



## Caracterización de tableros de partículas sin adhesivos elaborados con rizoma de caña común

A. Ferrandez-García<sup>1</sup>; C.E. Ferrandez-García<sup>1</sup>; M. Ferrandez-Villena<sup>1</sup>; T. García-Ortuño, M.T. Ferrandez-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 uso de tableros de partículas (tableros de aglomerado) en la industria del mueble está en continuo crecimiento debido a la escasez de la madera como materia prima. Se trata de materiales compuestos tradicionalmente por virutas de madera y un aglomerante. Los desechos agrícolas están formados por materiales lignocelulósicos que pueden sustituir a la madera natural y conseguir ser una alternativa adecuada en la fabricación de tableros destinados a mobiliario, envases y usos constructivos. Los objetivos de este trabajo han sido obtener tableros de aglomerado sin adhesivos empleando como material el rizoma de la caña común, evaluar sus propiedades siguiendo las normas EN y valorar el mecanismo de auto-unión de las partículas del tablero. Con este tipo de panel se pretende reducir el uso de madera natural y emplear una mala hierba como es la caña común sin aplicar ningún adhesivo o resina enlazante para obtener un producto totalmente ecológico. Se fabricaron 6 tipos de tableros (12 clases) con biomasa de rizoma de caña. Se elaboraron con una temperatura de 110°C y tiempos de 7 y 15 minutos y dos ciclos de prensado. Los resultados alcanzados demuestran que utilizando menor tamaño de partícula de rizoma y con dos ciclos de prensado se mejoraban las propiedades mecánicas.

**Palabras clave:** residuos, paneles, propiedades, rizoma, *Arundo donax* L.

### 1. Introducción

La preocupación por el medio ambiente y la eficiencia energética ha adquirido mayor fuerza dentro de la sociedad dando paso a múltiples propuestas en el área de la construcción con el objetivo de satisfacer la demanda de los usuarios. Actualmente se racionaliza el empleo de los recursos naturales incrementando el uso de materiales de construcción a base de fibras vegetales, considerando dichos productos no agresivos con el medio ambiente.

La caña común (*Arundo donax* L.) se considera una de las 100 peores especies invasoras del mundo, según la Base de Datos Mundial de Especies Invasoras de la UICN y también está incluida en el Catálogo Español de Especies Invasoras [1]. El principal método de propagación de esta especie es por el crecimiento de los fragmentos dispersos de rizomas. En los cauces de los ríos, la fuerza del agua secciona los rizomas y actúa como el agente dispersante. Debido a su rápida tasa de crecimiento y a su reproducción vegetativa ocupa nuevas áreas y forma masas densas (cañaverales), provocando profundas transformaciones de los ecosistemas que invaden a expensas de otras especies nativas.

Para solventar los problemas causados por esta especie invasora e intentar recuperar el ecosistema, los métodos de control utilizados han sido la aplicación de glifosato [2], el empleo de tareas mecánicas de corte y extracción y el uso de medidas de control biológico [3], pero ninguna de estas técnicas ha resultado efectiva [4]. Los rizomas son capaces de germinar independientemente de su tamaño y bajo una gran mayoría de condiciones ambientales, ya que tienen una alta tolerancia a las condiciones salinas y una adaptación significativa a la acumulación de sal en el suelo [5]. Por tanto, cuando se han arrancado y triturado los rizomas, en las zonas donde se ha depositado este material, vuelven a crecer cañas extendiéndose sin control por otros lugares [6].

Debido a su alto rendimiento de biomasa, a su adaptación a diferentes tipos de suelos y condiciones climáticas, a que necesita menores requerimientos de labranza que los cultivos tradicionales, a sus propiedades de fitorremediación [7, 8, 9] y a ser apreciada como un buen biofiltro de aguas residuales [10], la caña común ha sido considerada como un cultivo energético competitivo [11]. Se ha propuesto la utilización de la parte aérea de la caña para la fabricación de papel [12], la extracción de xilosa [13], la producción de carbones activados [14], el procesado de compost [15], la generación de biomasa [16, 17], la elaboración de biogás [18], la obtención de biofuel [19, 20, 21], la formación de films lignocelulósicos [22], la preparación de composites [23], el diseño de refuerzos de morteros de cemento [24] y la construcción de tableros de partículas [25].

También hay un elevado interés relacionado con la fabricación de tableros libres de formaldehído que ha dado lugar a un aumento de la presión sobre los productores de tableros aglomerados para dejar de usar estos aglutinantes. En este sentido, se han realizado estudios sobre tableros de partículas con resinas y adhesivos naturales para sustituir a las resinas sintéticas, tales como proteínas, ligninas, taninos, glútenes, almidones, etc. [26, 27, 28, 29, 30, 31].

Actualmente las investigaciones con biomasa vegetal se dirigen a obtener tableros de partículas sin adhesivos con diferentes tratamientos previos, estando ampliamente demostrada la capacidad de auto-unión que tienen las fibras naturales cuando se produce la temperatura de transición vítrea. El tamaño y la forma de la partícula pueden tener mucha influencia sobre las propiedades de los tableros sin adhesivos [32], por tanto, el determinar el rango de tamaño de las partículas es un parámetro importante para mejorar su unión. El material de partida para fabricar tableros de partículas sin adhesivos contiene celulosa, hemicelulosa, lignina y también polisacáridos lo que da buenas expectativas de la capacidad de autoadhesión de sus fibras naturales durante la degradación de estos compuestos al alcanzar la temperatura de transición vítrea, aunque no se conoce exactamente la contribución de cada componente en la auto-unión de las partículas [33].

El aumento de la temperatura con valores superiores a 180°C unidos al empleo de mayores de tiempos de prensado y a la aplicación de presiones superiores a las empleadas en la industria convencional, mejoraban la resistencia mecánica y la estabilidad de los tableros sin adhesivos [34]. Estos parámetros tienen la gran desventaja de que aumentan significativamente el consumo de energía del proceso, por lo que son líneas de trabajo que se consideran poco recomendables.

Ensayos realizados con tableros de caña común sin adhesivos evidenciaron que se obtenían propiedades físicas y mecánicas muy bajas [31], pero al contar el rizoma de la caña con gran cantidad de azúcares fermentables [35] se puede conjeturar que con este material es posible conseguir tableros sin adhesivos con buenas propiedades.

Teniendo en cuenta la necesidad de nuevos materiales a partir de la reutilización de residuos, el presente trabajo tiene como objetivo la fabricación y evaluación de tableros de aglomerado de partículas del rizoma de la caña común sin el empleo de adhesivos, analizando el mecanismo de auto-unión de las partículas del tablero.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Materiales

Los materiales empleados fueron rizoma de caña común y agua de la red de agua potable municipal. Los rizomas de caña común procedían de la limpieza del cauce del río Segura. Los rizomas se pusieron a secar al aire durante 5 meses y se trituraron en una desfibradora de cuchillas. Posteriormente se tamizaron las partículas obtenidas en una tamizadora vibradora, clasificándolas en función del tamiz que atravesaban y el tamiz en el que quedaban retenidas. Las partículas tenían una humedad aproximada del 15% y se dejaron secar al aire hasta una humedad del 9%. Para la elaboración de los tableros se utilizaron tres tamaños de partículas (0.25 a 1, 1 a 2 y 2 a 4 mm).

### 2.2. Métodos

#### 2.2.1. Fabricación de tableros

Los tableros se fabricaron en un molde de 400x600 mm a una temperatura de 110°C y una presión de 2.5 Mpa. El proceso de elaboración de un ciclo consistió en poner la masa de partículas sobre el molde y posteriormente pulverizar sobre la superficie un 10% en peso de agua en función del peso de las partículas e introducirlos en la prensa de platos calientes. A los tableros sometidos a un segundo ciclo de prensado se les pulverizó un 5% en peso de agua sobre la superficie antes de someterlos a presión y calor.



**Figura 1.** Tableros de rizoma de caña sin adhesivos clase B0

Se fabricaron 12 clases de tableros utilizando 3 tamaños de partícula, 2 tiempos de prensado de un ciclo en prensa (7 y 15 min) y dos ciclos en prensa (7+7 min y 15 +15 min). En la tabla 2 se indican las características de fabricación de cada clase de tablero fabricado y en la figura 1 se puede observar tableros de rizoma de clase B0.

**Tabla 1.** Características de los tableros de rizoma fabricados.

Tipo	Clase	Tamaño de partícula (mm)	T <sup>a</sup> (°C)	Tiempo (min)	Nº de tableros
B0	B01	0.25 a 1	110	7	3
	B02	0.25 a 1	110	7+7	3
B1	B11	0.25 a 1	110	15	3
	B12	0.25 a 1	110	15+15	3
C0	C01	1 a 2	110	7	3
	C02	1 a 2	110	7+7	3
C1	C11	1 a 2	110	15	3
	C12	1 a 2	110	15+15	3
D0	D01	2 a 4	110	7	3
	D02	2 a 4	110	7+7	3
D1	D11	2 a 4	110	15	3
	D12	2 a 4	110	15+15	3

Los tableros tenían un espesor medio de 7 mm, posteriormente se cortaron las probetas con las dimensiones adecuadas que indican las normas europeas para cada uno de los ensayos de laboratorio.

### 2.2.2. Ensayos experimentales

El método seguido fue experimental mediante ensayos en el laboratorio de resistencia de materiales. Los valores se determinaron siguiendo las normas europeas establecidas para los tableros de partículas de madera. Antes de proceder a los ensayos se cortaron las probetas de cada tablero y se acondicionaron a una temperatura de 20°C y una humedad relativa del 65%.

Se midió la densidad [36], el hinchamiento en espesor (TS) y absorción de agua (WA) tras 2 y 24 horas de inmersión en agua [37], el módulo de ruptura a flexión (MOR) y el módulo de elasticidad a flexión (MOE) [38] y la cohesión interna o resistencia a tracción (IB) [39]. Para evaluar los tableros se aplicó la normativa europea [40].

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. De los valores medios de los ensayos se obtuvo la desviación estándar y se realizó el análisis de la varianza (ANOVA). Para comparar las diferencias entre los tipos de tableros se utilizó el test de Duncan ( $P < 0.05$ ). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS v.25.0 de IBM.

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas obtenidas se indican en la tabla 2.

#### 3.1.1. Densidad.

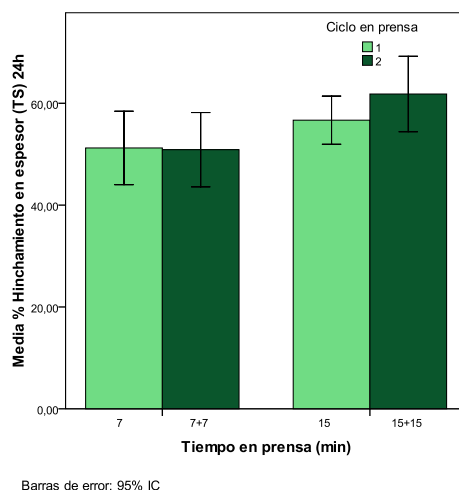
La densidad de los tableros oscila entre 735.25 y 912.76 kg/m<sup>3</sup>, pudiendo considerarse como tableros de media densidad. Realizado el análisis de la varianza se observa que la densidad depende del tamaño de partícula y del ciclo de prensado, obteniendo mayores valores con partículas de menor tamaño y con un segundo ciclo de prensado, siendo el tamaño de partícula la variable de fabricación con mayor influencia.

**Tabla 2.** Valores medios de las propiedades físicas de los tableros de rizoma de caña común sin adhesivos.

Tipo	Clase	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	TS 2h (%)	TS 24h (%)	WA 2h (%)	WA 24h (%)
B0	B01	812.74 (22.94)	44.69 (7.45)	57.74 (2.70)	69.35 (3.58)	89.00 (3.55)
	B02	882.82 (30.31)	33.36 (12.06)	52.73 (10.23)	66.92 (8.62)	94.85 (0.74)
B1	B11	911.10 (39.31)	33.04 (8.44)	50.52 (4.45)	60.67 (9.30)	81.63 (13.80)
	B12	912.76 (75.03)	37.41 (9.91)	53.98 (6.57)	69.98 (14.73)	87.62 (18.54)
C0	C01	775.54 (44.66)	26.32 (1.78)	43.29 (7.83)	36.28 (9.17)	69.68 (9.82)
	C02	863.44 (98.37)	29.00 (7.96)	44.15 (8.51)	35.54 (9.69)	67.09 (3.61)
C1	C11	735.25 (05.00)	53.43 (0.27)	59.31 (1.55)	85.45 (3.45)	106.12 (5.01)
	C12	799.63 (58.53)	45.84 (6.29)	58.98 (3.64)	93.36 (8.53)	100.96 (6.52)
D0	D01	785.88 (44.90)	37.47 (7.89)	52.65 (11.08)	82.32 (9.28)	104.28 (7.46)
	D02	885.41 (69.17)	28.81 (7.37)	52.19 (10.06)	54.73 (19.79)	88.35 (14.12)
D1	D11	742.80 (72.17)	50.18 (20.98)	60.21 (6.56)	85.06 (10.26)	103.89 (2.28)
	D12	827.48 (38.81)	53.39 (6.95)	72.50 (6.31)	81.00 (6.96)	97.34 (3.33)

TS: Hinchamiento en espesor, WA: absorción de agua. (..) desviación estándar3.1.2. Hinchamiento en espesor

Los valores medios del % de hinchamiento en espesor (TS) después de inmersión en agua durante 2 h y 24 h se indican en la tabla 2, observando que a las 24 h se consiguen medidas muy altas comprendidas entre el 44.15% y el 72.50%. Según el ANOVA el TS depende del tiempo en la prensa de platos caliente, no teniendo una influencia significativa el tamaño de partícula empleado. En la figura 2 se muestran los TS obtenidos a las 24 h en función del tiempo en la prensa de platos calientes pudiéndose comprobar que un aumento en el tiempo en la prensa provoca mayores valores en el TS.



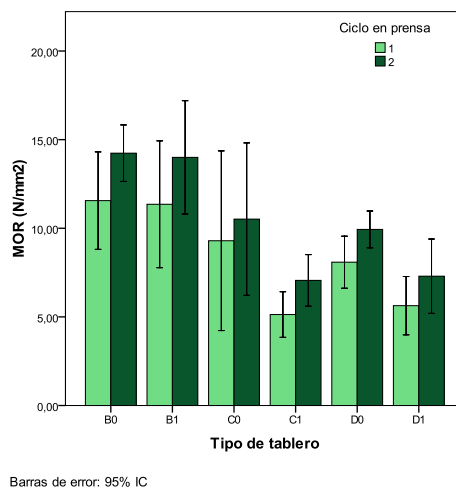
**Figura 2.** % Hinchamiento en espesor a las 24 h (TS) en función del tiempo en la prensa.

### 3.1.3. Absorción de agua

Los valores medios del % de absorción de agua (WA) se indican en la tabla 2. Los tableros de rizoma absorben gran cantidad de agua y sus parámetros a las 24 h oscilan entre un 67.09% y un 106.12%. El análisis estadístico indica que la WA depende del tiempo en la prensa, de manera que a mayor tiempo en la prensa se produce un aumento en los valores de la WA, no influyendo en este caso el tamaño de partícula empleado ni el ciclo de prensado aplicado.

### 3.2. Propiedades mecánicas

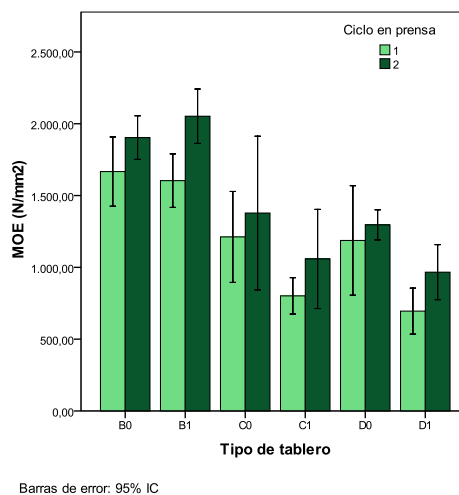
#### 3.2.1. Resistencia a flexión



**Figura 3.** Resistencia a flexión (MOR) en función del tipo de tablero.

Como se observa en la figura 3 se obtienen mayores resistencias a flexión (MOR) cuando se somete a los tableros a un segundo ciclo de prensado y con partículas de menor tamaño. También influye en el MOR el tiempo de prensado, siendo mayores los valores de MOR en los tableros con menor tiempo en la prensa.

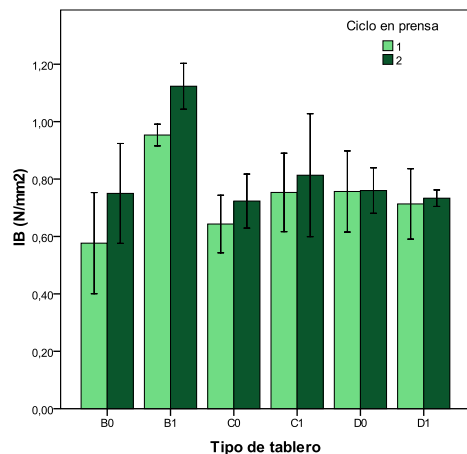
Igualmente se observa el mismo comportamiento en los valores del módulo de elasticidad a flexión (MOE) como se advierte en la figura 4. El ANOVA indica que el MOR y MOE dependen del tamaño de partícula, del tiempo en la prensa y del ciclo de prensado.



**Figura 4.** Módulo a flexión (MOE) en función del tipo de tablero.

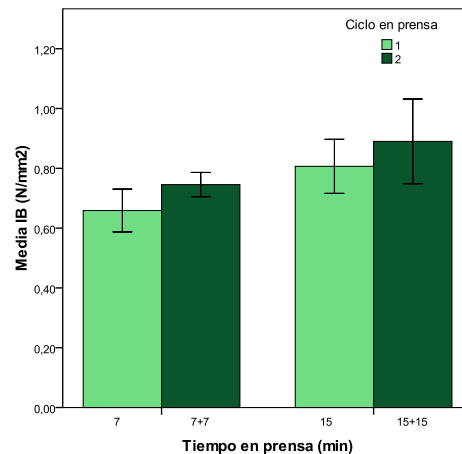
#### 3.2.2. Resistencia a tracción interna

Como se indica en la figura 5 se obtienen valores muy altos, desde 0.58 hasta 1.12 N/mm². El análisis indica que depende del tiempo en la prensa y de los ciclos empleados. En la figura 6 se puede observar que con mayor tiempo en la prensa aumenta el IB, igualmente aumenta al someter a los tableros a un segundo ciclo de prensado.



Barras de error: 95% IC

**Figura 5.** Resistencia a tracción (IB) en función del tipo de tablero.



Barras de error: 95% IC

**Figura 6.** Resistencia a tracción (IB) en función del tiempo en prensa.

### 3.3. Discusión

De las tres variables de fabricación de los tableros, el tamaño de partícula influye en la densidad, el MOR, el MOE y el IB; el tiempo en la prensa repercute en el MOR, el IB, el TS y la WA y el ciclo de prensado afecta al MOR, al MOE y a la IB. El tamaño de partícula para la elaboración de los tableros se ha convertido en el factor más importante en los análisis realizados por los investigadores, concluyendo que con un menor tamaño de partícula se obtienen mejores propiedades [41], tal y como se demuestra en el presente trabajo.

Otros autores [34] indican que ampliando el tiempo en la prensa se consiguen mejores propiedades, sin embargo, en este trabajo se consigue menor hinchamiento y buenos valores de MOR y de MOE con dos ciclos de prensado y un reducido tiempo en la prensa de platos calientes.

La mayoría de trabajos consultados [33] indican que para fabricar tableros sin adhesivos hacen falta altas temperaturas, superiores a 180°C, en cambio en este trabajo se han obtenido tableros de partículas de rizoma de caña común con temperatura de 110°C que podrían ser empleados según se refleja en las especificaciones de las normas europeas [40].

Si comparamos los valores obtenidos por los tableros de rizoma de caña con los valores indicados en la normativa [40] donde se determinan los usos compatibles que pueden tener los tableros (tabla 3), algunos se catalogarían de tipo P1 (tableros para uso general en ambiente seco) y otros se clasificarían de tipo P2 (tableros para aplicaciones interiores incluyendo mobiliario). Ninguno podría ser designado como tipo P3 (tableros no estructurales para ambiente húmedo) ya que no cumplen los cuatro requisitos, pudiendo considerar en futuros trabajos la aplicación de sustancias hidrófobas para disminuir el TS.

**Tabla 3.** Características de los tipos de paneles fabricados y clasificación.

	Clase	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	IB (N/mm <sup>2</sup> )	TS 24 h (%)
Este trabajo	B01	11.56	1667.04	0.58	57.74
	B02	14.24	1903.62	0.75	52.73
	B11	12.02	1603.79	0.95	50.52
	B12	14.00	2052.45	1.12	53.98
	C02	10.52	1378.30	0.72	44.15
[40] (grosor de 6 a 13 mm)	Tipo P1	10.50	-	0.28	-
	Tipo P2	11.00	1800.00	0.40	-
	Tipo P3	15.00	2050.00	0.50	17.00

Con el fin de evaluar los tableros fabricados, se han comparado en la tabla 4 los valores logrados en este trabajo con los resultados obtenidos por otros autores, destacando que con baja temperatura y poco tiempo en prensa se han conseguido fabricar tableros de rizoma de caña con mejores propiedades que con otros materiales investigados. El rizoma de caña tiene gran concentración de azúcares fermentables [35]. El proceso que ha producido la auto-unión de las partículas puede ser debido a que la adición de agua a temperaturas de prensado de 110°C haya provocado que los de azúcares se transformen en furfural, favoreciendo el mecanismo de enlace de las partículas.

**Tabla 4.** Valores de las propiedades obtenidas por diferentes autores con tableros sin adhesivos.

Referencia	Material	T <sup>a</sup> (°C)	Tiempo (min)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	TS 24h (%)	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )	IB (N/mm <sup>2</sup> )
[42]	Palmera datilera	180	2	1200	150.00	8.40	928.00	0.13
[43]	Palmera aceite	180	20	800	20.00	13.57		0.71
[44]	Palmera canaria	120	30	850	27.56	13.00	1467.82	0.40
[45]	Tallo arroz	110	30+30	1140	53.75	15.09	2696.85	0.18
Este estudio	Rizoma caña	110	7+7	883	52.73	14.24	1903.62	0.75

#### 4. Conclusiones

Mejorando los parámetros de fabricación, es factible elaborar tableros sin adhesivos de rizoma de caña común con un reducido gasto energético (baja temperatura, presión y tiempo) consiguiendo buenas propiedades mecánicas.

Cuando se aplica un segundo ciclo de prensado con la adición de agua se mejoran las propiedades mecánicas. Este resultado puede estar justificado en la alta concentración de azúcares con la que cuenta el rizoma de la caña y su conversión a furfural debido a la temperatura aplicada en la prensa que favorece significativamente el mecanismo de auto-unión de las partículas.

El tamaño de la partícula tiene un efecto muy importante sobre las propiedades mecánicas de los tableros, concluyendo que con los tableros de partículas de 0.25 a 1 mm se alcanzan los mejores resultados mecánicos y se cumplen los requisitos para tableros tipo P1 y P2 especificados en la normativa europea.

La valorización de estos materiales de desecho en la fabricación de productos de larga vida útil, como son los tableros, puede ser beneficioso para el medio ambiente, ya que es un método de fijación de carbono y, por tanto, refuerza los trabajos encaminados a la disminución del CO<sub>2</sub> atmosférico.

#### 5. Agradecimientos

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



## Referencias

1. International Union for Conservation of Nature. Global Invasive Species Database. (2011) Checklist Dataset. <http://issg.org/database/species/List.asp>. Accessed: July 12, 2018 Google Scholar.
2. Spencer, DF., Tan, W., Liow, P-S., Ksander, GG., Whitehand, LC., Weaver, S., Olson, J., Newhouser, M. Evaluation of glyphosate for managing giant reed (*Arundo donax*). *Invasive Plant Sci Manag.* **2008**; 1, 248–254.
3. Goolsby, J. A., Moran, P. Host range of *Tetramesa romana* Walker (Hymenoptera: Eurytomidae), a potential biological control of giant reed, *Arundo donax* L. in North America. *Biological Control* **2009**; 49(2), 160-168.
4. San Martín, C., Gourlie, J. A., Barroso, J. Control of Volunteer Giant Reed (*Arundo donax*). *Invasive Plant Science and Management* **2019**; 1-8.
5. Andreu-Rodríguez, J., Pérez-Espinosa, A., Pérez-Murcia, M. D., Moral, R., Agulló, E., Ferrández-Villena, M., Ferrández-García, M.T., Bustamante, M. A. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the assessment of biomass production and C sequestration by *Arundo donax* L. in salt-affected environments. *Agricultural Water Management* **2017**;183, 94-100.
6. Santín-Montanyá, M. I., Jiménez, J., Vilán, X. M., Ocaña, L. Effects of size and moisture of rhizome on initial invasiveness ability of giant reed. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* **2014**; 49(1), 41-44.
7. Kausar, S., Mahmood, Q., Raja, IA., Khan, A., Sultan, S., Gilani, MA., Shujaat, S. Potential of *Arundo donax* to treat chromium contamination. *Ecol Eng* **2012**; 42, 256–259.
8. Barbosa, B., Boléo, S., Sidella, S., Costa, J., Duarte, MP., Mendes, B., Cosentino, SL., Fernando, AL. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soils using the perennial energy crops *Miscanthus* spp. and *Arundo donax* L. *Bioenergy Res* **2015**; 8, 1500–1511.
9. Fiorentino, N., Ventorino, V., Rocco, C., Cenvinzo, V., Agrelli, D., Gioia, L., Di Mola, I., Adamo, P., Pepe, O., Fagnano, M. . Giant reed growth and effects on soil biological fertility in assisted phytoremediation of an industrial polluted soil. *Sci Total Environ* **2017**; 575, 1375–1383.
10. Mavrogianopoulos, G., Vogli, V., Kyritsis, S. Use of wastewater as a nutrient solution in a closed gravel hydroponic culture of giant reed (*Arundo donax*). *BioresTech* **2002**; 82(2), 103-107.
11. Ge, X., Xu, F., Vasco-Correa, J., Li, Y. Giant reed: A competitive energy crop in comparison with miscanthus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2016**; 54, 350-362.
12. Abrantes, S., Amaral, M., Costa, A., Shatalov, A., Duarte, A. Evaluation of giant reed as a raw material for paper production. *Appita J* **2007**; 60, 410–415.
13. Shatalov, A. A., Pereira, H. Xylose production from giant reed (*Arundo donax* L.): modeling and optimization of dilute acid hydrolysis. *Carbohydrate Polymers* **2012**; 87(1), 210-217.
14. Ahmed, M.J. Potential of *Arundo donax* L. stems as renewable precursors for activated carbons and utilization for wastewater treatments: review. *J Taiwan Inst Chem Eng* **2016**; 63, 336–343.
15. Pelegrín, M., Sáez-Tovar, J.A., Andreu-Rodríguez, J., Pérez-Murcia, M.D., Martínez-Sabater, E., Marhuenda-Egea, F.C., Paredes, C. Composting of the invasive species *Arundo donax* with sewage and agri-food sludge: Agronomic, economic and environmental aspects. *Waste Management* **2018**; 78, 730-740.
16. Borin, M., Barbera, A. C., Milani, M., Molari, G., Zimbone, S. M., Toscano, A. Biomass production and N balance of giant reed (*Arundo donax* L.) under high water and N input in Mediterranean environments. *European Journal of Agronomy* **2013**; 51, 117-119.
17. Burner, DM., Hale, A.L, Carver, P., Pote, DH., Fritsch, FB. Biomass yield comparisons of giant miscanthus, giant reed, and miscane grown under irrigated and rainfed conditions. *Ind Crops Prod* **2015**; 76, 1025–1032.
18. Corno, L., Pilu, R., Adani, F. *Arundo donax* L.: a non-food crop for bioenergy and bio-compound production. *Biotechnology Advances* **2014**; 32(8), 1535-1549.
19. Scordia, D., Cosentino, S.L., Lee, J.W., Jeffries, T.W. Bioconversion of giant reed (*Arundo donax* L.) hemicellulose hydrolysate to ethanol by *Scheffersomyces stipitis* CBS6054. *Biomass and Bioenergy* **2012**; 39, 296-305.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA  
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA  
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

20. Di Girolamo, G., Grigatti, M., Barbanti, L., Angelidaki, I. Effects of hydrothermal pre-treatments on Giant reed (*Arundo donax*) methane yield. *Biores Tech* **2013**; 147, 152-159.
21. Ragaglini, G., Dragoni, F., Simone, M., Bonari, E. Suitability of giant reed (*Arundo donax* L.) for anaerobic digestion: effect of harvest time and frequency on the biomethane yield potential. *Biores Tech* **2014**; 152, 107-115.
22. Martínez-Sanz, M., Erboz, E., Fontes, C., López-Rubio, A. Valorization of *Arundo donax* for the production of high-performance lignocellulosic films. *Carbohydrate Polymers* **2018**; 199, 276-285.
23. Scalici, T., Fiore, V., Valenza, A. Effect of plasma treatment on the properties of *Arundo donax* L. leaf fibres and its bio-based epoxy composites: A preliminary study. *Composites Part B: Engineering*, **2016**; 94, 167-175.
24. Ferrandez-Garcia, C.E., García-Ortuño, T., Andreu-Rodríguez, J., Ferrandez-Villena, M., Ferrandez-Garcia, M.T. Mechanical Properties of a Cement Mortar Reinforced with *Arundo donax* L. Reeds. *International Journal of Civil and Structural Engineering-IJCSE* **2015**; 2(1), 305-308.
25. Garcia-Ortuño, T., Andreu-Rodríguez, J., Ferrandez-Garcia, M.T., Ferrandez-Villena, M., Ferrandez-Garcia, C.E. Evaluation of the physical and mechanical properties of particleboard made from giant reed (*Arundo donax* L.). *BioRes* **2011**; 6(1), 477-486.
26. Imam, S.H., Gordon, S.H., Mao, L., Chen, L. Environmentally friendly wood adhesive from a renewable plant polymer: Characteristics and optimization. *Polym Degrad Stab* **2001**; 73(3), 529-533.
27. El-Wakil, N.A., Abou-Zeid, R.E., Fahmy, Y., Mohamed, A.Y. Modified wheat gluten as a binder in particleboard made from reed. *J. Appl Polym Sci* **2007**; 106(6), 3592-3599.
28. Ciannamea, E.M., Stefani, P.M., Ruseckaite, R.A. Medium-density particleboards from modified rice husks and soybean protein concentrate-based adhesives. *Biores Tech* **2010**; 101, 818-825.
29. Moubarik, A., Allal, A., Pizzi, A., Charrier, F., Charrier, B. Preparation and mechanical characterization of particleboard made from maritime pine and glued with bio-adhesives based on cornstarch and tannins. *Maderas: Ciencia y Tecnología* **2010**; 12(3), 189-197.
30. Wang, Z., Gu, Z., Hong, Y., Cheng, L., Li, Z. Bonding strength and water resistance of starch-based wood adhesive improved by silica nanoparticles. *Carbohydrate Polymers* **2011**; 86(1), 72-76.
31. Ferrandez-Garcia C.E., Andreu-Rodríguez J., Ferrandez-Garcia M.T., Ferrandez-Villena M., Garcia-Ortuño T. Panels made from giant reed bonded with non-modified starches. *BioRes* **2012**; 7(4), 5904-5916.
32. Widyorini, R., Xu, J., Umemura, K., Kawai, S. Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. *J Wood Science* **2005**; 51(6), 648-654.
33. Pintiaux, T., Viet, D., Vandenbossche, V., Rigal, L., Rouilly, A. Binderless materials obtained by thermo-compressive processing of lignocellulosic fibers: A comprehensive review. *BioRes* **2015**; 10(1), 1915-1963.
34. Boon, J.G., Hashim, R., Sulaiman, O., Hiziroglu, S., Sugimoto, T., Sato, M. Influence of processing parameters on some properties of oil palm trunk binderless particleboard. *Holz Roh Werkst* **2013**; 71(5), 583-589.
35. Proietti, S., Moscatello, S., Fagnano, M., Fiorentino, N., Impagliazzo, A., Battistelli, A. Chemical composition and yield of rhizome biomass of *Arundo donax* L. grown for biorefinery in the Mediterranean environment. *Biomass and Bioenergy* **2017**; 107, 191-197.
36. EN 323. **1993**. Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad. Madrid. España.
37. EN 317. **1993**. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento en espesor tras 24 horas de inmersión en agua. Madrid. España.
38. EN 310. **1993**. Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de la resistencia a la flexión. Madrid. España.
39. EN 319. **1993**. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la resistencia a la tracción perpendicular a las caras del tablero. Madrid. España.
40. EN 312. **2010**. Tableros de partículas. Especificaciones. Madrid. España.
41. Hegazy, S., Ahmed, K. Effect of date palm cultivar, particle size, panel density and hot water extraction on particleboards manufactured from date palm fronds. *Agriculture* **2015**; 5(2), 267-285.

*X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA*  
*X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA*

3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

42. Saadaoui, N., Rouilly, A., Fares, K., Rigal, L. Characterization of date palm lignocellulosic by-products and self-bonded composite materials obtained thereof. *Materials and Design* **2013**; 50, 302-308.
43. Hashim, R., Wan Nadhari, WNA., Sulaiman, O., Kawamura, F., Hiziroglu, S., Sato, M., Sugimoto, T., Seng, TG., Tanaka, R. Characterization of raw materials and manufactured binderless particleboard from oil palm biomass. *Materials and Design* **2011**; 32, 246-252.
44. Ferrandez-Garcia, A., Ferrandez-Villena, M., Ferrandez-Garcia, C.E., Garcia-Ortuño, T., Ferrandez-Garcia, M.T. Potential use of Phoenix canariensis biomass in binderless particleboards at low temperature and pressure. *BioRes* **2017**;12(3), 6698-6712.
45. 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.