

Uso de almidón de papa modificado como agente acoplante en compuestos polímero-fibras de madera

The effect of potato starch modified as a coupling agent in polymer-wood fiber composites

Yenny Marlén González Mancilla ¹, Juan Rodrigo Salamanca Sarmiento ², José Antonio Vargas Flórez ³

¹M.Sc. en Metalurgia y Ciencia de los Materiales – Docente Tiempo Completo, Universidad Santo Tomás, Grupo GIDINT, Tunja, Colombia

²M.Sc. en Gestión en la Industria de los Hidrocarburos – Docente Tiempo Completo, Universidad Santo Tomás, Grupo GIDINT, Tunja, Colombia

³Ingeniero en Metalurgia – Docente Catedrático, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Grupo GICA, Tunja, Colombia

E-mail: yenny.gonzalez01@usantoto.edu.co

Recibido 8/10/2017

Aceptado 2/01/2018

Cite this article as: Y. Gonzalez, J. Salamanca, J. Vargas, "The effect of potato starch modified as a coupling agent in polymer-wood fiber composites", *Prospectiva*, Vol 16, N° 1, 107-113, 2018.

RESUMEN

En los materiales compuestos es importante lograr una buena unión entre la matriz y el refuerzo, para lo cual se utiliza un agente de acoplamiento. Se estudió el efecto del almidón de papa modificado como agente acoplante, en la resistencia mecánica y en la morfología de la interfase, de un compuesto polímero-aserrín de madera. Se utilizó polietileno de baja densidad (PEBD) reciclado de 70 a 80% p/p, fibras de madera (aserrín) 15 a 25%, que fueron secadas y clasificadas a tamaño de malla 60 y almidón de papa modificado (5 a 15%), como agente acoplante. Las materias primas fueron mezcladas, conformadas por extrusión en caliente, a 110 °C (entrada) y 210 °C (salida). El material obtenido fue moldeado y prensado. Se fabricaron 4 mezclas y se obtuvieron láminas para fabricar probetas para ensayos de tracción y de flexión, se seleccionaron 32 por cada mezcla. Los resultados mostraron que el almidón de papa modificado incrementó la resistencia a la tracción y a la flexión del compuesto, con respecto a las muestras sin agente acoplante. Se observó la impregnación de las fibras con la matriz al usar almidón de papa modificado como agente acoplante, a lo que se atribuye el aumento en la resistencia.

Palabras clave: Agente acoplante; Almidón de papa; Polímeros reforzados; Reciclaje de polímeros; Materiales compuestos.

ABSTRACT

In composite materials it is important to achieve a good bond between the matrix and the reinforcement, for which a coupling agent is used. The effect of modified potato starch as a coupling agent on the mechanical strength and interface morphology of a polymer-wood sawdust compound was studied. Recycled low density polyethylene (LDPE) of 70 to 80% w / w, wood fibers (sawdust) 15 to 25% were used, which were dried and classified to 60 mesh size and modified potato starch (5 to 15%), as a coupling agent. The raw materials were mixed, formed by hot extrusion, at 110 ° C (inlet) and 210 ° C (outlet). The material obtained was molded and pressed. Four mixtures were manufactured, and sheets were obtained to manufacture test pieces for tensile and bending tests, 32 were selected for each mixture. The results showed that the modified potato starch increased the tensile and flexural strength of the compound, with respect to the samples without coupling agent. The impregnation of the fibers with the matrix was observed when using modified potato starch as coupling agent, to which the increase in the resistance is attributed.

Key words: Coupling agent; Potato starch; Reinforced polymers; Recycling of polymers; Composites.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe una tendencia a reemplazar los materiales tradicionales por materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras [1]. El uso de fibras y de material particulado se ha convertido en una buena alternativa de refuerzo de matrices poliméricas, ya que se obtienen altos módulos de elasticidad y de resistencia mecánica [2,3].

Actualmente se ha despertado el interés de los investigadores en los refuerzos de fibras naturales, debido al incremento en las propiedades mecánicas que confiere la celulosa y al aporte ecológico al utilizar los residuos, como es el caso del aserrín [4,5,6].

Al reciclar los materiales poliméricos usados, se reducen el impacto ambiental y el consumo de plásticos vírgenes [7]. La cantidad de productos manufacturados a partir de plásticos residuales, como tapetes, floreros, cestos de basura, bancas para parques, mesas y maderos plásticos, está aumentando. Además, los polímeros reciclados pueden usarse en la fabricación de compuestos de madera y plástico, WPC's (Wood Plastic Composite) [8], en aplicaciones automotrices y de arquitectura [9]. Los WPC's, presentan mayor durabilidad, absorben menos humedad y requieren menos mantenimiento que la madera [10].

Un material compuesto consta de dos fases: una matriz y un refuerzo. La matriz es la fase encargada de dar estabilidad al material compuesto, mantener su forma, transferir las cargas al refuerzo y proteger las fibras del re-fuerzo de la abrasión y/o corrosión [11]. Al diseñar y fabricar un material compuesto se pretende modificar o mejorar las propiedades de la matriz, por lo que se adicionan refuerzos, por ejemplo la fibra de vidrio u otras fibras, lo que permite que el material mejore su comportamiento bajo condiciones específicas. De esta manera al incorporar fibras naturales al material plástico, se mejoran las características mecánicas de la matriz (plástico). Uno de los procesos de conformado utilizados para este tipo de materiales compuestos es la inyección y el moldeado. Las variables más relevantes a controlar en este proceso son: temperatura de inyección, tiempo de procesamiento, proporción de las mezclas (matriz: refuerzo), morfología (polvo, fibras, hojuelas, etc.) [12]. Al aumentar la cantidad de madera en el compuesto, se hace más difícil la dispersión de las fibras de madera en la matriz polimérica, lo que genera un aumento en la viscosidad de la mezcla fundida. A su vez, este aumento en la viscosidad produce un incremento en la presión dentro de la extrusora y dificulta la dispersión de las fibras de madera dentro de la matriz [13]. Otro de los procesos utilizados para el conformado de polímeros reforzados es el procesado con plasma aire [14] y la extrusión por soplado [15].

La elaboración de estos compuestos requiere controlar variables como: contenido de fibra, tamaño, y agente acoplante que favorezca la adhesión superficial en la interfase refuerzo-matriz [16]. Además, el mejoramiento en las propiedades mecánicas, por adición de fibras, puede alcanzarse con el aumento de la interacción interfacial fibra-polímero mediante la adición de un agente acoplante [17,18,19].

Recientemente las investigaciones sobre materiales compuestos, se han dedicado principalmente a aumentar la interacción físico-química en la zona interfacial entre los refuerzos y las matrices poliméricas. Bledzki menciona que al adicionar un agente acoplante, como el polipropileno maleado al 5%, con 30% de concentración de fibra de madera, la resistencia a la tracción específica se incrementó un 80% con agente espumante [20]. El tratamiento del aserrín de madera con el agente de acoplamiento viniltrimetoxisilano hace que mejore la ductilidad en los materiales compuestos que contienen 10, 20 y 30% de relleno, mostrando que la compatibilidad del polipropileno y el aserrín en estos materiales compuestos aumenta y, al mismo tiempo, el módulo elástico del compuesto desciende al adicionar más del 30% de relleno. [21]. También se ha estudiado el efecto del *m*-isopropenil- α , α -dimetilbenzil-isocianato (*m*-TMI) como agente acoplante, sobre las propiedades mecánicas de polipropileno reforzado con fibras de madera, obteniendo incrementos del 45% en la resistencia a la tracción y del 85% en la resistencia a la flexión [22].

El aserrín de madera (partículas finas de malla 100-140) puede utilizarse como material de refuerzo de matrices poliméricas, para mejorar sus propiedades mecánicas, además de su bajo costo y facilidad de empleo en el proceso de extrusión [23, 24].

Considerando que la adhesión en la interfase determina las propiedades mecánicas de los compuestos maderapolímero, en este estudio se analizó el efecto del almidón de papa modificado, como agente acoplante, en la resistencia a la tracción y a la flexión de un material compuesto de matriz de polietileno de baja densidad (PEBD) reciclado, reforzado con aserrín de las maderas naturales más utilizadas en Boyacá (Colombia) [25].

2. METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Se utilizó polietileno de baja densidad (PEBD) reciclado y triturado, tal como lo suministra Colorplastic S.A.S., empresa que procesa productos plásticos de diferentes clases de polímeros, los clasifica, limpia y reduce de tamaño, entre otros procesos.

Se utilizó una mezcla de viruta y aserrín de las maderas naturales más usadas en Boyacá [25], tales como abarco, cedro y amarillo, secadas durante 12h a 100 °C y clasificadas mediante la serie de tamices Tyler para obtener aserrín de malla 60.

Como agente acoplante se utilizó almidón de papa modificado. La modificación se realizó haciendo una mezcla homogénea de almidón de papa deshidratado (60%) marca McCain, agua destilada (10%), glicerina (15%), urea (15%), suministrados por Elementos Químicos Ltda, en un equipo mezclador de aspas durante 15 min.

2.2. Preparación del material compuesto

Las muestras de material compuesto se prepararon en seco mezclando el PEBD con el aserrín de madera y el almidón de papa modificado, manteniendo las proporciones que arrojaron buenos resultados en el estudio previo de este material [26]. Posteriormente se realizó el mezclado por 5 min en un mezclador de aspas a 60 rpm hasta alcanzar homogenización.

La tabla 1 muestra el diseño de las mezclas realizadas, se presentan las proporciones de PEBD reciclado (matriz), el contenido de fibras de madera adicionado (refuerzo) y la proporción de almidón de papa modificado usada como agente acoplante.

Cada mezcla fue cargada en la tolva de alimentación de una extrusora mono husillo, se controlaron las variables de velocidad de flujo y temperatura de entrada de 110 °C hasta alcanzar 210 °C a la salida de la extrusora [26].

Tabla 1. Diseño de mezcla utilizados para elaborar el material compuesto.
Table 1. Compound design used to produce the composite.

Mezcla	Designación PEBD-fibras-almidón	PEBD (%)	Fibras de madera (%)	Agente acoplante (%)
1	80-20-0	80	20	0
2	70-25-5	70	25	5
3	70-20-10	70	20	10
4	70-15-15	70	15	15

Las mezclas extruidas fueron inmediatamente moldeadas en un molde tipo positivo, ASTM D4703-16 [27] y sometidas a 10 MPa de presión, durante 5 min. Por cada mezcla se fabricaron nueve láminas compactadas de 200mm x 200mm x 3,5mm, que fueron mecanizadas para la fabricación de 90 probetas de tracción (10 por cada lámina) según ASTM D638-10 [28] y otras nueve láminas compactadas de 400mm x 250mm x 25mm con las que se obtuvieron 90 probetas para ensayo de flexión (10 por cada lámina) ASTM D790-10 [29].

Para el ensayo de tracción se definieron 4 tratamientos (80-20-0, 70-25-5, 70-20-10, 70-15-15) con 8 repeticiones (bloques) para un total de 32 unidades experimentales

tomadas aleatoriamente por cada mezcla. El mismo número de tratamientos y bloques se consideró para las pruebas de flexión.

2.3. Ensayos y caracterización

2.3.1. Determinación de la resistencia a la tracción

Las probetas para ensayo de tracción (figura 1), se fabricaron de acuerdo con lo establecido por la norma ASTM D638-10 para esta clase de materiales. Las pruebas de tracción se realizaron en una máquina universal de ensayos marca Microtest EM2/300/FR, las probetas se colocaron entre las mordazas para probetas planas y los ensayos se realizaron con una velocidad constante de 5 mm/min y una celda de carga de 500 kgf. El ensayo se realizó hasta la falla del material de forma súbita. La figura 2 muestra el montaje del ensayo de tracción.

Figura 1. Probetas de material compuesto obtenidas para ensayo de tracción, según norma ASTM D638-10.

Figure 1. Composite probes obtained for tensile strength tests according to standard ASTM D638-10.



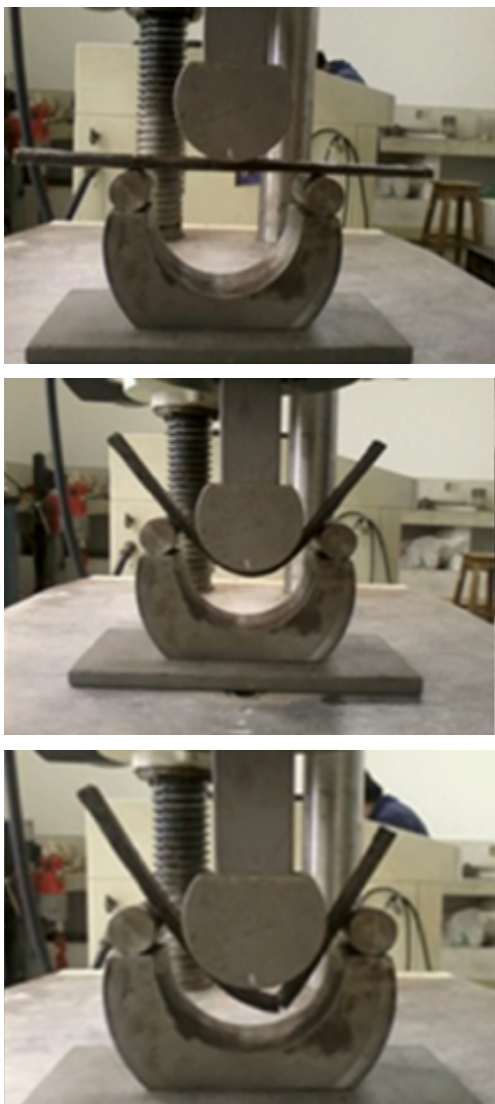
Figura 2. Ensayo de resistencia a la tracción.
Figure 2. Tensile strength test.



2.3.2. Determinación de la resistencia a la flexión

Para evaluar las propiedades de la resistencia a la flexión se prepararon 16 probetas de 350 mm de longitud, sección transversal de 23x23mm². Las condiciones del ensayo se siguieron de acuerdo a la norma ASTM D790-10: distancia entre apoyos de 300 mm, la carga puntual se aplicó en el centro de los apoyos a una velocidad constante de 5 mm/min y una celda de carga de 500 kgf; el ensayo se efectuó hasta la falla del material. La figura 3 muestra el montaje de uno de los ensayos de flexión.

Figura 3. Ensayo de resistencia a la flexión.
Figure 3. Bending strength test.



2.3.3. Observación morfológica

Se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido marca ZEISS, modelo EVO/MA10, con detector VPFE con alto vacío. Las muestras fueron acondicionadas con un recubrimiento de oro antes de su análisis por microscopía electrónica de barrido (MEB). Se realizó la observa-

ción morfológica de la zona interfacial entre las fibras y el polímero, para estudiar el efecto del agente acoplante en esta región del material. El estudio se realizó en una región transversal a la zona de fractura de las probetas que se sometieron al ensayo de tracción.

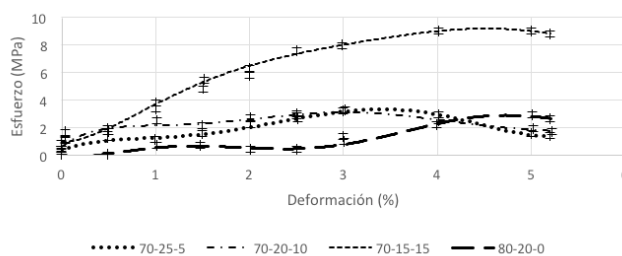
3. RESULTADOS

3.1. Resistencia a la tracción

A partir de los resultados de las 32 observaciones aleatorias obtenidas por cada mezcla, se determinó la media de la fluencia, resistencia máxima y resistencia última para cada uno de los 4 tratamientos (mezclas), las curvas promedio se muestran en la figura 4. Al comparar la curva del 80-20-0 con las otras tres mezclas, se observa que la adición de agente acoplante generó un aumento en la resistencia a la tracción del material compuesto. Las curvas muestran el promedio de los resultados de cada mezcla, encontrándose que en la muestra 70-20-10 hay un leve aumento en la resistencia, alcanzando un valor máximo promedio de 3,42 MPa, con respecto a 2,85 MPa del compuesto 80-20-0. La resistencia a la tracción más alta se observó en la mezcla 70-15-15, con estas probetas se alcanzó un valor máximo promedio de resistencia a la tracción de 9,41 MPa, lo cual corresponde a un aumento de más de tres veces con respecto al compuesto sin agente acoplante.

Figura 4. Efecto de la adición de almidón de papa en la resistencia a la tracción del material compuesto.

Figure 4. Effect of the addition of potato starch on the tensile strength of the composite.



En la 80-20-0 la resistencia máxima a la tracción fue 2,8 MPa. Esto es atribuido a un débil enlace interfacial entre las fibras de refuerzo (hidrofílico) y la matriz polimérica (hidrofóbica), cuando no se adiciona almidón como agente acoplante. Al adicionar fibras de refuerzo el alargamiento disminuyó, pero el esfuerzo aumentó ligeramente, lo que es coherente con lo obtenido por González [26]. Además, al aumentar el contenido de almidón modificado, se incrementó el valor del esfuerzo en la muestra que contiene 15% de almidón, a pesar de que el contenido de fibras es también del 15%, lo cual permite inferir que el almidón de papa mejora la capacidad de acoplamiento entre el PEBD y las fibras de refuerzo. Esta interacción con y sin agente acoplante se corrobora con los resultados obtenidos con MEB.

El uso de almidón sin modificar está muy limitado por sus pobres propiedades mecánicas, lo que hace necesario realizar su modificación química o física, para mejorar la condición hidrofóbica del almidón (mejor exposición al agua), mediante la formación de cadenas lineales de amilosa. El aumento de la resistencia a la tracción se atribuye a lo reportado por Meré [30], el almidón de papa modificado mejora la interacción de la matriz y el refuerzo por la combinación de glicerina y agua destilada, que actúa como plastificante, mejorando la flexibilidad y procesabilidad del material compuesto.

3.2. Módulo elástico

Los resultados obtenidos para el módulo elástico con una desviación estándar de $\pm 1,3\%$ (tabla 2) demuestran que a medida que aumenta el contenido de almidón de papa modificado, se presenta un aumento del módulo elástico, es decir, mayor rigidez en el material, hecho que se atribuye a que el almidón de papa modificado favorece la adhesión entre la matriz y el refuerzo.

Esto coincide con lo reportado por Meré [30], quien plantea que la elevada plasticidad del PEBD en caliente y los plastificantes, como el agua y la glicerina, al adicionarlos al almidón transforman la estructura de las cadenas helicoidales de amilosa y amilopectina en cadenas lineales creando enlaces entre éstas, restringiendo el desplazamiento entre ellas, generando un aumento en la rigidez del material.

De otra parte, la lignina (polímero natural altamente ramificado), encargada de unir entre sí las fibras en la madera natural, aporta en el material compuesto mucha más rigidez que el PEBD. En este caso, pese a que la madera se encuentra en partículas muy pequeñas, éstas contienen lignina cuyas ramificaciones favorecen la unión de las partículas de aserrín con el almidón de papa y el polímero, produciendo un aumento en la rigidez del material compuesto para las cuatro mezclas.

Tabla 2. Valores de Módulo Elástico y Resistencia Máxima a la Tracción de muestras del material compuesto con 0, 5, 10 y 15% de agente acoplante

Table 2. Values of Elastic Modules and Maximum tensile strength of composite samples with 0, 5, 10 and 15% coupling agent.

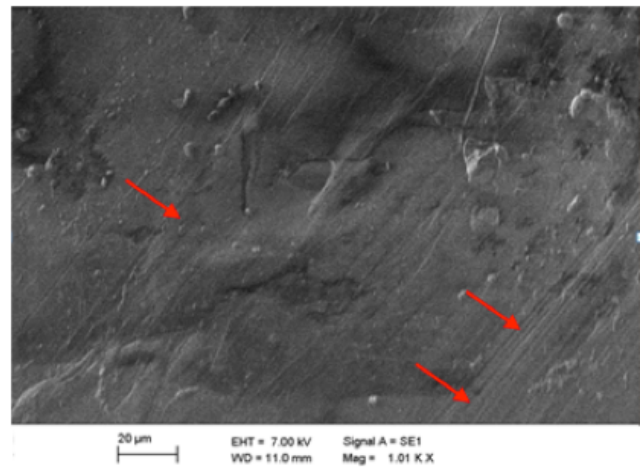
Mezcla	Designación PEBD-fibras-almidón	% Almidón	Módulo Elástico (MPa)
1	80-20-0	0	150,4
2	70-25-5	5	281,2
3	70-20-10	10	293,3
4	70-15-15	15	385,3

En las figuras 5 a 9 se presentan las micrografías obtenidas por MEB con cada mezcla, para el polímero PEBD con y sin adición de fibras de madera y de agente acoplante. En la figura 5 se observa una muestra que contiene 100%

polímero reciclado PEBD sin adición de fibras de madera [26], se aprecia una superficie lisa en la que las flechas indican las líneas de flujo características del proceso de extrusión, utilizado para la fabricación del material.

Figura 5. Micrografía del PEBD reciclado sin adición de fibras de madera [26].

Figure 5. Mycrography LDPE recycle without addition of wood fibers [26].



La figura 6 muestra la mezcla 80-20-0 a 500X. Las zonas claras corresponden al PEBD y las oscuras a las fibras de madera (aserrín), se observa que éstas no están impregnadas con PEBD. La flecha indica la presencia de espacios vacíos en la interfase PEBD-fibras del compuesto, se puede notar que no hay unión entre las fibras de madera y la matriz, lo que demuestra una débil interacción entre las fases de madera (refuerzo) y el PEBD (matriz). Esta poca interacción se corrobora con los bajos resultados de resistencia a la tracción obtenidos para esta muestra, ya que las fibras de madera no están cumpliendo su función de servir de refuerzo a la matriz. En la figura 7 se observa un fenómeno similar en la muestra 70-25-5, en la cual las fibras se muestran oscuras y las flechas indican los sitios que están ligeramente impregnadas con PEBD (zona clara).

La figura 8 corresponde a la mezcla 70-20-10, se observa una zona lisa del material (1), propia de la matriz polimérica y una zona rugosa (2), correspondiente a fibras de madera, las cuales se observan del mismo color de la matriz por estar impregnadas con PEBD. En la zona de la interfase (3), la flecha muestra la unión entre las fibras y la matriz, no se observan los vacíos que se presentan en la mezcla 70-25-5.

El contacto interfacial fibra-PEBD aumentó significativamente con la adición de 15% del almidón de papa modificado (figura 9), lo que se atribuye al incremento de las interacciones entre el polímero y la fase de refuerzo, debidas a una mayor movilidad de las cadenas poliméricas del PEBD y a su interacción con las cadenas del almidón modificado [31].

Se observa una mejora en la compatibilidad entre la fibra y la matriz en la mezcla 70-15-15 (figura 9), que se atribuye a la adición del agente acoplante; las flechas muestran que las fibras están mojadas dentro de la matriz. Esta compatibilidad se evidencia por la impregnación de las fibras con el PEBD, lo que incide positivamente en las propiedades mecánicas del material, debido a que el refuerzo cumple con su función de transferir los esfuerzos de la matriz a las fibras.

Figura 6. Micrografía PEBD reciclado 80-20-0.
Figure 6. Micrography PEBD recycled 80-20-0.

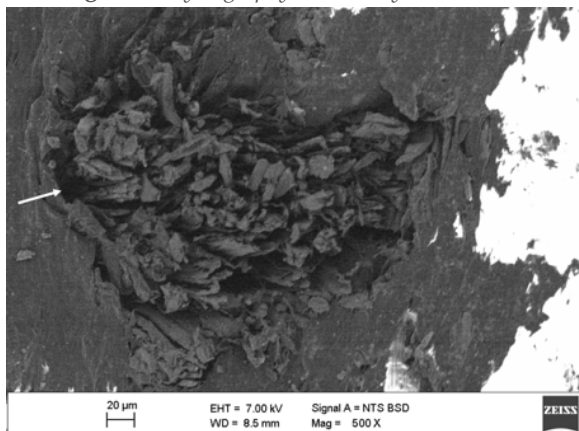


Figura 7. Micrografía PEBD reciclado 70-25-5.
Figure 7. Micrography LDPE recycled 70-25-5.

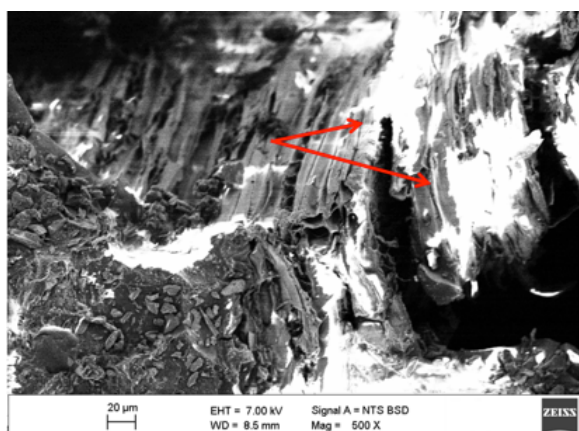


Figura 8. Micrografía PEBD reciclado 70-20-10.
Figure 8. Micrograph LDPE recycled 70-20-10.

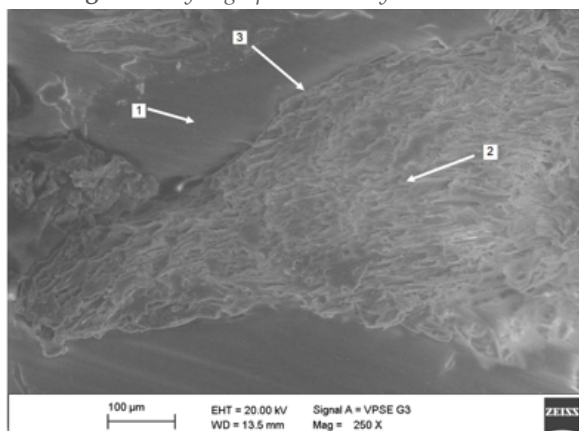
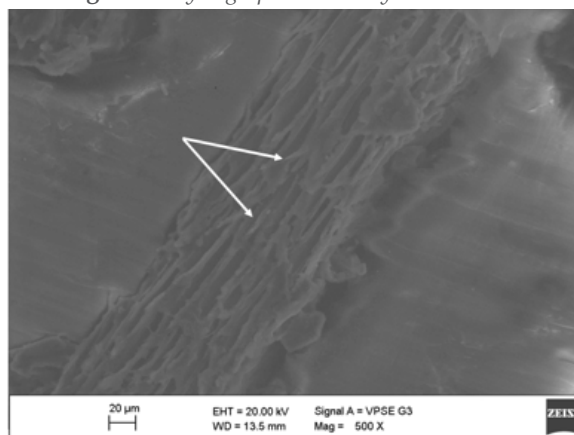


Figura 9. Micrografía PEBD reciclado 70-15-15.
Figure 9. Micrograph LDPE recycled 70-15-15.



4. CONCLUSIONES

En este estudio se fabricaron materiales compuestos a partir de PEBD reciclado con diferentes cantidades de fibras de madera natural (aserrín) y de almidón de papa modificado. Se analizó el efecto del almidón de papa como agente acoplante en las propiedades mecánicas del material compuesto y en la morfología de la interfase polímero-fibras de madera.

Los resultados indican que hay un aumento en la resistencia a la tracción, lo mismo que en el módulo elástico en los compuestos al adicionar 15% en peso de agente acoplante. En los compuestos con adiciones de 5 a 10% en peso de agente acoplante se obtuvo un ligero aumento en la resistencia a la tracción, comparada con el compuesto sin agente acoplante.

La morfología observada en la MEB permitió verificar que la adición de almidón de papa modificado por encima del 10% como agente acoplante, produce interfaces con mínimos espacios entre el polímero y el refuerzo, buena adhesión y se aprecian las fibras de madera bien impregnadas de polímero, lo que produce un incremento en los valores de resistencia a la tracción y en el módulo elástico.

Los resultados del presente estudio muestran claramente que el almidón de papa modificado, se comporta muy bien como agente acoplante entre las fibras de madera natural comúnmente usadas en Boyacá, desechadas en los aserraderos en forma de aserrín, y el PEBD reciclado. Las propiedades obtenidas para este material compuesto permiten afirmar que éste pueda ser aprovechados para producir un WPC resistente.

En relación al módulo, el material compuesto es más rígido que el PEBD, por el almidón de papa modificado y porque el refuerzo es más duro que la matriz y no permite la libre movilidad de las cadenas de polipropileno, lo cual evita la deformación, produciendo el aumento del módulo elástico.

REFERENCIAS

- [1] F. M. AL-Oqla, S.M. Sapuan, T. Anwer, M. Jawaid, M.E. Hoque, "Natural fiber reinforced conductive polymer composites as functional materials: A review", *Synthetic Metals* 206, 42-54, 2015
- [2] A. K. Bledzki, P. Franciszczak, Z.Osman, M. Elbadawi, "Polypropylene biocomposites reinforced with softwood, abaca, jute, and kenaf fibers", *Industrial Crops and Products* 70, 91-99, (2015).
- [3] A. W. Van Vuure, J. Baets, K. Wouters, Hendrickx, K. "Compressive properties of natural fibre composites", *Materials Letters*, 149, 138-140, 2015.
- [4] T. H. Yang, C. Chao, S. Y. Leu. "Characterization of the property changes of extruded wood-plastic composites during year round subtropical weathering". *Construction and Building Materials* 88, 159-168, 2015.
- [5] M. Pouzet, D. Gautier, K. Charlet, M. Dubois, A. Béakou. "How to decrease the hydrophilicity of wood flour to process efficient composite materials", *Applied Surface Science* 353, 1234-1241, 2015
- [6] P. Kuo, S.Y. Wang, J. H. Chen, H.C. Hsueh, M. J. Tsai. "Effects of material compositions on the mechanical properties of wood-plastic composites manufactured by injection molding". *Materials and Design* 30, 3489-3496, 2009
- [7] K. Jayaraman, D. Bhattacharya, "Mechanical performance of wood fibre-waste plastic composite materials", *Resources, Conservation and Recycling* vol. 41, 307-319, 2004.
- [8] S. Kazemi, "Use of recycled plastics in wood plastic composites - A review", *Waste Management* (33), 1898-1905, 2013.
- [9] V. Srivastava, R. Srivastava. "A review on manufacturing, properties and application of expanded polypropylene". *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, 4, 1, 22-28, 2014
- [10] K. Xu, K. Li, H. Yun, T. Zhong, X. Cao. "A comparative study on the inhibitory ability of various wood-based composites against harmful biological species". *BioResources* 8(4), 5749-5760, 2013.
- [11] F. Stupenengo. "Materiales y materias primas - Materiales Compuestos" *Guía didáctica Capítulo 10 Instituto Nacional de Educación Tecnológica, Argentina*, 7-12, 2011.
- [12] J. González, A. Barba. "Desarrollo de un Material Compuesto Plástico (PP) - Madera (Aserrín) Usando Materias Primas de Reuso", *Memorias del 14 congreso internacional anual de la Somim*. Centro de Ingeniería de Superficies y Acabados. 2008.
- [13] G. Rivzi, G. Guo, C. Park, Y. Kim. "Critical issues in extrusion foaming of plastic/wood fiber composites (Review)" *Cellular Polymers* 24(6), 347-362, 2005.
- [14] A. E. Wiacek, M. Jurak, A. Gozdecka, M.Worzakowska "Interfacial properties of PET and PET/starch polymers developed by air plasma processing". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 532, 323-331, 2017.
- [15] V. Ortiz, R. Velasco, D. Roa. "Obtención y caracterización de una película a base de almidón hidroxipropilado producida por extrusión por soplado" Popayán: Autor-editor, 2016, 14-26
- [16] V. K. Thakura, M.K. Thakurb. "Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites". *Carbohydrate Polymers*, 109, 102-117, 2014.
- [17] G. Bollini, (2013, noviembre). "Influencia de polipropileno maleado no comportamiento de fractura (EWF) de compósitos de polipropileno /fibra de vidrio". Tesis Mestre em Ciencia e engenharia de materiais. Universidade Federal de Sao Carlos.
- [18] C. Caicedo, A. Vásquez, L. Crespo, H. de la Cruz, O. Ossa. "Cedar fiber / polypropylene (PP) matriz composites: influence of the compatibilizer PP-g-MA" *Informador Técnico* 79(2), 118-126, 2015.
- [19] L. Soccalingame, A. Bourmaud, D. Perrin, J.-C. Benezet, A. Bergeret. "Reprocessing of wood flour reinforced polypropylene composites: Impact of particle size and coupling agent on composite and particle Properties". *Polymer Degradation and Stability* 113, 72-85, 2015
- [20] A. Bledzki, O. Faruk. "Microcellular injection molded wood fiber-PP composites: Part I-effect of chemical foaming agent content on cell morphology and physic-mechanical properties". *Journal of Cellular Plastic* 42(1), 63-76, 2006.
- [21] R. Bouza, "Diseño y caracterización de nuevos materiales compuestos polipropileno y madera: estudio del viniltrimetoxisilano como agente de acoplamiento", Tesis doctoral. Universidad de la Coruña. 2008
- [22] A. Karmarkar, S.S. Chauhan, J. M. Modak, M. Chanda. "Mechanical properties of wood-fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38, (2), 227-233, 2007
- [23] R. Gu, B. V. Kokta. "Effect of Independent Variables on Mechanical Properties and Maximization of Aspen—Polypropylene Composites", *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, (21) Issue 1, 27-50, 2008.
- [24] H. Bouafif, A. Koubaa, P. Perré, A. Cloutier. "Effects of fiber characteristics on the physical and mechanical properties of wood plastic composites". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 40, 12, 1975-1981, 2009.
- [25] J. Zárate, O. Gutiérrez, "Caracterización de maderas usadas en Boyacá de acuerdo con el Reglamento Construcción Sismo Resistente". *Revista Facultad de Ingeniería - UPTC* (21) 32, 73-91, 2012.
- [26] Y. González, "Propiedades mecánicas de un compuesto polimérico hecho de polietileno de baja densidad reciclado y reforzado con fibras de madera natural" *Revista Ingenio Magno* (6), 76-85, 2015. Disponible desde: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1095/1063> [Acceso 18 de enero 2017]
- [27] ASTM D4703-2016. Standard Practice for Compression Molding Thermoplastic Materials into Test Specimens, Plaques, or Sheets.
- [28] ASTM D638-2014 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- [29] ASTM D790-2010 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.
- [30] J. Meré, "Estudio del procesado de un polímero termoplástico basado en almidón de patata amigable con el medio ambiente" Trabajo de grado, Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química. Universidad Carlos III de Madrid, 2009.
- [31] Y. Du, T. Wu, N. Yan, M. Kortschot, T. Farnood, R. "Pulp fiber-reinforced thermoset polymer composites: effects of the pulp fibers and polymer", *Composites Part B: Engineering*, 48, 10-17, 2013.