

Residuos agrícolas: Caracterización y estrategias sustentables para su aprovechamiento

Adriana Rojas-León¹, Elena Otazo-Sánchez¹, Ana Bolarín-Miró², Francisco Prieto-García¹, Alma Román-Gutiérrez*¹

Área Académica de Química¹, Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales²
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Mineral de la Reforma, México
adriana_electron@hotmail.com, [abolarin, profe_4339, prietog, aroman]@uaeh.edu.mx

Abstract— The growing demand for barley has generated a high quantity of residues characteristic of its harvest. Due to the characteristics that these type of materials presented, are displayed as an alternative in the manufacture of particleboard. The objective of this research was to evaluate the feasibility of incorporating these residues as reinforcements in a composite, through its physical-chemical analysis. The results were: particle size (0.425 -9.525 mm); bulk density (88-280 kg/m³); surface structure rough and porous; moisture (4.75 -7.59%); non-degraded cellulose (23- 46%); cellulose degraded (18-33%), hemicelluloses (4-11%) and lignin (11-20%). It can be concluded that residues of barley, in general, can be contemplated as an option in the manufacture of composite materials.

Key words—particleboard, backing, barley, composite, sub-products, valorization.

Resumen— La creciente demanda de cebada ha generado una alta cantidad de residuos característicos de su cosecha. Debido a las características que este tipo de materiales presentan, se visualizan como una alternativa en la fabricación de tableros de partículas. El objetivo de esta investigación fue evaluar la factibilidad de incorporar estos residuos como refuerzos en un composite, por medio de su análisis físico-químico. Los resultados fueron: tamaño de partícula (0.425-9.525 mm); densidad aparente (88-280 kg/m³); estructura superficial rugosa y porosa; humedad (4.75-7.59%); celulosa no degradada (23-46%); celulosa degradada (18-33%), hemicelulosas (4-11%) y lignina (11-20%). Se puede concluir que los residuos de cebada, en general, se contemplan como una opción en la elaboración de materiales compuestos.

Palabras claves—tablero de partículas, refuerzo, cebada, composite, sub-productos, valorización.

I. INTRODUCCIÓN

La generación de residuos agrícolas va en aumento año con año, conjuntamente con la demanda de las cosechas de las cuales derivan, contribuyendo con una alta tasa de contaminación debido a la problemática de su disposición final. Un ejemplo es la producción de cebada, conforme al último reporte de la FAO, es el cuarto cereal más cosechado en el planeta con aproximadamente 134 millones de toneladas [1]. Dentro de los residuos generados por la cebada (RGC) se encuentran la cáscara, la paja y una mezcla de materiales que consiste de grano dañado, flores, y otros elementos después del trillado, lo que los productores denominan RETRICE. Estos residuos representan una fuente importante de materiales lignocelulósicos que poseen características de alta renovabilidad y producción. Por lo que se vislumbran como una fuente alterna a los materiales derivados del petróleo, consiguiendo efectos positivos sobre el medio ambiente, agricultura y economía. Así, se incrementa la ayuda para satisfacer las crecientes demandas de energía y de materias primas de la sociedad de una manera sustentable y sostenible.

En los últimos años, RGC se han incorporado a diversos procesos: producción de bio-energía [2], descontaminación de agua [3], recuperación de metales preciosos [4], películas biodegradables [5], producción de papel [6], obtención de aditivos para alimentos [7], etc.

Otra opción viable de incorporación, se contempla en la elaboración de tableros aglomerados de partículas (TAP). El cual se define como un panel manufacturado elaborado por prácticamente cualquier

material lignocelulósico en forma de piezas discretas o partículas, combinadas con resinas sintéticas - u otros adhesivos - sometidos a presión y calor en una prensa [8]. Cuando se planifica fabricar un TAP con un nuevo material como reforzante, es importante considerar sus propiedades fisicoquímicas, debido a que influyen sobre el proceso y en la calidad final del tablero manufacturado [9]. Entre las propiedades físicas que se deben considerar se encuentran: tamaño de partícula, densidad y morfología superficial. En cuanto a las propiedades químicas son: acidez, humedad y contenido de material lignocelulósico.

Por lo anterior, el objetivo principal de esta investigación es realizar la caracterización física y química de los RGC, para evaluar la factibilidad de incorporarlos como una nueva materia prima en la industria de construcción, en específico como reforzante de un TAP, brindando así alternativas de disposición final y un valor agregado a estos contaminantes.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Como materia prima se utilizaron RGC cosecha 2010: cáscara, paja y RETRICE provenientes del Valle de Apan, estado de Hidalgo. Las muestras fueron otorgadas por la Financiera Cebaderos S.A de C.V.

Se realizó la caracterización fisicoquímica de los tres materiales para poder establecer la viabilidad de poder incorporarlos en la industria de los TAP. Las propiedades físicas evaluadas fueron: tamaño de partícula, morfología superficial, densidad aparente. En cuanto a las propiedades químicas se evaluaron: humedad, pH y contenido lignocelulósico. El procedimiento para cada una de ellas se describe a continuación. Las determinaciones físicas se realizaron por quintuplicado y en base a material seco.

A. *Propiedades físicas*

a. *Tamaño de partícula*

Se determinó el tamaño de partícula, mediante su clasificación en fracciones, usando un Ro-Tap marca W.S. Tyler modelo Rx-29. Se usaron siete diferentes números de malla estipuladas por la ASTM : 4 (4.75 mm), 6 (3.35 mm), 8 (2.36 mm), 14 (1.40 mm), 18 (1.00 mm), 30 (0.60 mm) y 40 (0.425 mm). La paja, debido a su geometría irregular, se trituró previamente en un molino de martillos marca Massey Ferguson modelo MMT20.

b. *Morfología superficial*

Se usó un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) marca JEOL modelo JSM-6300 con una resolución de 300 000 X y 30 KV para poder determinar la morfología superficial de los materiales. Se utilizó un fragmento sin pulverizar de cada residuo de aproximadamente 2 cm siguiendo el procedimiento de Román-Gutiérrez, Guilbert y Cuq [10].

c. *Densidad aparente*

La densidad aparente de los tres residuos se obtuvo mediante el método de la probeta descrito por Soriano y Pons [11].

Para la caracterización química, primero las muestras se secaron a temperatura ambiente. Todas las determinaciones se hicieron con muestras de un tamaño de 0.425 mm por quintuplicado y en base a material seco.

B. *Propiedades químicas*

a. *Humedad*

Se determinó la humedad con una termobalanza, según lo establecido por la norma mexicana NMX-F-428-1982 [12].

b. Potencial de hidrógeno

Se procedió de acuerdo al método descrito por Roffael, Poblete y Torres [13].

c. Contenido lignocelulósico

Para la determinación del contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina se siguió lo estipulado en las normas TAPPI [14-16], la holocelulosa por el método Wise [17]. Se procedió conforme al diagrama mostrado en la Fig. 1.

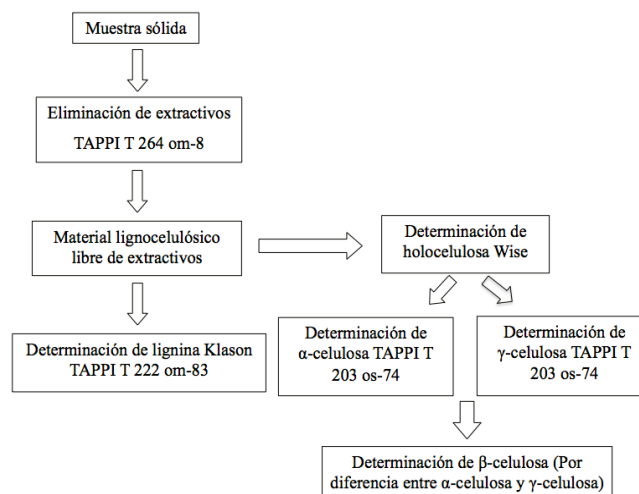


Fig. 1. Metodología seguida para la obtención del material lignocelulósico de los residuos de cebada.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Propiedades físicas

a. Tamaño de partícula

Siete mallas con diferentes tamaños de abertura se usaron en el Ro-tap para analizar los tamaños de partícula de los tres RGC. Los resultados de la distribución del tamaño de partícula se presentan en la Fig. 2. Se observó que en los tres casos la muestra no es homogénea en cuanto a su tamaño. La cáscara presentó una clasificación que va desde los 3.35 mm hasta los 0.425 mm y la fracción predominante fue 2.36/1.40 mm con un 40%. El RETRICE presentó las fracciones de tamaños mayores con valores desde 9.525 mm hasta los 0.425 mm. La paja presentó una clasificación que va desde los 4.75 mm hasta los 0.425 mm con un porcentaje mayor de participación en la fracción de 2.36/1.40 mm con un 32%.

El tamaño de partícula en el proceso de manufactura de los TAP se ha reportado como un factor importante sobre las propiedades mecánicas. Generalmente, las partículas más grandes se prefieren cuando en el proceso se utiliza un adhesivo, obteniendo tableros con mejores propiedades [18]. Sin embargo, cuando se trata de un proceso sin aglutinantes, las partículas más finas por lo general producen mejores resultados, principalmente por la compactación existente entre las partículas, lo que resulta en una unión fuerte, una densificación y textura suave [19].

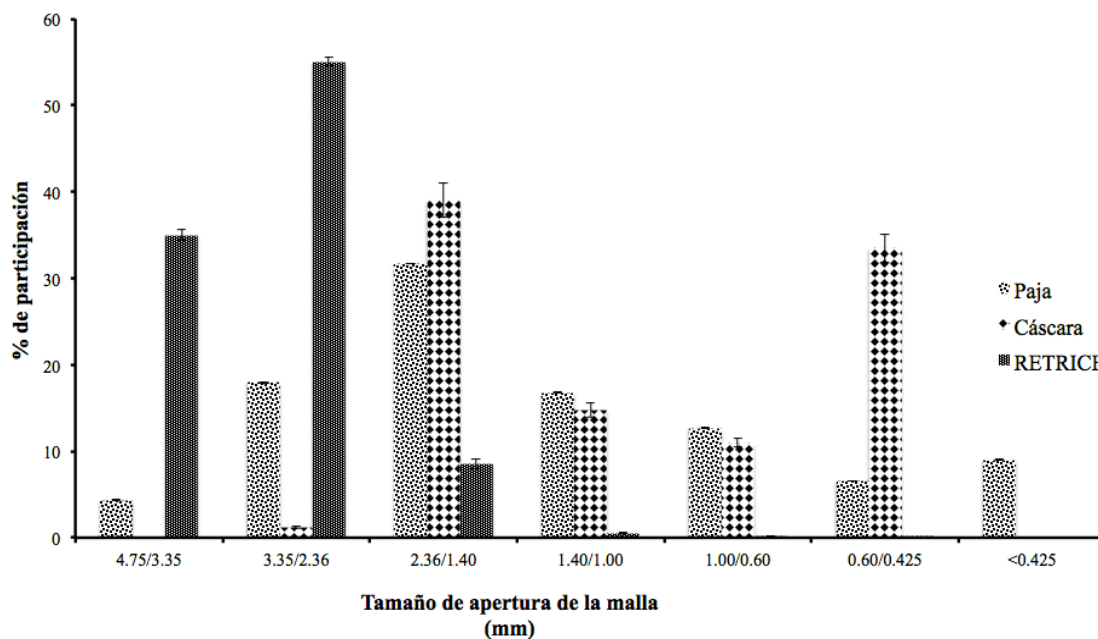


Fig. 2. F Distribución de tamaño de partícula de los residuos generados por la cosecha de cebada.

En el proceso de elaboración de TAP se han utilizado materiales de diferentes tamaños de partículas que van desde los 0.125 mm hasta los 9.5 mm [20-21]. En esta investigación, con los tamaños que los RGC presentaron, todos los tamaños disponibles para la paja de cebada son viables. Se propone el uso de todas las partículas para la manufactura de un tablero sin una resina como matriz, usando un material alternativo, por ejemplo PEAD como Fuentes-Talavera, Silva-Guzmán Richter, Sanjuán-Dueñas y Ramos-Quirarte [22] emplearon con partículas de bagazo de caña de tamaños semejantes al de esta investigación, o bien diseñando un tablero sin aglutinante como Lamaming et al. [19] proponen al utilizar tamaños de partícula pequeños, disminuyendo así costos de producción.

De igual forma, la cáscara, al presentar una mayor distribución en tamaños finos, se contempla su uso en tableros sin aglutinante o en el caso de fabricación de tableros con más de dos capas, se usaría en las capas internas combinando con partículas más grandes de otro material lignocelulósico en las capas externas como lo proponen Abdolzadeh y Doosthoseini [23] al tener partículas con variación de tamaño.

El RETRICE por lo contrario, al presentar tamaños más grandes se propone su uso en tableros de una sola capa como refuerzo en una matriz adhesiva, por ejemplo con resina urea-formaldehído como Azizi, Tabarsa y Ashori [24] aplicaron para el diseño de un TAP con un material similar como lo es la paja de trigo.

b. Morfología superficial

Las microfotografías obtenidas en MEB de los tres RGC se exponen en la Fig. 3. Se observa la estructura superficial de los residuos analizados y en los tres casos se distingue una morfología externa parecida: rugosa y porosa. En el caso de la cáscara (3a) y del RETRICE (3b) se visualizan estructuras fibrosas de forma cilíndrica. En la paja (3c) se presentan fibras orientadas en una dirección, en donde se aprecian los radios y poros de dichas estructuras. Flores et al. [21] han reportado estructuras similares para *Arundo donax* (3d), material que se ha usado como refuerzo de TAP.

Zhang y Hu [25] mencionan que una superficie porosa, es lo ideal en la materia prima, de esta forma se verán beneficiadas las propiedades mecánicas. Ayrilimis, Kwon y Han [26] demuestran lo anterior al

observar que en su tablero a mayor porosidad de la materia prima el MOE y el MOE aumentan, logrando así un material de mayor calidad. Por lo anterior, se sugiere a la paja como la materia prima más apropiada de los tres RGC para la obtención de un TAP que cumpla con los estándares de calidad.

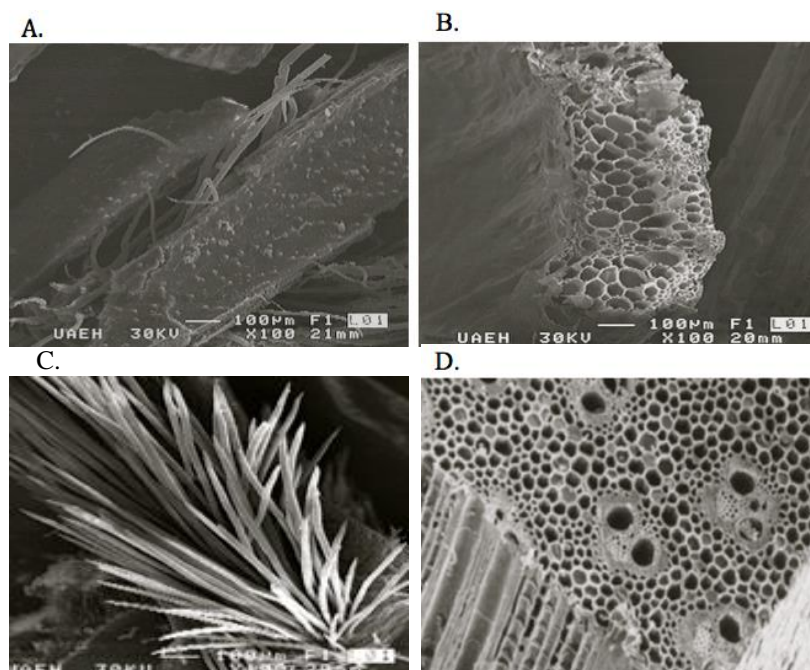


Fig. 3. Microfotografías obtenidas de residuos de cebada con MEB utilizando una energía de 30 KV a una magnitud de 100 μm . (A) Cáscara, (B) Paja, (C) RETRICE, (D) Aroundo donax, modificada de Flores et al. [21].

c. Densidad aparente

La densidad del material reforzante es uno de los factores más importantes en la fabricación de TAP. Aún cuando no existe una variable que en forma aislada permita definir a una especie como apropiada para fabricar estos materiales, la densidad de la materia prima es considerada por muchos autores como la que más afecta a las propiedades del tablero, además de que determina la cantidad de partículas y adhesivo a utilizar. Los resultados de densidad aparente para los RGC se muestran en la TABLA I. El RETRICE fue el residuo que presentó la densidad más alta y la paja la más baja. Éstos resultados están por debajo de lo reportado para materiales típicos en esta industria, por ejemplo el *Pinus radiata* con $446 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [27]. Sin embargo, las densidades de los tres RGC no parecen ser una limitante para su incorporación en este sector debido al factor denominado razón de compresión.

El indicador de razón de compresión relaciona la densidad del tablero con la densidad de la materia prima y proporciona información en cuanto a las propiedades de los tableros a un futuro elaborar, en particular en el MOR y en el MOE [18]. Para obtener propiedades adecuadas, este factor debe ser superior a 1.15 y se reportan valores óptimos en el rango de 1.20-1.60 [28].

Tabla I. Propiedades físico-químicas evaluadas de los residuos generados por la cosecha de cebada.

RGC	Densidad aparente (kg/m ³)	Densidad final de tablero sugerida (kg/m ³)		Humedad (%)	pH
		Factor de compresión			
		1.20	1.60		
Cáscara	182.51 ± 2.61	220	293	7.59 ± 0.01	6.15 ± 0.01
Paja	88.25 ± 1.85	106	141	4.47 ± 0.06	6.35 ± 0.03
RETRICE	279.85 ± 2.19	336	448	7.35 ± 0.11	6.60 ± 0.03

± Desviación estándar.

Para cumplir con el indicador de razón de compresión, se tendrán que elaborar tableros con densidades bajas, como se muestra en la tabla I. La densidad final del tablero sugerida, se obtiene de la relación de la densidad de la material prima con los dos límites del factor de razón de compresión reportado como idóneo para la fabricación de tableros de partículas. Actualmente se prefiere el uso de materias primas con baja densidad debido a que producen tableros dentro del rango deseado de densidades en uso actualmente, con propiedades mecánicas superiores a los fabricados con especies de alta densidad [29]. Sin embargo, el empleo como matriz de los RGC producirían tableros que no cumplen con los estándares de densidad final, por lo que se sugiere el uso de otro material que ayude a aumentar la densidad, por ejemplo llanta triturada o plásticos reciclados. De esta forma, además de cumplir con lo requerido por las diferentes normas que regulan la calidad de este tipo de materiales, se ayudaría a la disposición final de otro tipo de residuos incrementando así la formación final de un tablero más amigable con el ambiente y con más beneficios socioeconómicos.

B. Propiedades químicas

a. Humedad

Los valores de humedad se presentan en la tabla I. El valor más alto lo presentó la cáscara con 7.59% y el valor más bajo la paja con 4.47%. Se recomienda una humedad en la materia prima del 3-4% para la fabricación de un TAP, al final del proceso se debe llegar a un 10% considerando el agua contenida en las partículas y del aglutinante a usar [29]. Por debajo de lo recomendado, el tablero puede tener malas propiedades mecánicas y superficies de poca calidad, resultado de un fraguado prematuro de la resina, lo que conduce a un pegado deficiente afectando las propiedades mecánicas del tablero, como son el MOR y la tracción perpendicular. Por el contrario, un exceso de contenido de humedad en las partículas puede causar la formación de “ampollas” en el tablero. Lo anterior sugiere un acondicionamiento de secado previo de los RGC. La paja es el material que se visualiza como el más idóneo para ser utilizado en un TAP, al realizarle un acondicionamiento más rápido para llegar a los porcentajes recomendados, utilizando una menor cantidad de energía. Además, se menciona que la paja es un material resistente a la humedad que en mezcla con una resina producirán un producto con una resistencia aún mayor a la humedad, lo que dará una menor deformación en el tablero y proporcionando mayor estabilidad [27].

b. Potencial de hidrógeno

El pH del material a usar como refuerzo, es una de las características que se debe tomar en cuenta para el diseño de un TAP, si se quiere el uso de una resina como matriz. Los valores obtenidos de pH de los RGC se muestran en la TABLA I. Se puede observar que en los tres casos, los valores promedio son ácidos, semejante a lo reportado para otras materias primas que ya se han usado como reforzante en

TAP, como el *Eucalyptus nitens* con un pH de 4.78 [9]. De esta forma, se sugiere que la resina a utilizar debe curarse en medio ácido, por ejemplo urea-formaldehído, que es la resina más usada en la industria de los tableros aglomerados [30], incrementando de esta forma la compatibilidad entre la matriz y el refuerzo. Otra alternativa que se sugiere es el uso de otro tipo de material adhesivo que no necesite fraguar, de esta forma se evita el uso de resinas que liberan al medio ambiente emisiones tóxicas de formaldehído.

c. Contenido de material lignocelulósico

Los valores promedio obtenidos del contenido de material lignocelulósico en los tres RGC se exponen en la TABLA II. La cáscara presentó el mayor contenido de holocelulosa (mezcla de celulosa degradada, no degradada y hemicelulosas) con un 72.33%; la paja tuvo un 69.94% y el RETRICE un 52.23%.

Tabla II. Contenido del material lignocelulósico en los residuos analizados expresado en %.

Fración determinada	Cáscara	Paja	RETRICE
Lignina	10.58 ± 0.76	13.94 ± 1.02	19.70 ± 0.10
Holocelulosa	72.33 ± 1.05	69.94 ± 0.98	52.23 ± 1.54
De la cual:			
Celulosa no degradada	28.33 ± 1.73	46.40 ± 1.99	21.80 ± 0.22
Celulosa degradada	33.38 ± 1.89	18.16 ± 2.05	25.84 ± 0.29
Hemicelulosas	10.62 ± 1.89	5.37 ± 0.08	3.82 ± 0.04

± Desviación estándar

RETRICE – Residuo generado después del trillado de la cebada.

El contenido más alto de celulosa no degradada lo presenta la paja con 46.40%, valor que resulta similar con otros tipos de materias primas típicas usadas para la elaboración de TAP, como lo es el *Pinus radiata* y el *Eucalyptus globulus* [31]. Por otro lado, la cáscara y el RETRICE presentan contenidos de celulosa por debajo de cualquier tipo de madera. Sin embargo, se han reportado estudios satisfactorios para el aprovechamiento de residuos de algunos cereales como materia prima en TAP. Por ejemplo, la cáscara de arroz se ha utilizado anteriormente en tableros obteniendo buenas propiedades de calidad final [32]. Este residuo presenta un contenido del 27% de α -celulosa [33], lo que resulta muy semejante a lo obtenido en esta investigación con un porcentaje del 28.33% para la cáscara y un 22.56% para el RETRICE.

Se ha reportado que la celulosa no degradada y las hemicelulosas influyen de forma directa sobre las propiedades físicas del TAP, al ser los responsables de absorber agua en los materiales lignocelulósicos. El fenómeno se produce debido a los numerosos grupos hidroxilo que están accesibles en estos biopolímeros, los cuales interactúan con las moléculas de agua mediante puentes de hidrógeno [34]. En esta investigación, el uso de la paja como reforzante en la manufactura de tableros se ve limitada por el alto contenido que tiene tanto de celulosa no degradada como de hemicelulosas. Sin embargo, se propone el uso de una matriz hidrófoba, por ejemplo algún tipo de plástico, para poder proponer a la

paja de cebada como reforzante alternativo. De esta forma los contenidos de absorción de agua finales en el material compuesto disminuirían notablemente.

Se obtuvieron contenidos de lignina del 10-20%. El RETRICE es el residuo que presenta el contenido mayor y la paja el menor. El RETRICE presenta el valor más cercano a los reportados para materiales de uso frecuente en la fabricación de tableros 3particulados como se reporta para el *Pinus radiata* con un 20% de lignina [31] y el *Eucalyptus globulus* con 21% [35] con los que se han obtenido TAP con características de calidad competentes en el mercado.

El contenido de lignina, en la materia prima que se quiera utilizar como refuerzo en un TAP, es importante considerarlo para desarrollar un diseño de que tipo de tablero se requiere elaborar. Cuando los contenidos de lignina en el material son elevados, se puede pensar en el diseño de un TAP sin matriz. Se reporta que a mayor contenido de lignina se incrementa la adhesividad entre las mismas partículas debido a su entrecruzamiento [36]. La formación del material compuesto se logra aplicando altas presiones y temperaturas, debido a que durante el proceso de termo-compresión ocurre la activación de los principales componentes de las partículas y se genera un fenómeno conocido como auto-adhesión, donde reacciones de degradación y condensación de los residuos agrícolas (materiales lignocelulósicos) pueden presentarse [8]. Este proceso presenta la ventaja de disminuir costos al utilizar poca cantidad de aglutinante e incluso se debe estudiar la posibilidad de no utilizar una matriz, si las partículas presentan una adhesión interna adecuada.

IV. CONCLUSIONES

La cáscara presentó características físico-químicas que indican que este material puede ser usado en la fabricación de TAP. Por el tamaño de partícula, se propone la elaboración de un tablero de más de tres capas, usando las partículas de cáscara en las capas internas. De igual manera, el tamaño fino de partículas que presentó, sugiere la manufactura de un tablero sin usar otro material como matriz, consiguiendo la formación del tablero por el método de auto-adhesión.

La paja mostró las mejores características físico-químicas para su incorporación en la industria de los TAP. Por los tamaños de partícula que presenta, se propone la manufactura de un tablero usando como material adhesivo un termoplástico, el cuál en consecuencia densificará el tablero cumpliendo así los requisitos en cuanto a la densidad final del material. El uso de un plástico, incrementa la posibilidad de que en el tablero no se presenten contenidos altos de absorción de agua, manteniendo la estabilidad dimensional por debajo de lo estipulado por las normas de calidad. La paja fue el residuo que presentó el contenido más cercano a la humedad recomendada en la literatura, lo que implica un ahorro de energía. Por la morfología superficial rugosa y porosa que presentó la paja, se incrementa la viabilidad de usar a este residuo como reforzante en un TAP, debido a que estas características, contemplan la interacción entre el refuerzo y la matriz.

El RETRICE mostró características físico-químicas que limitan el diseño de un TAP. Con el tamaño de partícula que presentó, se plantea el diseño de un TAP usando como matriz resina urea-formaldehído. Sin embargo, por la cantidad de lignina que contiene, se recomienda analizar la manufactura de un tablero sin material aglutinante, formando el tablero por auto-adhesión. Al igual que la cáscara y la paja, se recomienda la incorporación de otro material que densifique el tablero para cumplir con los rangos estipulados para la densidad final del tablero.

La cáscara, paja y RETRICE mostraron propiedades físico-químicas que indican una alta factibilidad de incorporarlos como reforzantes en la elaboración de un TAP. De esta forma se da una alternativa a la disposición final de estos residuos.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Gobierno del Estado de Hidalgo por el apoyo otorgado a través del proyecto: FOMIX-HGO-2010-150905 y a la beca 59009, otorgada para estudios de posgrado.

REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Estadísticas de producción mundial de cebada en el año 2011. Recuperado de http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#DOWNLOAD.
- [2] Kars, G., y Ceylan, A. (2013). Biohydrogen and 5-aminolevulinic acid production from waste barley by *Rhodobacter sphaeroides* O.U.001 in a biorefinery concept. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38, 5573-5579.
- [3] Ibrahim, S., Wang, S. y Ming Ang, H. (2010). Removal of emulsified oil from wastewater using agricultural waste barley straw. *Biochemical Engineering Journal*, 49, 78-83.
- [4] Chand, R., Watari, T., Inoue, K., Kawakita, H., Luitel, H.N., Parajuli, D., Torikai, T. y Yada, M. (2009). Selective adsorption of precious metals from hydrochloric acid solutions using porous carbon prepared from barley straw and rice husk. *Minerals Engineering*, 22, 1277-1282.
- [5] de Abreu, D.A.P., Villalba, K.R. y Cruz, J.M. (2012). Extraction, purification and characterization of an antioxidant extract from barley husks and development of an antioxidant active film for food Packaged. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 13, 134-141.
- [6] Köhnke, T., Brelid, H. y Westman, G. (2009). Adsorption of cationized barley husk xylan on kraft pulp fibres: influence of degree of cationization on adsorption characteristics. *Cellulose*, 16, 1109-1121.
- [7] Cruz, J.M., Moldes, A.B., Bustos, G., Torrado, A., Dominguez, J.M., Bartley, J. y Organ, G. (2007). Integral utilization of barley husk for the production of food additives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87, 1000-1008.
- [8] Marashdeh, M.W., Bauk, S., Tajuddin, A.A., Hashim, R. (2012) Measurement of mass attenuation coefficients of *Rhizophora* spp. binderless particleboard in the 16.59-25.26 keV photon energy range and their density profile using x-ray computed tomography. *Applied Radiation and Isotopes*, 70, 656-662.
- [9] Poblete, H.W. y Burgos, R. (2010). *Eucalyptus nitens* como materia prima para tableros de partículas. *Maderas Ciencia y Tecnología* 12(1), 25-35.
- [10] Román-Gutiérrez, A.D., Guilbert, S. y Cuq, B. (2002). Description of Microstructural Changes in Wheat Flour and Flour Components during Hydration by using Environmental Scanning Electron Microscopy. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 35, 730-740.
- [11] Soriano, M.D. y Pons, V. (2001). *Prácticas de edafología y climatología*. Valencia, España: Editorial de UPV.
- [12] NMX-F-428-1982. Determinación de humedad (método rápido de la termobalanza).
- [13] Roffael, E., Poblete, H. y Torres, M. (2000). Über die acidität von Kern- und Splintholz der Kastanie (*Castanea sativa*) aus Chile. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58, 120-122.
- [14] Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI T-264 om-88. Preparation of wood for Chemicals analysis. 1992.
- [15] Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI T-203 om-88. Alpha, beta and gamma cellulose in pulp. 1992.
- [16] Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI T-222 om-88. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. 1992.
- [17] Wise, L.E. y Karl, H.L.(1962). *Cellulose and Hemicellulose in Pulp and Paper Science and Technology*. 1 ed. New York, USA: Mc Graw Hill Book Co.

- [18] Li, X., Cai, Z., Winandy, J.E. y Basta, A.H. (2010). Select properties panels manufactured from rice straws of different geometries. *Bioresource Technology*, 101, 4662-4666.
- [19] Lamaming, L., Hashim, R., Sulaiman, O., Sugimoto, T., Sato, M. y Hiziroglu, S. (2014). Measurement of some properties of binderless particleboards made from young and oil palm trunks. *Measurement*, 47, 813-819.
- [20] Desirello, C., Cerini, S., Charadía, R., Scalfi, R., Liberman, C. y Stefani, P.M. (2004). Efecto de las condiciones de procesamiento sobre las propiedades mecánicas de aglomerados de cáscara de arroz. En: Congreso Nacional de Metalurgia y Materiales de Chile y las Jornadas Argentinas de Materiales, Santiago de Chile, CD Rom.
- [21] Flores, J.A., Pastor, J.J., Martínez-Gabarrón, A., Gimeno-Blanes, F.J., Rodríguez-Guisado, I. y Frutos, M.J. (2011). Arundo donax chipboard based on urea-formaldehyde resin using under 4 mm particles size meets the standard criteria for indoor use. *Industrial Crops and Products*, 34, 1538-1542.
- [22] Fuentes-Talavera, F.J., Silva-Guzmán, J.A., Richter, H.G., Sanjuan-Dueñas, R. y Ramos-Quirarte. (2007). Effect of production variables on bending properties, water absorption and thickness swelling of bagasse/plastic composite boards. *Industrial Crops and Products*, 26, 1-7.
- [23] Abdolzadeh, H. y Doosthoseini, K. (2009). Evaluation of old corrugated container and wood fiber application on surface roughness of three-layer particleboard. *Bioresources*, 4(3), 970-978.
- [24] Azizi, K., Tabarsa, T. y Ashori, A. (2011). Performance characterizations of particleboards made with wheat straw and waste veneer splinters. *Composites: Part B*, 42, 2085-2089.
- [25] Zhang, L. y Hu, Y. (2014). Novel lignocellulosic hybrid particleboard composites made from rice straws and coir fibers. *Materials and Design*, 55, 19-26.
- [26] Ayirmis, N., Kwon, J.H. y Han, T.H. (2012). Improving core bond strength and dimensional stability of particleboard using polymer powder in core layer. *Composites: Part B*, 43, 3462-3466.
- [27] Garay, R.M., MacDonald, F., Acevedo, M.L., Calderón, B. y Araya, J.E. (2009). Particleboard made with crop residues mixed with wood from *Pinus radiata*. *Bioresources*, 4(4), 1396-1408.
- [28] Poblete, H. y Vargas, R.C. (2006). Relación entre densidad y propiedades de tableros HDF producidos por un proceso seco. *Maderas: Ciencia y tecnología*, 8(3), 169-182.
- [29] Moreno, P.A., Garay, D.A., Durán, J.A., Styles, V.W. y Trejo, S.S. (2010). Utilización de tallos de *Guadua angustifolia* en la fabricación de tableros de partículas. *Forest Systems*, 19, 241-248.
- [30] Rokiah, H., Hazneza, A.H.S., Othman, S., Norli, I., Hakimi, I.M., Hasnah, M. y Salmiah, U. (2009). Extractable formaldehyde from waste medium density fibreboard. *J. Trop. For. Sci.*, 21, 25-33.
- [31] Ferraz, A., Baeza, J., Rodríguez, J. y Freer, J. (2000). Estimating the chemical composition of biodegraded pine and eucalyptus wood by DRIFT spectroscopy and multivariate analysis. *Bioresource Technology*, 74(3), 201-212.
- [32] Li, X., Cai, Z., Winandy, J.E. y Basta, A.H. (2011). Effect of oxalic acid and steam pretreatment on the primary properties of UF-bonded rice straw particleboards. *Industrial Crops and Products*, 33, 665-9.
- [33] Jin, F., Zhou, Z., Kishita, A. y Enomoto, H. (2006). Hydrothermal conversion of biomass into acetic acid. *J. Mater. Sci.*, 41(5), 1495-1500.
- [34] Zabihzadeh, S.M. (2010). Novel lignocellulosic hybrid particleboard composites made from rice straws and coir fibers. *Bioresources*, 5(1), 316-323.
- [35] Garrote, G., Eugenio, M.E., Díaz, M.J., Ariaza, J. y López, F. (2003). Hydrothermal and pulp processing of Eucalyptus wood. *Bioresource Technology*, 88, 61-68.
- [36] Álvarez, C., Capanema, E., Rojas, O. y Gañán, P. (2009). Desarrollo de tableros auto-enlazados a partir de fibra de vena central de la hoja de plátano. *Prospect*, 7(2), 69-74.