



## **Procedimiento para la medición de variables de experimentación en un prototipo de secador solar para madera**

Nelli Silvana S. <sup>a\*</sup>, Mantulak Mario J. <sup>a\*</sup>, Feltan Corina M. <sup>b</sup>, Bresciani, Julio C. <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> *Lab GTEA, Departamento de Matemática, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.*

<sup>b</sup> *Departamento Ingeniería Electromecánica, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.*  
e-mails: sofiasnelli@gmail.com, mantulak@fio.unam.edu.ar, feltan@fio.unam.edu.ar,  
juliocesarbresciani@yahoo.com.ar

---

### **Resumen**

Este trabajo se enmarca en la tesis de maestría “Estudio de un prototipo de secador solar de tipo industrial”. Particularmente aquí se presentan los resultados preliminares de los experimentos llevados a cabo utilizando un prototipo tipo secador solar que se desarrolló en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones (FI-UNaM). Con fin de obtener una determinación de funcionalidad y rendimiento del prototipo se realizaron ensayos utilizando madera de pino. 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 temperatura en el interior del secador solar. Se pudo determinar que se logra una reducción de humedad que ronda el 50 por ciento, mientras que la temperatura se incrementó alrededor de un 61 por ciento en el interior del prototipo, en comparación con las mediciones realizadas al aire libre.

*Palabras Clave – Energía solar, Secador solar para madera, Variables de experimentación, Aserraderos*

### **1 Introducción**

La provincia de Misiones 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 surge que en esta región existen 438 empresas dedicadas a la producción maderera de las cuales el 13% se hallan radicadas en 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 a 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 considerable [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]-[6]

Por otro lado, realizar el secado de madera de manera natural posee varios inconvenientes, como ser: la alta incidencia del factor climático, estacional ya 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 de la empresa [5].

La implementación del secador solar, es una posible opción económica para el grupo de pequeños 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 [7].

Por lo expuesto, el objetivo del trabajo se enfocó en la realización de ensayos de secado en un prototipo de secador solar para madera, con el propósito de que pueda ser utilizado por pequeños aserraderos de la región que no cuenten con tecnología apropiada y que actualmente estén realizando exclusivamente secado al aire libre.

Es este trabajo se basa en ensayos realizados en un prototipo de secador solar de madera, como parte de una investigación realizada en el marco del desarrollo del trabajo de tesis de la Maestría en Ingeniería de la Energía de la Facultad de Ingeniería. 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.

## 2 Desarrollo

### 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 m<sup>3</sup> implantadas, seguida por el eucalipto con un 9% [3] Estas maderas son utilizadas para la construcción, muebles, tableros, pallets, etc. [8]-[9]

#### *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 a la edad del árbol, la zona en que se encuentre, etc.[9]

### 2.2 Materiales utilizados e instrumentos

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. Y 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  $-20^{\circ}\text{C}$  y  $70^{\circ}\text{C}$  con una exactitud de  $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$ , 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  $-30^{\circ}\text{C}$  y  $100^{\circ}\text{C}$ . 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)

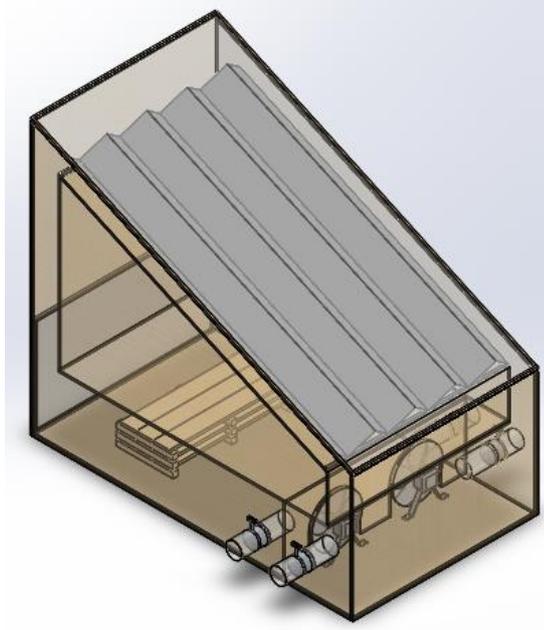
### *2.3 Variables*

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*

Su estructura está construida por un armazón con tirantes de madera de 1,5 pulgadas, sobre está 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 además cuenta 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 además cuatro aberturas de ventilación para permitir la salida de humedad. Estas aberturas permanecen cerradas la mayoría del tiempo. Este prototipo se encuentra cubierto por un plástico de polietileno transparente para su protección contra los agentes climáticos.

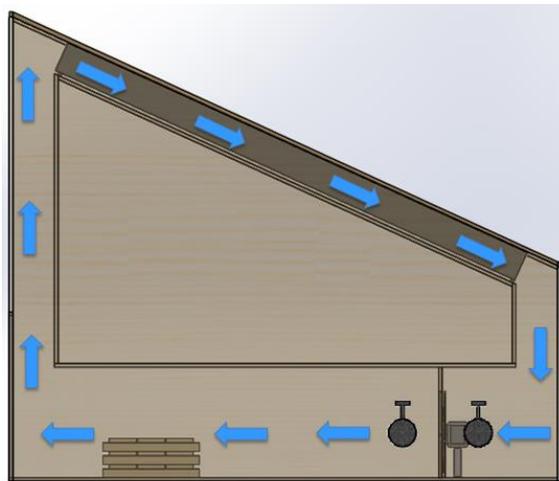


**Fig. 1. Esquema del secador solar.**

- *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.

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. 1 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.**

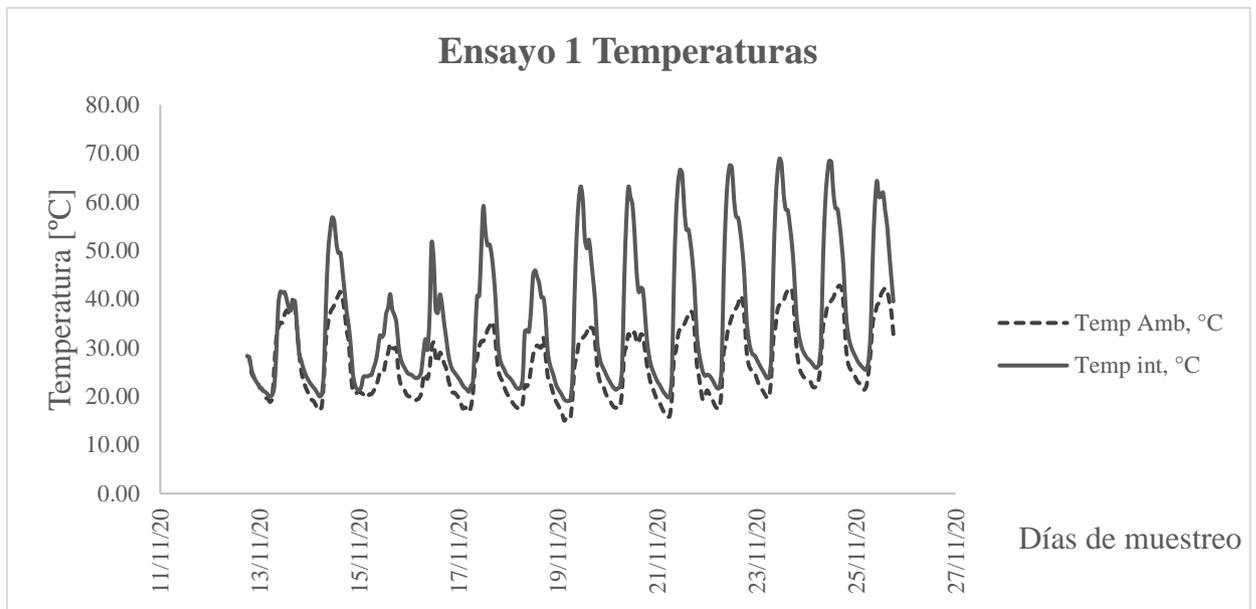
### **3 Protocolo de ensayos**

Para este trabajo se realizaron varios ensayos en diferentes estaciones del año, durante el período 2020 – 2021, con el fin de recabar datos de temperatura, humedad. De los cuales en este trabajo se presentan dos. 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 miden diariamente cada hora, con los registradores de datos.

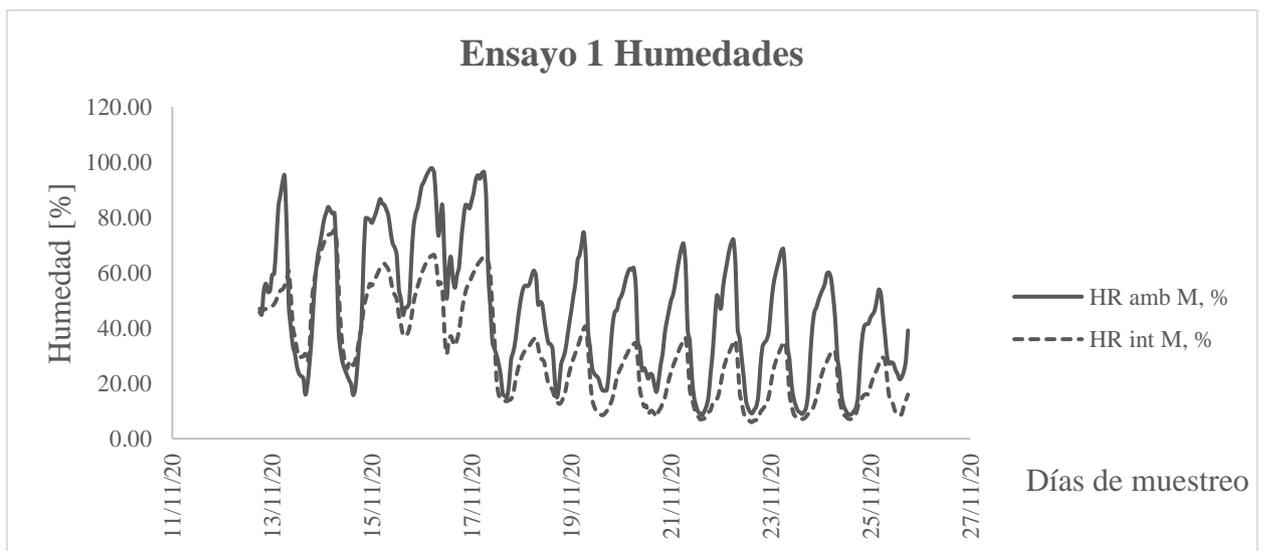
### **4 Ensayos**

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**

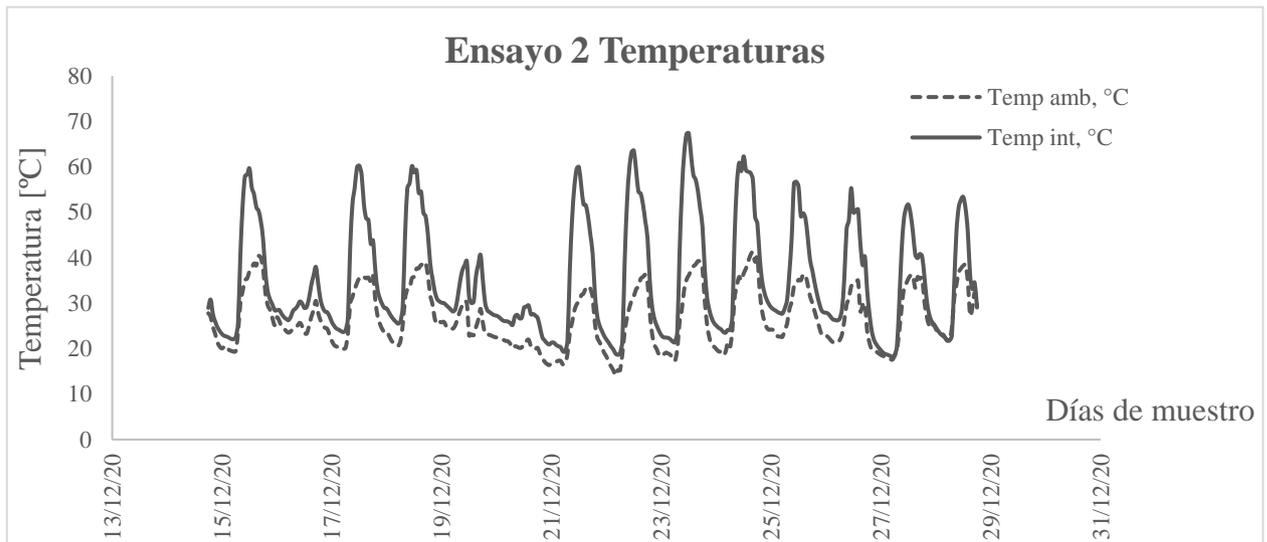
En la Fig. 7 se observan los datos de las mediciones de humedad ambiente y en el interior del secador, se puede observar que se obtuvieron valores inferiores de humedad interior en un orden de hasta con el 41% (en algunos momentos) con respecto a la humedad ambiente.



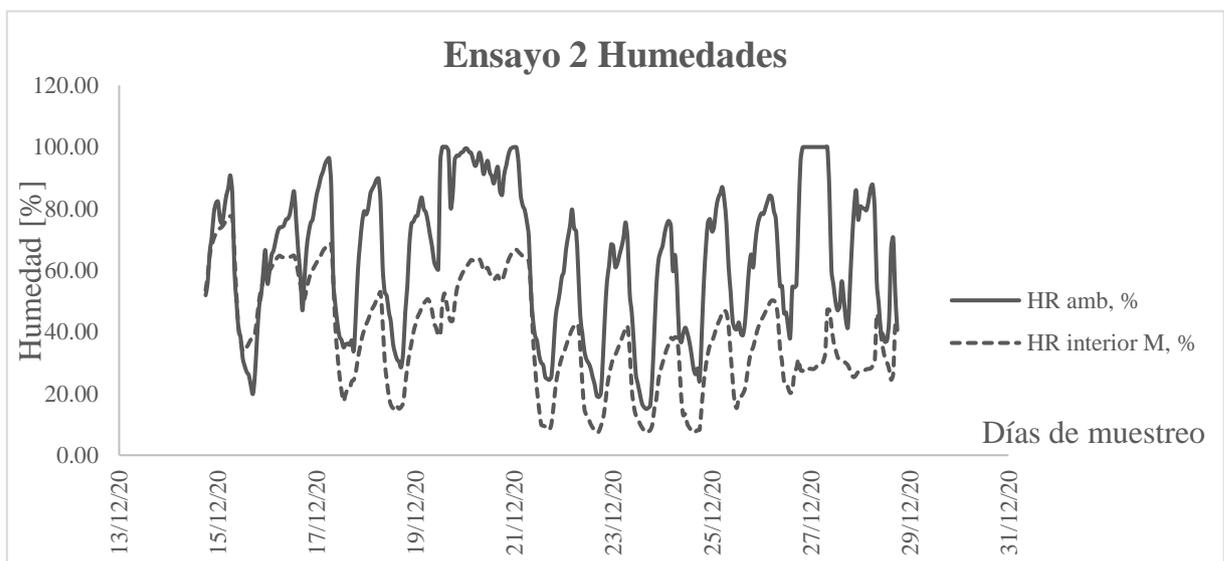
**Fig. 7. Mediciones de humedad ambiente e interior del secador**

En la Fig. 8 y 9 se muestran los resultados de un segundo ensayo realizado. En este ensayo también se observan temperaturas superiores en todo tiempo 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 momento hasta de un 107% superior a la ambiente. De igual forma, la humedad en el interior del prototipo se mantiene casi siempre 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. 8. Mediciones de temperatura ambiente e interior del secador**



**Fig. 7. Mediciones de humedad ambiente e interior del secador**

## 5 Conclusiones

En este trabajo se presentaron parte de los ensayos de realizados en la investigación. Se analizaron los datos de humedad y temperatura durante dos procesos de secado de madera. En estos ensayos puede verse que hubo un aumento considerable de la temperatura si se compara con la temperatura ambiente. En algunos momentos de hasta un 107% mayor. También se observó que la humedad del interior del secador fue inferior al ambiente alcanzando hasta un 72.5% menos humedad en determinados momentos. De acuerdo a estos ensayos realizados se puede concluir que las condiciones ambientales para secado de madera son mejores dentro del secador que al aire libre.

## Referencias

- [1] E. Misirlilian, “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](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] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.