



X Congreso Ibérico de Agroingeniería X Congresso Ibérico de Agroengenharia

Huesca, 3-6 septiembre 2019



Estudio de la valorización de residuos de almendra para paneles de bajo coste

A. Ferrández-García¹, C.E. Ferrández-García, M. Ferrández-Villena¹, T. García-Ortuño¹, M.T. Ferrández-García¹

¹ Departamento de Ingeniería. Escuela Politécnica Superior de Orihuela (Alicante). Universidad Miguel Hernández de Elche. España. Ctra. Beniel km 3,2. CP 03312. Orihuela (Alicante).

Resumen: Con el fin de reducir el consumo energético y favorecer el impacto ambiental en la fabricación de nuevos productos se están desarrollando muchas investigaciones encaminadas a incrementar el uso de recursos renovables y ecológicos como las fibras vegetales. El almendro es un árbol caducifolio originario de las zonas mediterráneas, aunque actualmente Estados Unidos es el principal productor de almendras del mundo. El fruto del almendro tiene tres partes diferenciadas: el núcleo interno o la carne, la parte media dura de la cáscara y la cubierta o casco exterior de la cáscara (exocarpo y mesocarpo). En este trabajo se analiza el uso de un residuo de la almendra para obtener tableros de partículas ecológicos. Se ha usado como materia prima el casco exterior de la almendra triturado, obteniendo 4 tipos de partículas. Se han elaborado 8 tipos tableros sin utilizar ningún tipo de adhesivo. Se evaluó el efecto del tiempo en la prensa y el tamaño de las partículas empleadas en la fabricación de los tableros en algunas propiedades físicas y mecánicas. En este estudio se demuestra que es técnicamente posible el desarrollo de tableros con este material, ya que la alta dureza obtenida hace viable su empleo para pavimentos de madera en el interior de las edificaciones.

Palabras clave: Tableros de partículas, exocarpo, *Prunus dulcis* (Mill) D.A, libre de adhesivos.

1. Introducción

El almendro, científicamente conocido como *Prunus dulcis* (Mill) D.A. Webb, pertenece a la familia de las Rosáceas y también se relaciona con frutas de hueso como los melocotones, ciruelas y cerezas. El almendro es originario de las zonas mediterráneas. Fue propagado en tiempos antiguos a lo largo de las orillas del Mediterráneo hasta el norte de África y el sur de Europa y, más recientemente, se transportó a otras partes del mundo, especialmente a California (EE. UU.). Estados Unidos, es el principal productor de almendras del mundo, seguido de España. Las frutas de almendras tienen tres partes distintas: el núcleo interno o la carne, la parte media dura o la cáscara y la cubierta o casco exterior de la cáscara verde. El casco exterior de la almendra (exocarpo y mesocarpo) se obtiene con el secado de la porción de la fruta de la almendra que rodea la cáscara dura y normalmente se queda en campo, constituyendo un residuo que puede dar lugar a problemas medioambientales como la propagación de incendios o plagas.

La producción de almendras genera millones de toneladas de residuos incluyendo las cáscaras, los cascos, las podas, las hojas, la piel y la parte no comestible del grano. Estos residuos son buenas materias primas para la producción de bioenergía y otros compuestos valiosos, siendo recomendable mayor investigación y desarrollo en este campo [1].

Hay numerosas propuestas para la utilización de la cubierta exterior verde de la almendra: obtención de polisacáridos [2, 3], bioactivos [4, 5, 6], antioxidantes [7, 8, 9, 10, 11], bioenergía [12,

13, 14], carbones activados [15] y filtros absorbentes [16, 17, 18]. Varios estudios destacan su uso potencial en la alimentación animal [19, 20, 21, 22, 23, 24].

Los desechos agrícolas son también materiales lignocelulósicos que pueden sustituir a la madera natural, pero es necesario demostrar que sus fibras pueden ser una materia prima adecuada en la fabricación de tableros para mobiliario, envases y usos constructivos. El empleo de materiales vegetales sustitutos de la madera como materia prima jugará un papel importante en el futuro. La fabricación de tableros de partículas (tableros de aglomerado) está en continuo crecimiento debido a la escasez de madera. Son básicamente, materiales compuestos, tradicionalmente hechos de virutas de madera y un aglomerante.

También existen propuestas para la utilización de la cáscara de almendra en la fabricación de diferentes composites [25, 26, 27, 28, 29] y con el casco verde exterior [30].

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 los adhesivos actuales para los composites de madera serán inevitablemente restringidos en el futuro debido a las disminuciones en las reservas de recursos fósiles y a las emisiones de formaldehído perjudiciales para la salud.

Existen investigaciones para obtener tableros de partículas usando varias especies vegetales como materia prima y las últimas investigaciones se han dirigido a obtener tableros de partículas aglomeradas sin utilizar ningún producto aglomerante: palmera datilera [31, 32, 33], palmera de aceite [34, 35, 36, 37, 38, 39], palmera canaria [40], tallo de arroz [41, 42], kenaf [43, 44], caña de azúcar [45], cáscara de coco [46], bambú [47], sorgo [48], tallo de algodón [49] y residuos de almendra [30].

En este trabajo, se propone utilizar los cascos exteriores de la almendra (exocarpo y mesocarpo) como materia prima para fabricar tableros sin aglomerante, en un intento de desarrollar una aplicación de valor agregado para este residuo. El objetivo es obtener un producto totalmente ecológico, mediante el uso de residuos de la almendra en la elaboración de tableros aglomerados sin adhesivos y valorar el mecanismo de auto-uniión.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

Los materiales empleados han sido partículas de los cascos verdes de la almendra procedente de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela

Los cascos de almendra se dejaron secar durante 6 meses al aire libre. Posteriormente se trituraron en una desfibradora de cuchillas. Las partículas obtenidas se tamizaron en una tamizadora vibradora y se seleccionaron 4 tamaños de partículas: partículas que quedaron retenidas en el tamiz de 2 mm y atravesaron el de 4 mm (2 a 4 mm), partículas retenidas en el tamiz de 1 mm y atravesaron el tamiz de 2 mm (1 a 2 mm), partículas que quedaron retenidas en el tamiz de 0.25 mm y atravesaron el tamiz de 1 mm (0.25 a 1 mm) de mm y partículas que atravesaron el tamiz de 0.25 mm (< 0.25 mm).

2.2. Métodos

Se fabricaron tableros de partículas sin adhesivos, se evaluaron sus propiedades mediante métodos experimentales y se analizaron los resultados mediante métodos estadísticos.

2.2.1. Proceso de fabricación

El proceso de fabricación consistió en formar la manta del tablero con los residuos de almendra de cuatro tamaños de partículas. 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, con una presión

de 2.5 MPa, una temperatura de 120°C durante 30 min y cuando se enfriaron, la mitad de los tableros se introdujeron nuevamente en la prensa otros 30 minutos a la misma temperatura. Posteriormente, se dejaron los paneles enfriar en posición vertical. Los tableros tenían unas dimensiones aproximadas de 600 x 400 x 5 mm. Las características de elaboración de los 8 tipos de paneles se indican en la tabla 1 y algunos de los citados paneles se muestran en la figura 1. Se elaboraron 6 paneles de cada tipo.

Tabla 1. Características de los tipos de paneles elaborados

Tipo de tablero	Nº de tableros	Tamaño de partícula (mm)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
A1	6	< 0.25	30	120
A2	6	< 0.25	30+30=60	120
B1	6	0.25 a 1	30	120
B2	6	0.25 a 1	30+30=60	120
C1	6	1 a 2	30	120
C2	6	1 a 2	30+30=60	120
D1	6	2 a 4	30	120
D2	6	2 a 4	30+30=60	120



Figura 1. Cascos de almendra (exocarpo y mesocarpo) y tableros de partículas obtenidos sin adhesivos.

2.2.2. Métodos experimentales

Las propiedades se determinaron siguiendo las normas europeas establecidas para los tableros de partículas de madera [50]. Antes de proceder a los ensayos se cortaron las probetas de cada tablero con las dimensiones adecuadas según indican las normas europeas. De cada tablero se cortaron 6 probetas para el ensayo a flexión, 6 probetas para el ensayo de densidad, 3 probetas para el ensayo de inmersión en agua y 3 probetas para el ensayo de cohesión interna. Antes de proceder a los ensayos, se acondicionaron las probetas 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: densidad [51], hinchamiento en espesor (TS) y absorción de agua (WA) tras 2 y 24 horas de inmersión en agua [52], cohesión interna o resistencia a tracción (IB) [53], módulo de ruptura a flexión (MOR) y módulo de elasticidad a flexión (MOE) [54]. Los tableros se evaluaron según indica la norma europea [55]. Los ensayos mecánicos se realizaron en la máquina de ensayos marca IMAL (Italy), que cumple con la velocidad requerida en cada ensayo, según indican las normas europeas aplicables a los ensayos.

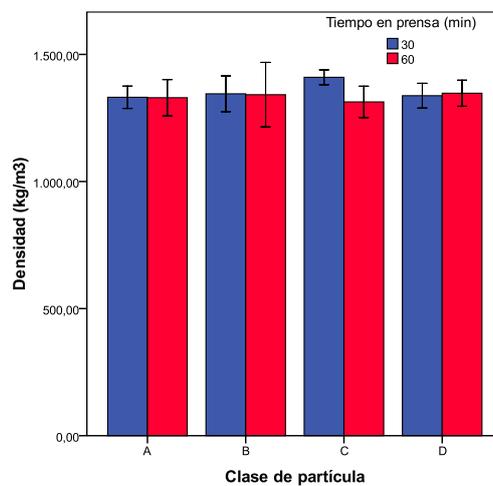
2.2.3. Análisis estadístico de los resultados

De los valores medios de los ensayos se obtuvieron las barras de error, la desviación estándar y se realizó el análisis de la varianza (ANOVA). El análisis estadístico se realizó con el programa informático SPSS v. 25.0 de IBM.

3. Resultados y Discusión

3.1. Densidad.

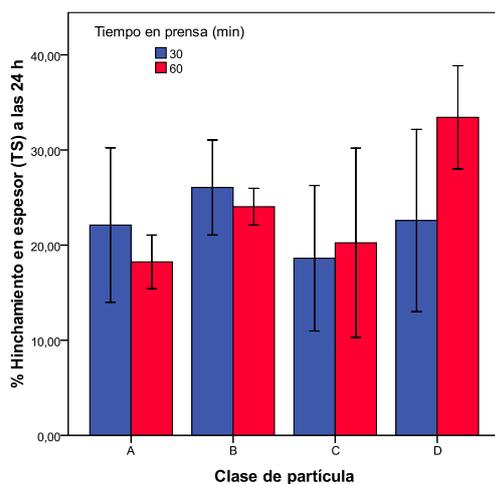
Los valores medios de densidad de cada tipo de tablero se indican en la figura 2, no observándose diferencias significativas entre unas clases de tableros y otros. Son tableros de alta densidad $1343 \pm 74 \text{ kg/m}^3$. El análisis estadístico indica que la densidad no depende del tamaño de la partícula ni del tiempo en la prensa.



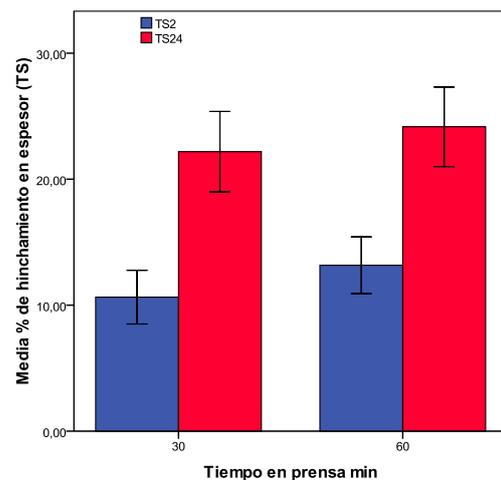
Barras de error: 95% IC

Figura 2. Densidad media en función de la clase de tablero.

3.2. Hinchamiento en espesor (TS) y absorción de agua (WA) después de inmersión en agua durante 2h y 24 h.



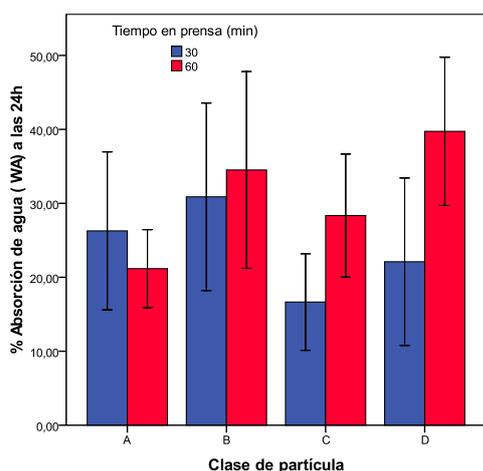
Barras de error: 95% IC



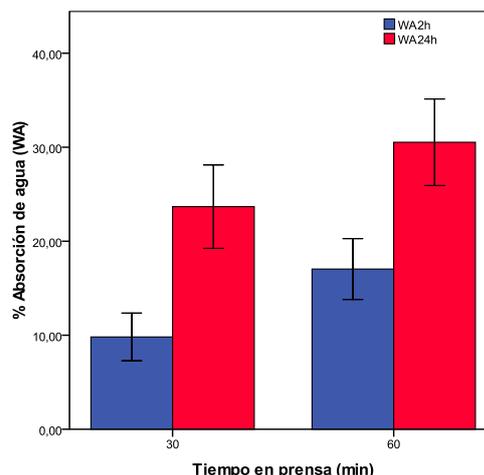
Barras de error: 95% IC

Figura 3. TS a las 24 h en función del tipo de tablero. **Figura 4.** TS en función del tiempo en prensa.

El ensayo se realizó en tres probetas de cada tablero. Los resultados medios de hinchamiento en espesor (TS) a las 24 h se indican en la figura 3. En el ensayo a las 2 h, los tableros con menor TS son tipo C1 con un 8.77%, y los tableros con mayor TS son tipo B4 con un 17.51 %. A las 24 h los tableros tipo A2 tienen un TS del 18.24 % (valor mínimo), y los tableros tipo B4 del 33.43 % (valor máximo). Estadísticamente se observa que depende del tamaño de partícula y del tiempo en la prensa. En la figura 4 se observan los valores medios de TS de cada tipo de tablero y las barras de error con un índice de certeza del 95% en función del tiempo en la prensa.



Barras de error: 95% IC



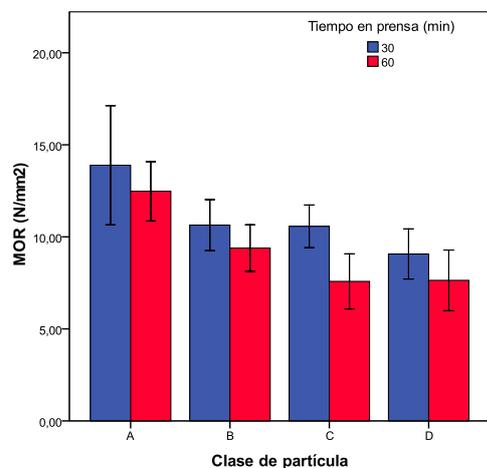
Barras de error: 95% IC

Figura 5. WA en función del tipo de tablero. **Figura 6.** WA en función del tiempo en la prensa.

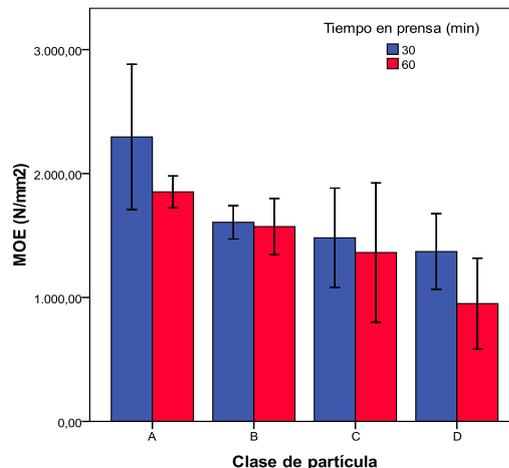
En la figura 5 se indican los valores medios de WA y las barras de error a las 24 h. Los valores del porcentaje de absorción de agua a las 2 h oscilan entre el tipo C1 con un 6.83 % y el B2 con un 20.42 %, habiendo grandes diferencias entre unos tipos de tableros y otros. A las 24 h aumenta la absorción de agua obteniendo en los tipos C1 un valor del 16.65 % y en los tipos B4 del 39.73%. Esto indica que depende del tamaño de partícula y del tiempo en la prensa. En la figura 6 se observa que a mayor tiempo en la prensa mayor es WA.

Para minimizar el hinchamiento y la absorción de agua se podría emplear algún producto hidrófugo como los que se utilizan en la industria de la madera.

3.3. Resistencia a flexión (MOR) y Modulo de elasticidad en flexión (MOE)



Barras de error: 95% IC



Barras de error: 95% IC

Figura 7. MOR en función del tipo de tablero. **Figura 8.** MOE en función del tipo de tablero.

Para obtener las propiedades a flexión se cortaron 6 probetas de cada tablero, tres en dirección longitudinal y otras tres en dirección transversal. Los resultados de los ensayos a flexión se indican en las figuras 7 y 8, donde se observa el valor medio de los ensayos de resistencia a flexión (MOR) de cada uno de los tipos de tableros y el módulo de elasticidad en flexión (MOE).

Los valores obtenidos de resistencia a flexión y el módulo de elasticidad dependen del tamaño de partícula utilizada, disminuyendo conforme el tamaño de partícula es mayor. El tiempo en la prensa influye negativamente ya que a mayor tiempo se alcanzan peores resistencias. Con las partículas de tamaño < 0.25 mm se obtienen mayores resistencias logrando un valor de MOR de 14.01 N/mm² y un MOE de 2295.32 N/mm².

3.4. Cohesión interna (IB)

Los resultados del ensayo de cohesión interna (IB) se indican en la figura 9, obteniéndose valores elevados que oscilan entre 0.57 y 1.27 N/mm².

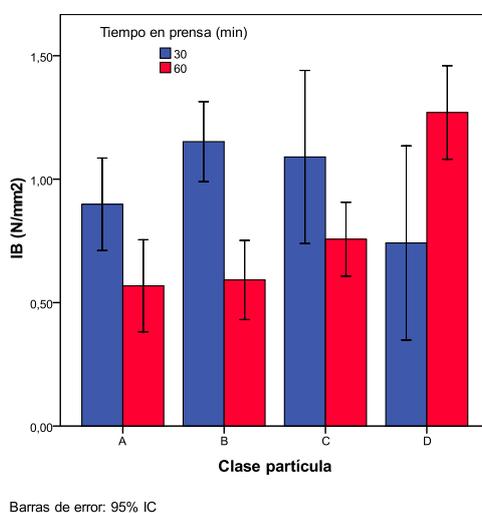


Figura 9. Cohesión interna en función del tipo de tablero.

Como puede observarse en la figura 9 la cohesión interna depende del tamaño de partícula. Con un tiempo de prensado de 30 min se obtienen mejores valores con partículas de tamaño medio y con tiempo de prensado de 30+30 min se mejoran los resultados en la medida que el tamaño de las partículas aumenta. En la tabla 2 se comparan los resultados obtenidos con los valores necesarios especificados en las normas europeas [56] para determinar la compatibilidad de usos de tableros con espesor de 4 a 6 mm.

Tabla 2. Características de los tipos de paneles elaborados y clasificación.

Tipo de tablero	MOR	MOE	IB	TS 24 h
A1	14.01	2295.32	0.90	22.11
A2	12.48	1852.04	0.57	18.24
B1	10.64	1606.83	1.15	26.06
B2	9.39	1571.91	0.59	24.04
C1	10.57	1481.50	1.09	18.62
C2	7.58	1362.81	0.76	20.24
D1	9.07	1370.56	0.74	22.58
D2	7.64	950.65	1.27	33.43
Tipo P1 [56]	11.50	-	0.31	-
Tipo P2 [56]	12.00	1950.00	0.45	-
Tipo P3 [56]	14.00	1950.00	0.50	20.00

Solo podrían ser empleados los tableros fabricados con menor tamaño de partícula y 30 minutos de tiempo de prensa (tipo A1) como tableros de uso general para utilización en ambiente interior (P1) o tableros para aplicaciones interiores incluyendo mobiliario (P2). Para conseguir la clasificación P3 (tableros no estructurales para ambiente húmedo) habría que considerar añadir sustancias hidrófobas para disminuir el valor de TS.

En un trabajo anterior [50] con una temperatura de 110°C se obtuvieron menores valores resistentes. En este caso al aumentar la temperatura a 120°C se ha incrementado en más del 50% su resistencia, por lo que será necesario realizar nuevos ensayos para comprobar la influencia de la temperatura.

Con el casco exterior de la almendra se obtienen mejores propiedades que con la palmera datilera [30, 34] y con la palmera de aceite [35, 39] empleando menor temperatura, lo que supone un gasto energético inferior.

Con partículas de tallos de arroz [42] y palmera canaria [40] se obtienen mejores propiedades al someter los tableros a presión de forma cíclica, en cambio con el casco exterior de la almendra empeoran las propiedades. Será necesario comprobar la fabricación de estos tableros utilizando menores tiempos en la prensa de platos calientes, ya que este material tiene distinto comportamiento al ser sometido a calor y presión.

Los cascos exteriores de la almendra tienen gran cantidad de polisacáridos [2, 3], luego es factible que algunos alcancen la temperatura de transición vítrea y contribuyeran a la auto-unión.

4. Conclusiones

Los tableros fabricados con partículas < 0.25 mm y 30 minutos de prensa (tipo A1) alcanzan propiedades compatibles para ser empleados para revestimientos interiores y en elementos de mobiliario.

Los tableros se han fabricado a una temperatura de 120°C (que puede considerarse como muy baja) y un tiempo de prensa de 30 y 30+30 min, por lo que habría que realizar nuevos ensayos organizando nuevas combinaciones para intentar conseguir mejores propiedades.

Todas las propiedades analizadas dependen del tamaño de partícula utilizado, salvo la densidad que no presenta diferencias significativas entre los diferentes tipos de tableros ensayados.

Los tableros obtenidos cuentan con una alta densidad, por tanto, uno de los mercados potenciales para este tipo de tableros podría ser el núcleo central de los pavimentos laminados, donde actualmente se están empleando tableros de fibra de madera de alta densidad.

Este estudio demuestra que es técnicamente posible fabricar tableros de partículas sin adhesivos con el casco exterior de la almendra.

5. Agradecimientos

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

Referencias

1. Chen, P., Yanling, C., Shaobo, D., Xiangyang, L., Guangwei, H., Ruan, R. Utilization of almond residues. *International J Agricultural and Biological Engineering* **2010**; 3(4), 1-18.
2. Offeman, R.D., Dao, G.T., Holtman, K.M., Orts, W.J. Leaching behavior of water-soluble carbohydrates from almond hulls. *Ind Crops Prod* **2015**; 65, 488-495.
3. Sequeira, R.M., Lew, R.B. The carbohydrate composition of almond hulls. *J. Agric. Food Chem.* **1970**; 18(5), 950-951.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA

3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

4. Amico, V., Barresi, V., Condorelli, D., Spatafora, C., Tringali, C. Antiproliferative Terpenoids from Almond Hulls (*Prunus dulcis*): Identification and Structure– Activity Relationships. *J. Agric. Food Chem.* **2006**; 54(3), 810-814.
5. Takeoka, G., Dao, L., Teranishi, R., Wong, R., Flessa, S., Harden, L., Edwards, R. Identification of three triterpenoids in almond hulls. *J. Agric. Food Chem.* **2000**; 48(8), 3437-3439.
6. Sang, S., Lapsley, K., Rosen, R. T., Ho, C.T. New prenylated benzoic acid and other constituents from almond hulls (*Prunus amygdalus* Batsch). *J. Agric. Food Chem.* **2002**; 50(3), 607-609.
7. Takeoka, G.R., Dao, L.T. Antioxidant constituents of almond [*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb] hulls. *J. Agric. Food Chem.* **2003**; 51(2), 496-501.
8. Pinelo M., Rubilar M., Sineiro J., Núñez M. J. Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls (*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*). *Food Chem* **2004**; 85(2), 267-73.
9. Wijeratne, SSK., Abou-Zaid, M.M., Shahidi, F. Antioxidant Polyphenols in Almond and Its Coproducts. *J. Agric. Food Chem.* **2005**; 54(2), 312-318.
10. Rubilar, M., Pinelo, M., Shene, C., Sineiro, J., Nuñez, M.J. Separation and HPLC-MS identification of phenolic antioxidants from agricultural residues: almond hulls and grape pomace. *J. Agric. Food Chem.* **2007**; 55(25), 10101-10109.
11. Sfahlan, A.J., Mahmoodzadeh, A., Hasanzadeh, A., Heidari, R., Jamei, R. Antioxidants and antiradicals in almond hull and shell (*Amygdalus communis* L.) as a function of genotype. *Food Chem* **2009**; 115(2), 529-533.
12. Demirbas, A., Pehlivan, E., Altun, T. Potential evolution of Turkish agricultural residues as bio-gas, bio-char and bio-oil sources. *I J of Hydrogen Energy* **2006**; 31(5), 613-620.
13. Holtman, K.M., Offeman, R.D., Franqui-Villanueva, D., Bayati, A.K., Orts, W.J. Countercurrent extraction of soluble sugars from almond hulls and assessment of the bioenergy potential. *J. Agric. Food Chem.* **2015**; 63(9), 2490-2498.
14. Aktas, T., Thy, P., Williams, R. B., McCaffrey, Z., Khatami, R., Jenkins, B.M. Characterization of almond processing residues from the Central Valley of California for thermal conversion. *Fuel Processing Technology* **2015**; 140, 132-147.
15. Ioannidou, O., Zabaniotou, A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production--A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2007**; 11(9), 1966-2005.
16. Reddad, Z., Gerente, C., Andres, Y., Le Cloirec, P. Adsorption of several metal ions onto a low-cost biosorbent: kinetic and equilibrium studies. *Enviro Scien Tech* **2002**; 36(9), 2067-2073.
17. Ahmadpour, A., Tahmasbi, M., Bastami, T.R., Besharati, J.A. Rapid removal of cobalt ion from aqueous solutions by almond green hull. *Journal of Hazardous Materials* **2009**; 166(2-3), 925-930.
18. Adegoke, K.A., Bello, O.S. Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents. *Water Resources and Industry* **2015**; 12, 8-24.
19. Alibes, X., Maestre, M.R., Muñoz, F., Combellas, J., Rodriguez, J. Nutritive value of almond hulls for sheep. *Animal Feed Science and Technology* **1983**; 8(1), 63-67.
20. Aguilar, A. A., Smith, N. E., Baldwin, R. L. Nutritional value of almond hulls for dairy cows. *J. Dairy Science* **1984**; 67(1), 97-103.
21. Aderibigbe, A.O, Tor-Agbidye, Y., Cheeke, P.R., Patton, N.M. Evaluation of almond hulls as a feedstuff for rabbits. *Journal of Applied Rabbit Research* **1990**; 13(3-4): 110-3.
22. Jahanban-Esfahlan, A., Jamei, R., Jahanban-Esfahlan, R. The importance of almond (*Prunus amygdalus* L.) and its by-products. *Food Chem* **2010**; 120, 349-360.
23. Yalchi, T., Kargar, S. Chemical composition and in situ ruminal degradability of dry matter and neutral detergent fiber from almond hulls. *J Food Agric Environ* **2010**; 8(2), 781-784.
24. Jafari, S., Alizadeh, A., Imni, A., Meng, G. Y., Rajion, M.A., Ebrahimi, M. In situ degradation of almond (*Prunus dulcis* L.) hulls, a potential feed material for ruminants. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* **2015**; 39(6), 676-681.
25. Gürü, M., Tekeli, S., Bilici, I. Manufacturing of urea–formaldehyde-based composite particleboard from almond shell. *Materials and Design* **2006**; 27(10), 1148-1151.
26. Pirayesh, H., Khazaeian, A. Using almond (*Prunus amygdalus* L.) shell as a bio-waste resource in wood based composite. *Composites Part B: Engineering* **2012**; 43(3), 1475-1479.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA

3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

27. Chaudhary, A. K., Gope, P. C., Singh, V. K. Effect of almond shell particles on tensile property of particleboard. *Journal Mater. Environ. Sci* **2013**; 4, 109-112.
28. Sabarinathan, P., Rajkumar, K., Gnanavelbabu, A. Mechanical properties of almond shell-sugarcane leaves hybrid epoxy polymer composite. *Trans Tech Publications. Applied Mechanics and Materials* **2016**; 852, 43-48.
29. Quiles-Carrillo, L., Montanes, N., Sammon, C., Balart, R., Torres-Giner, S. Compatibilization of highly sustainable polylactide/almond shell flour composites by reactive extrusion with maleinized linseed oil. *Ind Crops Prod* **2018**; 111, 878-888.
30. Ferrandez-Villena, M., Ferrandez-Garcia, C.E., Andreu-Rodriguez, J., Ferrandez-Garcia, M.T., Garcia-Ortuño, T. Effect of pressing conditions on physical and mechanical properties of binderless boards made from almond hulls (*Prunus dulcis* (Mill.) DA Webb). In *Proceedings of the 41 International Symposium on Agricultural Engineering* (2013, February) 19-22.
31. Amirou, S., Zerizer, A., Pizzi, A., Haddadou, I., Zhou, X. Particleboards production from date palm biomass. *E J Wood and Wood Prod* **2013**; 71(6), 717-723.
32. 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.
33. Hegazy, S., Ahmed, K., Hiziroglu, S. Oriented strand board production from water-treated date palm fronds. *BioRes* **2014**; 10(1), 448-456.
34. Laemsak, N., and Okuma M. Development of boards made from oil palm frond II: properties of binderless boards from steam-exploded fibers of oil palm frond. *J Wood Scie* **2000**; 46, 322-326.
35. 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.
36. Boon, J.G., Hashim, R., Sulaiman, O., Hiziroglu, S., Sugimoto, T., and Sato, M. Influence of processing parameters on some properties of oil palm trunk binderless particleboard. *E J Wood and Wood Prod* **2013**; 71, 583-589.
37. Lammaming, J., Sulaiman, O., Sugimoto, T., Hashim, R., Said, N., Sato, M. Influence of chemical components of oil palm on properties of binderless particleboard. *BioRes* **2013**; 8(3), 3358-3371.
38. Jumhuri, N., Hashim, R., Sulaiman, O., Noor Aidawati, W., Salleh, K.M., Saharudin, N.I. and Razali, M.Z. Effect of treated particles on the properties of particleboard made from oil palm trunk. *Materials and Design* **2014**; 64, 769-774.
39. Henao, E. M., Quintana, G. C., Ogunsile, B. O. Development of binderless fiberboards from steam-exploded and oxidized oil palm wastes. *BioRes* **2014**; 9(2), 2922-2936.
40. 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.
41. Kurokochi, Y., Sato, M. Effect of surface structure, wax and silica on the properties of binderless board made from rice straw. *Ind Crops Prod* **2015**; 77, 949-953.
42. Ferrandez-Garcia, C.C., Garcia-Ortuño, T., Ferrandez-Garcia, M. T., Ferrandez-Villena, M., Ferrandez-García, C.E. Fire-resistance, physical, and mechanical characterization of binderless rice straw particleboards. *BioRes* **2017**; 12(4), 8539-8549.
43. Xu, J., Sugawara, R., Widyorini, R., Han, G., Kawai, S. Manufacture and properties of low-density binderless particleboard from kenaf core. *J Wood Scien* **2004**; 50(1), 62-67.
44. Widyorini, R., Xu, J., Watanabe, T., Kawai, S. Chemical changes in steam-pressed kenaf core binderless particleboard. *J Wood Scien* **2005**; 51(1), 26-32.
45. Nonaka, S., Umemura, K., Kawai, S. Characterization of bagasse binderless particleboard manufactured in high-temperature range. *J Wood Scien* **2013**; 59(1), 50-56.
46. Van Dam, J.E., Van den Oever, M.J., Keijsers, E.R. Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk. *Ind Crops Prod* **2004**; 20(1), 97-101.
47. Widyorini, R., Yudha, A. P., Prayitno, T. A. Some of the properties of binderless particleboard manufactured from bamboo. *Wood Research J* **2011**; 2(2), 89-93.

X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA

3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

48. Khazaeian, A., Ashori, A., Dizaj, M.Y. Suitability of sorghum stalk fibers for production of particleboard. *Carbohydrate Polymers* **2015**; 120, 15-21.
49. 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**, 383-387.
50. EN 309. **2005**. Tableros de partículas. Definición y clasificación. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
51. EN 323. **1993**. Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la densidad. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
52. 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.
53. 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.
54. 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.
55. EN 312. **2010**. Tableros de partículas. Especificaciones. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.