

INTERACCIÓN INTERFACIAL DEL COMPUESTO LDPE/Al REFORZADO CON FIBRA DE FIQUE: INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.

M. A. Hidalgo ⁽¹⁾, M. F. Muñoz ⁽²⁾

(1) Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura GITEM, Universidad Autónoma de Occidente, COLOMBIA.

(2) Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura GITEM, Universidad Autónoma de Occidente, COLOMBIA.

E-mail (autor de contacto): mfmunoz@uao.edu.co

RESUMEN

El uso de fibras celulósicas como refuerzo de compuestos de matrices poliméricas se ha incrementado en la actualidad. Sin embargo la naturaleza hidrofílica de las fibras naturales genera problemas de compatibilidad con matrices termoplásticas ya que usualmente estas son de carácter hidrofóbico afectando la calidad interfacial fibra-matriz. Las propiedades de la región interfacial son consecuencia de las interacciones fisicoquímicas que se establecen entre la fibra y la matriz, las cuales juegan un papel muy importante en las propiedades mecánicas finales de los materiales compuesto, debido a que la calidad de la adhesión interfacial es la responsable de la transferencia de cargas de la matriz a la fibra. El objeto de este estudio es conocer la calidad de la adherencia de la fibra de fique en una matriz de LDPE-Al a partir del ensayo de Pull-Out (Micromecánica) usando como parámetro de respuesta el esfuerzo cortante producido entre los dos componentes del materia. Para establecer la longitud crítica de la fibra de fique en esta matriz, se probó diferentes longitudes embebidas en la matriz. En adición a esto se estudió el efecto de la temperatura en las propiedades a tensión que son producidas por la adhesión interfacial del compuesto LDPE-Al/Fique, para esto se fabricaron muestras mediante moldeo en prensa de platos calientes, con porcentajes de 10, 20 y 30 % de fique en peso las cuales se probaron a diferentes temperaturas (25, 40 y 60 °C). A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que se presenta una reducción en las propiedades a tensión de los compuestos con el incremento de la temperatura, debido a que se afecta la calidad de la interfaz fibra-matriz del compuesto LDPE-Al/Fique, y es necesario incrementar y/o recalcular la longitud crítica de la fibra, con el fin de establecer una adhesión en la interfase aceptable, que permita la transferencia de cargas de la matriz hacia la fibra.

Tópico 5: Materiales Compuestos

Palabras clave: LDPE-Al/Fique, adhesión interfacial, temperatura, propiedades mecánicas.

1. INTRODUCCIÓN

En un principio los compuestos de matriz termoplástica reforzados con fibras, fueron introducidos en el mercado, con el fin de producir una gama de nuevos materiales para aplicaciones de baja exigencia estructural. En las últimas dos décadas la fibras naturales han recibido especial atención por parte de los interesados en sustituir las fibras sintéticas, por este tipo de fibras, debido a sus grandes ventajas como el bajo costo, la baja densidad, una buena resistencia específica, buenas propiedades de aislamiento térmico y la posibilidad de ser recicladas sin afectar el medio ambiente [1]. Sin embargo, el potencial de las fibras naturales como refuerzo

mecánico, no ha sido aprovechado completamente, debido a que su condición hidrofílica difiere de hidrofóbica de la mayoría de los polímeros termoplásticos usados como matriz en algunos compuestos, causando una pobre adhesión interfacial fibra-matriz.

Debido a esto es muy importante el estudio de la calidad en la interfaz del compuesto, para así poder garantizar una buena interacción entre las fibras y la matriz, con el fin de aprovechar al máximo el carácter reforzante de las fibras en el material compuesto.

Por medio de ensayos de micromecánica, como el Pull-Out (desprendimiento de la fibra a tensión o zafado de una fibra) es posible caracterizar la calidad en la interfaz de un compuesto reforzado con fibras naturales, estimando la resistencia al cortante de la interfaz fibra-matriz, la cual es una medida indirecta del grado de compatibilidad entre los componentes del material.

En este estudio se pretende conocer la calidad en la interfaz del Polialuminio (LDPE/Al) recuperado de empaques de Tetra Pak de origen postconsumo reforzado con fibras de fique sin tratamiento superficial y como se afectan las propiedades mecánicas brindadas por esta interacción fibra-matriz, con la temperatura. La interfaz será evaluada por medio del ensayo de Pull-Out, mientras que el ensayo de tensión se usará como parámetro para determinar la influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas.

El polialuminio (LDPE/Al) es un material fabricado a partir del reciclado de envases larga vida de Tetra Pak, estos envases están compuestos por 5 % de aluminio, 20 % polietileno y 75 % papel, los cuales son materiales con un periodo 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. Una vez separados los materiales, el aluminio y el polietileno pueden ser usados para generar energía por medio de la incineración, se pueden fabricar elementos plásticos o es posible recuperar el aluminio por pirólisis. En el mundo se ha utilizado los residuos del Tetra Pak para la fabricación de tableros aglomerados de los que se fabrican diferentes elementos [2, 3].

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 [4], lo que representa un 48 % de fibra de fique sin ser aprovechada por las industrias de Colombia.

Los tableros se fabricaron mediante el proceso de moldeo en prensa de platos calientes, con tres porcentajes de fibra de fique. La fabricación y acondicionamiento de las probetas para los ensayos de tensión a diferentes temperaturas (25, 40 y 60°C), se realizaron bajo las normas ASTM D4703, D618, D638.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La fase experimental de este estudio comprende la preparación del material, elaboración de probetas y ensayos realizados para determinar el efecto producido por la temperatura en las propiedades a tensión obtenidas en el compuesto fabricado con fibras de fique de longitud igual a la longitud crítica determinada en el ensayo de Pull-Out previamente realizado.

2.1 ELABORACIÓN DE PROBETAS Y MATERIAL COMPUESTO.

Se utilizó como matriz el Polietileno de baja densidad/Aluminio (LDPE/Al) el cual es un recuperado de empaques de Tetra Pak de origen postconsumo, obtenido a partir del reciclado de envases larga vida Tetra Pak. Este material se ha procesado previamente mediante hidropulpado, en el cual se separa el papel del LDPE y del Aluminio; para luego ser molido de tal forma que el aluminio que se encuentra en foils de gran tamaño se reduzca, esto debido a que al momento de realizar el proceso de fabricación del compuesto en prensa de platos

calientes, el aluminio se sitúa de tal forma que no permite la penetración del LDPE a las fibras, evitando la impregnación de las fibras con el polímero, lo que impide una buena interacción interfacial entre la fibra y la matriz, afectando las propiedades del material.

Las probetas del ensayo de Pull-Out se obtuvieron a partir de dos placas de LDPE/Al con un espesor de 2mm aproximadamente, las fibras se sujetaron en la mitad de las placas para luego ser compactadas y así lograr que las fibras queden exactamente en la mitad de la probeta. La longitud embebida fue ajustada por medio de un agujero que corta la fibra a la dimensión especificada.

Para la fabricación del compuesto se usaron mantas de fique, las cuales permiten obtener una distribución de la fibra de una forma más homogénea en la matriz, sin embargo para garantizar la homogeneidad del compuesto se intercalaron capas de fibra y de matriz hasta garantizar los porcentajes de fibra (10, 20 y 30 %) establecidos previamente para cada una de los compuestos. La preparación del material y la placa finalmente obtenida se muestran en la figura 1 a) y b) respectivamente.

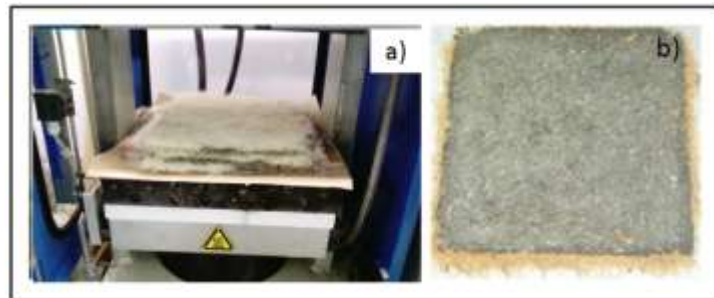


Figura 1. a) Preparación del Compuesto, b) Tablero fabricado en LDPE-Al/Fique.

El proceso de moldeo en prensa de platos calientes se llevo a cabo a una temperatura de 165 °C y una presión de 70 KN, esta temperatura de proceso fue establecida, teniendo en cuenta que a una temperatura menor a 180 °C la fibra no sufre cambios físicos, ni químicos; por encima de esta temperatura el fique sufre una degradación de lignina y de hemicelulosa con ennegrecimiento y pérdida de propiedades mecánicas de la fibra [5]. La presión fue establecida para garantizar la penetración total de la matriz a la manta de fibra, evitando que se formen vacíos en el compuesto.

Adicionalmente se realizaron placas de LDPE/Al sin reforzamiento, bajo los mismos parámetros de proceso que los usados para la fabricación del compuesto. Esto con el fin de tener un parámetro, el cual se pretende mejorar.

Una vez fabricados los tableros de cada uno de los compuestos, por medio de troquelado se estableció la geometría de las probetas para el ensayo de tensión, de acuerdo a la norma ASTM D638 (Figura 2a). En la figura 2 b), se puede observar las probetas usadas en el ensayo de Pull-Out.

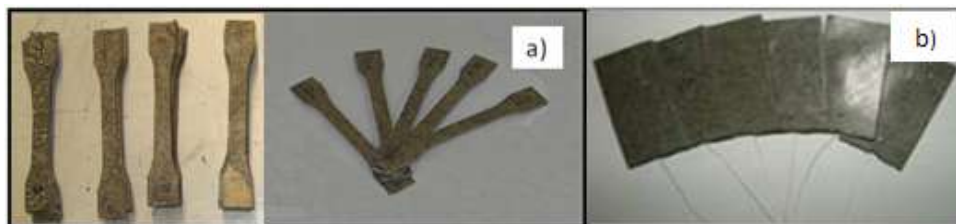


Figura 3. Probetas para ensayos, a) Tensión, b) Pull-Out.

2.2 METODOLOGIA DE EXPERIMENTO.

Con el fin de establecer la calidad de la interfaz fibra-matriz se realizó el ensayo de Pull-Out donde además de establecer la adherencia entre la fibra de fique y la matriz LDPE/Al, se definió la longitud crítica de la fibra, con la cual se fabricaron los tableros del material compuesto, para luego observar la influencia de la temperatura en los compuestos fabricados con fibras de longitud igual a la longitud crítica; se realizaron ensayos de tensión a 25, 40 y 60°C.

Los parámetros bajo los cuales se realizaron las pruebas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de ensayos.

ENSAYO	NORMA	ACOND.	PARÁMETROS DE ENSAYO	
Pull-Out	-----	50% Humedad	Velocidad	2 mm/min
		25 °C por 48h	Temperatura	25°C
Tensión	ASTM D638	50% Humedad	Velocidad	5 mm/min
		25 °C por 48h	Temperatura	25, 40 y 60°C

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA DE FIQUE.

El fique es una fibra con buenas características térmicas, las cuales le permiten soportar hasta 180 °C sin degradarse [5] y tiene una densidad de 1,4 g/cm³ [6]. En este estudio se determinó las propiedades a tensión del fique (Figura 4), donde se encontró que la resistencia a la tracción es de 225-250MPa, el módulo de elasticidad de 5,7 -7,4 GPa y la deformación de 3,2-5,4%, resultados acordes a los reportados por Gañan et al. (2002) [7].

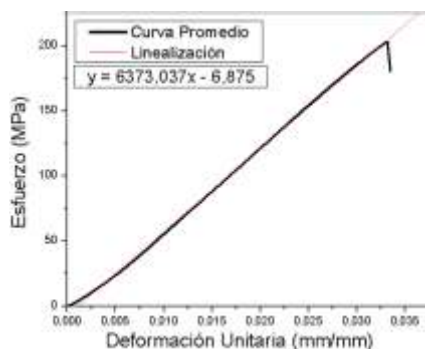


Figura 4. Curva Esfuerzo Vs. Deformación a la tensión del fique.

3.2 ENSAYO DE PULL-OUT

Con el fin de determinar las propiedades mecánicas de la región interfacial y de acuerdo a esto estimar el nivel de adherencia entre la fibra y la matriz, se realizó el ensayo de desprendimiento de la fibra a tensión (Pull-Out); por medio de este ensayo fue posible definir el tamaño de fibra crítica con el cual se fabricó el compuesto reforzado con fibra corta.

En la figura 5 se presenta la curva típica de carga-desplazamiento obtenida en el ensayo, donde se observa el comportamiento no lineal característico de una matriz dúctil. La carga aumenta hasta alcanzar un valor máximo, para luego iniciar con una transición suave seguida por el descenso de forma lineal hasta que la totalidad de la fibra sea extraída de la matriz. Este comportamiento muestra una interfaz débil y una adherencia pobre entre la fibra y la matriz, esto como resultado de la incompatibilidad de la fibra hidrofílica y la matriz hidrofóbica.

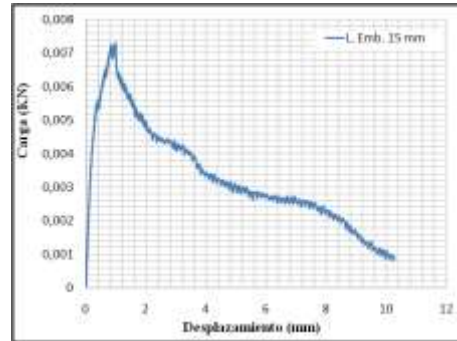


Figura 5. Curva esfuerzo-Desplazamiento. Pull-Out con longitud embebida 15 mm.

Por otra parte la figura 6 muestra el comportamiento de la fuerza máxima de adherencia la cual depende de la longitud embebida, mostrando un comportamiento incremental directo con relación a la longitud embebida. La longitud crítica de la fibra de fique en la matriz de LDPE-AI se determino para 21 mm longitud en la cual la fibra no es arrancada de la matriz antes de fracturarse.

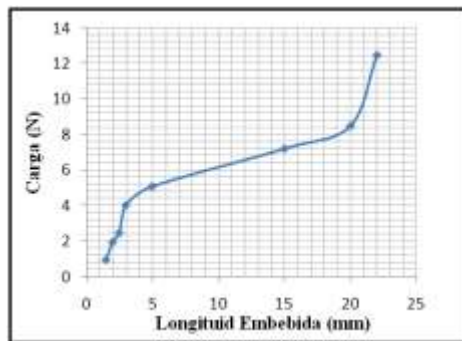


Figura 6. Ensayo de Pull-Out. Carga Vs Longitud Embebida.

En la figura 7 se muestra el comportamiento del esfuerzo cortante, el cual fue calculado por medio de la ecuación 1.

$$\tau = \frac{P_{\max}}{\pi d L} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde: Pmax es la carga máxima soportada por la fibra adherida a la matriz, d es el diámetro de la fibra y L la longitud de fibra embebida en la matriz.

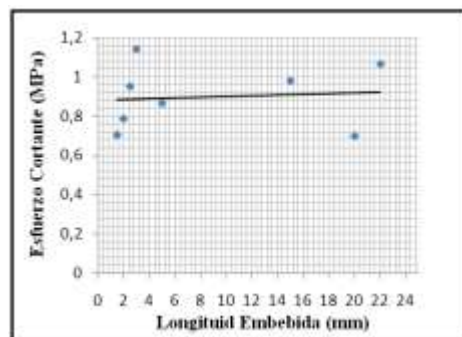


Figura 7. Ensayo Pull-Out. Esfuerzo cortante Vs Longitud Embebida

Se puede observar una tendencia de disminución en el esfuerzo cuando aumenta la longitud embebida de fibra de fique. Este grafico muestra el esfuerzo cortante para el LDPE-Al-Fique esta alrededor de 0.9 MPa de lo cual se deduce que la adhesión interfacial es débil, ya que este esfuerzo es menor que el reportado por autores como Herrera et al. (2004), donde obtuvieron un esfuerzo cortante en la interfase para el compuesto HDPE-Henequén sin ningún tratamiento de 2.3 MPa [6].

3.3 ENSAYO DE TENSION A DIFERENTES TEMEPRATURAS.

Con el fin de observar el efecto causado por la temperatura en las propiedades a tensión obtenidas en tableros fabricados con fibra de fique de longitud 21 mm (longitud necesaria para garantizar una aceptable interacción fibra-matriz a temperatura ambiente), se realizaron ensayos a temperaturas de 25, 40 y 60 °C.

En la figura 8, se muestran las curvas esfuerzo vs. deformación, en los cuales se puede observar como son afectadas las propiedades de tensión de cada uno de los materiales analizados, con el incremento de la temperatura. Para todos los materiales el esfuerzo y el modulo de tensión caen a medida que aumenta la temperatura, sin embargo el efecto reforzante de la fibra de fique se mantiene, haciendo que, estas propiedades del material aumenten con el incremento del contenido de fibra, independientemente al cambio de la temperatura. Por otra parte la deformación de los compuestos decrece de forma considerable con el aumento de la temperatura, excepto para el compuesto fabricado con 30 % de fibra de fique, en el cual mantiene su deformación en 2.8 % aproximadamente, como se observa en la figura 9 c).

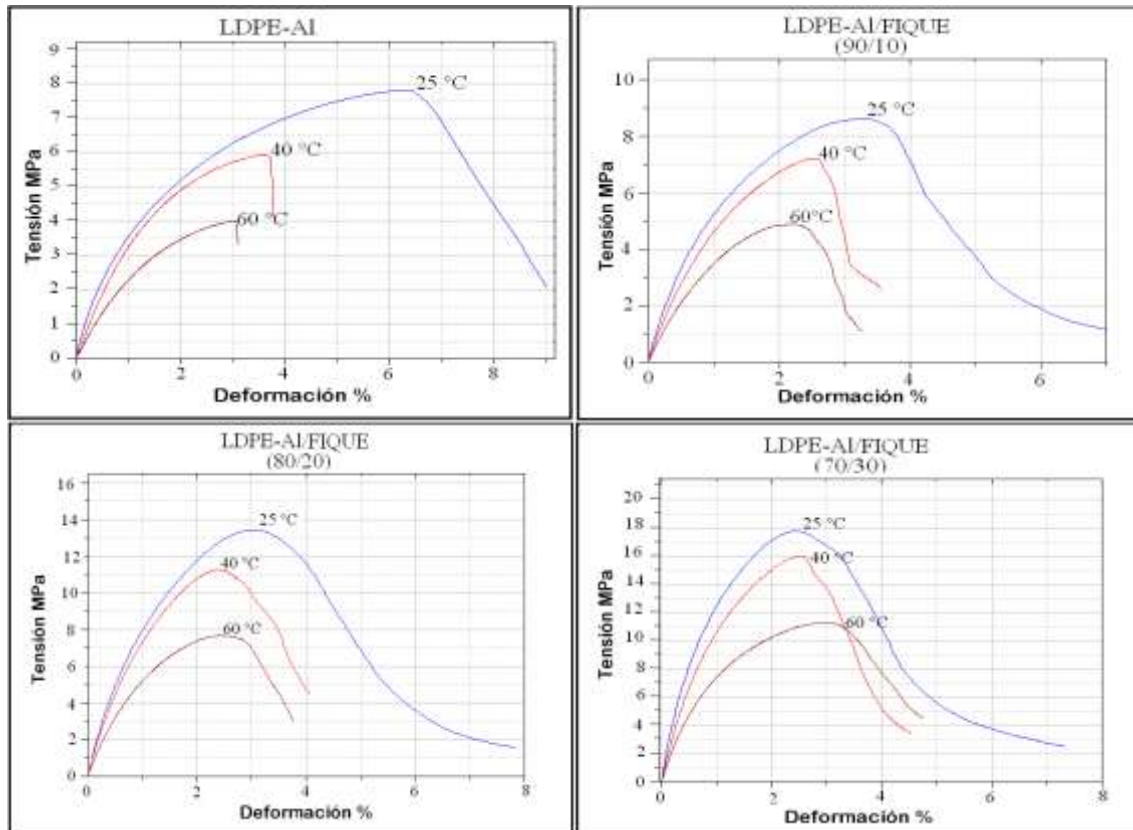


Figura 8. Ensayo de tensión. Curva Esfuerzo vs. Deformación. a) LDPE/Al, b) compuesto con 10% de fique, c) compuesto con 20% de fique y d) compuesto con 30% de fique.

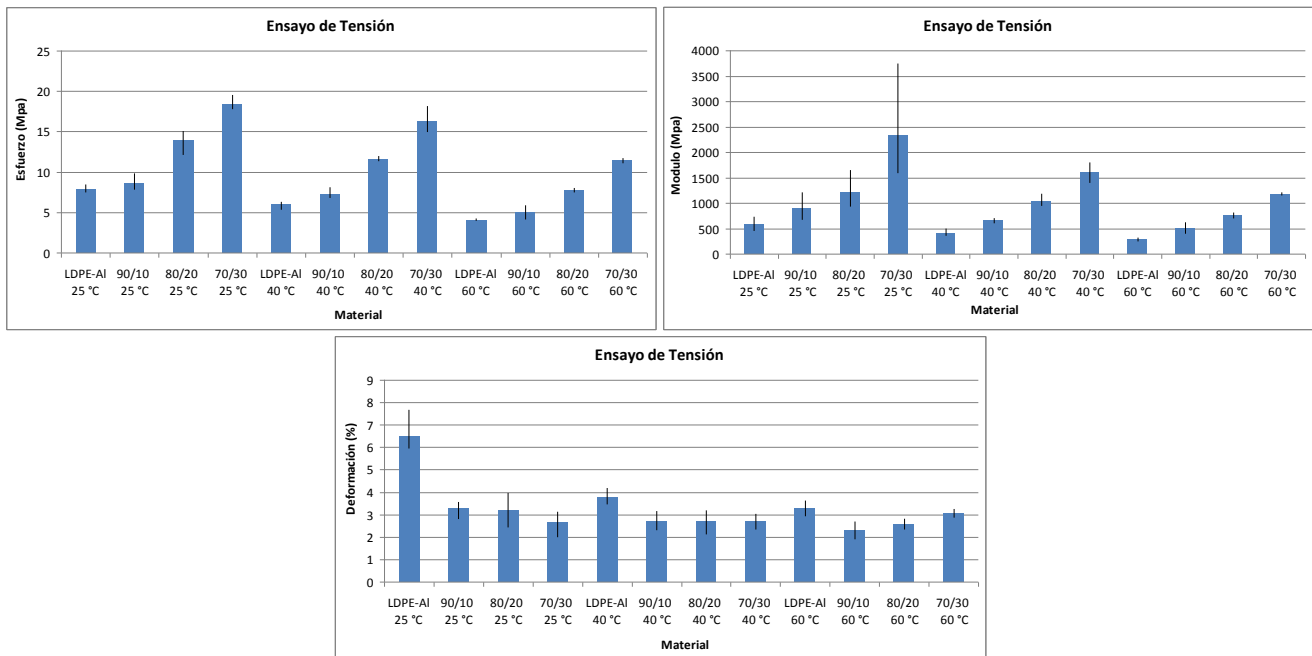


Figura 9. Ensayo de tensión. a) Esfuerzo, b) Modulo y c) Deformación de los materiales analizados a diferentes temperaturas.

La reducción de las propiedades a tensión de los diferentes materiales analizados, se atribuye a que la matriz se ve afectada por el fenómeno conocido como termofluencia, donde el material fluye de forma incremental con el aumento de la temperatura; afectando la calidad de la adhesión interfacial fibra-matriz, lo que genera que la longitud crítica de la fibra establecida por medio del ensayo de Pull-Out a temperatura ambiente, no sea la suficiente para que la fibra no se desprenda de la matriz de LDPE/Al. Lo que muestra claramente que para materiales que trabajen a temperaturas mayores a la temperatura ambiente, es necesario incrementar y/o recalcular la longitud crítica de la fibra, con el fin de establecer una adhesión en la interfase aceptable, que permita la transferencia de cargas de la matriz hacia la fibra.

Lo anterior es mostrado en las fotografías obtenidas por medio de la técnica de microscopia electrónica de barrido (SEM) (figura 10), con la cual se observa la ductilidad de la matriz en su fractura y la pobre interacción interfacial presentada en los diferentes compuestos analizados. Además de esto, se detalla el tipo de falla de las probetas en las cuales se identifica que la matriz se fractura, sin antes haberse fracturado las fibras (figura 11), corroborando que a temperaturas mayores a la temperatura ambiente las fibras se resbalan y no se fracturan, debido a la pobre interacción interfacial del compuesto LDPE-Al/Fique.

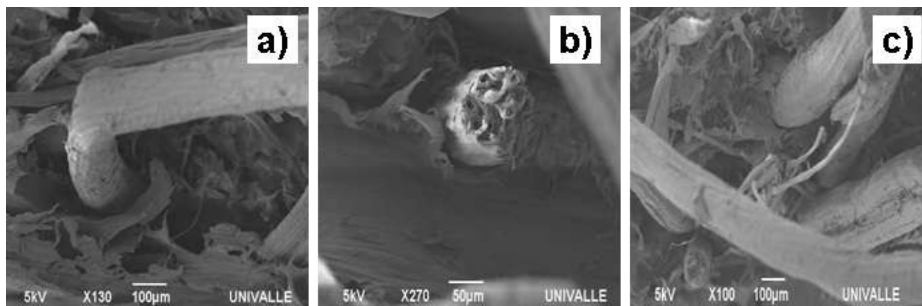


Figura 10. Adhesión interfacial Figue-LDPE-Al. a) Compuesto con 10% de figue, b) compuesto con 20% de figue y c) compuesto con 30% de figue.

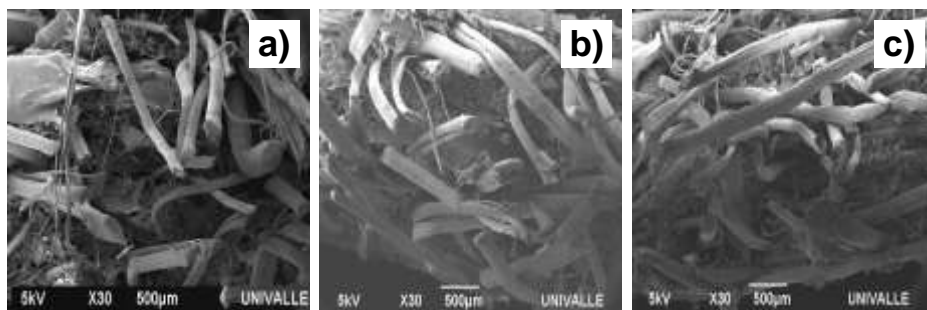


Figura 11. Fractura probetas de tensión Figue-LDPE-Al. a) Compuesto con 10% de fique, b) compuesto con 20% de fique y c) compuesto con 30% de fique.

4. CONCLUSIONES

De este estudio se puede concluir que la longitud crítica de la fibra de fique en la matriz de LDPE-Al es de 21 mm en compuestos diseñados para trabajar a temperatura ambiente.

Se presenta una reducción en las propiedades a tensión de los compuestos con el incremento de la temperatura, debido a que se afecta la calidad de la interfaz fibra-matriz del compuesto LDPE-Al/Figue, debido a esto, para materiales que trabajen a temperaturas mayores a la temperatura ambiente, es necesario incrementar y/o recalcular la longitud crítica de la fibra, con el fin de establecer una adhesión en la interfase aceptable, que permita la transferencia de cargas de la matriz hacia la fibra. Por otra parte, los compuestos mantienen una tendencia a incrementar las propiedades a tensión con el aumento de fibra de fique en el compuesto.

REFERENCIAS

1. A.K. Bledzki and J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose fibres"; *Prog Polym Sci*, Vol. 24 (1999), p. 221-74.
2. A. Neves, "Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak"; *O Papel*, Vol. 53 (1999), p. 24-31.
3. A.L. Mourada, E.C. Garcia and F. Von Zuben, "Influence of recycling rate increase of aseptic carton for long-life milk on GWP reduction. Resources, Conservation and Recycling"; *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 52 (2007), p. 678-689.
4. C. Espinal y H. Covaleda, "La cadena del fique en Colombia una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005"; (2006), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Bogota Colombia.
5. S. Delvasto, F. Perdomo y R. Mejía, "Ecolaminados de PEAD-fibras de fique"; *Ciencia y Tecnología*, Vol. 3 (2001), p. 43-49.
6. P. Herrera y A. Valadez, "Mechanical properties of continuous natural fiber-reinforced polymer composites"; *Composites: Part A*, Vol 35 (2004), p. 339-345.
7. P. Gañán y I. Mondragón, "Surface modification of fique fibers: effects on their physico-mechanical properties"; *Polymer Composites*, Vol. 23 (2002), p. 383-394