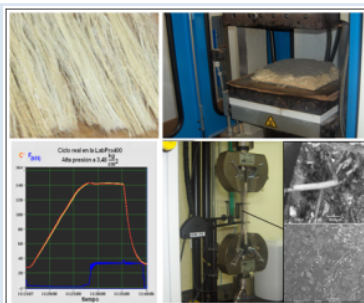


DESEMPEÑO MECÁNICO DEL COMPUESTO POLIETILENO ALUMINIO REFORZADO CON AGRO FIBRAS CONTÍNUAS DE FIQUE

Miguel A. Hidalgo^{1*}, Mario F. Muñoz¹, Karen J. Quintana¹

1: Facultad de Ingeniería, GITEM, Universidad Autónoma de Occidente, GMC, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia

* e-mail: mahidalgo@uao.edu.co



RESUMEN

El presente artículo muestra el estudio del comportamiento físico-mecánico del PEBD/Al recuperado de empaques de Tetra Pack de origen post consumo reforzado con fibras continuas de fique dispuestas de forma unidireccional. Los compuestos se obtuvieron a diferentes porcentajes de fibra (10, 30, 50 % v/v), se evaluó el desempeño del material a tensión, flexión, impacto, densidad y absorción de agua; se pudo observar la evolución de la rigidez del compuesto respecto a la incorporación de fibras sin tratamiento en la matriz, se presentó un incremento en las propiedades como la resistencia y módulo a tensión y flexión, pero decrece considerablemente la capacidad de deformación del material. Por otra parte, la capacidad del compuesto para absorber agua, es influenciada directamente por la naturaleza hidrofílica del fique. Adicionalmente se realizaron observaciones del compuesto utilizando la técnica MEB, con el objeto de observar la adherencia de la fibra a la matriz, la homogeneidad y porosidad del compuesto; se identificó que la adherencia interfacial es aceptable, a volúmenes bajos de fibras, y deficiente a volúmenes altos de incorporación, por la presencia de vacíos en la interfaz y ausencia de matriz en la superficie de la fibra. Las probetas se obtuvieron de tableros fabricados de en prensa de platos calientes.

Palabras Claves: NFPCs, Compuesto, Fibras de fique, PEBD/Al, Fibra Contínua, Tetra Pak.

MECHANICAL BEHAVIOR OF POLYETHYLENE ALUMINUM COMPOSITE REINFORCED WITH CONTINUOUS AGRO FIQUE FIBERS

ABSTRACT

The study of physical-mechanical behavior of recycled LDPE/AL recovered from Tetra Pak packing post-consumer source reinforced with continuous Fique fibers arranged in only one direction is presented in this paper. The composites were obtained from different fiber percentages (10, 30, 50 % v/v) and according to a design methodology, tensile, flexural, impact, density and water absorbing tests were made. An increase of strength, tensile modulus and flexion properties was presented where the stiffness evolution of composite compared to untreated fiber incorporation into the matrix was observed, but the capacity of deformation of the material decreases considerably. More over, the composite's ability to absorb water is directly influenced by the hydrophilic Fique nature. Additionally, observations of the composite were made using SEM in order to observe the fiber adhesion to the matrix, and the composite's homogeneity and porosity. An acceptable interfacial adhesion was identified with low fiber volume incorporation, and a deficient interfacial adhesion with high fiber volume incorporation, due to the presence of voids at the interface and lack of matrix in the fiber surface. The specimens were obtained from manufactured boards according to ASTM D4703 through the molding process in a hot press controlled by computer.

Keywords: NFPCs, Composite, Fique fiber, LDPE/Al, continuous fibers, mechanical Behavior, Tetra Pak.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad algunos sectores industriales como el aeroespacial, el automotriz y el de la construcción; han mostrado un gran interés por los compuestos y por su desarrollo, siendo esto debido a que presentan muy buenas propiedades específicas y su costo es bajo frente a los materiales tradicionales.

Los compuestos de matriz polimérica están conformados por dos fases, una fase continua (matriz polimérica) y una fase dispersa (partículas o fibras). Estos son evaluados principalmente por medio de sus propiedades mecánicas, las cuales dependen de cada uno de sus componentes, de la disposición de la fase dispersa en la continua y de la interacción interfacial de los componentes.

En los últimos años ha crecido el interés mundial por la incorporación de fibras celulósicas, como el sisal, jute, henequén, pulpa de madera, entre otras, en los materiales compuestos; esto debido a que actualmente se encuentran estudios que demuestran sus buenas propiedades mecánicas, debido a la incorporación de fibras naturales, evidenciando que las fibras pueden actuar como refuerzo de matrices poliméricas[1]. Estas fibras naturales le proporcionan a los compuestos de matriz polimérica algunas ventajas como son la baja densidad y un cierto grado de biodegradabilidad. Sin embargo, los compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras naturales presentan algunas dificultades causadas principalmente por la poca compatibilidad entre las fases; se ha observado este comportamiento debido a la naturaleza hidrofílica de las fibras y las características hidrofóbicas de la matriz[2].

El polialuminio (PEBD/Al) es un material fabricado a partir del reciclado de envases continua vida de Tetra Pak, estos envases están compuestos por 5 % de aluminio, 20 % polietileno y 75 % papel, los cuales son materiales con un período de descomposición muy prolongado. El reciclaje de este producto se basa en la separación de la pasta celulósica de las capas de polietileno y aluminio que conforman el material; este proceso se denomina hidropulpado. De acuerdo a esto el PEBD/Al se puede clasificar como un material compuesto particulado con aproximadamente 20 % de aluminio y 80 % polietileno de baja densidad [3].

El PEBD/Al ha sido estudio por diferentes autores, quienes han determinado sus propiedades físico-mecánicas, permitiendo el uso de este material en la

industria[4-5], en aplicaciones de baja exigencia estructural, como las tejas plásticas, láminas para cubiertas, pupitres y similares [6]. Con miras a incrementar estas propiedades con el fin de ampliar el rango de aplicaciones industriales, en este estudio se evaluó el comportamiento físico-mecánico de este material reforzado con fibras de fique. El fique es la fibra con mayor producción en Colombia, la cual genera un promedio de aproximadamente 11200 empleos anuales directos en más de 17000 Has. distribuidas en diferentes departamentos del país, principalmente en Cauca, Nariño, Santander y Antioquia, departamentos que producen el 98 % de la fibra en Colombia. La industria nacional consumió el 52 % de la producción nacional durante el 2003 [7].

Por lo tanto, en el presente trabajo se estudia el comportamiento de los compuestos obtenidos con fibras de fique continuas dispuestas de forma unidireccional, las fibras no fueron tratadas, por lo tanto la respuesta mecánica está relacionada con la interacción entre la fibra sin tratar y la matriz reciclada.

2. PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo de este proyecto comprende en su fase experimental, las especificaciones generales del PEBD/Al y la fibra de fique, la preparación del material compuesto, además de los parámetros implementados en cada una de las pruebas de caracterización. Con el fin de determinar el comportamiento del compuesto y el efecto causado por la incorporación del fique a la matriz, se trataron tres porcentajes de carga de fibra continua (10, 30 y 50 %), y se evaluó el desempeño a la tensión, flexión, impacto, densidad y absorción de agua.

2.1 Materiales.

El material estudiado está compuesto por PEBD/Al y fibras de fique, algunas propiedades de estos materiales se muestran en la tabla 1 [3,8-10].

2.2 Procesamiento.

El PEBD/Al se llevó a un tamaño mínimo de partícula, por medio de un proceso de molienda, el cual fue necesario para facilitar la impregnación de las fibras con la matriz durante el moldeo en prensa de platos calientes. Para la producción de los tableros se utilizó una prensa automática (*Automatically operated platen press, type LabPro400 of FONTIJNE PRESSES*), controlada

por computador. Las muestras fueron moldeadas por compresión a 140 °C y 3.48 kg/cm² durante 12 min incluyendo el tiempo de refrigeración, el ciclo se puede observar en la figura 1. Las fibras de fique se secaron en un horno de vacío a 70 °C durante 12 horas antes de la preparación de los compuestos.

Tabla 1. Propiedades de las componentes del material estudiado.

Material	PEBD/Al	Fique
Densidad (g/cm ³)	1,08	1,47
Absorción de agua (%)	0,12	60
Temperatura de fusión °C	107	---
Temperatura de degradación °C	---	220
Diámetro (μm)	---	0,24
Resistencia a tensión (MPa)	11	132,40
Módulo de elasticidad (GPa)	0,16	8,20-9,10
Elongación última (%)	46	9,80

En la prensa las fibras continuas de fique se organizaron de forma unidireccional y se distribuyeron homogéneamente en la matriz, de acuerdo a cada uno de los porcentajes establecidos, como se muestra en la figura 2.

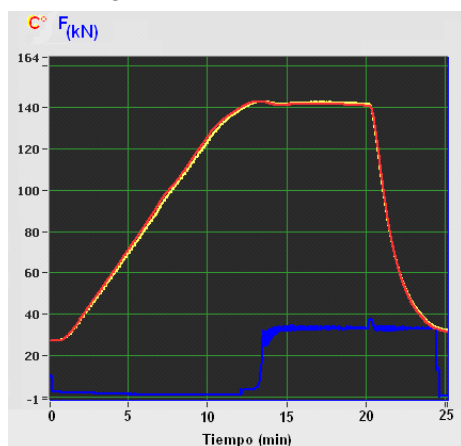


Figura 1. Gráfica de procesamiento de tableros, utilizando prensa de platos calientes LabPro400.

Adicionalmente se realizaron placas de PEBD/Al sin reforzamiento, bajo los mismos parámetros de proceso usados para la fabricación del compuesto.

2.3 Caracterización.

Los parámetros y las normas bajo los cuales se realizaron las pruebas se presentan en la tabla 2.

Debido a la propiedad hidrofílica que presenta la fibra de fique fue descartado el ensayo de densidad

convencional de inmersión en agua destilada, siendo necesario utilizar como líquido de inmersión aceite mineral, el cual tiene una densidad de 997,60 g/cm³.

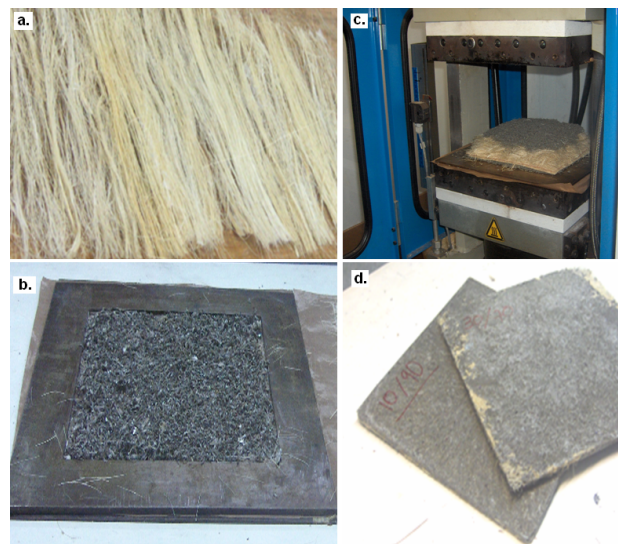


Figura 2. a.) Fibras continuas de fique, b.) PEBD/Al molido, c.) Montaje en prensa de platos calientes, d.) Apariencia del material para troquelar probetas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Ensayo de tensión.

En la figura 3, se puede observar algunas probetas troqueladas para los ensayos de tensión.



Figura 3. Aspecto de probetas troqueladas para ensayos de tensión ASTM D638 del compuesto.

En la figura 4, se presenta los resultados de curvas promedio de los ensayos de tensión de los diferentes compuestos, se puede evidenciar fácilmente que en la medida en la que se incrementa el contenido de fique, las propiedades a tensión evoluciona favorablemente; mientras que la deformación disminuye significativamente respecto a la deformación obtenida en el PEBD/Al.

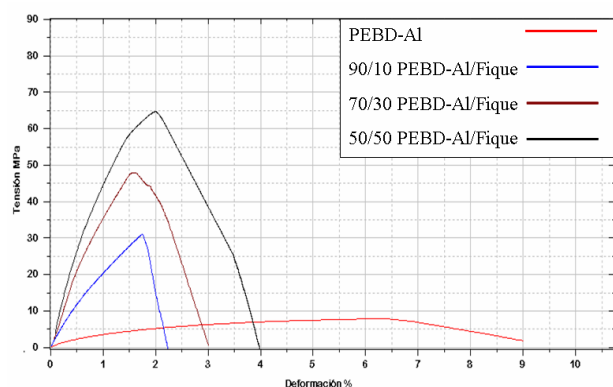


Figura 4. Curva Esfuerzo – deformación. Ensayo de tensión.

Tabla 2. Parámetros de ensayos.

Ensayo	Norma	Acond.	Parámetros de ensayo	
Tensión	ASTM D638	50 % Humedad	Velocidad	5 mm/min
		25 °C por 48h	Temperatura	25 °C
Flexión	ASTM D790	50 % Humedad	Velocidad	1,71 – 3,24 mm/min
		25 °C por 48h	Temperatura	25 °C
Impacto	ASTM D256	50 % Humedad	Velocidad	11 ft/s
		25 °C por 48h	Temperatura	25 °C
Densidad	NTC 907	50 % Humedad	Escala del martillo	2 y 10 lb.ft
		25 °C por 48h	Líquido de inmersión	Aceite mineral
Absorción de agua	ASTM D570	50 °C por 24h	Tiempo	24 h
			Temperatura	23 °C

En el compuesto, la respuesta a la deformación no se ve afectada por los diferentes porcentajes de fibra incorporados, se presenta un incremento significativo del módulo, lo que se puede interpretar como una tendencia a la rigidización del compuesto. En el caso del compuesto reforzado con 50 % de fibra continua, se alcanza un valor máximo de resistencia a la tensión de 67,26 MPa, y un módulo de elasticidad de 7,13 GPa, representando un incremento del 755 % y 1102 % respectivamente frente a la matriz; por otra parte la elongación pasa de 6,50 % para la matriz a 1,89 % para este

compuesto, lo cual representa una reducción del 71 %.

La tendencia de la resistencia a tensión, módulo de elasticidad y elongación, descritas anteriormente pueden apreciarse con mayor claridad en la figura 5.

Teniendo en cuenta que los materiales compuestos fibroreforzados toman propiedades tanto de la matriz como de las fibras, es posible explicar la tendencia a la rigidización del material compuesto, atribuyéndolo a la incorporación de la fibra de fique la cual, como se evidencia en la tabla 1, se caracteriza por tener este tipo de comportamiento altamente rígido, presentando valores de resistencia y módulo de elasticidad superiores al de la matriz y un valor de elongación inferior al reportado para esta.

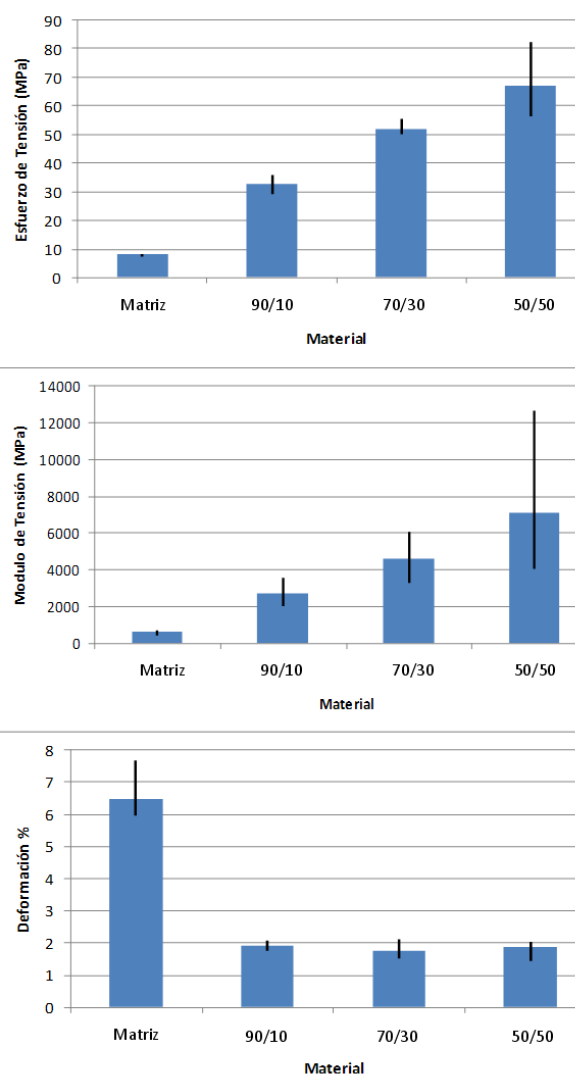


Figura 5. Propiedades a tensión.

3.2 Ensayo de flexión.

En las figuras 6 y 7 se pueden apreciar los resultados obtenidos del ensayo de flexión para los compuestos con las diferentes cargas de fibra y para la matriz.

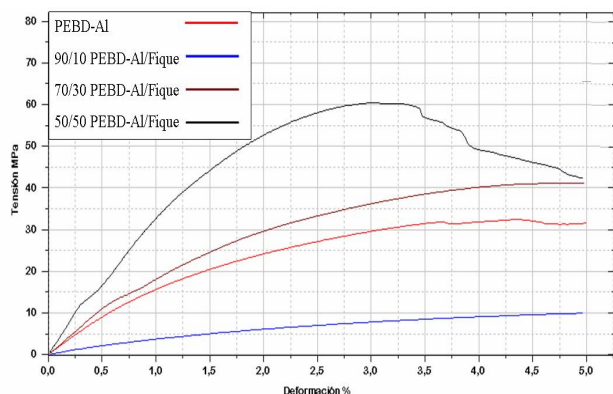


Figura 6. Curva esfuerzo - deformación. ensayo de flexión.

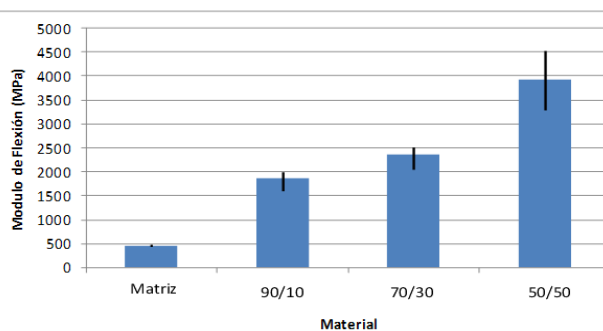
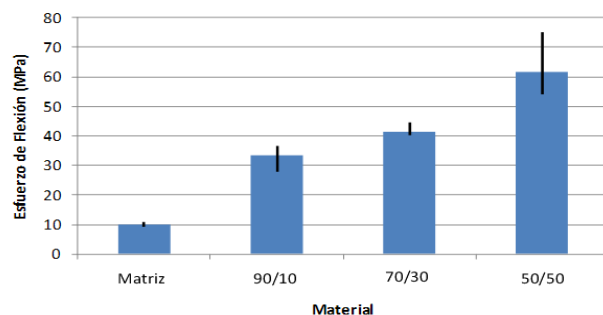


Figura 7. Propiedades a flexión.

En la figura 6, se presentan las curvas promedio para cada uno de los materiales evaluados a flexión, en las cuales se puede observar que el comportamiento a flexión del material compuesto frente a la matriz se conserva, sin embargo, es clara la tendencia a mejorar propiedades como la resistencia y el módulo a flexión conforme

incrementa el porcentaje de fibra de fique en el compuesto.

Como se muestra en la figura 7, el reforzamiento del PEBD/Al con fibra continua mejora las propiedades a flexión del compuesto notoriamente; obteniendo un incremento máximo, para la carga 50/50, de la resistencia y el módulo a flexión de un 517 y 774 % respectivamente, frente a la matriz.

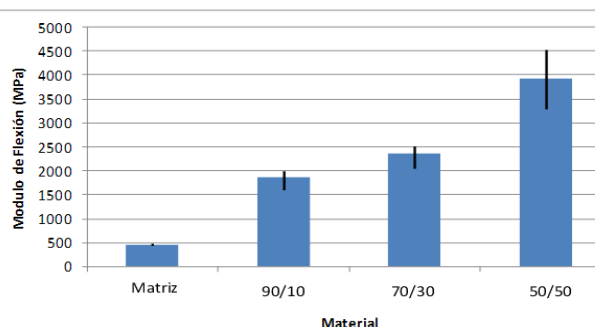
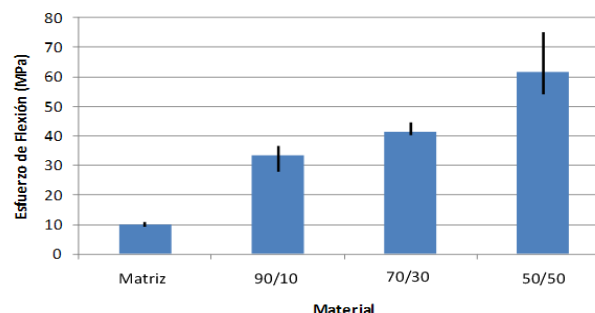


Figura 7. Propiedades a flexión.

3.3 Ensayo de impacto.

La figura 8 muestra el comportamiento del compuesto cuando es sometido a impacto, se puede observar que la resistencia al impacto presenta una relación directa con la carga de fibra. Al incorporar un refuerzo del 50 % de fibra de fique continua, fue posible incrementar la resistencia al impacto de la matriz (PEBD/Al) en un 598 %.

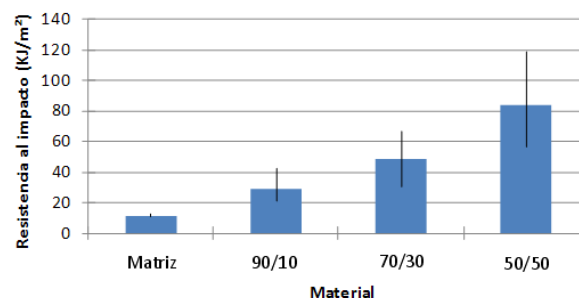


Figura 8. Resistencia al impacto.

Pese a la rigidización que presenta el material a causa de la incorporación de las fibras de fique, este buen comportamiento de resistencia al impacto del material compuesto puede explicarse teniendo en cuenta que el ensayo de impacto se puede considerar como un ensayo de flexión a alta velocidad, en el cual la mitad del material que está directamente expuesta al impacto trabaja a compresión y la otra trabaja a tensión, por lo que, al relacionar este comportamiento con los resultados obtenidos en el ensayo de flexión y tensión, mostrados anteriormente, es de esperarse una respuesta adecuada para este ensayo, en el cual la disposición de las fibras incrementan la resistencia del material al impacto, siendo necesario consumir mayor cantidad de energía para fracturarlas en la medida en que la carga de estas en el compuesto sea mayor.

En esta propiedad mecánica la contribución de la matriz desempeña un papel importante, con un aporte significativo de ductilidad, permitiendo que el compuesto presente una fractura de tipo dúctil, específicamente tipo P de acuerdo a la norma ASTM D1822, en lugar de una abrupta fractura frágil.

3.4 Ensayo de densidad.

Los resultados obtenidos del ensayo de densidad, presentados en la figura 9, muestran un comportamiento casi constante alrededor de $1,04 \text{ g/cm}^3$ frente a la matriz que tiene una densidad de $1,09 \text{ g/cm}^3$.

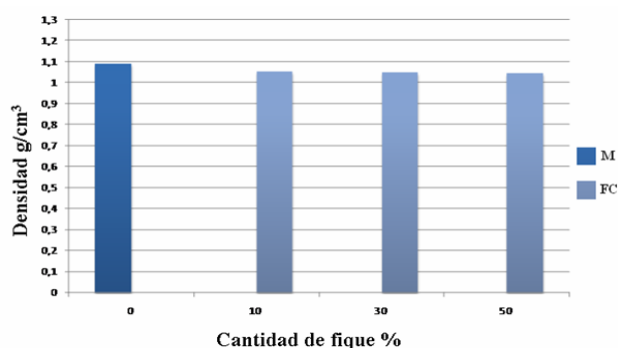


Figura 9. Densidad de los compuestos.

Estos valores representan una disminución del peso del compuesto frente a la matriz, lo que le da un valor agregado al compuesto importante, teniendo en cuenta que se están mejorando las propiedades mecánicas de la matriz con un peso ligeramente inferior, se estarían incrementando las propiedades

específicas del material; permitiendo así optimizar el material desde el punto de vista de diseño y aplicaciones de ingeniería.

Esta ligera reducción en la densidad del material, contraria a las predicciones basadas en los valores de densidad del PEBD/Al y la fibra de fique, los cuales son superiores al valor obtenido experimentalmente para los compuestos, se atribuye a la alta porosidad del material, como se confirmó con las macrografías MEB que se muestran posteriormente.

3.5 Absorción de agua.

La figura 10 muestra el comportamiento del compuesto en cuanto a absorción de agua. La tendencia a incrementar la absorción de agua del compuesto en la medida que se incorpora mayor cantidad de fibra de fique es claramente identificada, y se atribuye a la influencia de la propiedad hidrofílica de la fibra natural; esta situación limita considerablemente las aplicaciones de este compuesto frente a la matriz, la cual es de característica hidrofóbica, afectando sus propiedades y desempeño en situaciones específicas que estén expuestas a ambientes húmedos.

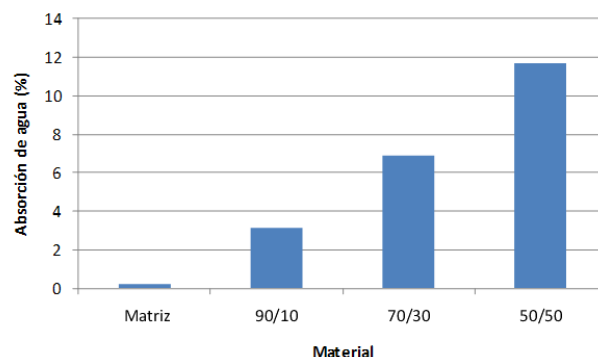


Figura 10. Absorción de agua

Esta problemática puede ser abordada desde dos puntos de vista, I) Por medio de un tratamiento de pre-impregnado a la fibra con un polímero compatible con la matriz, en este caso PEBD, logrando la impermeabilización de la fibra, además de incrementar la calidad interfacial del compuesto [11-12]. II) Debido a que la principal absorción de agua se da en los extremos de la fibra, los cuales quedan ubicados en las zonas laterales del material, es posible impermeabilizar estos extremos mediante la deposición de materiales adecuados que impidan la filtración de agua hacia el interior del material.

Este alto porcentaje de absorción de agua presentado por el compuesto es también atribuido a la presencia de poros y oquedades en el material, lo cual facilita la retención de líquidos en estos espacios vacíos, situación que fue corroborada con las imágenes obtenidas por la técnica de Microscopia Electrónica de Barrido.

3.6 Microscopia Electrónica de Barrido

Por medio de imágenes obtenidas mediante la técnica MEB, se observó el tipo de fractura presente en el ensayo de tensión, para el compuesto de fibra continua como se muestra en la figura 11a, así como la distribución del refuerzo en el compuesto, la cual se puede apreciar en la 11b.

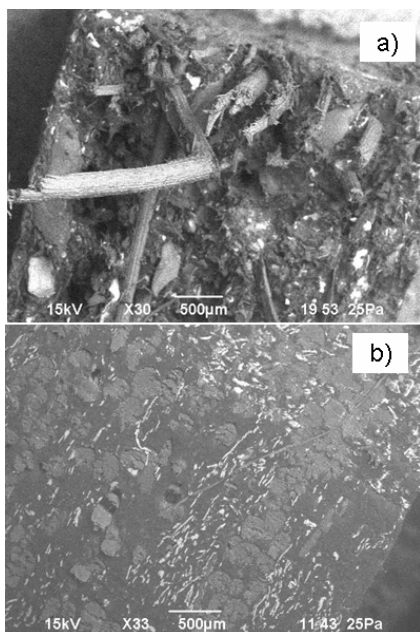


Figura 11. Imágenes MEB. a) Fractura a tensión del compuesto, b) distribución de fibras en la matriz.

La figura 11a, se puede apreciar la contribución dúctil de la matriz y la fragilidad de la fibra, confirmando el tipo de fractura mencionado en el ensayo de impacto.

En la figura 11b se puede apreciar que la distribución y orientación de las fibras del compuesto se presenta de acuerdo a lo establecido en el proceso de fabricación, evidenciando una distribución unidireccional y relativamente uniforme de las fibras de fique en el compuesto.

Los poros del material observados en la figura 12 se atribuyen a la presencia de humedad en las fibras, lo que genera vapores en el proceso de fabricación,

ocasionando poros y afectando las propiedades del compuesto, principalmente la absorción de agua y la densidad.

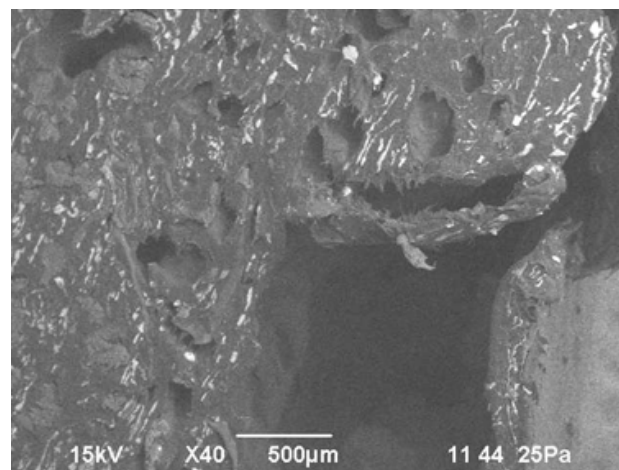


Figura 12. Imagen MEB. Porosidad del material.

4. CONCLUSIONES

Las propiedades mecánicas obtenidas para los diferentes compuestos superan ampliamente las propiedades de la matriz sin refuerzo, diferencia que se hace más significativa en la medida en la que se incorpora mayor carga de fique al compuesto; este comportamiento se debe a que las fibras continuas soportan las cargas permanentemente a lo largo del material, y la transmisión de esfuerzos no es interrumpida debido a la longitud de las fibras.

No obstante las excelentes mejoras obtenidas en las propiedades mecánicas del compuesto, el reforzamiento con fibra de fique incrementa la absorción del agua del compuesto, lo que conlleva a la búsqueda de alternativas para contrarrestar esta absorción, tales como, tratamientos de pre-impregnado a las fibras de fique e impermeabilización de las placas del material compuesto obtenido.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Wambua P, Ivensn J, Verpoest I. composites science and technology. 2003; 63: 1259-1264.
- [2]. Valadez A. Efecto del tratamiento superficial de fibras de henequén sobre la resistencia interfacial fibra- matriz y en las propiedades efectivas de materiales compuestos termoplásticos, Tesis Ph.D. México D.F. (México): Universidad Autónoma Metropolitana, 1999.

- [3]. Lopes C, Felisberti M. Journal of Applied Polymer Science. 2006; 101: 3183-3191.
- [4]. Hidalgo M. Journal of Scientific and Industrial Research, 2011; 70: 232-234.
- [5]. Desdiera C. Blendas de poliamida reciclada e polietileno proveniente da recuperação de embalagens multicamadas, Tesis Ph.D. Campinas (Brasil): Universidade Estadual De Campinas, 2007.
- [6]. Neves A. O Papel, 1999; 53: 24-31.
- [7]. Martínez H, Pinzón N. La cadena del fique en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006.
- [8]. Hidalgo M. "Study of manufacturing process optimization of rigid boards of PEBD/Al composite recycled" En: Proceedings of the 2010 ASME International Manufacturing Science and Engineering Conference. Pennsylvania (EE.UU), 2010.
- [9]. Delvasto S, Toro E, Perdomo F, Mejia R. Construction and Building Materials, 2010; 24: 187-19.
- [10]. Gañán P, Mondragon I. Polymer Composites. 2002; 23 (3): 383-394.
- [11]. Herrera PJ, Valadez A. Composites: Part B, 2005; 36: 597-608.
- [12]. Valadez A, Herrera PJ. Composites: Part A, 2004; 35: 339-345.