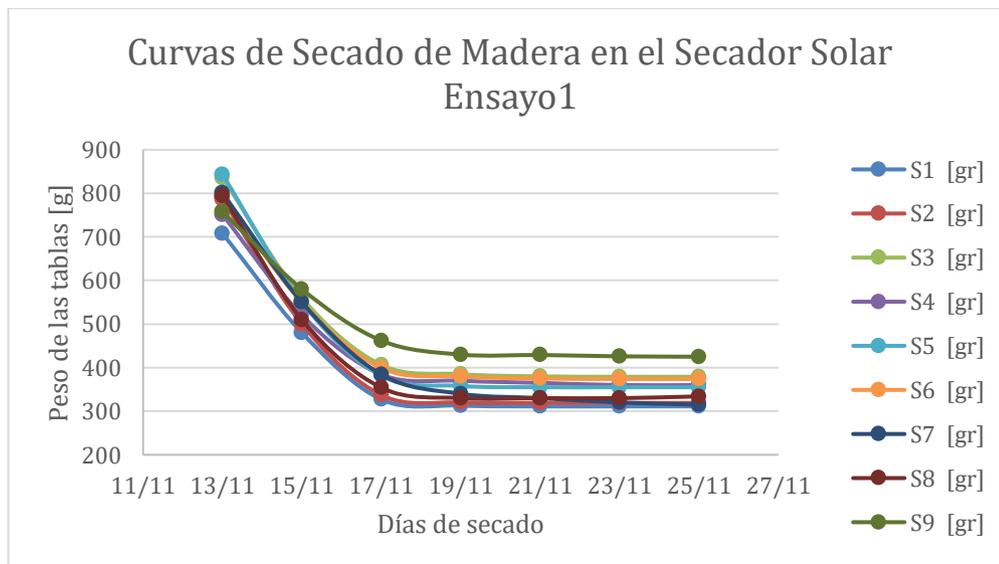
Fig. 2. Curvas de Secado de las tablas al aire libre Ensayo 1

En la Fig. 3. se muestra los porcentajes de humedad y la temperatura ambiente:



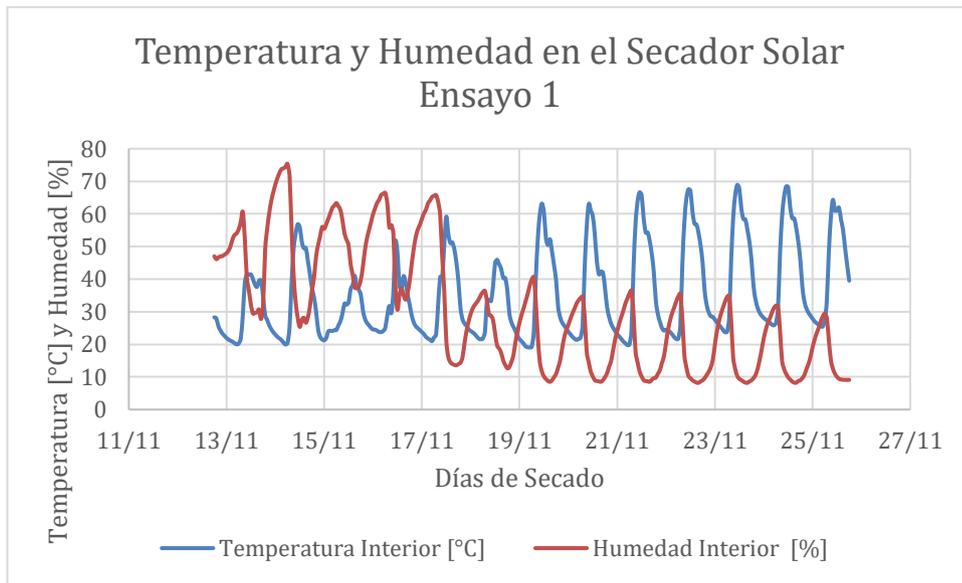
**Fig. 3. Temperatura y humedad ambiente. Ensayo 1**

En la Fig. 4, se presenta la gráfica de las curvas de secado del ensayo dentro del prototipo.



**Fig. 4. Curvas de secado de tablas dentro del Secador Solar. Ensayo 1**

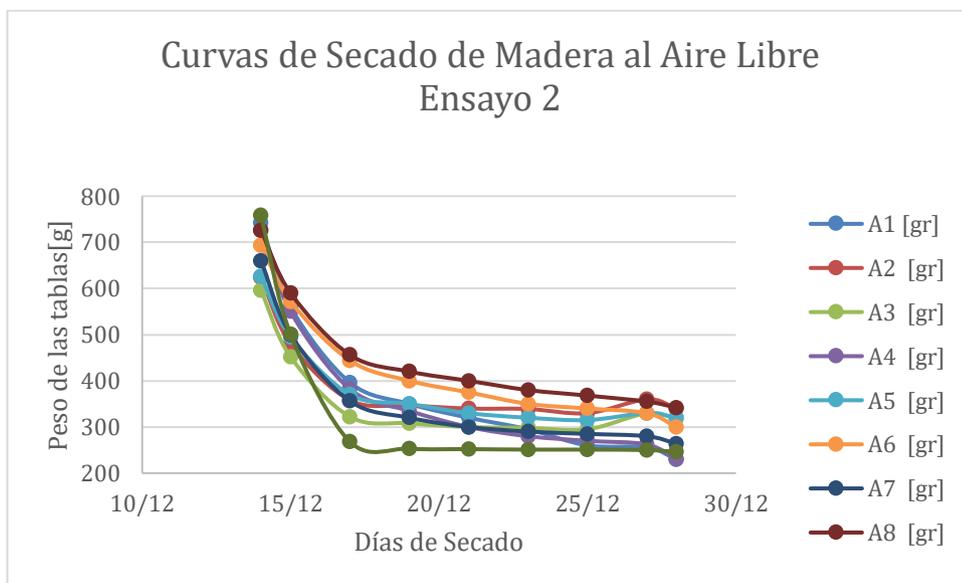
En la Fig. 5 se muestra los porcentajes de humedad y la temperatura dentro del secador solar:



**Fig. 5. Temperatura y humedad dentro del Secador Solar. Ensayo 1**

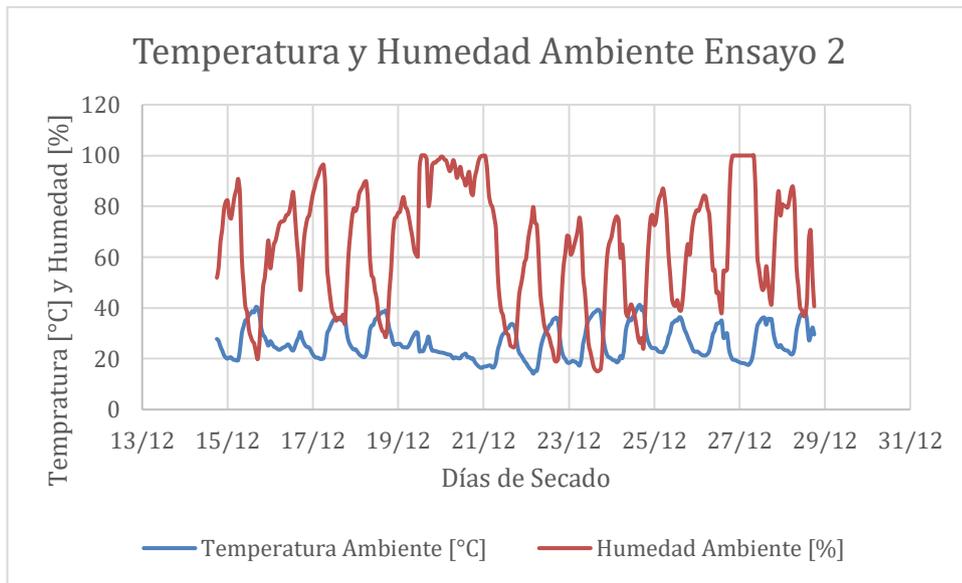
Para este ensayo el porcentaje promedio de humedad hallado mediante (1) en las tablas secadas al aire libre fue de 16,10%, mientras que en el prototipo fue de 12,81%.

Se presenta un segundo ensayo realizado en el mes de diciembre del mismo año, en primer lugar, mostramos las curvas de secado de las tablas al aire libre en la Fig. 6.



**Fig. 6. Curvas de Secado de tablas al Aire libre. Ensayo 2**

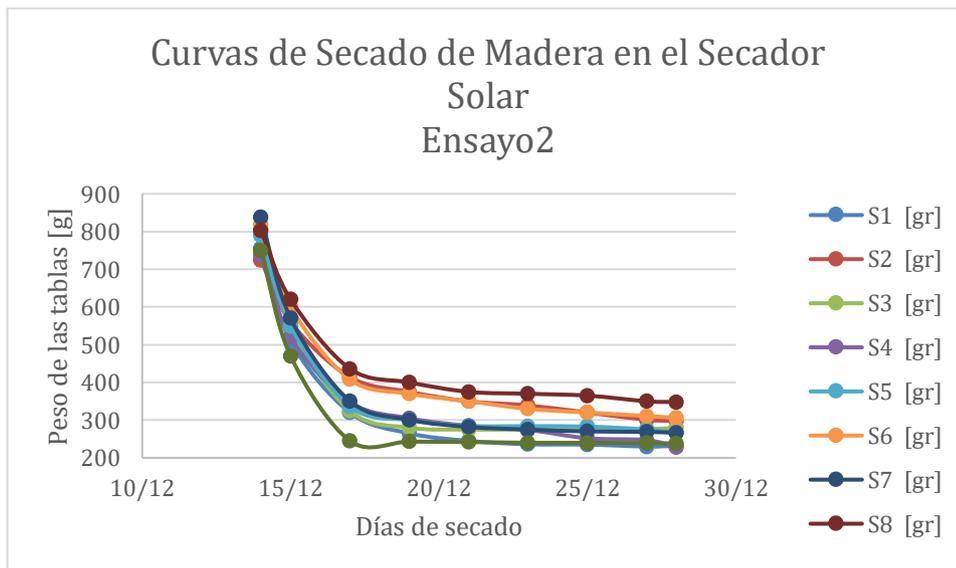
En la Fig. 7 se muestran los porcentajes de humedad y la temperatura ambiente.



**Fig. 7. Temperatura y humedad ambiente. Ensayo 2**

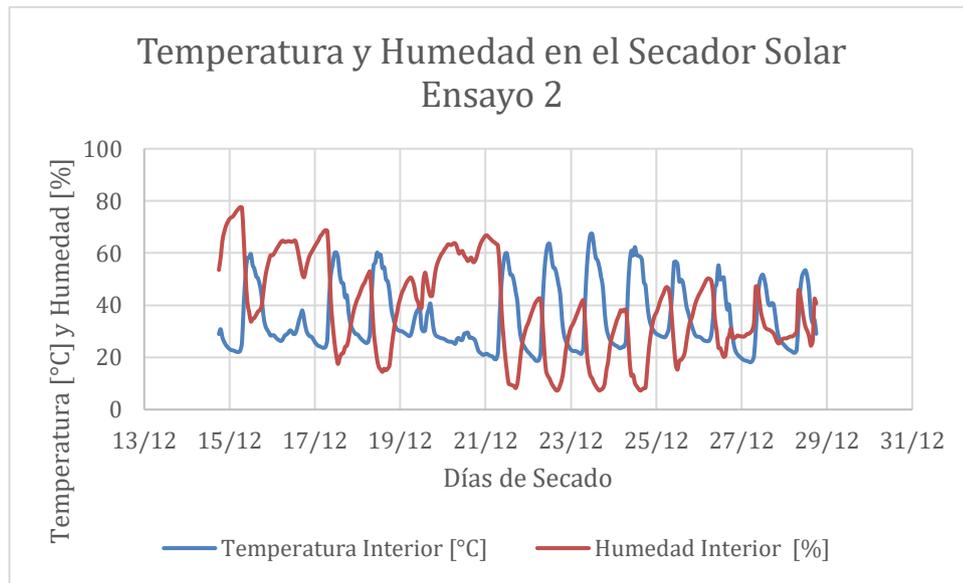
En la Fig. 7 podemos ver que el día 27/12 llovió. Esto repercutió en un aumento de la humedad en las tablas secadas al aire libre en este día.

En la Fig. 8 se muestran las curvas de secado de las tablas en el secador solar:



**Fig. 8. Curvas de secado de tablas dentro del Secador Solar. Ensayo 2**

En la Fig. 9 se muestran los porcentajes de humedad y la temperatura dentro del secador solar.



**Fig. 9. Temperatura y humedad dentro del Secador Solar. Ensayo 2**

Para este ensayo el porcentaje promedio de humedad hallado mediante (1) en las tablas secadas al aire libre fue de 15,40%, mientras que en el prototipo fue de 12,68%.

Además, podemos observar que las tablas dentro del secador no fueron tan afectadas por el día de lluvia el 27/12 como lo fueron las que se encontraban al aire libre.

Los resultados obtenidos muestran que existe una disminución en el porcentaje de humedad de las tablas secadas en el secador solar de entre 12,68% y 12,81%, en comparación a las secadas al aire libre que fue de entre 15,40% y 16,10%. Además, se pudo observar que las tablas secadas en el secador presentaron menos manchas de humedad.

### 3 Conclusiones

Hemos llegado a la conclusión de que el secado en el prototipo de secador solar resultó más efectivo que al aire libre. El secador solar permitió que las condiciones de secado sean más estables, esto posibilitó una reducción mayor del contenido de humedad de la madera en un mismo tiempo de secado. A partir de los dos los ensayos realizados, se pudo observar que el porcentaje de humedad promedio de las tablas secadas en el secador solar fue de entre 12,68% y 12,81%, mientras que las secadas en el exterior en promedio varió entre 15,40% y 16,10%. Además, la madera del secador solar mostró una mayor calidad en cuanto a manchas de humedad.

Podemos concluir que el secado en el secador solar es más eficiente entre un 21% a un 25% que el secado al aire libre, en cuanto a la disminución del porcentaje de humedad en las tablas. Se pudo observar también que hubo una mejora en las condiciones de humedad y temperatura ambientes dentro del secador solar, con respecto al aire libre.

Otro beneficio del secador solar, es que, al utilizar energía solar para calentar el aire dentro del secador, evita el uso de fuentes de energía no renovables (como es el caso de los secadores artificiales

con calderas que realizan quema de combustible), esto permitiría disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la conservación del medio ambiente.

#### 4 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. [https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas\\_provinciales/Misiones.pdf](https://www.economia.gob.ar/peconomica/dnper/fichas_provinciales/Misiones.pdf) (accessed Jun. 27, 2018).
- [3] J. E. Franco Santana, N. Castaño Arboleda, and L. M. Ortiz Ríos, “Secado natural, manejo y transformación de la madera,” Bogotá, D.C. - Colombia, Dec. 2009. Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: [www.sinchi.org.co](http://www.sinchi.org.co)
- [4] R. Córdoba Foglia, “Conceptos básicos sobre el secado de la madera,” 2005.
- [5] B. Bond, O. Espinoza, and P. Araman, “Diseño y Operación de un Secador Solar de Madera para Países Tropicales,” 2012, [Online]. Available: <https://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/38138%5Cnhttp://www.srs.fs.usda.gov/pubs/38138>
- [6] E. Martínez Pinillos Cueto, “Diseño y ensayo de un Secador Solar para Madera,” *Revista Forestal Costa Rica*, vol. 3, no. 2, pp. 13–28, 1997, doi: 1405-0471.
- [7] D. Gonçalves and F. A. R. Lahr, “Deterioration and preservation of wood by using natural preservatives of potential interest in brazil,” *Bosque*, vol. 41, no. 3, pp. 213–220, Dec. 2020, doi: 10.4067/S0717-92002020000300213.
- [8] L. Mora Alfonsín, “La foresto-industria en Argentina,” 2023.
- [9] Q. Olguín, F. López, M. Elena, T. Urías, and J. Carlos, “Evaluación económica de un secador solar para madera,” *Rev Mex Cienc For*, vol. 2, no. 7, pp. 97–104, 2011, [Online]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322011000500009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322011000500009)
- [10] 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.
- [11] 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. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28162>
- [12] R. Brázzola, A. Fabian, J. Rietz, R. Fermani, and S. Katogui, “TRABAJO SEGURO EN SECADERO SOLAR DE MADERA”.
- [13] P. Y. Fank, “Caracterización físico-mecánica del pino resinoso (*Pinus taeda* y *Pinus elliottii*) cultivado en el nordeste argentino para uso estructural,” CARRERA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA, MENCIÓN MATERIALES, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL FACULTAD REGIONAL CONCEPCIÓN DEL URUGUAY, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina., 2018.
- [14] E. A. Bobadilla, D. Madera, and C. Y. Papel, “UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES DURABILIDAD NATURAL DE LA MADERA DE CINCO ESPECIES APTAS PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN Tesis presentada a la Universidad Nacional de Misiones como exigencia parcial de la Maestría en Tecnología,” 2004.
- [15] C. P. Trentini, P. I. Campanello, M. Villagra, L. Ritter, A. Ares, and G. Goldstein, “Thinning of loblolly pine plantations in subtropical Argentina: Impact on microclimate and understory vegetation,” *For Ecol Manage*, vol. 384, pp. 236–247, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.foreco.2016.10.040.
- [16] F. M. Acosta, “Secado de la madera aserrada,” 2008. Accessed: Jul. 27, 2023. [Online]. Available: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/477/406>
- [17] M. Azizi, N. Mohebbi, and F. De Felice, “Developing a Rating Model for Selection Solar Wood Drying Location,” *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, vol. 8, pp. 378–386, 2016, doi: 10.1016/j.aaspro.2016.02.033.
- [18] Nelli Silvana S, Mantulak Mario J., Feltan Corina M., and Bresciani Julio C., “Medición de Variables de Experimentación en un Prototipo de Secador Solar para Madera,” *+INGENIO Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 3, no. N°2, pp. 9–21, 2021, doi: <https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2021.03.02.001>.
- [19] Ing. María Elena Atencia, “SECADO DE MADERA,” pp. 1–93.
- [20] IRAM, “Norma técnica N° 9532: Maderas. Método para la determinación de la humedad.” Buenos Aires, 1963.