



# Evaluación experimental de un nuevo composite de caña común (*Arundo donax* L) utilizando ácido cítrico como ligante natural

A. Ferrández-García<sup>1</sup>; C.E. Ferrández-García<sup>1</sup>; M. Ferrández-Villena<sup>1</sup>; T. García-Ortuño, M.T. Ferrández-García<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Alicante). Universidad Miguel Hernández de Elche. España. Ctra. Beniel km 3,2. Orihuela (Alicante).

**Resumen:** El diseño de materiales destinados al aislamiento térmico se está convirtiendo en una parte esencial de la edificación. Las materias primas empleadas actualmente para su elaboración consumen gran cantidad de energía, lo que ha creado la necesidad de incrementar el uso de recursos renovables y ecológicos como las fibras vegetales para reducir los problemas medioambientales generados. Los adhesivos para madera desarrollados por la industria petroquímica tienen un excelente rendimiento, buenas propiedades de trabajo y son económicamente satisfactorios. Sin embargo, su uso tiene fecha de caducidad y en el futuro serán rechazados por los problemas ambientales y de salud que pueden causar y por la disminución de las reservas naturales de recursos fósiles de las que son extraídos. Este trabajo tuvo como objetivo el desarrollo de un nuevo material biocompuesto ecológico que pudiera ser utilizado como aislamiento térmico en edificaciones. Investigar experimentalmente el efecto del tamaño de las fibras de caña sobre la conductividad térmica y las propiedades mecánicas. En la elaboración se usó como materia prima partículas de caña de 2 a 6 mm y el contenido de ácido cítrico se fijó en el 5 y 10 wt % basado en las partículas secadas al aire. Se utilizaron tiempos de 7 y 15 minutos en la prensa de platos calientes. Los tableros con partículas se hicieron de una sola capa con una presión de 2.5 MPa y 150°C. Los resultados mostraron que la adición de ácido cítrico mejora la estabilidad dimensional y las propiedades mecánicas de los tableros debido a la reacción entre el ácido cítrico y la caña, La resistencia a tracción interna y flexión de los biocompuestos se puede mejorar añadiendo el contenido adecuado de ácido cítrico. Este nuevo tipo de composite presenta buenas prestaciones térmicas y mecánicas que permiten su aplicación como materiales de aislamiento.

**Palabras clave:** aislantes térmicos, tableros de partículas, propiedades mecánicas y físicas.

## 1. Introducción

Los edificios son los responsables del 30% del consumo energético global y del 28% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Una forma pasiva de potenciar el ahorro energético es mediante actuaciones que mejoren la envolvente térmica de las edificaciones. Actualmente existen en el mercado materiales tecnificados con buenas propiedades aislantes, pero consumen gran cantidad de energía en su elaboración.

Debido a los problemas ambientales que genera su fabricación se está incrementando el uso de recursos renovables y ecológicos, lo que ha producido un destacado aumento en las investigaciones que emplean fibras vegetales en el desarrollo de nuevos productos aislantes térmicos y el uso de adhesivos naturales.

Hay gran cantidad de residuos vegetales que actualmente se queman, se trituran, se entierran o tienen que ser llevados a vertederos. De esta forma, el empleo de estas fibras vegetales como elemento natural y renovable en materiales aislantes conllevaría un gran beneficio ambiental y económico pues además de fijar el CO<sub>2</sub> durante toda la vida del edificio supondrían un producto totalmente reciclable en la fase final del mismo. En la selección de un aislamiento natural se deben considerar varios factores como su rendimiento térmico, la disponibilidad, el coste, la forma de aplicación y el impacto ecológico.

Existen trabajos sobre las propiedades aislantes de residuos vegetales: cáscara de coco [1], residuos de fabricación de papel y médula de maíz [2], fibras de kenaf [3], fibras de tallo de algodón [4, 5], cáscara de coco y bagazo [6], fibras de cáñamo [7, 8], fibras de palmera datilera y yeso [9], lino [10], lino y cáñamo [11], tallo de arroz [12], sisal [13], bagazo de caña de azúcar [14], caña común [15, 16], palmera canaria [17] y palmera washingtonia [18].

La caña común (*Arundo donax* L.) se utilizó como material de construcción en muchos países mediterráneos. En el sur de la provincia de Alicante se usó en todas las construcciones hasta principios del siglo XX, fundamentalmente formando parte de los forjados de cubierta y de piso. Hasta los años sesenta se siguió empleando para pequeñas construcciones unifamiliares y alojamientos ganaderos. En la actualidad, ha dejado de utilizarse, provocando un crecimiento desmesurado de su población en la ribera de los ríos que conlleva un grave peligro en las crecidas de agua, pues se dejan arrancar muy fácilmente por la fuerza de las aguas y generan problemas de obturación de puentes y otras infraestructuras. Luego el empleo de cañas en usos industriales ocasionaría una mejora ambiental.

La mayoría de los adhesivos de madera actuales como resinas a base de formaldehído, resinas de acetato de vinilo y resinas a base de isocianato están compuestos por diversos materiales derivados de recursos fósiles. Los adhesivos de madera se han desarrollado en la industria petroquímica y tienen un excelente rendimiento, buenas propiedades de trabajo y son económicamente satisfactorios. Sin embargo, se cree que el uso de los adhesivos de madera actuales será inevitablemente restringido en el futuro debido a las disminuciones en las reservas de recursos fósiles. Esto ha originado investigaciones con distintos tipos de adhesivos naturales para la formación de diferentes paneles aislantes: lignina [19], almidón [15] y taninos [20]. Recientemente se ha estudiado el ácido cítrico como un adhesivo natural para la madera [14]. El ácido cítrico es un ácido policarboxílico orgánico que contiene tres grupos carboxilo. Está contenido en cítricos como limones y limas y se produce comercialmente por la fermentación de glucosa o glucosa y sacarosa.

En este trabajo se discute el uso de una mala hierba como es la caña común, en la fabricación de tableros de partículas con propiedades aislantes térmicas, utilizando ácido cítrico como ligante natural y fabricados con menor consumo de energía que los tableros industriales convencionales. Estos paneles serían totalmente ecológicos y producirían un destacado beneficio ambiental.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Materiales

Los materiales utilizados en este estudio fueron partículas de caña común, ácido cítrico monohidrato y agua.

La biomasa de caña se obtuvo de la limpieza de la ribera del río Segura. Las cañas se pusieron a secar durante 12 meses al aire libre. Posteriormente se cortaron y se tritularon en una desfibradora de cuchillas. Las partículas se obtuvieron en una tamizadora vibradora y se seleccionaron las partículas que atravesaron el tamiz de 4 mm y quedaron retenidas en el tamiz de 2 mm. Las partículas tenían una humedad relativa del 9%.

El ácido cítrico monohidrato empleado tenía una pureza mínima del 99.5% y fue suministrado por la empresa Diasa Industrial S.A.

El agua se usó directamente de la red de agua potable municipal.

## 2.2. Métodos

### 2.2.1. Fabricación de los tableros de partículas

El proceso de fabricación consistió en mezclar en seco partículas de caña con diferentes proporciones en peso de ácido cítrico en función del peso de las partículas de caña (5% y 10%). Posteriormente se pulverizó un 10% de agua sobre la masa, removiéndola durante 15 minutos para su homogeneización. La manta se formó en un molde de dimensiones 600 mm x 400 mm y se sometió a presión y calor en una prensa de platos calientes. Se utilizó una temperatura de 150° C y se prensaron durante 7 min. Se varió la presión de la prensa para obtener paneles de distinta densidad (600, 650, 700, 750, 800, 850 kg/m<sup>3</sup>). Posteriormente, se dejaron los paneles enfriar en posición vertical. Los tableros tenían unas dimensiones aproximadas de 600 x 400 x 10 mm. Una vez enfriados, se cortaron las probetas para realizar los ensayos necesarios para la caracterización de las propiedades mecánicas, físicas y térmicas de cada uno de los 12 tipos de tableros sometidos a estudio. Para cada tipo se elaboraron 4 paneles. Las características de cada tipo de tablero se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Tipos de tableros elaborados.

Tipo de tablero	Nº de tableros	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Tiempo (min)	Dosificación en peso		
				Caña	Agua	Ácido cítrico
A1	4	600	7	1	0.10	0.05
A2	4	650	7	1	0.10	0.05
A3	4	700	7	1	0.10	0.05
A4	4	750	7	1	0.10	0.05
A5	4	800	7	1	0.10	0.05
A6	4	850	7	1	0.10	0.05
B1	4	600	7	1	0.10	0.10
B2	4	650	7	1	0.10	0.10
B3	4	700	7	1	0.10	0.10
B4	4	750	7	1	0.10	0.10
B5	4	800	7	1	0.10	0.10
B6	4	850	7	1	0.10	0.10

En la figura 1 se observan algunos tableros fabricados.

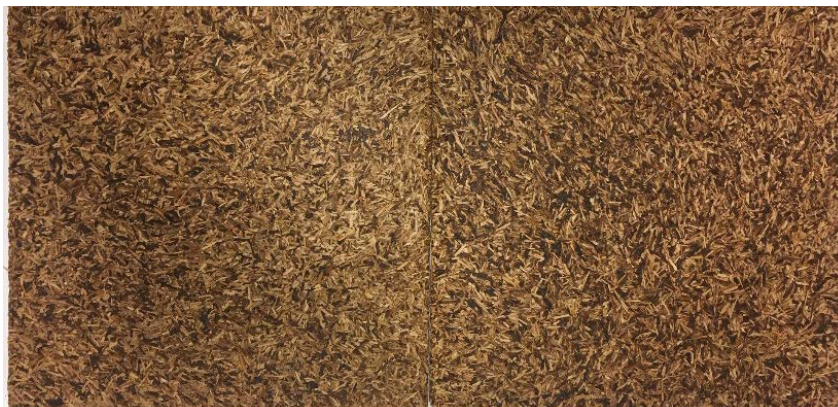


Figura 1. Tableros de partículas de caña con ácido cítrico.

## 2.2.2. Ensayos realizados

El método seguido para evaluar los tableros fue experimental mediante ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales. Sus propiedades se determinaron siguiendo las normas europeas establecidas para los tableros de partículas de madera [21]. Antes de proceder a los ensayos se cortaron las probetas de cada tablero con las dimensiones adecuadas según indican las normas europeas y se acondicionaron en una cámara de conservación a una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 65%.

Se midieron las propiedades de los tableros siguiendo las normas estándares europeas: hinchamiento en espesor (TS) y absorción de agua (WA) tras 2 y 24 horas de inmersión en agua [22], cohesión interna o resistencia a tracción (IB) [23], módulo de ruptura a flexión (MOR) y módulo de elasticidad a flexión (MOE) [24].

Los ensayos mecánicos se realizaron en la máquina de ensayos marca Imal (Modelo IB600), que cumple con la velocidad requerida en cada ensayo, según indican las normas europeas aplicables.

La conductividad se determinó mediante el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor [25]. Los ensayos térmicos se realizaron en un medidor de flujo de calor marca NETZSCH instruments, Inc, USA. En este ensayo se utilizó una probeta de cada tablero con dimensiones de 300 x 300 x 10 mm. De los valores medios de los ensayos se obtuvo la desviación estándar. El análisis estadístico se realizó con el programa informático SPSS v.25.0 de IBM.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Propiedades físicas

Los resultados del ensayo de hinchamiento en espesor se indican en la figura 2. Los tableros con densidad 600 y 650 kg/m<sup>3</sup> fabricados con un 5% de ácido cítrico se deshacían en el agua antes de 2 h y los de densidad de 600 kg/m<sup>3</sup> fabricados con un 10% se destruían antes de 24 h. En el ensayo después de 2 y 24 h de inmersión en agua de los tableros se observa que el TS depende de la densidad y del porcentaje de ácido cítrico añadido. Con mayor densidad y proporción de ácido cítrico se obtienen mejores propiedades.

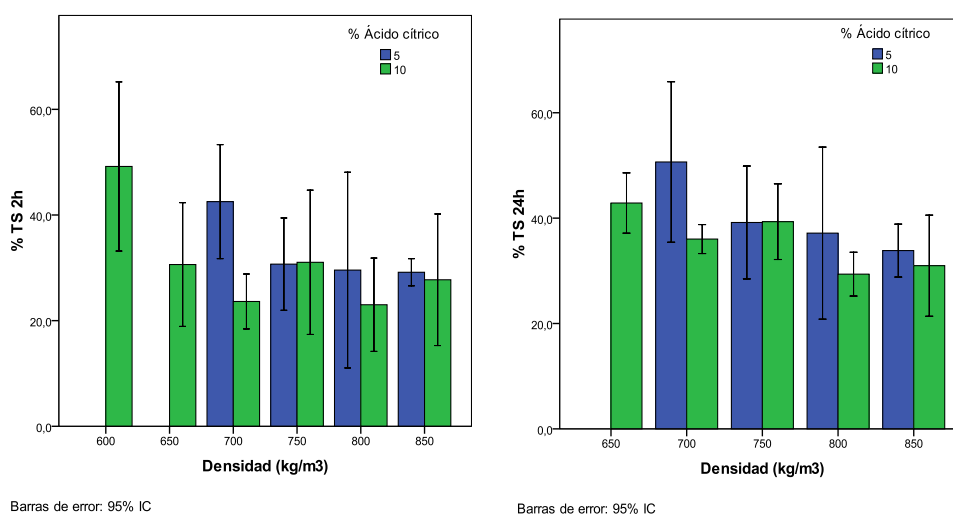
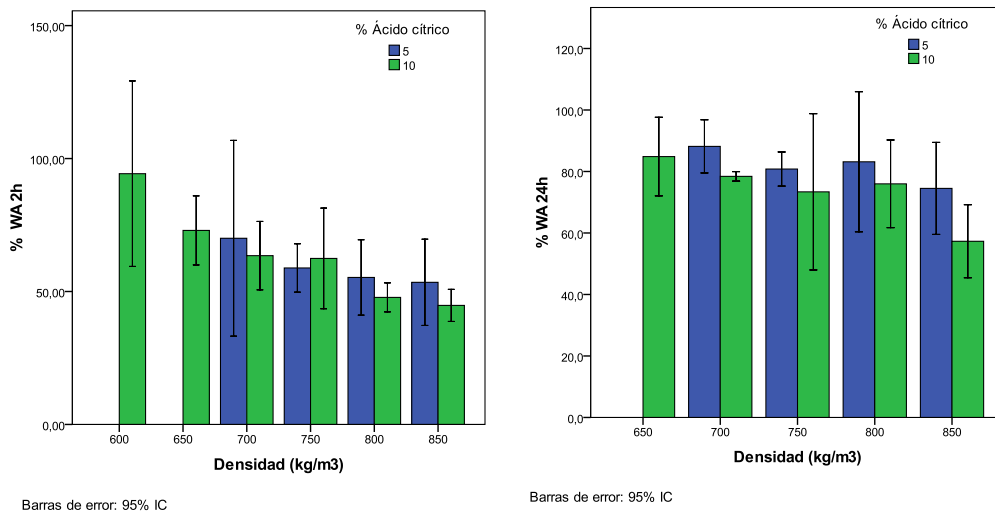


Figura 2. % Hinchamiento en espesor a las 2 y 24 h en función del tipo de tablero.

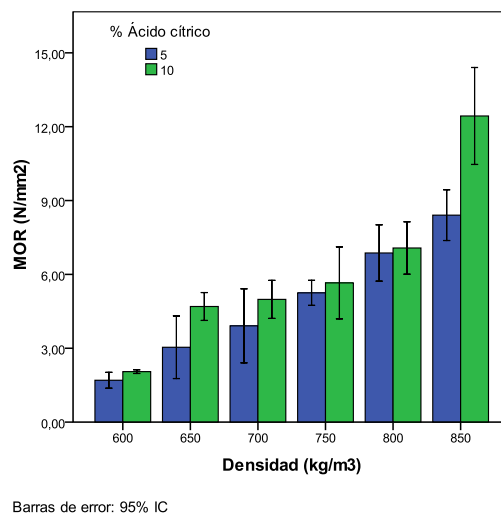


**Figura 3.** % Absorción de agua después de inmersión a las 2 y 24 h en función del tipo de tablero.

Como se observa en la figura 3, en el comportamiento de los tableros sobre la absorción de agua después de inmersión hay diferencias significativas entre los 8 tipos de tableros. La WA depende del porcentaje de ácido cítrico añadido, cuanto mayor es la proporción se obtienen menor WA. Los tableros que menos agua absorben son el tipo B6 con un WA del 57.30 % y el que más agua absorbe es el A3 con un WA del 88.16 %. Los tableros tipo A1, A2 y B1 con un 5% de ácido cítrico se deshacían en el agua antes de 24 h.

### 3.2. Propiedades mecánicas

Los resultados del ensayo a flexión se muestran en las figuras 4 y 5. Se muestran valores desde 1.7 N/mm<sup>2</sup> hasta 12.5 N/mm<sup>2</sup>. Se observa que en los tipos de tableros con menor densidad tienen un MOR muy bajo y aumenta con la densidad. Con mayor contenido de ácido cítrico aumenta el valor de MOR.



**Figura 4.** Resistencia a flexión en función del tipo de tablero.

En la figura 5 se observan los valores obtenidos del módulo de elasticidad en flexión (MOE) y depende del ácido cítrico utilizada y de la densidad. El MOE tiene una gran variación entre unos tipos de tableros y otros, variando desde 260 N·mm<sup>-2</sup> a 2440 N·mm<sup>-2</sup>. La densidad tiene gran influencia en el valor de MOE. Se han obtenido mejores propiedades usando biomasa de caña con resina Urea Formaldehido [26], pero esta resina sintética está considerada como tóxica y los tableros de este trabajo son totalmente ecológicos y elaborados con productos naturales.

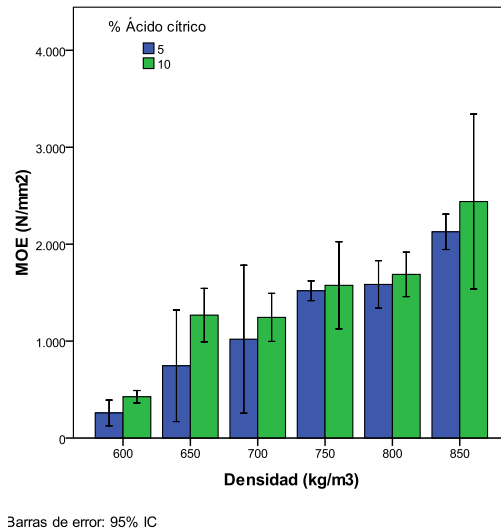


Figura 5. Módulo de elasticidad a flexión en función del tipo de tablero.

Los valores de cohesión interna (IB) se muestran en la figura 6 destacando que aumentan con densidades mayores y en proporción al ácido cítrico añadido. Con tableros tipo B5 se alcanzan valores medios de 0.61 N·mm<sup>-2</sup> y con tableros tipo A1 se llega a valores medios de 0.07 N·mm<sup>-2</sup>.

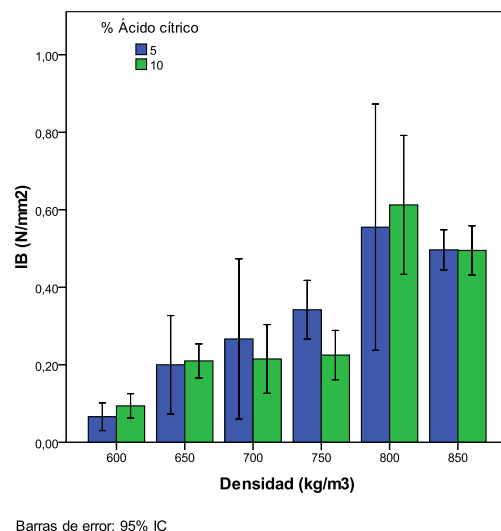


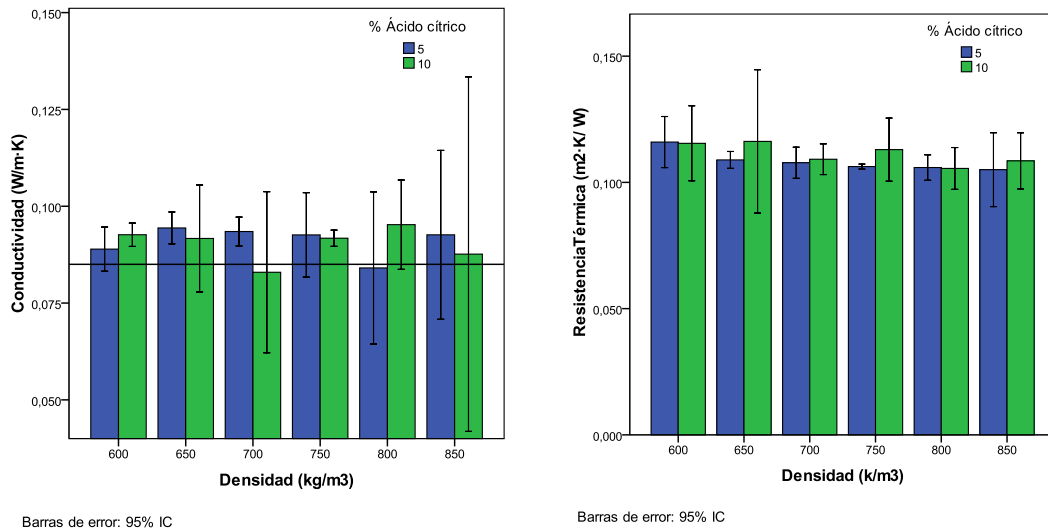
Figura 6. Cohesión interna en función del tipo de tablero.

### 3.3. Propiedades térmicas

En la figura 7 se exponen los valores obtenidos de conductividad térmica. No hay diferencias significativas entre los tableros ensayados, ni en la densidad ni en la cantidad de ácido cítrico

aportada. Los tableros tienen una conductividad térmica media de 0.084 a 0.096 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>. Este valor indica que podrían utilizarse como aislantes térmicos. Para la resistencia térmica también se observa que no hay diferencias relevantes entre los diferentes tipos de tableros fabricados.

En la tabla 2 se comparan los valores de conductividad térmica obtenidos por otros autores con otras fibras vegetales. Para ensayos de tableros con densidades de características afines a las de este estudio, se observa que se obtienen valores similares.



**Figura 7.** Conductividad y resistencia térmica en función del tipo de tablero.

**Tabla 2.** Coeficientes de conductividad térmica obtenidas en ensayos con diferentes fibras orgánicas.

Nombre	Conductividad Térmica $\lambda$ (W/m K)	Fuente
Cáñamo	0.111	[7]
	0.040 a 0.094	[11]
Lino	0.035 a 0.075	[11]
	0.042	[1]
Algodón	0.040 a 0.069	[27]
Raquis palmera datilera	0.083	[28]
Paja de arroz	0.078 a 0.090	[12]
Sisal	0.070	[13]
Bagazo de caña de azúcar	0.075	[14]
Paneles de virutas de madera	0.070 a 0.090	[29]
Caña con ácido cítrico	0.084 a 0.096	Este trabajo

El ácido cítrico puede ser un buen adhesivo debido a que se produce esterificación durante el proceso de elaboración de los tableros [14]. En este trabajo se ha observado que las partículas de caña se cohesionan, pero habrá que seguir investigando sobre este tipo de adhesivo para intentar mejorar sus propiedades.

Los tableros tipo B4 alcanzan las propiedades de tableros no estructurales para uso en interior incluidos en la fabricación muebles [30]. Además presentan buenas propiedades térmicas por lo que podrían emplearse en la construcción de las divisiones interiores de las edificaciones.

#### 4. Conclusiones

Las propiedades mecánicas y térmicas obtenidas en este trabajo permiten afirmar que todos los tableros podrían emplearse como material aislante.

Los tableros tipo B4 podrían utilizarse como elemento divisorio interior de las edificaciones.

Los tableros con un 10% de ácido cítrico tienen buen comportamiento frente al agua y podrían usarse en el exterior.

El secado del material se ha realizado al exterior (sin consumo de energía) y la temperatura de la prensa (150° C) es inferior que la temperatura utilizada en la elaboración de tableros industriales (180° C).

El empleo de residuos de caña común para producir tableros de partículas aglomeradas conllevaría una doble ventaja, por un lado se obtendría un destacado beneficio ambiental y por otro, su fabricación generaría un menor coste energético que el requerido en la industria convencional.

#### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad de España (MINECO, AGL2013-41612-R).

#### Referencias

1. Alavez-Ramirez, R., Chinas-Castillo, F., Morales-Dominguez, V.J., Ortiz-Guzman, M. Thermal conductivity of coconut fibre filled ferrocement sandwich panels. *Constr. Build. Mater* **2012**; 37, 425–431.
2. Lertsutthiwong, P., Khunthon, S., Siralertmukul, K., Noomun, K., Chandkrachang, S. New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel. *Biores Tech* **2008**; 99(11), 4841-4845.
3. Ardente, F., Beccali, M., Cellura, M., Mistretta, M. Building energy performance: a LCA case study of kenaf-fibres insulation board. *Energy and Buildings* **2008**; 40 (1), 1–10.
4. Zhou, X. Y., Zheng, F., Li, H.G., Lu, C.L. An environment-friendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. *Energy and Buildings* **2010**; 42(7), 1070-1074.
5. Ferrandez-Garcia, M.T., Ferrandez-Garcia, C.E., Andreu-Rodriguez, J., Ferrandez-Villena, M., Garcia-Ortuño, T. The suitability of utilising cotton stalk for low cost binderless panels. In *Actual Tasks on Agricultural Engineering. Proceedings of the 41. International Symposium on Agricultural Engineering, Opatija, Croatia, 19-22 February 2013* (pp. 383-387). University of Zagreb Faculty of Agriculture.
6. Panyakaew, S., Fotios, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. *Energy and Buildings* **2011**; 43(7), 1732-1739.
7. Behzad, T., Sain M. Measurement and prediction of thermal conductivity for hemp fiber reinforced composites. *Polymer Engineering and Science* **2007**; 47 (7), 977–983.
8. Benfratello, S., Capitano, C., Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., Sorrentino, G. Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite. *Constr. Build Mater* **2013**; 48, 745–754.
9. Chikhi, M., Agoudjil, B., Boudenne, A., Gherabli, A. Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation. *Energy and Buildings* **2013**; 66, 267–273.
10. Murphy, R.J. Norton, A. Life Cycle Assessments of Natural Fibre Insulation Materials, National Non-Food Crops Centre - NNFCC, **2008**. Londres, Angleterre, p. 79.
11. Kymalainen, H.R., Sjöberg, A.M. Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations, University of Helsinki - Department of Agrotechnology, Helsinki, Finlande, **2008**; 1261-1269.
12. Ferrandez-Garcia, C.C., Garcia-Ortuño, T., Ferrandez-Garcia, M. T., Ferrandez-Villena, M., Ferrandez-Garcia, C.E. Fire-resistance, Physical, and Mechanical Characterization of Binderless Rice Straw Particleboards. *BioRes* **2017**; 12(4), 8539-8549.



X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA  
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA

3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

13. Kalaprasad, G., Pradeep, P., Mathew, G., Pavithran, C., Thomas, S. Thermal conductivity and thermal diffusivity analyses of low-density polyethylene composites reinforced with sisal, glass and intimately mixed sisal/glass fibres. *Comp Sci Tech* **2000**; 60(16), 2967-2977.
14. Liao, R., Xu, J., Umemura, K. Low density sugarcane bagasse particleboard bonded with citric acid and sucrose: effect of board density and additive content. *BioRes* **2016**; 11(1), 2174-2185.
15. Ferrandez-Garcia, C. E., Andreu-Rodríguez, J., Ferrandez-Garcia, M. T., Ferrandez-Villena, M., García-Ortuño, T. Panels made from giant reed bonded with non-modified starches. *BioReso* **2012**; 7(4), 5904-5916.
16. Ferrández Garcia, C.E., Ferrández-Villena, M., Cuartero, J., Garcia-Ortuño, T., Ferrández-Garcia, M.T., Andreu-Rodríguez, J. Manufacture and Properties of Three-Layered Low Density Particleboard from Giant Reed. In *Structures and Environmental Technologies. International Conference of Agricultural Engineering-CIGR-AgEng 2012: Agriculture and engineering for a healthier life*, Valencia, Spain, 8-12 July **2012**. CIGR-EurAgEng.
17. Ferrández-Garcia, A., Ferrández-Villena, M., Ferrández-Garcia, C.E., Garcia-Ortuño, T., Ferrández-Garcia, M.T. Potential Use of *Phoenix canariensis* Biomass in Binderless Particleboards at Low Temperature and Pressure. *BioRes* **2017**; 12(3), 6698-6712.
18. Ferrández-Garcia, C.C., Ferrández-Garcia, C.E., Ferrández-Villena, M., Ferrández-Garcia, M.T., and Garcia-Ortuño, T. Acoustic and Thermal Evaluation of Palm Panels as Building Material. *BioRes* **2017**; 12(4), 8047-8057.
19. El Mansouri, N. E., Salvadó, J. Structural characterization of technical lignins for the production of adhesives: Application to lignosulfonate, kraft, soda-anthraquinone, organosolv and ethanol process lignins. *Ind Crops Prod* **2006**; 24(1), 8-16.
20. Guimarães Carvalho, A., Costa Lelis, R. C., do Nascimento, A. M. (2014). Avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de *Acacia mearnsii* na fabricação de painéis aglomerados. *Ciência Florestal* **2014**; 24(2).
21. EN 309. **2005**. Tableros de partículas. Definición y clasificación. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
22. EN 317. **1993**. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
23. EN 319. **1993**. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
24. EN 310. **1993**. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
25. EN 12667. **2001**. Materiales de construcción. Determinación de la resistencia térmica por el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Productos de alta y media resistencia térmica. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
26. García-Ortuño, T, Andréu-Rodríguez, J., Ferrández-Garcia, M.T., Ferrández-Villena, M., Ferrández-García, C.E. Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from giant reed (*Arundo donax* L.). *BioRes* **2011**; 6(1), 477-486.
27. Nicolajsen, A. Thermal transmittance of a cellulose loose-fill insulation material. *Build Environ* **2005**; 40(7), 907-914.
28. Agoudjil, B., Benchabane, A., Boudenne, A., Ibos, L., Fois, M. Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood. *Energy and Buildings* **2011**; 43(2), 491-497.
29. EN ISO 10456. **2007**. Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values.
30. EN 312. **2010**. Tableros de partículas. Especificaciones. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.