

APROVECHAMIENTO DE POLIPROPILENO Y POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADOS, REFORZADOS CON FIBRA VEGETAL, TETERA (*Stromanthe Stromathoides*)

Carlos Córdoba^{*}, Jenny Mera, Diego Martínez, Jesús Rodríguez

Centro de investigaciones en materiales, Ciudadela universitaria Torobajo, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. Correo electrónico: carcob@udenar.edu.co

RESUMEN

Este trabajo expone cómo la mezcla en proporciones adecuadas de PP (polipropileno y PEAD (polietileno de alta densidad) reciclados, como matriz polimérica, reforzada con cantidades óptimas de fibra natural tetera (*Stromanthe stromathoides*), permiten obtener materiales a mas bajos costos y que pueden reemplazar a los usados actualmente, especialmente productos de madera superando sus propiedades de ductilidad y de durabilidad, al mismo tiempo que, se contribuye significativamente a mitigar impactos ambientales negativos.

Se examinan las propiedades fisicoquímicas de la incorporación de fibra, para cada producto reciclado. La fibra tetera como materia prima fue molida en molino de discos, hasta un tamaño de 1 a 3 mm que es el utilizado como refuerzo. El PP se recicló de tapas de botellas, seleccionadas y fracturadas manualmente con martillo y cortadas a tamaño variables entre 3 y 5 mm. El PEAD, se tomó de bolsas plásticas variables, que se despedazan manualmente y posteriormente se peletizan en la empresa *Cooemprender* de la ciudad de *Pasto*, en tamaño aproximado de 2-5 mm. Los análisis bromatológicos de la tetera y las pruebas mecánicas de los materiales compuestos, se efectuaron en los laboratorios de la *Universidad de Nariño*. Para las pruebas mecánicas se aplicaron las normas ASTM D1037, especiales para paneles aglomerados. Se encontró que las pruebas de flexión, compresión y tensión originan un aumento de la ductilidad, en detrimento de una baja de su resistencia, lo cual hace de este material reforzado, un material adecuado para productos como la madera plástica.

Palabras claves: material compuesto, PP reciclado, PEAD reciclado, tetera, reciclaje

ABSTRACT

This work shows how the mixture in adequate proportions of PP (polypropylene and PEAD (high density polyethylene) recycled, used as a polymeric matrix and reinforced with optimal quantities of tetera natural fiber (*Stromanthe stromathoides*), lets to obtain the cheapest materials which can replace those used at present This mixture can overcome the wooden products related to its ductibility and durability characteristics, at the same time, it contributes to decrease the negative environmental impacts.

The physical and chemical characteristics of fiber incorporation are tested in every recycled product. The tetera fiber used as raw material was milled in dicks mills. It was obtained a 1 – 3 mm size which is adequately used as reinforce. The PP was obtained from bottles lids. They were selected and broken by hand with a hammer; cut in different sizes from 3 to 5 mm. The PEAD was taken from several plastic bags, which are destroyed by hand and later, they are pelleted in 2–5 mm size. This process was executed in the *Cooemprender* enterprise locates in the city of *Pasto*. The bromatological analysis of

tetera and the mechanical tests of compound materials were carried out in the *University of Nariño's* laboratories. ASTM D137 regulations were used in mechanic tests, which are special to agglomerated panels. It was found that an increase of ductibility is resulted from flexion, compression and tension tests, to the detriment of its low resistance, so that this compound could be an adequate material in products as the plastic wooden.

Key words: compound material, PP recycled, PEAD recycled, tetera, recycling.

INTRODUCCION

Desde la aparición de los polímeros hasta la fecha, son múltiples las aplicaciones y las facilidades para transformarlo que lo han hecho atractivo para ser utilizados en campos donde antes solo se usaba metales, maderas, o cerámicos. El mejoramiento de los polímeros con refuerzos de fibras vegetales, han hecho que se produzcan los materiales reforzados (*composites* en inglés), lo cual permite diseñar el material a usar. Para eso es necesario conocer las propiedades de los materiales de partida y de los nuevos materiales compuestos. Esta investigación utiliza la mezcla en proporciones adecuadas de PP (polipropileno) y PEAD (polietileno de alta densidad) reciclados, como matriz polimérica, reforzada con cantidades óptimas de fibras naturales concretamente tetera (*Stromanthe stromathoides*).

Los plásticos contenidos en los residuos sólidos urbanos (RSU) son mayoritariamente polietileno (PE) y polipropileno (PP) (alrededor del 60%) y en menor proporción están el poliestireno (PS), cloruro de polivinilo (PVC), polietilentereftalato (PET), poliestireno-butadieno (PS-BD), poli(metacrilato de metilo) (PMMA) [1].

El mismo autor sustenta que la reutilización directa de los materiales plásticos está limitada actualmente al 1-2%, debido a los cada vez más elevados requerimientos de calidad de los productos.

No todos pueden ser reciclados fácilmente, pero la importancia del mismo, cobra especial importancia desde la perspectiva ecológica. En el área del reciclaje existen los métodos llamados primario, secundario, terciario y cuaternario. El primario tiene que ver con la utilización de partes del plástico pero en aplicaciones diferentes y se lo obtiene por recortes del material original. El secundario es el más empleado y es el utilizado en esta investigación y se refiere a la fusión, de los desechos que son convertidos en productos de diferentes formas y con mayor espectro de aplicaciones, las cuales son diferentes a las del plástico original. El terciario es un proceso de tipo químico, consistentes en el aprovechamiento de los componentes químicos del plástico. La ruta química de reciclado terciario es la solvólisis o descomposición química, la cual se puede realizar por diferentes vías: metanólisis, glicólisis, hidrólisis y aminólisis [2]. El cuaternario, consiste en la

incineración para recuperar energía.

Las fibras de origen vegetal son sustancias complejas, con una combinación peculiar de diferentes constituyentes vegetales heterogéneos; entre los más importantes están la celulosa, la lignina y la pectina. La celulosa forma el esqueleto de las paredes de la célula, y la hemicelulosa forma los materiales adherentes que la unen. La manera en que todas estas células constituyentes se orientan es todavía un misterio en las ciencias de las fibras.

Son amplios los estudios de fibras en materiales compuestos de los cuales podemos mencionar a varios autores [3-7], quienes realizaron investigaciones sobre refuerzos de plásticos empleando fibras procedentes de residuos textiles de algodón y lino, y fabricación de cuerdas como sisal, cáñamo, fique y kenaf y concluyen que el aprovechamiento de fibras vegetales de desecho es perfectamente viable con la peculiaridad de su disparidad en forma y tamaño obligando a la peletización previa y a la utilización de compatibilizantes para obtener el producto final. De igual manera se han desarrollado materiales de construcción con base en el empleo de lechuguilla y concreto [8]. *Quesada*, y colaboradores emplean el yute y piña como refuerzo de materiales [9].

En Colombia, Artesanías de Colombia (Censo Artesanal Nacional del sector Artesanal, 1998) indica que en el 57% de los oficios artesanales se utiliza trabajos en tejeduría. *Castro* [10] ha desarrollado aglomerados de residuos de madera con mezclas de polímeros sintéticos y almidones, y se han obtenido láminas prefabricadas aglomeradas de características biodegradables [11]. Todos estos trabajos se han enfocado sobre fibras naturales del centro del país, en especial de la zona del Eje Cafetero. Otras fibras empleadas como soporte de materiales compuestos son la caña de azúcar (género *Saccharum*) [12], los fiques (*Agave sisalana*, *Agave fourcroydes*) [13-14], Palmas (*Yucca carnerosana*, *Roystonea Regia*, *Phoenix sylvestris*) [13-15].

En el Departamento de Nariño (Colombia), entre otras fibras, las más utilizadas por los grupos humanos de la región han sido el Barniz (resina extraída del arbusto de la *Mopa Mopa - Elaeagia pastoensis*-), la Palma de Iraca (*Carludovica palmata*, el Tamo (extraído del bagazo de la cebada), el Fique (*Agave sisalana*), y la Tetera (*Stromanthe stromathoides*).

La tetera (*Stromanthe stromathoides*) se cultiva en la región de *Ricaurte*, pie de monte costero en el Departamento de Nariño (Colombia) y se utiliza como materia prima en artesanías.

Propiedades estructurales de los materiales reforzados con fibras son ampliamente estudiadas por varios autores [3, 4, 14, 16,17].

Sin embargo, una reciente investigación de los diseñadores industriales *Córdoba* y *Bonilla*, lograron obtener un compuesto a partir de resina poliéster (RP) y fibra Tetera molida, al igual que tabletas longitudinales de 5 mm de espesor con las cuales se desarrollaron diferentes prototipos,

aplicables al diseño de sillas. No obstante que el uso de polímeros reforzados con fibras vegetales han sido ampliamente estudiados, los materiales compuestos a partir de polímeros reciclados y fibra vegetal, son relativamente recientes [18].

METODOLOGIA

La presentación de la Tetera como materia prima, es en cintas flexibles de alrededor de 1.500 a 2.000 mm de largo por 35 a 40 mm de ancho, con un espesor variable entre 0,3 a 0,7 mm. Posteriormente es molida con un molino de discos, hasta un tamaño de 1 a 3 mm que es el utilizado como refuerzo.

El PP se lo recicló tomando tapas de botellas, previamente seleccionadas, fracturadas con martillo de bolas y cortadas a tamaño variables entre 3 y 5 mm. El PEAD, se tomó de bolsas plásticas variables, que se despedaza manualmente y posteriormente peletizadas por la empresa “Cooemprender”, de la ciudad de Pasto, en tamaño aproximado de 3 a 5 mm. Se mezcló en proporciones de 2, 3, y 5% de fibra con cada uno de los polímeros reciclados. Para el manejo de las mezclas se hizo uso de un diseño experimental, irrestrictamente al azar en una disposición factorial 2 x 3 x 3 (A x B x C donde A = PP ó PEAD, B = porcentaje de fibra tetera, y C = Temperatura). Los porcentajes se escogieron tomando como base los trabajos recientes, que permiten determinar, para este caso, los límites más adecuados.

Además se realizó mezcla de PP y PE reciclado, en porcentajes de 90-10, 50-50, y 70-30, respectivamente, con 3% de tetera.

Las mezclas se sometieron a extrusión en extrusora tipo husillo, de construcción nacional, tipo laboratorio, con relación L/D = 20. La máquina a través del tornillo de extrusión permite el transporte, fundición, y homogeneización y aumenta la presión del material para que pueda pasar a través del dado y así obtener una forma adecuada. Las pruebas mecánicas se realizaron tomando como referencia las normas ASTM D1037 (2009) especiales para paneles aglomerados y con esta base se diseñaron moldes de las probetas, las que se elaboraron en aluminio y se acoplaron a la máquina extrusora

En el laboratorio de bromatología de la *Universidad de Nariño*, se realizaron las pruebas de humedad, celulosa, lignina y densidad de la tetera. La densidad aparente de las diferentes muestras se calculó a partir de la relación masa/volumen y se tomaron tres muestras de cada material y a cada una se le realizaron cinco mediciones. Los análisis químicos y la elaboración de las probetas, para pruebas de flexión, compresión, a baja velocidad se obtuvieron en el laboratorio de Materiales de la misma universidad. Los resultados se interpretaron de acuerdo a *Smith* [16].

DISCUSION DE RESULTADOS

La Tabla 1, muestra los resultados de los análisis bromatológicos de la fibra. Los resultados, son similares a los reportados por Córdoba y Bonilla [18].

Tabla 1. Resultados bromatológicos de la fibra vegetal Tetera.

<i>Análisis</i>	<i>Fibra Tetera % B.P.S</i>	<i>FibraTetera % Base seca</i>
Humedad	4,28	0
Celulosa	61,06	63,94
Lignina	17,20	18,73
Densidad (g/cm ³)	-	0,6

Posteriormente, se estandarizó en la extrusora las temperaturas de trabajo para las tres zonas por donde el material es obligado a pasar, el cual transporta, funde y homogeniza así: PE 90, 120, 180°C y para el PP 130, 150 y 200°C

La influencia de la celulosa y lignina, que lleva la fibra tetera, en la mezcla polimérica, no es significativa, por cuanto la fibra como se verá adelante no reacciona con la matriz, mientras si afecta la densidad del material reforzado, porque lo vuelve más liviano, propiedad importante para la producción de madera plástica y materiales similares. La disminución es importante en todos los casos (Tabla 2).

Tabla 2. Densidades para los diferentes porcentajes de fibra.

<i>Polímero</i>	<i>Polietileno reciclado</i>				<i>Polipropileno reciclado</i>			
% Polímero	100	98	97	95	100	98	97	95
% Fibra tetera	0	2	3	5	0	2	3	5
Densidad (g/cm ³)	0,72	0,67	0,66	0,63	0,69	0,57	0,55	0,52

<i>Polímero</i>	<i>PP/PE</i>		<i>PP/PE</i>		<i>PP/PE</i>	
% polímero	90/10		70/30		50/50	
% Fibra tetera	0	3	0	3	0	3
Densidad (g/cm ³)	0,63	0,57	0,68	0,61	0,62	0,54

La Figura 1 muestra el comportamiento de polietileno sin fibra y con diferentes porcentajes de ella, para las pruebas de compresión. Se observa que para el caso del polietileno reciclado y reforzado con fibra, alcanzan valores de resistencia, inferiores al presentado por la matriz sin fibra. La fibra incorporada a la matriz de PE, al no reaccionar químicamente, se une en forma mecánica y separada de la matriz y esto provoca microvacíos en la interfase fibra-matriz que hace que disminuya la resistencia.

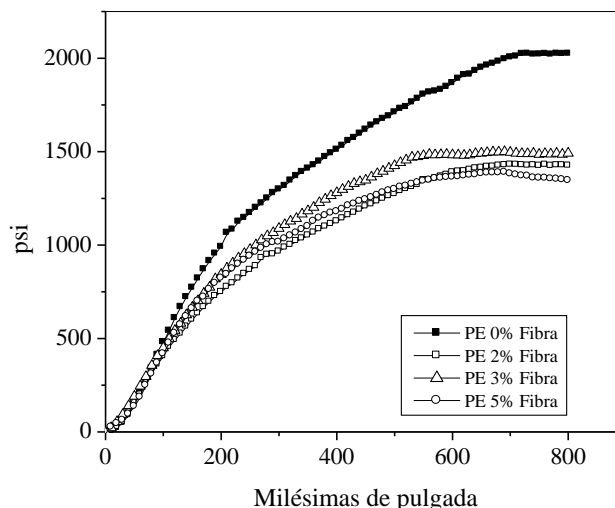


Figura 1. Ensayo de compresión para PE puro y con 2, 3 y 5% de fibra.

Para el caso del PP sin fibra (Figura 2), se observa que tiene un comportamiento similar de alta resistencia y una vez alcanza la carga máxima, tiende a la ruptura, hecho que no se observa cuando se le agrega fibra, lo que indicaría que se mejora su ductilidad aunque hay un detrimento de su resistencia a la compresión, lo cual podría ser aprovechado para aplicaciones como la madera plástica y constituye por sí solo una ventaja ya que es posible introducir al menos un 5% de fibra, que vuelve el material mas liviano. En ambos casos con los porcentajes agregados de fibra, alcanzan valores muy similares.

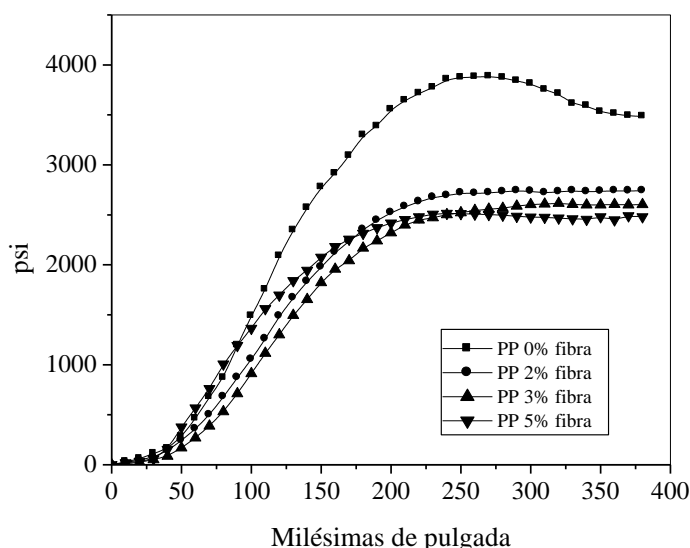


Figura 2. Ensayo de compresión para PP y con 2, 3 y 5% de fibra.

Las propiedades de resistencia a la flexión para el polietileno que se muestran en la Figura 3, se mejoran con la introducción de fibras a la matriz, pues se obtiene un material capaz de

deformarse más antes de romperse ya que el grado de deformación aumenta, superior al de la resina sin fibra, cuya tendencia a la rotura es mas evidente que la matriz reforzada.

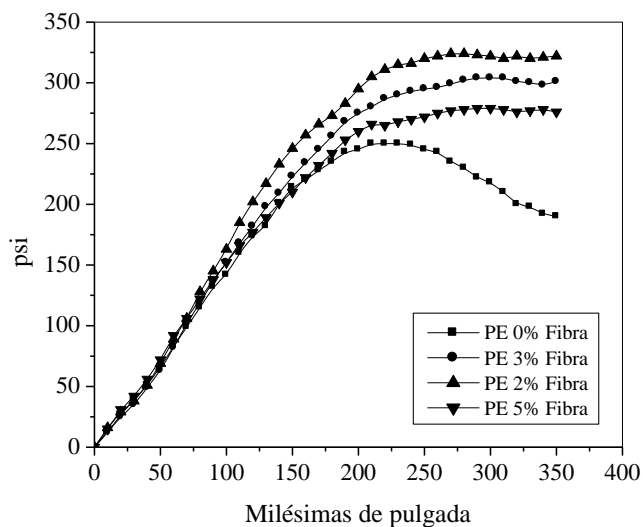


Figura 3. Ensayo de flexión para PE y con 2, 3 y 5% de fibra.

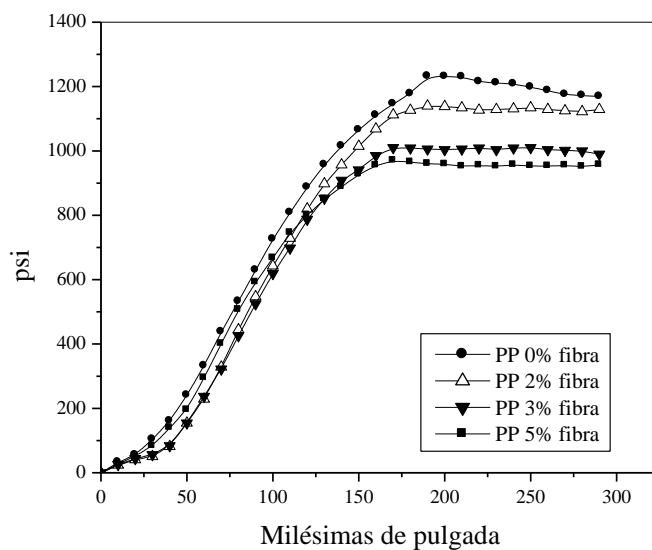


Figura 4. Ensayo de flexión para el PP puro y el PP con 2, 3 y 5% de fibra.

Para el PP, la resistencia de la matriz sin refuerzo de fibra, es ligeramente mayor que la matriz con refuerzo, pero una vez alcanzado su máximo valor, es decir una vez alcanzado el límite elástico, tiende a la rotura, mientras que las mezclas de PP con fibra adquieren mayor ductilidad, propiedad que se persigue para materiales livianos y muy deformables.

En los plásticos los enlaces primarios son covalentes fuertes los cuales están presentes a lo largo de las cadenas moleculares y estos no se ven afectados por la presencia de la fibra tetera. Sin

embargo, las fuerzas secundarias que unen las cadenas entre si, y que restringen sus movimientos relativos, si son influenciados por la fibra que se refleja en las propiedades mecánicas, al permitir aumentar la deformabilidad en detrimento de la resistencia.

Las mezclas en las tres proporciones 90-10, 50-50 y 70-30% de PP y PE, respectivamente, y con un 3% de fibra, disminuye su resistencia a la flexión, respecto a las mismas proporciones sin fibra, como se observa en la Figura 5. A bajas grados de deformación las cadenas moleculares en el polímero tienen suficiente tiempo para alinearse entre si bajo la influencia del esfuerzo aplicado y esto explicaría ese aumento en la ductilidad. Estas mezclas son más favorables que el empleo de un solo polímero como se detalla en las siguientes figuras.

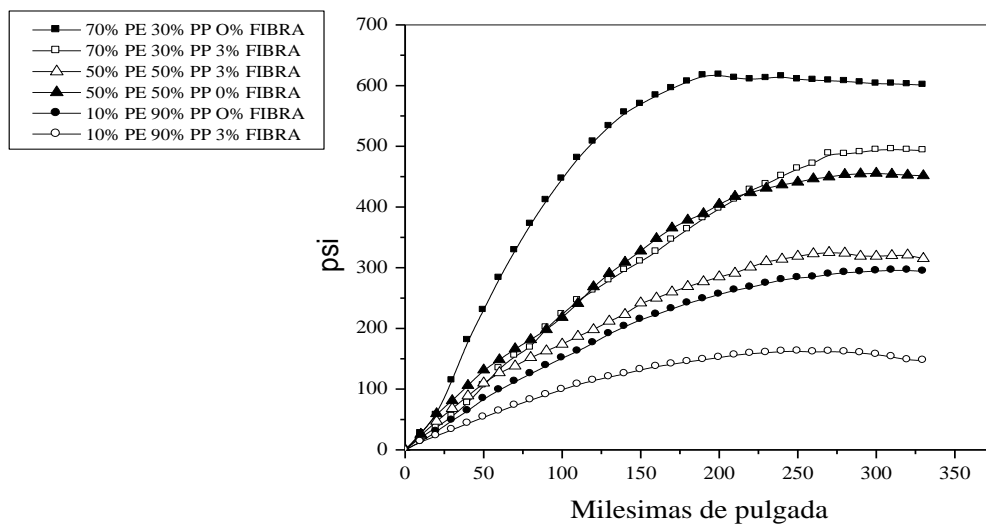


Figura 5. Flexión para la mezcla PE/PP y 3% de fibra.

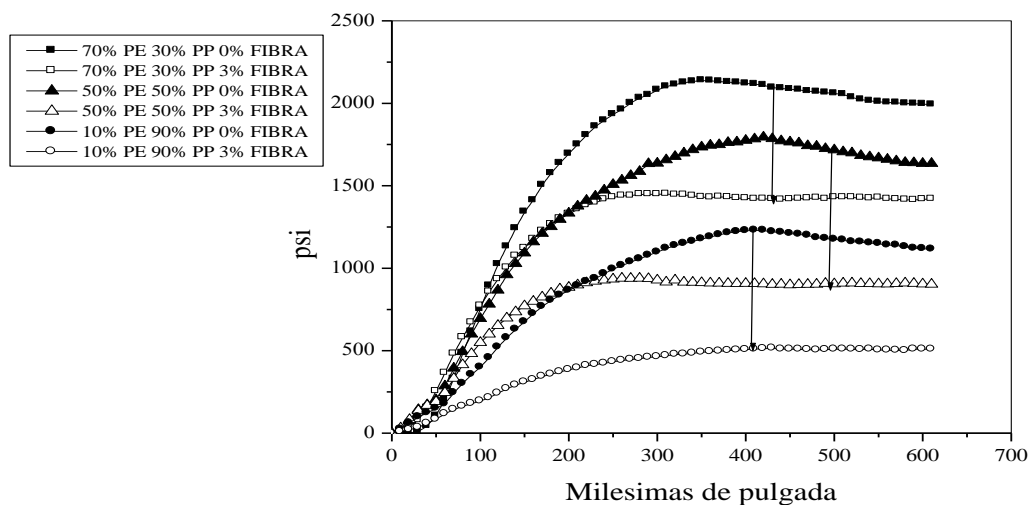


Figura 6. Compresión para la mezcla PE/PP y 3% de fibra.

Para la compresión, esas mismas proporciones, con el 3% de fibra, exhiben menor resistencia, menor módulo, pero su ductilidad es muy alta, como puede verse en la Figura 6. En este caso la disminución de resistencia es más significativa, pero con la fibra la tendencia a la rotura es menor y tiende a una estabilidad mientras se deforma, lo cual es importante para los propósitos de fabricar madera plástica u objetos similares que requieran gran deformabilidad.

Hay coherencia en las pruebas con las de flexión ya que exhiben resultados similares. El esfuerzo con fibra sugiere el suministro de un medio para producir anisotropía. Se cree que el material tendrá resistencia mejorada en la dirección de alineamiento, pero en detrimento de su resistencia en sentido transversal

De acuerdo a estas características, la proporción 70-30, y 3% de fibra constituye la más adecuada para obtener por ejemplo, madera plástica.

Finalmente, las pruebas de tensión para las proporciones analizadas, indican que la resistencia disminuye con la fibra y así lo indica la Figura 7.

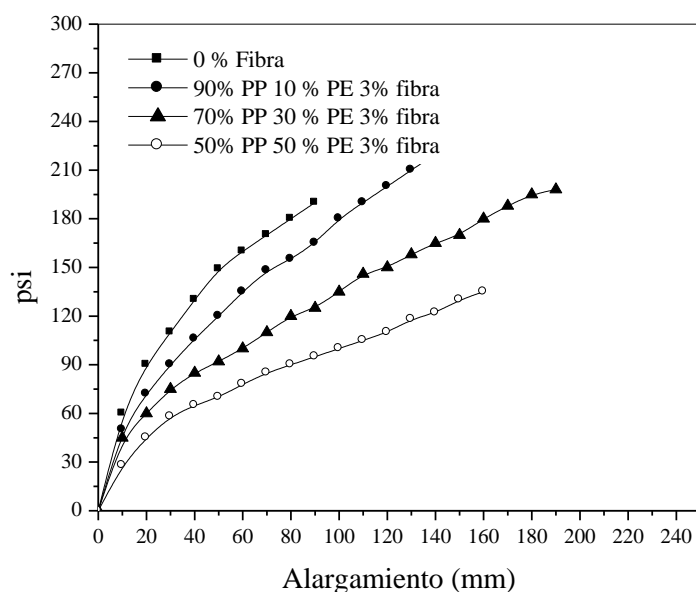


Figura 7. Tensión para varias mezclas de PP y PE con 3% de fibra.

En la microscopía electrónica mostrada en la Figura 8, se aprecia los componentes de la mezcla 50/50 de PP y PE sin fibra donde se entremezclan los polímeros en forma desordenada. Esto explicaría la disminución de su resistencia, ya que se la falta de uniformidad origina vacíos que no se eliminan en la extrusión. En la Figura 9 se detalla la falta de homogeneidad en los componentes de la mezcla 50/50 PP/PE sin fibra y la microscopía de la Figura 10, muestra la formación de los microporos o vacíos.

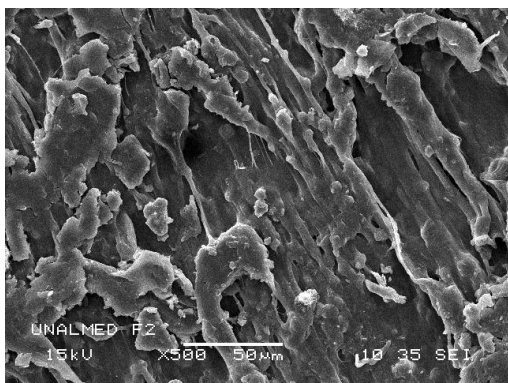


Figura 8. Mezcla de 50/50 de PP/PE sin fibra.

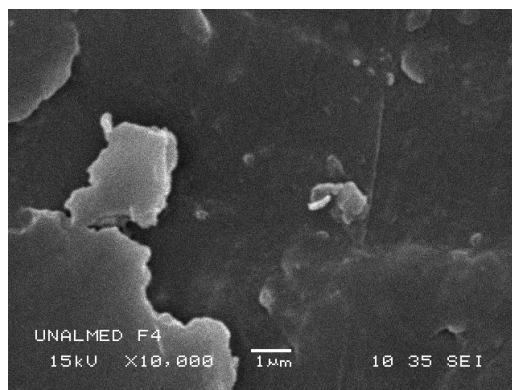


Figura 9. Detalle de la mezcla 50/50 sin fibra.

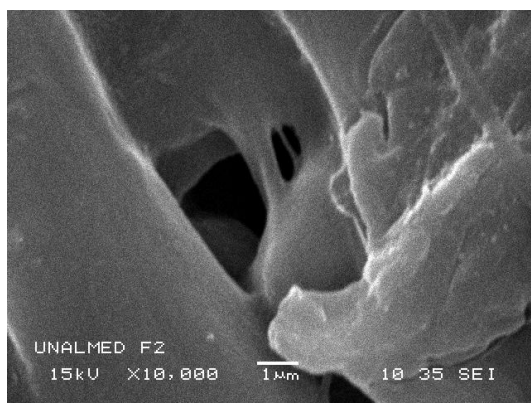


Figura 10. Microvacío en la matriz 50/50 sin fibra.

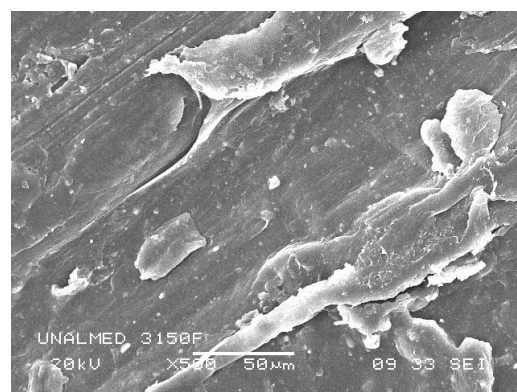


Figura 11. Matriz 70/30 de PP/PE con fibra.

La morfología de la Figura 11 registra la composición 70% de PP y 30% de PE, pero con fibra. La parte clara corresponde al PE y la oscura a PP. Se observa una inserción tipo mecánica, de los dos componentes, separada de la matriz. Forma realmente una interfase fibra/matriz PP-PE y quizá esta particularidad explica la mayor ductilidad que experimenta con la presencia de la fibra tetera.

CONCLUSIONES

Todas las pruebas de compresión, flexión y tensión, muestran que la fibra no aumenta la resistencia, pero si incrementa su ductilidad y esto puede ser aprovechado como ventaja para materiales que requieran ser livianos y muy deformables

La disminución de la densidad en todas las pruebas es una opción interesante que puede ser utilizada cuando se requiere materiales livianos y que ofrezcan buena ductilidad

No se encontró una gran influencia del tamaño de fibra en las propiedades de compresión, flexión y tensión, lo que no justificaría la selección de un solo tamaño de fibra, desechando la posibilidad de utilizar los demás. Puede utilizarse fibra desde 1 a 10 mm sin que se afecte la matriz, y es posible introducir al menos un 5%, cantidades mayores originan fragilidad

Los materiales reforzados obtenidos, con polímeros reciclados reforzados con fibra, y la proporción 70% de PP con 30% de PE, es una buena opción para producir madera plástica, para emplearla en carrocerías que utilizan madera, o en bastidores para separar con malla o alambre, zonas de producción agropecuaria.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la vice-rectoría de investigaciones de la *Universidad de Nariño (Colombia)* la financiación de este proyecto mediante acuerdo No 975 del 20 de abril del 2008 y al Dr. *Oswaldo Morán* de la *Universidad Nacional de Medellín* por su colaboración en la toma de las microscopías.

BIBLIOGRAFÍA

1. Arandes JM, Bilbao J, López D, *Rev. Iberoam. Polim.*, **5(1)**, XXX (2004)
2. Dawans F, *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, **47**, 837 (1992)
3. Yan L, Yiu-Wing M, Lin Y "Sisal fibre and its composites: a review of recent developments" publicado en "Composites Science and Technology", **60**, 2037 (2000)
4. Hull D, Clyne T "An Introduction to Composite Materials". Cambridge University Press. 1996. Cambridge, Reino Unido.
5. Arribas JM, Navarro JM, Rial C, *Plásticos Modernos*, **81**, 467 (2001)
6. De Campos C, Rocco F "Caracterización del MDF producido a partir de eucalipto y adhesivo poliuretano natural", *Maderas. Ciencia y Tecnología*, **6(1)**, 73 (2004)
7. Amigó V, Salvador MD, Sahuquillo O, Llorens R, Martí F "Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales" publicado en REDISA 2008 (Ed). *I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos* (2008). Castellón (España). Recuperado el 30 de nov. 2009. http://www.upv.es/VALORES/.../REDISA08_Fibras_naturales.pdf
8. Juarez C, Valdez P, Durán A, *Revista Ingeniería de Construcción*, **19 (2)**, 83(2004)
9. Quesada K, Alvarado P, Sobaja R, Baudrit J, *Rev. Iberoam. Polim.*, **6(2)**, 157(2005)
10. Castro VAA "Estudio de propiedades mecánicas y de durabilidad de láminas prefabricadas de médula de arboloco y fique, reforzadas con fibra Tetra". Grupo de NanoTecnología de BUINAIMA, Universidad Nacional de Colombia. 2005
11. Caiza AC "Láminas prefabricadas aglomeradas con la médula del arboloco "Montanoa quagrangularis". Trabajo de grado, Manizales, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 2005
12. Chavez G, Morales J, Bruno M, *Polymer Testing*, **19**, 251 (2000)
13. Belmares H, Barrera A, Castillo E, Verheugen E, Monjaras M, **Patfoort GA** "New Composite Materials from Natural Hard Fibers" publicado en *Industrial Engineering Chemistry Prod. Res.*, **20**, 555 (1981)
14. Hepworth D, Hobson R, Bruce D, Farrent JW "The use of unretted hemp fibre in composite manufacture", *Composites-Parte A.*, **31**, 1279 (2000)
15. Mohan Rao K, Mohana Rao K (2005) "Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo". Recuperado el 12 de diciembre de 2009 <http://www.elsevier.com/locate/compstruct>.
16. Smith W "Principles of materials, science and engineering". San Francisco: McGraw-Hill, 1998
17. Llop MF, López JP, López A, Vilaseca F, Mutjé P, *Anales de mecánica de la fractura*, **22**, 306 (2005)
18. Córdoba C, Bonilla H "La Fibra Natural Tetra (*Stromanthe stromathoides*), en la utilización de nuevos materiales para el Diseño de productos". Publicado en: PUCE-SI, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador (Ed). *Quinto Congreso Internacional de fibras naturales con énfasis en Materiales de Construcción*, 2009