

Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual

P. Pontón¹, V. H. Guerrero²
Escuela Politécnica Nacional
Ladrón de Guevara E11 - 253. Quito, Ecuador
patricia.ponton@epn.edu.ec¹, victor.guerrero@epn.edu.ec²

Resumen

En este trabajo se utilizó el proceso de estratificación manual para obtener compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de abacá. Se usaron fibras continuas unidireccionales y fibras cortas distribuidas aleatoriamente. Las longitudes consideradas para la fibra corta fueron 5 y 10 mm. Para las dos configuraciones de refuerzo se propusieron cuatro fracciones volumétricas nominales: 0.20; 0.25; 0.30; y 0.35. El objetivo del trabajo fue estudiar la influencia de las variables descritas en las propiedades mecánicas de los materiales formulados. Para este propósito, los especímenes fabricados fueron sometidos a ensayos de tracción y flexión. Los resultados obtenidos mostraron que el compuesto unidireccional reforzado con una fracción volumétrica de fibra de abacá de 0.30 exhibió las mejores propiedades mecánicas. La resistencia y el módulo a tracción de este material fueron aproximadamente 270 y 124% mayores que en la matriz. La resistencia y el módulo a flexión mejoraron alrededor de 82 y 226% en comparación con el poliéster. La elongación a la ruptura fue la misma tanto para la matriz como para el compuesto unidireccional.

Palabras claves: *Poliéster, fibra de abacá, materiales compuestos, estratificación manual*

Abstract

In the present work, the hand lay-up process was used to obtain abaca reinforced polyester matrix composites. Unidirectional continuous fibers and randomly distributed short fibers were used. The lengths of the short fibers considered were 5 and 10 mm. For the two reinforcement configurations, four nominal volume fractions were proposed: 0.20; 0.25; 0.30 and 0.35. The aim of this work was to study the influence of the described variables on the mechanical properties of the materials formulated. For this purpose, the test specimens were subjected to tensile and flexural tests. The results showed that the unidirectional continuous abaca fiber reinforced composite with the 0.30 fiber volume fraction had the best mechanical properties. The tensile strength and modulus of this material were around 270 and 124% higher than those of the matrix. The flexural strength and modulus improved approximately 82 and 226%, in comparison to the polyester. The matrix and the unidirectional composite showed the same elongation at break.

Keywords: *Polyester, abaca fiber, composites, hand lay-up*

1. Introducción

El uso de fibras naturales toma cada vez más importancia a nivel mundial sobre todo por las ventajas que éstas presentan para el medio ambiente, ya que constituyen un recurso natural y renovable, además de poseer baja densidad, alta rigidez y capacidad de biodegradarse [1,2]. En la actualidad se producen aproximadamente 30 millones de toneladas de fibras naturales alrededor del mundo. Las fibras naturales son un elemento importante del vestido, la tapicería y otros textiles de consumo [3]. Muchas de ellas también tienen aplicaciones industriales y recientemente están siendo utilizadas en el campo de materiales compuestos de matriz polimérica para la elaboración de partes interiores de automóviles [4,5].

Emplear fibras naturales en este tipo de materiales tendría como beneficio adicional la reducción del consumo de plásticos, consecuentemente disminuiría el uso de derivados del petróleo, a la vez que las fibras naturales constituyen una materia prima de bajo costo y de fácil obtención [6].

Una de las fibras naturales que muestra un futuro promisorio es la fibra de abacá, denominada también «cáñamo de Manila» o «Manila Hemp» [3]. De acuerdo a estudios realizados por la FAO, “el abacá promete sustituir a la fibra de vidrio, economizando *energía*”. El abacá es originario de Filipinas, donde ha sido cultivado desde el siglo XVI. Fue introducido en América Central y Sudamérica, de manera principal en Ecuador. Sin embargo, Filipinas aún es el mayor productor mundial de abacá, con

aproximadamente el 80% de la producción, mientras que Ecuador ocupa el segundo puesto, con el 17% [7,8]. En el año 2007 se obtuvieron en Filipinas 60000 toneladas de fibra de abacá, mientras que en Ecuador 10000 toneladas [3]. La zona ecuatoriana de cultivo de abacá está ubicada dentro de un polígono, cuyos vértices más notables son: Quinindé, Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo y La Maná [9].

Una de las aplicaciones tradicionales de la fibra de abacá ha sido en cordelería, especialmente en la fabricación de sogas para buques. Actualmente, casi todo el abacá se despoja de su pulpa y se transforma en bolsas para té, envolturas para embutidos, papel moneda, papel para cigarrillos y papel de escritorio de alta calidad. No obstante, el uso de la fibra de abacá como material de refuerzo en el campo de los materiales compuestos ha despertado un gran interés especialmente en el sector automotriz [3,9].

Frente a la trascendencia de las potenciales aplicaciones de la fibra de abacá en la producción de nuevos materiales, este trabajo pretende obtener materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con esta fibra natural mediante el proceso de estratificación manual para determinar la formulación de material que exhiba las mejores propiedades mecánicas, con miras a utilizar estos resultados como una guía en trabajos posteriores destinados a la elaboración de productos prototipo a ser empleados en aplicaciones estructurales e industriales.

2. Materiales y métodos

2.1. Materiales

Se utilizó como refuerzo fibra de abacá de la variedad Tangongón Rojo, de grado de calidad 3, proporcionada por un productor de la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas, perteneciente a la Corporación de Abacaleros del Ecuador (CAE). Como matriz del material compuesto se empleó resina poliéster insaturada, fabricada por SUIN S.A., que a su vez fue diluida con estireno monómero. Como iniciador del proceso de curado de la resina se utilizó octoato de cobalto al 12% p/p y como catalizador peróxido de metil-etil cetona (MEKP). Finalmente, como agente de desmoldeo se usó cera desmoldante Simoniz. Todos los productos mencionados fueron suministrados por la empresa TRECX S.A.

2.2. Métodos

2.2.1. Elaboración de probetas de material compuesto. Se fabricaron moldes de tres piezas en acero inoxidable A-240-TP.304 para elaborar las probetas de material compuesto para los ensayos de tracción y flexión de acuerdo a las normas ASTM D 3039-08 y ASTM D 7264M-07, respectivamente.

Las dimensiones nominales de las probetas para ensayos de tracción fueron 2.5x25x250 mm, mientras que para los ensayos de flexión correspondieron a 4x13x160 mm.

Las probetas de material compuesto se obtuvieron mediante el proceso de estratificación manual. La resina poliéster fue diluida con estireno monómero para obtener una solución con el 10% v/v de este solvente, con la finalidad de reducir la viscosidad de la resina y así mejorar la mojabilidad de las fibras con la matriz. Se adicionó octoato de cobalto a la resina diluida en una concentración volumétrica del 0.5% y se mezcló dicha solución con las fibras cortas de abacá. Posteriormente se agregó MEKP en un volumen equivalente al 1.5% de la resina diluida y se obtuvo la mezcla final de material compuesto que fue depositada en los moldes previamente recubiertos con cera desmoldante. Los moldes se colocaron en una prensa manual hidráulica durante 1 hora y se aplicó una presión de 1000 psi. Transcurrido este tiempo las probetas fueron desmoldadas. En la fabricación de probetas de resina poliéster se emplearon las mismas cantidades de iniciador y catalizador que para los compuestos de fibra corta.

Para la elaboración de probetas de material compuesto con fibra continua orientada longitudinalmente se realizó un pre-mojado de las fibras utilizando para ello resina poliéster diluida con estireno al 10% v/v y el sistema catalítico constituido por octoato de cobalto y MEKP en concentraciones del 0.5 y 0.75%, respectivamente. Se colocó una capa de fibras pre-mojadas en una proporción correspondiente a la mitad de la fracción volumétrica de refuerzo y posteriormente se adicionó la segunda capa de fibras para proceder al prensado de los moldes, los mismos que fueron sometidos a una presión de 1000 psi. Las probetas fueron desmoldadas luego de 2 horas.

En la Tabla 1 se presentan las formulaciones utilizadas en la fabricación de las distintas probetas de material compuesto abacá-poliéster.

Tabla 1. Formulaciones para la fabricación de probetas de material compuesto abacá-poliéster

Configuración del refuerzo	Sistema catalítico	Longitud de fibra (mm)	Fracciones volumétricas nominales de fibra
Fibra corta al azar	Octoato de cobalto: 0.5 % v/v MEKP: 1.5% v/v	5	0.20 0.25 0.30 0.35
		10	
Fibra continua longitudinal	Octoato de cobalto: 0.5 % v/v MEKP: 0.75% v/v	250	

2.2.2. Evaluación de las propiedades mecánicas del material compuesto. Las probetas de material

compuesto fueron caracterizadas mecánicamente transcurridas al menos 2 semanas a partir de su fabricación, para garantizar el curado de la resina poliéster a temperatura ambiente. La evaluación del esfuerzo máximo, módulo de elasticidad y elongación a la ruptura se realizó de acuerdo con la norma ASTM D 3039-08, en una máquina universal de ensayos Tinius Olsen modelo H25KS, con una celda de carga de 25 kN. La velocidad del ensayo fue de 2 mm/min.

La evaluación del esfuerzo máximo y módulo a la flexión a tres puntos se efectuó de acuerdo con la norma ASTM D 7264M-07, en la máquina universal de ensayos ya mencionada. La velocidad del ensayo fue de 1 mm/min. La distancia entre los puntos de apoyo se estableció de acuerdo con la norma indicada y su valor fue de aproximadamente 130 mm.

En las pruebas de tracción y flexión se ensayaron 7 especímenes, con el fin de eliminar los valores máximo y mínimo del esfuerzo a la tracción y flexión, para así trabajar con datos con menor dispersión. De esta forma se reportaron únicamente los valores de 5 probetas ensayadas como se sugiere en las normas ASTM antes mencionadas. Para la medición de las dimensiones de las probetas se empleó un calibrador digital Mitutoyo, modelo CD-12³CP.

3. Resultados y discusión

3.1. Elaboración de probetas de material compuesto

En la elaboración de probetas de material compuesto, el proceso experimental de formulación de los materiales permitió establecer la cantidad máxima de fibra a ser adicionada en cada configuración, la misma que estuvo limitada por factores como la mojabilidad de la fibra con la resina, la facilidad de fabricación de las probetas y las condiciones de procesamiento del material por estratificación.

En la Tabla 2 se indican las fracciones volumétricas nominales máximas de fibra para la fabricación de cada tipo de material compuesto, que corresponden a los valores teóricos propuestos en esta investigación. También se pueden observar las fracciones volumétricas reales de fibra calculadas con base en la masa de fibra adicionada, la masa del compuesto, la densidad de la fibra y la densidad del compuesto. Las fracciones volumétricas nominales difieren de las reales, debido a la pérdida de fibra y resina por adhesión al recipiente durante la etapa de mezclado y a que en el cálculo de la densidad del compuesto (masa/volumen) no se consideró la cantidad de espacios vacíos presentes en los materiales compuestos.

En la fabricación de las probetas de material compuesto con fibra corta se observó que a medida que se incrementó la fracción volumétrica del refuerzo, la mojabilidad de la fibra con la matriz (resina poliéster) se vio afectada, puesto que se formaron grumos de fibra que impidieron que toda la superficie de la misma tuviera un contacto adecuado con la resina durante la etapa de mezclado. Con fibras de 5 mm de longitud fue posible obtener probetas con la máxima fracción de refuerzo propuesta, que fue de 0.35, a pesar de los problemas de mojabilidad suscitados. No obstante, para la longitud de 10 mm, la máxima fracción volumétrica nominal de fibra adicionada fue de 0.30, debido a que volúmenes mayores presentaron dificultades de mezclado con el poliéster e inclusive no se logró mantener el espesor de las probetas para esta fracción de fibra por la distribución espacial de la misma dentro del molde.

Por otra parte, en la elaboración de las probetas de material compuesto de poliéster y fibra continua de abacá orientada en el sentido longitudinal se presentaron problemas en cuanto a la alineación de las fibras al momento de colocar el arreglo en el molde, ya que las fibras tendían a deslizarse de su posición inicial por la presencia de la resina. Sin embargo, se debe destacar que el pre-mojado de la fibra permitió un mejor contacto de la misma con el poliéster, lo que ayudó a la adhesión entre ambos materiales. Al superar el 30% en volumen del refuerzo, se produjo la migración de fibra del molde, siendo esta fracción la de saturación del material.

Tabla 2. Fracciones volumétricas nominales máximas de fibra para materiales compuestos de abacá-poliéster

Tipo de material	Longitud de fibra (mm)	Fracción volumétrica máxima de fibra	
		Nominal	Real*
Compuesto de fibra corta	5	0.35	0.32±0.01
	10	0.30	0.27±0.01
Compuesto de fibra continua	250	0.30	0.27±0.01

*Valor expresado considerando la desviación estándar

3.2. Evaluación de las propiedades mecánicas del material compuesto

La comparación de las propiedades mecánicas de los distintos tipos de materiales compuestos formulados se realizó con el programa STATGRAPHICS Plus 5.1. Se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) cuando las distribuciones muestrales se aproximaron a una distribución normal, junto con el método de las diferencias menos significativas de Fisher (LSD) para realizar las comparaciones múltiples. En los casos en los cuales no se cumplieron las restricciones de normalidad del ANOVA, se empleó su versión no paramétrica

correspondiente al análisis de Kruskal Wallis. Las comparaciones múltiples para determinar las muestras estadísticamente diferentes se efectuaron con la opción del programa *Median Notch* de los gráficos de caja y bigotes.

Para la realización de los análisis estadísticos indicados se utilizó un nivel de confianza del 95%. Las razones de la selección de este intervalo, fueron básicamente el tamaño pequeño de las muestras (5 ejemplares por ensayo) y que el proceso de fabricación no estuvo controlado, lo cual no permitió emplear un nivel de confianza mayor.

3.2.1. Ensayo de tracción

Esfuerzo máximo a la tracción. La Figura 1 muestra el esfuerzo máximo a la tracción de los materiales compuestos en función de la fracción volumétrica de fibra. Se observa un descenso en esta propiedad mecánica respecto a la matriz poliéster para los materiales compuestos fabricados con fibra corta de abacá. Sin embargo, al comparar el esfuerzo máximo a la tracción entre las distintas formulaciones de material compuesto, no existió una variación apreciable del mismo a medida que se incrementó el porcentaje en volumen de fibra para cada longitud ensayada. El esfuerzo máximo disminuyó en un rango del 42 al 51% respecto al de la resina poliéster para los compuestos reforzados con fibra de 5 mm y en un intervalo del 21 al 31% para los compuestos con fibra corta de 10 mm.

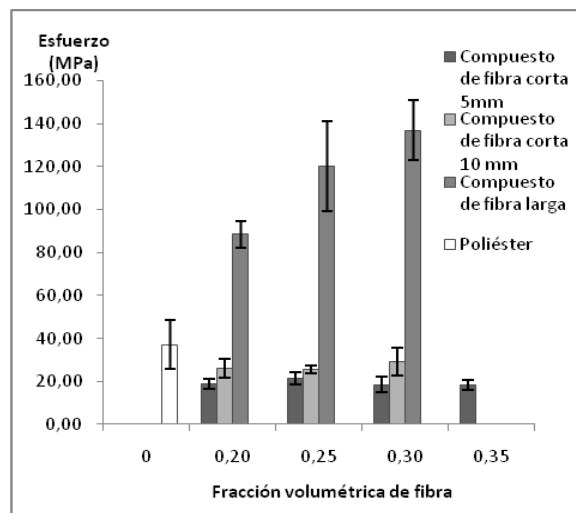


Figura 1. Esfuerzo máximo a la tracción de materiales compuestos de abacá-poliéster en función de la fracción volumétrica de fibra

Estos resultados sugieren que se presentaron problemas de adhesión entre la matriz y el refuerzo para los materiales compuestos elaborados con fibra corta de abacá. Al parecer no existió un adecuado anclaje de la fibra corta en la matriz, lo cual pudo provocar la presencia de discontinuidades a lo largo del material y que los esfuerzos no se distribuyeran

de forma homogénea en el área transversal de la probeta, fallando el material a cargas menores que en el caso de la resina poliéster. Los problemas en la interfaz fibra corta de abacá-matriz polimérica también han sido reportados en otros estudios, como en la obtención de biocompuestos de abacá-polipropileno, en cuyo caso se han empleado compatibilizantes como el anhídrido maleico para promover la interacción fibra-matriz [10]. En general, la adición de fibras naturales lignocelulósicas en una matriz polimérica no polar presenta limitaciones, debido a la diferente naturaleza química de la superficie de ambos constituyentes. La presencia de los grupos hidroxilo en la celulosa de la fibra de abacá es responsable de su inherente naturaleza hidrofílica, mientras que las matrices poliméricas como el poliéster y polipropileno son de naturaleza hidrofóbica, lo cual da como resultado una débil unión interfacial entre estos componentes [10,11]. Sin embargo, resulta importante indicar que una mayor longitud de fibra ocasionó un menor descenso en el esfuerzo máximo a la tracción de los materiales compuestos, lo cual sugiere un mejor anclaje mecánico fibra-matriz conforme se incrementa la longitud de fibra.

Por otra parte, además de los problemas de adhesión exhibidos en los materiales compuestos de fibra corta de abacá, no fue posible controlar la distribución del refuerzo en la matriz con el método de fabricación empleado, existiendo zonas del material con aglomeración de fibras, mientras que en otras hubo ausencia del refuerzo, lo cual influyó en la disminución de la resistencia a la tracción del material compuesto. Al analizar las zonas de falla de las probetas se observó que la fractura se producía, en general, en las regiones con mayor acumulación de fibra, que actuarían como concentradores de esfuerzos en la probeta, lo cual se puede apreciar en la Figura 2. A medida que se incrementó la fracción volumétrica de fibra se hizo más notoria la deficiencia en la distribución del refuerzo, de acuerdo a observaciones de las probetas realizadas al microscopio y a contraluz, como se muestra en la Figura 3.

La fibra continua de abacá orientada longitudinalmente actuó como un refuerzo eficaz para el material compuesto, ya que produjo un aumento en el esfuerzo máximo a la tracción del material de aproximadamente 140% para una fracción volumétrica de 0.20 y un incremento comprendido entre 224 y 270% para fracciones volumétricas de 0.25 y 0.30. De las referencias bibliográficas se tiene que la resistencia a la tracción de la fibra de abacá está entre 430-760 MPa, mientras que la de la resina poliéster oscila en un rango de 40-90 MPa [12]. La resistencia a la tracción superior de la fibra tuvo un efecto positivo en la resistencia a la tracción del material cuando la fibra estuvo orientada longitudinalmente, por el hecho que

la carga fue aplicada en esta dirección. En las configuraciones con fibra corta de abacá distribuida aleatoriamente, la resistencia a la tracción de las fibras individuales no contribuyó efectivamente al incremento del esfuerzo máximo a la tracción por los problemas antes citados, los cuales no se presentaron con la fibra continua. Esto sugeriría que probablemente existió un mejor anclaje mecánico de la fibra en la matriz y/o que el pre-mojado de la fibra pudo contribuir a una mejor interacción con la matriz, a pesar de la baja afinidad química entre el abacá y la resina poliéster, atribuyéndose el incremento en el esfuerzo máximo a la tracción de estos materiales básicamente a la configuración del refuerzo.

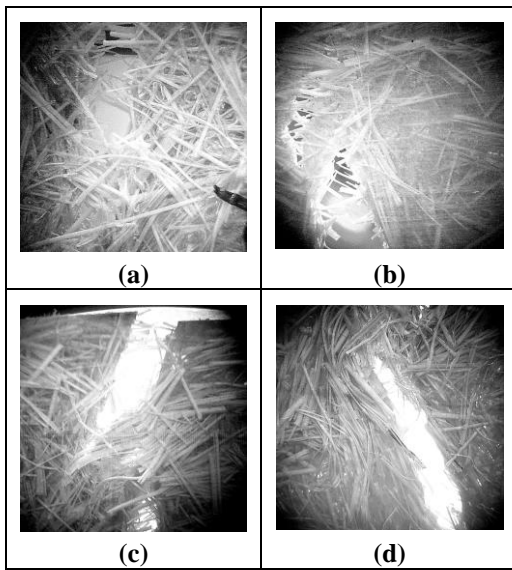


Figura 2. Ruptura de probetas de material compuesto de abacá-poliéster para distintas fracciones volumétricas de fibra de 5 mm (a) 0.20; (b) 0.25; (c) 0.30; (d) 0.35 (Aumento 8x)

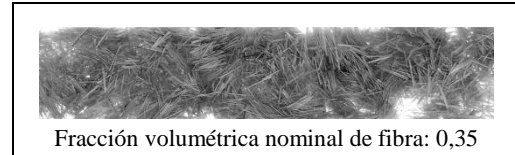
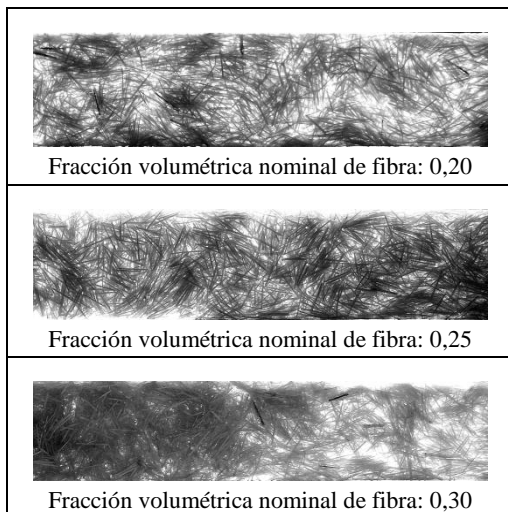


Figura 3. Distribución de fibra de abacá de 5 mm en la matriz poliéster para distintas fracciones volumétricas de fibra (Fotos de probetas a contraluz)

Es destacable mencionar que el material compuesto elaborado con poliéster y fibra continua de abacá, de fracción volumétrica 0.30 (31.4% en peso), presentó una resistencia a la tracción de aproximadamente 137 MPa, un valor superior al reportado para compuestos de poliéster reforzados con fibras de similares propiedades tensiles como el jute y el sisal. Para el compuesto de poliéster reforzado con fibra de jute en una proporción del 50% en peso, la resistencia a la tracción presentada en las referencias bibliográficas es de 40 MPa, mientras que para el compuesto de poliéster reforzado con fibra de sisal en un porcentaje de 30% en peso, la resistencia a la tracción indicada es de 66.01 MPa [12].

En la Figura 4 se ilustra la distribución de la fibra de abacá orientada longitudinalmente en la matriz poliéster para distintas fracciones volumétricas de fibra.

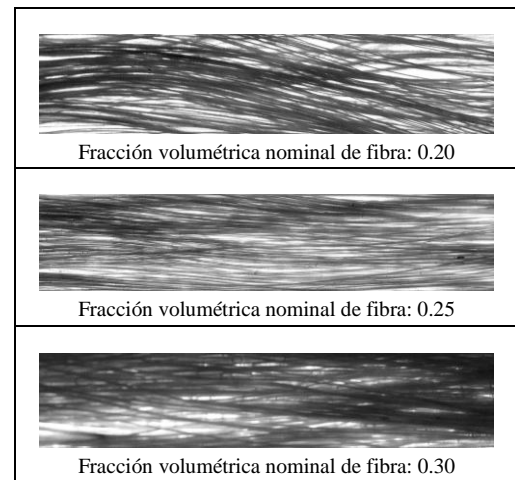


Figura 4. Distribución de la fibra continua de abacá orientada longitudinalmente en la matriz poliéster para distintas fracciones volumétricas de fibra (Fotos de probetas)

En la Figura 5 se presenta una vista al microscopio de la ruptura de las probetas de los materiales compuestos fabricados con fibra continua de abacá orientada longitudinalmente después de ser sometidas al ensayo de tracción. Ocurrió la propagación de la ruptura a través de la matriz. De esta forma, se puede observar el fraccionamiento de la matriz en una amplia región de la probeta y no tan sólo en el área cercana a la ruptura como ocurrió con los materiales elaborados con fibra corta de abacá.

Con ello se evidencia que el efecto de refuerzo dado por las fibras orientadas longitudinalmente provocó una mayor resistencia a la tracción del material.

En la Figura 6 se indican las curvas esfuerzo vs. deformación para una probeta de resina poliéster y para probetas de distintos materiales compuestos con fracción volumétrica de fibra de 0.30. Esta figura permite apreciar a breves rasgos el comportamiento mecánico de estos materiales compuestos, al variar la configuración del refuerzo y longitud de fibra.

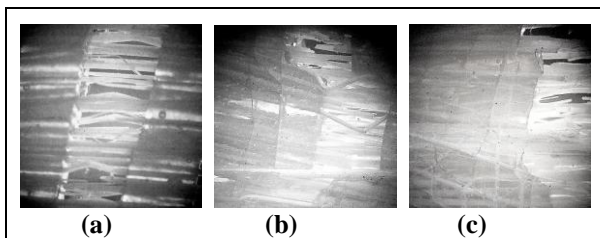


Figura 5. Ruptura de probetas de material compuesto de abacá-poliéster para distintas fracciones volumétricas de fibra continua (a) 0.20; (b) 0.25; (c) 0.30 (Aumento 8x)

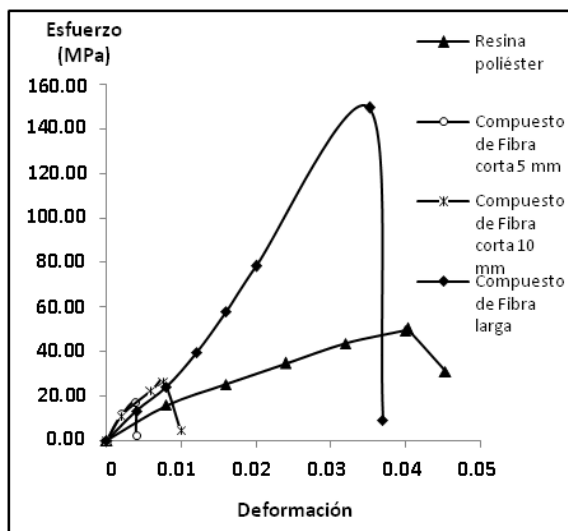


Figura 6. Esfuerzo vs. deformación de resina poliéster y de materiales compuestos abacá-poliéster con fracción volumétrica de fibra 0.30

Módulo elástico y elongación a la ruptura. El módulo elástico de los materiales compuestos aumentó respecto al de la matriz poliéster, tanto para los compuestos elaborados con fibra corta como para aquellos fabricados con fibra continua, como se puede apreciar en la Figura 7. La presencia de la fibra de abacá como refuerzo en los materiales compuestos contribuyó al incremento de la rigidez de los mismos.

La Tabla 3 indica los incrementos del módulo elástico de los distintos materiales compuestos obtenidos respecto al de la resina poliéster.

Tabla 3. Incremento del módulo elástico respecto al de la resina poliéster para materiales compuestos de abacá-poliéster

Tipo de material	Incremento del módulo elástico (%)
Compuesto de fibra corta de 5 mm	61-202
Compuesto de fibra corta de 10 mm	143-204
Compuesto de fibra continua de abacá	86-144

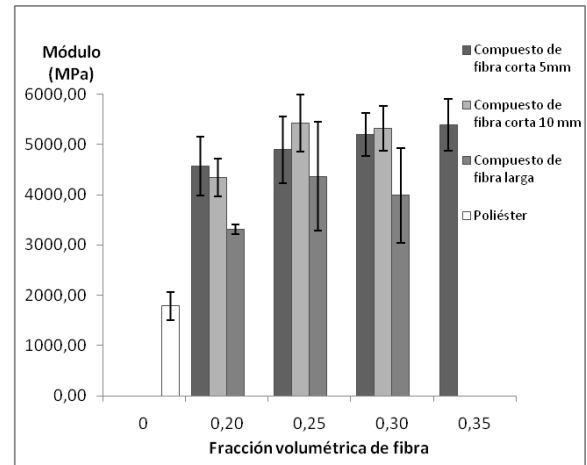


Figura 7. Módulo de elasticidad de materiales compuestos de abacá-poliéster en función de la fracción volumétrica de fibra

El módulo de elasticidad del material compuesto fabricado con poliéster y fibra continua de abacá, de fracción volumétrica 0.30 (31.4% en peso) fue de aproximadamente 3990 MPa, valor comparable con el de compuestos de poliéster reforzados con fibra de jute (50 % en peso) y de sisal (30% en peso), que presentaron valores de 2130 y 4420 MPa, respectivamente [12].

Es importante indicar que los materiales compuestos elaborados con fibras cortas de abacá mostraron incrementos mayores en el módulo de elasticidad que los materiales compuestos fabricados con fibra continua orientada longitudinalmente. Estos resultados se complementan con los de elongación a la ruptura, puesto que en el caso de la fibra corta el aumento en la rigidez del material se tradujo en la disminución de su capacidad de elongarse. Así, para los materiales compuestos de fibra corta de 5 mm, la disminución de la elongación a la ruptura estuvo en un rango del 57 al 69% comparada con la de la matriz poliéster, mientras que para los compuestos de fibra corta de 10 mm el descenso en esta propiedad fue del 77 al 82%. El comportamiento de la elongación a la ruptura de los compuestos con fibra continua orientada longitudinalmente difirió del de los materiales con fibra corta de abacá. Para una fracción volumétrica de 0.20, esta propiedad disminuyó en aproximadamente el 37%. No obstante, no hubo una diferencia estadísticamente significativa en la elongación a la ruptura de los materiales cuya

fracción fue del 0.25 y 0.30 comparadas con la de la resina poliéster. Si bien las fibras adicionadas en estos porcentajes también provocaron un aumento en la rigidez del compuesto, es posible que debido al arreglo y a su disposición en la matriz, las fibras se acoplasen a la matriz sin comprometer la capacidad de elongación del material compuesto.

3.2.2. Ensayo de flexión

Esfuerzo máximo a la flexión. El esfuerzo máximo a la flexión a tres puntos descendió para los materiales compuestos elaborados con fibra corta de abacá de 5 y 10 mm con respecto al de la matriz poliéster, como se puede constatar en la Figura 8. El descenso de esta propiedad mecánica para el primer tipo de material estuvo entre el 14 y 22%, mientras que para el segundo material la disminución fue del 4 al 22%. Estos resultados podrían explicarse al considerar los problemas que presentarían estos compuestos en cuanto a la adhesión de sus constituyentes y a la pobre distribución del refuerzo en el matriz.

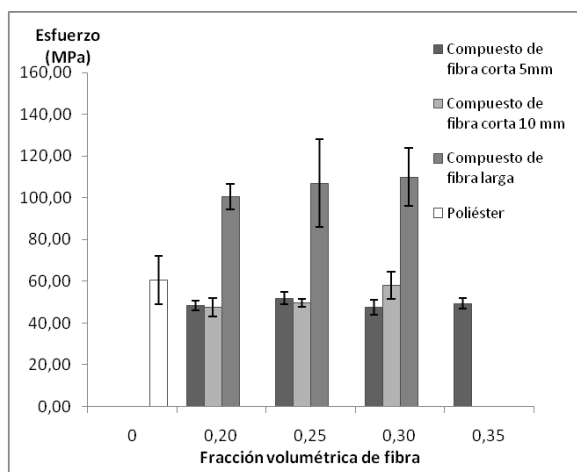


Figura 8. Esfuerzo máximo a la flexión de materiales compuestos de abacá-poliéster en función de la fracción volumétrica de fibra

Se debe indicar que en el caso de la resina poliéster, el esfuerzo máximo a la flexión reportado estuvo restringido por la distancia límite a la que descendió la celda de carga, sin ocurrir la rotura del material al finalizar el ensayo. Solo unas pocas probetas de resina poliéster sufrieron rotura. Sin embargo, todas las probetas de material compuesto reforzado con fibra corta experimentaron este tipo de falla.

Por otra parte, existió un aumento significativo del esfuerzo máximo a la flexión para los materiales compuestos reforzados con fibra continua de abacá en relación al de la matriz poliéster, en un rango del 67 al 82%. Esto podría explicarse al tomar en cuenta la distribución longitudinal de las fibras en el material. Las fibras en este arreglo absorberían parte

de la carga, minimizando el efecto que la fuerza aplicada tendría en la matriz. De hecho, solo pocas probetas de este material sufrieron rotura, mientras que la mayoría presentó un comportamiento similar al de la matriz pura. Adicionalmente, cabe resaltar que el esfuerzo máximo a la flexión del compuesto reforzado con el 30% en volumen de fibra continua de abacá (110 MPa) fue superior al presentado por materiales compuestos de poliéster reforzados con fibra de jute (50% en peso) y de sisal (30% en peso), cuyos valores bibliográficos son de 77 MPa y 93.80 MPa, respectivamente [12].

Módulo a la flexión. El módulo a la flexión a tres puntos se incrementó respecto al de la matriz para todos los materiales compuestos de abacá-poliéster, como se muestra en la Figura 9. Para los materiales fabricados con fibra corta de abacá de 5 mm en todas las fracciones volumétricas analizadas, el módulo a la flexión sufrió un incremento comprendido entre el 42 y 63%. En el caso de los compuestos de fibra corta de 10 mm, el aumento en el módulo a la flexión fue del 57 al 65%. No obstante, los materiales compuestos elaborados con fibra continua orientada longitudinalmente experimentaron los mayores incrementos. Así para los compuestos con fracciones volumétricas de fibra de 0.20 y 0.25, el aumento fue de aproximadamente 162 al 164%, mientras que cuando la fracción de refuerzo fue de 0.30 correspondió al 226%.

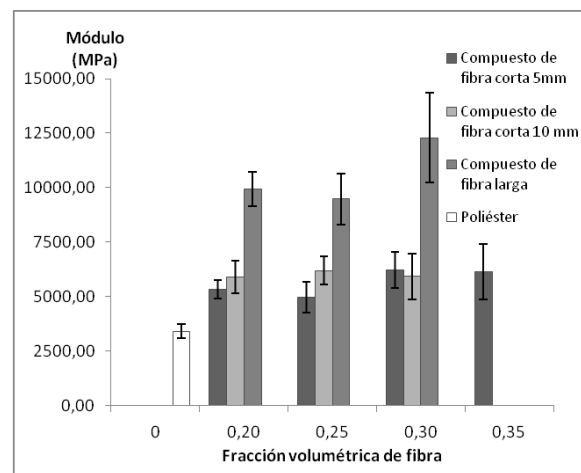


Figura 9. Módulo a la flexión de materiales compuestos de abacá-poliéster en función de la fracción volumétrica de fibra

Los resultados del módulo a la flexión permitieron verificar el aumento en la rigidez de los materiales compuestos obtenidos en relación a la matriz, los cuales se complementan con los resultados del módulo de elasticidad y permiten apreciar la marcada influencia de la fibra en estas propiedades mecánicas.

4. Conclusiones

- Las fracciones volumétricas nominales máximas aceptables para la formulación de los materiales compuestos de abacá-poliéster desde el punto de vista de mojabilidad de la fibra con la matriz, facilidad de fabricación de probetas y condiciones de procesamiento por estratificación fueron de 0.35 para los compuestos con fibra corta de abacá de 5 mm y 0.30 tanto para los materiales con fibra corta de 10 mm, como para aquellos reforzados con fibra continua orientada longitudinalmente.
- El esfuerzo máximo a la tracción y flexión, al igual que la elongación a la ruptura, disminuyeron para los materiales compuestos reforzados con fibra corta de abacá con respecto a las correspondientes propiedades de la matriz poliéster. Sin embargo, la incorporación de fibra corta en las dos longitudes estudiadas provocó un incremento en el módulo elástico de estos materiales.
- Una longitud de fibra corta de abacá de 10 mm provocó un menor descenso en el esfuerzo máximo a la tracción que un tamaño de fibra de 5 mm y a su vez ocasionó que los materiales compuestos fueran más rígidos y presentaran mayores incrementos en el módulo a la flexión.
- El esfuerzo máximo a la tracción, módulo elástico, esfuerzo máximo y módulo a la flexión aumentaron para los materiales compuestos reforzados con fibra continua de abacá orientada longitudinalmente para todas las fracciones volumétricas de fibra ensayadas.
- La formulación de material compuesto de abacá-poliéster que presentó las mejores propiedades mecánicas tanto de tracción como de flexión fue la correspondiente a la configuración de fibra continua orientada longitudinalmente y de fracción volumétrica de refuerzo de 0.30. Esta formulación permitió al compuesto superar las propiedades mecánicas de la resina poliéster en aproximadamente el 270% en el esfuerzo máximo a la tracción, 124% en el módulo de elasticidad, 82% en el esfuerzo máximo a la flexión y 226% en el módulo a la flexión y mantener la elongación a la ruptura de la matriz.

Agradecimientos

Los autores de este artículo dejan constancia de su agradecimiento a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) por el financiamiento para la realización de este trabajo de investigación en el marco de la ejecución del proyecto PIC-08-493 "Desarrollo de nuevos materiales para aplicaciones estructurales e industriales".

Referencias

- [1] Fernández, A., 2009, "Por qué hay que proteger las fibras vegetales", <http://www.ecodes.org/noticias/por-que-hay-que-proteger-las-fibras-naturales>. (Agosto, 2010)
- [2] Rao, K., Rao, M., Prasad, A., 2010, "Fabrication and testing of natural fibre composites: vakka, sisal, bamboo and banana", *Journal of Materials and Design*, No.31, pp. 508-513
- [3] FAO, 2009, "El año internacional de las fibras naturales 2009; ¿Por qué naturales?", http://www.fao.org/ec/Fibras/AIFN_hojas.pdf
- [4] Fernandez, R., 2007, "Abaca fiber finds use in the manufacture of cars, boats", <http://www.truthforce.info/> (Octubre, 2009).
- [5] Mano, B., Araújo, J., Spinacé, N., De Paoi, M., "Polyolefin composites with curaua fibres: Effect of the processing conditions on mechanical properties, morphology and fibres dimensions", *Journal of Composites Science and Technology*, No.70, 2010, pp. 29-35.
- [6] Wallernberger, F., 2004, "Natural Fibers, Plastic and Composites", Kluwer Academic Publishers Group, pp. 3 y 4.
- [7] Alann, A., 2006, "Fibres for strengthening of timber structures" <http://epubl.luth.se/index-en.shtml> (Octubre, 2008).
- [8] Leatham, J., Pareja, L., Salazar W., Bocardo, C., 2000, "Economic Factors Affecting the Production of Abacá in Ecuador", <http://www.sica.gov.ec/> (Septiembre, 2009).
- [9] Maldonado, L., 2000, "Situación actual de la producción y comercialización de abacá en el Ecuador", Primer Encuentro Nacional de productores y artesanos de fibras naturales: Memorias Técnicas, http://biblioteca.espe.edu.ec/upload/Memorias_Tecnicas.pdf (Diciembre, 2009).
- [10] Vilaseca, F., Valadez, A., Herrera, P., Àngels, M., Pere, J., Pere, M., 2010, "Biocomposites from abaca strands and polypropylene. Part I: Evaluation of the tensile properties", *Journal of Bioresource Technology*, No.101, pp.387-395.
- [11] Rezaur R., Monimul, M., Nazrul, Md., Hasan, M., 2009, "Mechanical properties of polypropylene composites reinforced with chemically treated abaca", *Journal of Bioresource Technology*, Part A 40, pp. 511-517
- [12] Mohanty A., Misra M., Drzal L., 2009, "Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites", Taylor & Francis Group, 2005, pp. 275 y 297.