



Prototipo secador de madera para procesamiento secundario con tecnología de efecto invernadero, colectores solares de aire y sistemas de control electrónico

Wood dryer prototype for secondary processing with greenhouse technology, solar air collectors and electronic control systems

Cabanillas-Pardo, Lenin^{1*}

Cabanillas-Pardo, Jorge Abel¹

Mendoza-Pinedo, Antonio¹

Jimenez-Montalban, Milquiaset²

Ríos-López, Carlos Armando²

Pintado-Pompa, Leydi²

¹Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación (ProInnovate), Lima, Perú

²Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

Recibido: 04 Oct. 2022 | **Aceptado:** 28 Dic. 2022 | **Publicado:** 20 Ene. 2023

Autor de correspondencia*: lpardocab@unsm.edu.pe

Como citar este artículo: Cabanillas-Pardo, L., Cabanillas-Pardo, J. A., Mendoza-Pinedo, A., Jimenez-Montalban, M., Rios-Lopez, C. A. & Pintado-Pompa, L. (2023). Prototipo secador de madera para procesamiento secundario con tecnología de efecto invernadero, colectores solares de aire y sistemas de control electrónico. *Revista Científica de Sistemas e Informática*, 3(1), e471. <https://doi.org/10.51252/rcsi.v3i1.471>

RESUMEN

La madera es ampliamente usada como material renovable para la industria de los muebles, para ello debe pasar por un proceso de secado que garantice calidad final del producto. Nuestro objetivo fue desarrollar un prototipo secador de madera para procesamiento secundario con tecnología de efecto invernadero, colectores solares de aire y sistemas de control electrónico. Para ello llevamos a cabo una investigación aplicada, no experimental, descriptiva, de corte tecnológico para transferencia de conocimiento en una empresa carpintera donde construimos el prototipo con un sistema de medición, monitoreo y control de la temperatura y humedad, bajo un sistema IoT con un Arduino Mega 2 560 y un Raspberry Pi, aplicando algoritmos de aprendizaje profundo. Logramos construir el prototipo para secar diferentes especies de madera con una capacidad promedio de 1 078 pies, con un tiempo de secado de 5,3 días, con un 95% de maderas sin deformaciones y 100% en uniformidad del color. El secador permite tener resultados satisfactorios en cuanto a las características físicas de la madera con porcentajes altamente aceptables.

Palabras clave: calidad; humedad; industria; muebles

ABSTRACT

Wood is widely used as a renewable material for the furniture industry, but for this it must go through a drying process that guarantees the final quality of the product. Our goal was to develop a prototype wood dryer for secondary processing with greenhouse technology, solar air collectors, and electronic control systems. For this, we carried out an applied, non-experimental, descriptive investigation, of a technological nature for knowledge transfer in a carpentry company where we built the prototype with a system of measurement, monitoring and control of temperature and humidity under an IoT system with an Arduino. Mega 2560 and a Raspberry Pi applying deep learning algorithms. We managed to build the prototype to dry different species of wood with an average capacity of 1078 feet, with a drying time of 5.3 days, with 95% wood without deformations and 100% color uniformity. The dryer allows satisfactory results in terms of the physical characteristics of the wood with highly acceptable percentages.

Keywords: furniture; humidity; industry; quality



1. INTRODUCCIÓN

La madera es un material polimérico renovable, que se usa ampliamente en la construcción, muebles y decoración de interiores debido a sus excelentes propiedades, como la alta relación resistencia-peso y la protección del medio ambiente (Xue et al., 2022). En Perú, la industria maderera la conforman 111 000 empresas de las que 98% son micro-empresas, siendo la segunda industria de importancia después de la textil por el número de empresas (Dourojeanni et al., 2021). Como industria produce 1,5 a 2 millones metros cúbicos de madera rolliza (FAO 2018). En cuanto a las zonas de procedencia Loreto, Madre de Dios y Ucayali concentran el 86% de la producción de madera rolliza (Rosales-Solórzano, 2015). De acuerdo a la oferta, la producción de madera en trozas se compone principalmente de las especies de *virola* sp. (cumala), *maytenus laevis* (capinuri), *calycophyllum spruceanum* (capirona), *chorisia* sp. (lupuna) y *cedrelinga cateniformis* (tornillo).

El 90% de la producción de madera en nuestro país se destina a consumo interno. En cuanto al mercado de muebles, en Perú el 2007 fue de 3 mil millones de soles, disminuyendo el 2017 a solo 1 mil millones, estos datos evidencian la abundante demanda haciendo que el excedente se cubra con importaciones; que, en ese año, según la Sunat se valorizaron en 98,6 millones de dólares. A pesar del auge de las exportaciones, la industria del mueble se ve asediada por un estancamiento de la productividad. El crecimiento atribuido al aumento de las exportaciones de muebles de contrato de bajo valor no es sostenible a largo plazo a medida que surgen otros fabricantes más baratos como lo afirman (Ratnasingam & Ioras, 2003).

El incremento de consumo de muebles se sustenta en el crecimiento de la población urbana cuya demanda de viviendas también crece, ello trae un efecto de arrastre del consumo de muebles (Garay et al., 2021). Según la INEI (2011), la distribución de conglomerados urbanos se debe a corrientes migratorias internas, ubicándose 41 de ellos en la Costa (51,9%), 21 en la Sierra (26,6%) y 17 en la Selva (21,5%). Según la Asociación de Bancos del Perú, citado por la Agencia Peruana de Noticias (2022), en el primer mes de 2018 los créditos hipotecarios concedidos por los bancos sumaron 41 342 millones de soles, monto mayor en 8,17%, la mayor expansión desde octubre de 2015, se espera subir de 60 000 nuevas viviendas construidas en 2017 a 80 000 nuevas viviendas este año, y así crecer todos los años y llegar al 2021 a la meta de construcción de 140 000 nuevas viviendas al año" (García-Gómez et al., 2022)

La industria de fabricación de muebles parece ser importante no solo desde el punto de vista económico y social, sino también desde la perspectiva de las industrias compatibles con el medio ambiente. En consecuencia, avanzar hacia el desarrollo sostenible en este sector de la industria se considera una necesidad nacional (Azizi et al., 2016). En San Martín existen centros de procesamiento de madera (plantas de transformación primaria y secundaria) y carpinterías que se dedican a la transformación final. Según la ARA en marzo 2020, existían 13 plantas de transformación primaria registradas siendo las más importantes Aserradero Victoria Sac y Compañía Peruana Forestal SA, y 120 talleres de carpintería registrados, estando la mayoría de carpinterías en la región San Martín en proceso de formalización con el ente rector del ARA. Sin embargo, estos centros de procesamiento adolecen del conocimiento técnico suficiente para garantizar procesos de secado con altos índices de rendimiento y calidad de forma que nuestra propuesta pretende transferir conocimiento en tecnología de secado de madera como lo realizan (Camacho-Cornejo et al., 2017; Vargas-Fonseca et al., 2021).

El problema de las carpinterías radica en poca disponibilidad de madera seca de buena calidad para su transformación final y debido a que la madera bruta adquirida de plantas de transformación primaria llega al almacén con más de 30% de humedad debe ser sometida a procesos de cortes según requerimiento (tablas y listones), previo a su transformación final, debe pasar por un proceso de secado de tipo artesanal común en la región selva mediante apilados expuestas al sol; pero, debido a las variaciones de temperatura toma de 8 a 10 días, tiene secado heterogéneo y deformaciones de las piezas de madera expuestas directamente al sol y otros inconvenientes que son evaluados por González Cruz et al. (2020); el resultado

tuvo daños de la fibra que afectaron al 60% de los lotes, generando el desabastecimiento para procesamiento secundario.

El costo de madera seca con el método de apilado artesanal con exposición al sol es equivalente al costo de la producción de madera seca en hornos, sin embargo, solo está disponible al sur (Juanjuí) y al norte (Rioja) de la ciudad de Tarapoto, dificultando el acceso a este servicio por temas de distancias y volúmenes inferiores (capacidad de secado 5 mil pies tablares por lote) haciendo inviable la contratación de este servicio.

Todo lo anterior ocasiona el desabastecimiento de madera seca de calidad, ya que, la fibra de la madera al someterse a distintos tipos de temperaturas, en un proceso de secado tradicional, genera defectos en su calidad, provocando retrasos en entregas y pérdidas económicas para las empresas, con ello, los carpinteros muchas veces recurren a métodos de secado improvisados e inadecuados que conlleva aún más a la pérdida de madera por defectos durante el proceso de secado

Así, para resolver el problema, este proyecto tuvo como objetivo desarrollar un prototipo secador de madera para procesamiento secundario (elaboración de muebles), con tecnología de efecto invernadero, que incorpore colectores solares de aire, medición de humedad y otros parámetros físico mecánicos de la madera (tensión, contenido de humedad, densidad, espesor de la pieza) y sistemas de control electrónico para mejorar el proceso de secado de madera húmeda (que contiene más de 30% de contenido de humedad).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación fue no experimental, descriptiva, llevada a cabo como un desarrollo tecnológico. Se realizó en las instalaciones de la empresa “Multiservicios Cabanillas” con un espacio de 300 m², ubicado en el distrito de la Banda de Shilcayo, provincia y departamento de San Martín, con temperatura máxima promedio diario de 34 °C y mínima de 22 °C.

Nos basamos en propuestas como la de Xue et al. (2022), quienes mejoraron la estabilidad dimensional y reducen las propiedades de contracción en seco de la madera. También en Chi et al. (2022), quienes evaluaron los efectos del secado solar asistido por aire en los procesos de secado de madera de álamo en regiones de zonas subfrías. Para el desarrollo del sistema de control nos basamos en la teoría de Malik & Kumar (2022).

Automatizamos el control de la temperatura de la secadora mediante el desarrollo de un sistema basado en IoT con la ayuda de Arduino Mega 2560 que tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, Jack para alimentación DC, conector ICSP, y un botón de reseteo y Raspberry Pi, microcontroladores y microprocesadores; para dar precisión y eficacia utilizamos el método de aprendizaje profundo. Adicionalmente utilizamos un sensor de temperatura DS18B20, que contó con tres terminales: alimentación (Vcc), tierra (GND) y el pin Data. Este sensor utiliza comunicación OneWire, este protocolo permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable.

El sensor DS18B20 se encontró sumergido dentro del fermentador a través de un cable de 3 m, con la finalidad de medir la temperatura líquida que se produce al combinar el agua y el azúcar de la cereza.

2.1. Ingeniería del prototipo secador de madera de efecto invernadero con tecnología de colectores solares y autocontrol

El secador tuvo 7,50 m x 4,50 m, con un colector solar para el calentamiento del aire, sistema de ventilación para mover el aire, sistema de sensores conectados al PLC que controlaron los parámetros de temperatura máxima aceptable para evitar malformaciones en la madera. Armamos el techo con tubos rectangulares, base de 2” de espesor, calamina translúcida de 2,00 mm de espesor fijadas con pernos tipo Autoperforante

de 1/4x2" con arandela plana y neopren. El techo tuvo una caída con 20 cm de inclinación, fijamos un pretecho para el colector solar que acumula calor del ambiente para disipar al horno.

Para la instalación eléctrica usamos conductores, tuberías, cajas, tomacorrientes, tableros y puesta a tierra. Elaboramos el tablero de distribución de planchas de acero para empotrar el gabinete metálico con cierre de puerta hermética con llave e interruptores termo magnéticos. Las cajas para la salida de alumbrado, tomacorrientes y de pase fueron de fierro galvanizado con "k0" de dimensiones estándar de 1,59 mm de espesor. Todos los tomacorrientes fueron del tipo doble universal 2p+t. La tubería fue de cloruro de polivinilo de tipo estándar pesado (pvc-p) de 20mm mínimo. La puesta a tierra constó de un electrodo de cobre 20mm- 2,40 mm de longitud, el punto de puesta a tierra ubicada en la caja de pase junto a la caja del medidor el cual permite la conexión y desconexión de la tierra para independizar el equipo para efectuar el mantenimiento y hacer las mediciones necesarias.

Para el manejo y control de la cámara de secado, acondicionamos medidores de temperatura y de humedad relativa que nos permitieron llevar un registro de las condiciones del interior durante el tiempo que dura el proceso, información útil para tomar decisiones sobre el manejo del secador y para mejorar el proceso de secado.

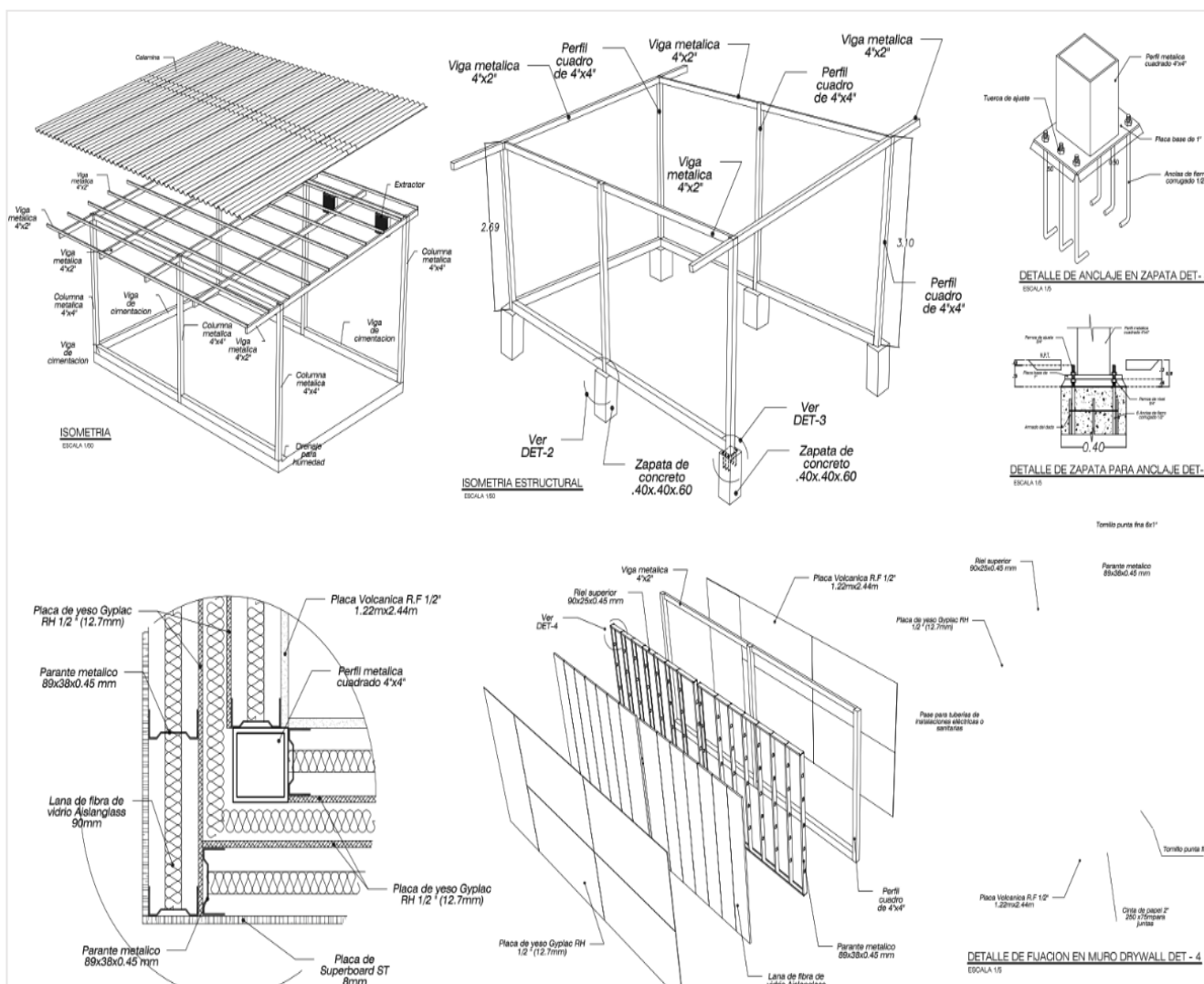


Figura 1. Diseño general del prototipo

2.2. Proceso de secado de madera con secador de efecto invernadero con tecnología de colectores solares y auto-control

La madera habilitada para las pruebas fueron el cedro, mohena, tornillo y huayruro. Los cortes fueron tablas de 8 pies x 1" de espesor; tablones de 16 pies x 2" de espesor y listones de 7 pies x 5" de espesor. Los criterios de evaluación fueron textura, color, forma, días de secado y humedad. La humedad al ingresar la madera en bloques al secador fue de 70%, al finalizar evaluamos la efectividad del secado y la calidad final resultante de la madera para la elaboración de muebles. Realizamos la evaluación en 6 bloques (batch) y 24 lotes.

Al iniciar el secado asignamos parámetros para el control de la temperatura, si es menor a la mínima el ventilador emite aire caliente del colector solar para su incremento y mantener el horno con el calor necesario. Durante el proceso medimos la humedad, si es menor a 15% la madera está seca y lista para ser retirada del horno. El porcentaje de humedad en la madera determinó los días de secado. Finalmente retiramos la madera seca del horno para realizar la evaluación de las características físicas y medir la calidad de la madera y la eficiencia del prototipo secador.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Implementación del software de medición, monitoreo y control

Esta aplicación de escritorio se instaló en el ordenador, permitiendo almacenar los datos del proceso de fermentación que se obtuvieron mediante la conexión serial que se estableció entre la placa si el arduino para luego ser evaluados de acuerdo al parámetro establecidos y enviarlos al dashboard para obtener la información que se necesita, el cual es proyectada en una pantalla con conexión HDMI.

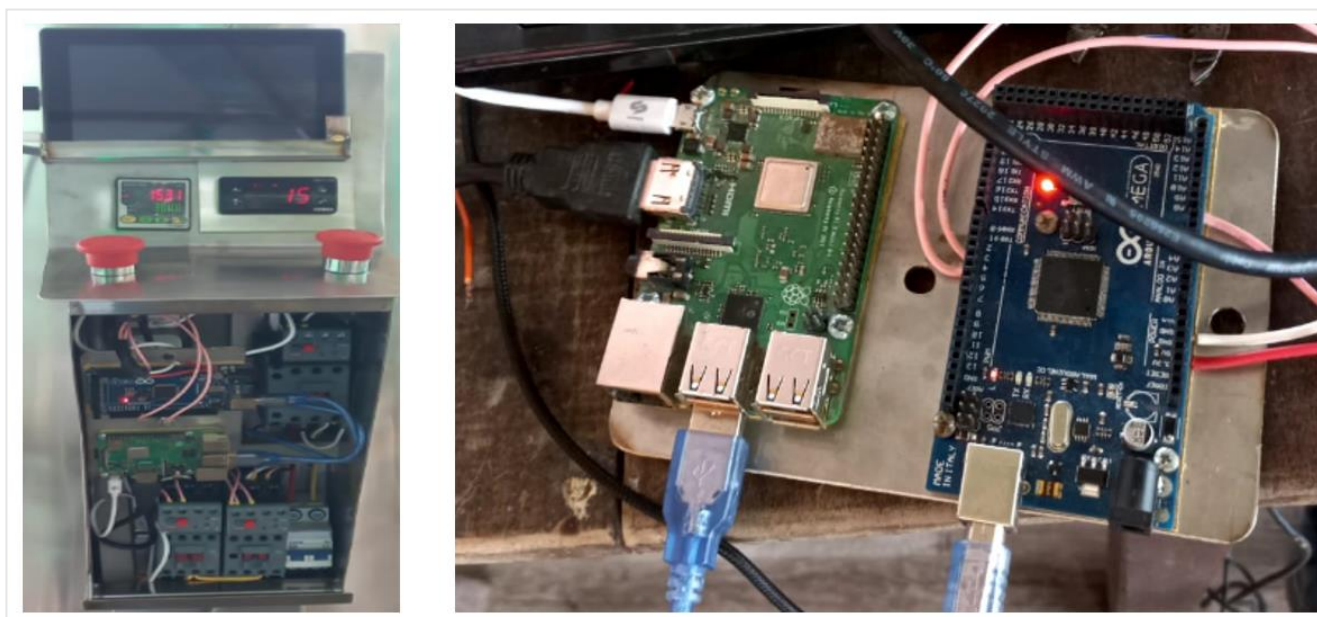


Figura 2. Dispositivo IoT creado para la medición, monitoreo y control de los parámetros del secador solar

A continuación, visualizamos de manera gráfica los datos de cada evaluación (Figura 3):



Figura 3. Datos de las evaluaciones

La Figura 4 se muestra el promedio de la temperatura del colector solar, horno y de la temperatura ambiente durante el periodo de pruebas promediados por hora.

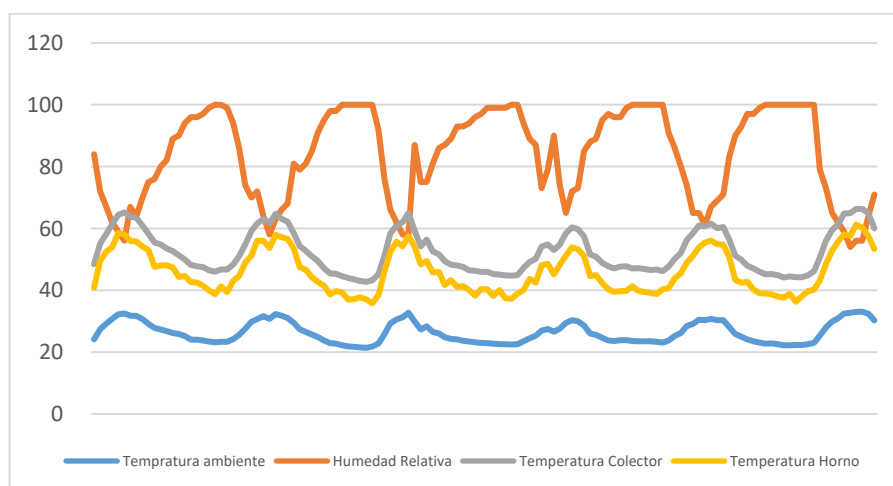


Figura 4. Evolución diaria de temperatura ambiente, humedad relativa ambiente y T° de ambiente y del horno

En la Tabla 1 se aprecia que la madera entrante al horno tuvo promedios de escala entre 70%-73% de contenido de humedad, el cual su secado para trabajar en su transformación estuvo entre 10%-14% de contenido de humedad. Estos resultados coincidieron con los de Azeddine et al. (2022) quienes lograron tener un nivel de 15% de humedad. Así mismo, Salas-Garita et al. (2012) lograron valores entre 8% y 12%.

Tabla 1.

Evaluación de la humedad

Evaluación de la humedad	Apilamiento horizontal						Apilamiento caballete					
	Tablones		Tablas		Listones		Tablones		Tablas		Listones	
	H. I.	H.F.	H. I.	H.F.	H. I.	H.F.	H. I.	H.F.	H. I.	H.F.	H. I.	H.F.
Cedro	75	12	70	12	70	14	75	13	70	12	70	14
Moena	73	12	72	13	68	12	73	13	72	12	68	13
Tronillo	70	12	68	12	72	13	70	13	68	12	72	13
Huairuro	71	12	70	13	70	12	71	13	70	12	70	13
H. Prom	72,25	12	70	12,5	70	12,75	72,25	13	70	12	70	13,25

La Tabla 2 corresponde a la apreciación física final de la extracción de la madera seca resultado del proceso de secado por el horno, el cual el proceso de secado realizado por tipo de apilamiento (horizontal y caballete) correlacionado con el tipo de corte (tablas, listones y tablones). Se aprecia que el tipo de corte listones se deprecia en cuanto a deformaciones en cualquier tipo de apilamiento. Se logró con el objetivo de tener al menos por encima del 95% de madera sin deformaciones. Bajo su protocolo, Quintanar Olguín et al. (2018) lograron obtener características cercanas al 100% en cuanto a uniformidad del color, atribuyen ello a varios criterios como el apilado, la programación de la estufa y el programa de secado.

Tabla 2.

Evaluación de la calidad de las maderas secadas con el prototipo

Madera	Dimensión	Indicador	Apilamiento horizontal			Apilamiento caballete			Prom
			Tablones	Tablas	Listones	Tablones	Tablas	Listones	
Cedro	Forma	Curvado cara	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Curvado canto	0,0	2,6	0,0	5,0	0,0	6,6	2,4
		Sin deformac.	100,0	97,4	100,0	95,0	100,0	93,4	97,6
	Textura	Textura fina	100,0	50,0	100,0	80,0	95,0	70,0	82,5
		Textura media	0,0	50,0	0,0	20,0	5,0	10,0	14,2
		Textura gruesa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	3,3
	Color	Uniforme	82,0	100,0	96,0	85,0	90,0	60,0	85,5
		Parc. uniforme	18,0	0,0	4,0	15,0	10,0	40,0	14,5
Moena	Forma	Curvado cara	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
		Curvado canto	0,0	0,0	0,0	13,3	0,0	6,9	3,4
		Sin deformac.	100,0	97,2	100,0	86,7	100,0	93,1	96,2
	Textura	Textura fina	100,0	100,0	92,0	100,0	80,0	80,0	92,0
		Textura media	0,0	0,0	8,0	0,0	10,0	20,0	6,3
		Textura gruesa	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	1,7
	Color	Uniforme	90,0	70,0	80,0	93,4	80,0	80,0	82,2
		Parc. uniforme	10,0	30,0	20,0	6,6	20,0	20,0	16,1
Tornillo	Forma	Curvado cara	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
		Curvado canto	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0	9,5	3,4
		Sin deformac.	100,0	97,3	100,0	88,9	100,0	90,5	96,1
	Textura	Textura fina	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
		Textura media	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		Textura gruesa	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Color	Uniforme	85,8	100,0	90,0	100,0	100,0	76,2	92,0
		Parc. uniforme	14,2	0,0	10,0	0,0	0,0	23,8	8,0
Huayruro	Forma	Curvado cara	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
		Curvado canto	9,0	3,0	0,0	6,3	0,0	8,1	4,4
		Sin deformac.	91,0	94,0	100,0	93,8	100,0	91,9	95,1
	Textura	Textura fina	100,0	91,0	100,0	100,0	80,0	73,0	90,7
		Textura media	0,0	6,0	0,0	0,0	20,0	27,0	8,8
		Textura gruesa	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
	Color	Uniforme	100,0	100,0	90,0	87,5	100,0	100,0	96,3
		Parc. uniforme	0,0	0,0	10,0	12,5	0,0	0,0	2,9

En la Tabla 3 se aprecia que, el secado por el prototipo se realizó entre 5-6 días respecto al secado tradicional en promedio de 20 días; siendo eficiente el secado por el prototipo y teniendo un rendimiento de producir madera seca hasta 4 veces más rápido que por el método tradicional.

Tabla 3.

Secado por el prototipo

Madera	Apilamiento horizontal						Apilamiento caballete						Promedio	
	Tablones		Tablas		Listones		Tablas		Tablones		Listones			
	Sp	St	Sp	St	Sp	St	Sp	St	Sp	St	Sp	St	Sp	St
Cedro	5	20	5	20	6	20	5	20	5	20	6	5	5,33	20
Moena	5	20	5	20	6	20	5	20	5	20	6	5	5,33	20
Tornillo	5	20	5	20	6	20	5	20	5	20	6	5	5,33	20
Huairuro	5	20	5	20	6	20	5	20	5	20	6	5	5,33	20

Con la mejora del proceso de secado por medio de la innovación de la propuesta, se obtuvo una madera de buena calidad, que no presentaba rajaduras, torceduras y otra deformaciones de la fibra de la madera, con ello se planteó adjudicar clientes potenciales del segmento tipo A y tipo B para destinar el 40% de nuestra producción manufacturera de valor agregado (muebles) en la región San Martín y otras empresas del sector inmobiliario, donde está destinado el 60% de la producción de nuestra manufacturera de valor agregado (muebles). Actualmente procesamos promedio de 10 000 pies tablares de madera por año, con la innovación la disposición de madera se espera aumentar en un promedio de 30% respecto de cada año y ubicar esta producción en mercado de Lima, Chiclayo y Trujillo.

4. CONCLUSIONES

Logramos diseñar un prototipo secador de madera con tecnología invernadero capaz de secar diferentes especies de madera (cedro, moena, tornillo y huayruro) con una capacidad promedio de 1 078 pies de madera por lote, ya que con el tiempo medio de secado es de 5,3 días dependiendo del calor del medio ambiente, el tipo de corte y la forma de secado.

El secador permitió tener resultados satisfactorios en cuanto a las características físicas de la madera con tan solo 3,74% de madera con deformaciones entre curvado de canto y curvado de lado, además de presentar el 88,9% de uniformidad en el color.

FINANCIAMIENTO

Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación - ProInnovate con Contrato N°026-FIDECOM-INNOVATEPERU-PIMEN-2020.

CONFLICTO DE INTERESES

No existe ningún tipo de conflicto de interés relacionado con la materia del trabajo.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: Cabanillas-Pardo

Curación de datos: Jimenez-Montalban, M. y Mendoza-Pinedo, A.

Análisis formal: Cabanillas-Pardo, L., Cabanillas-Pardo, J. A. y Mendoza-Pinedo, A.

Investigación: Cabanillas-Pardo, L., Cabanillas-Pardo, J. A., Mendoza-Pinedo, A., Jimenez-Montalban, M., Rios-Lopez, C. A. y Pintado-Pompa, L.

Metodología: Cabanillas-Pardo, L., Cabanillas-Pardo, J. A. y Mendoza-Pinedo, A.

Supervisión: Rios-Lopez, C. A. y Pintado-Pompa, L.

Validación: Cabanillas-Pardo, L., Cabanillas-Pardo, J. A.

Redacción - borrador original: Cabanillas-Pardo, L., Cabanillas-Pardo, J. A. y Mendoza-Pinedo, A.

Redacción - revisión y edición: Jimenez-Montalban, M., Rios-Lopez, C. A. y Pintado-Pompa, L.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Peruana de Noticias. (2022). *Créditos hipotecarios siguen creciendo y logran mayor alza en 28 meses*. ANDINA. <https://andina.pe/agencia/noticia-creditos-hipotecarios-siguen-creciendo-y-logran-mayor-alza-28-meses-700191.aspx>

Azeddine, F., El Khadir, L., & Ali, I. (2022). Experimental Investigation of Solar Greenhouse Drying of Hydroxide Sludge under Summer and Winter Climate. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(2), 1025–1036. <https://doi.org/10.15244/pjoes/140278>

- Azizi, M., Mohebbi, N., & De Felice, F. (2016). Evaluation of Sustainable Development of Wooden Furniture Industry Using Multi criteria Decision Making Method. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.034>
- Camacho-Cornejo, L. D., Salas-Garita, C., Vargas-Fonseca, L., & Valverde-Otárola, J. C. (2017). Medición del conocimiento adquirido en tecnología de la madera por industriales forestales en Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*, 30(3), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i3.3271>
- Chi, X., Tang, S., Du, X., Song, X., Qi, Z., Yan, X., Han, G., Shi, S. Q., & Cheng, W. (2022). Effects of air-assisted solar drying on poplar lumber drying processes in sub frigid zone regions. *Drying Technology*, 40(16), 3580–3590. <https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2068571>
- Dourojeanni, M. J., Malleux, J., Sabogal, C., Lombardi, I., Tarazona, R., Rincón, C., Scheuch, H., & Barriga, C. A. (2021). Fundamentos de una nueva política forestal para el Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 36(2), 118–179. <https://doi.org/10.21704/rfp.v36i2.1796>
- Garay, J. M. B., Rivera, F. G. S., Castro, P., Marcelo, E., & Alvarez, J. C. (2021). Proposal to improve productivity in companies of a wooden furniture cluster in Peru. *2021 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias En Ingeniería (CONIITI)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CONIITI53815.2021.9619754>
- García-Gómez, C. D., Lizarzaburu Bolaños, E., Berggrum, L., & Cardona, E. (2022). Evaluación de una entidad financiera usando camel: el caso de BBVA Perú. *Revista Universidad y Empresa*, 24(42), 1–39. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.9431>
- González Cruz, I., Velázquez Abad, L., & Álvarez Lazo, D. (2020). Movimiento del agua en la madera durante el secado. Modelo discreto. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8, 468–477. <https://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/658>
- INEI. (2011). *PERÚ: Migración Interna reciente y el Sistema de Ciudades, 2002 - 2007*. Dirección Técnica de Demografía e Indicadores Sociales del Instituto Nacional de Estadística e Informática. PRINLEY S.R.L.
- Malik, A., & Kumar, M. (2022). Computer software applications in solar drying. *Materials Today: Proceedings*, 64, 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.008>
- Quintanar Olguín, J., Fuentes López, M. E., & Flores Velázquez, R. (2018). Protocolo De Mejora Continua Para Incrementar La Calidad En El Estufado De Madera. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(13), 87–94. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v3i13.491>
- Ratnasingam, J., & Ioras, F. (2003). The sustainability of the Asian wooden furniture industry. *Holz Als Roh- Und Werkstoff*, 61(3), 233–237. <https://doi.org/10.1007/s00107-003-0382-9>
- Rosales-Solórzano, E. R. (2015). Variabilidad del contenido de humedad-equilibrio de la madera de diez especies comerciales para tres regiones del Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(30), 13. <https://doi.org/10.18845/rfmk.v13i30.2456>
- Salas-Garita, C., Moya-Roque, R., & Córdoba-Foglia, R. (2012). Diseño y construcción de un secador solar para madera. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5(14), 30-55. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/424>
- Vargas-Fonseca, L., Valverde-Otárola, J. C., Camacho-Cornejo, D., Salas-Garita, C., & Berrocal-Jiménez, A. (2021). Análisis perceptual del proceso de transferencia de conocimiento en maderas a instituciones en Costa Rica. *Colombia Forestal*, 24(1), 17–30. <https://doi.org/10.14483/2256201X.15347>
- Xue, J., Xu, W., Zhou, J., Mao, W., & Wu, S. (2022). Effects of High-Temperature Heat Treatment Modification by Impregnation on Physical and Mechanical Properties of Poplar. *Materials*, 15(20), 7334. <https://doi.org/10.3390/ma15207334>