

## OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRAS DE LA “PIÑA” DE HENEQUÉN Y POLIPROPILENO

### OBTENTION AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITES OF HENEQUEN “PINEAPPLE” FIBERS AND POLYPROPYLENE

R. J. Balam-Cocom, S. Duarte-Aranda y G. Canché-Escamilla\*

*Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán,  
Calle 43 No. 130, Col. Chuburná, 97200 Mérida, Yucatán, México.*

Recibido 1 de Julio 2005; Aceptado 4 de Diciembre de 2005

#### Resumen

En este trabajo se utilizaron las fibras provenientes de la “piña” de henequén, subproducto del proceso para la obtención del licor de henequén, en la obtención de materiales compuestos con matriz de polipropileno (PP). Se emplearon fibras molidas y tamizadas (mallas 30 y 100) de la base de la hoja y del tronco de la planta. Se obtuvo un aumento en el módulo del material al incrementar el contenido de fibras en la matriz, mientras que la resistencia a tensión disminuyó al aumentar el contenido de las fibras. Las mejores propiedades mecánicas se obtuvieron con las fibras de menor tamaño (malla 100), independientemente del tipo de fibra, lo cual se atribuye a una mejor dispersión de las fibras en la matriz.

*Palabras clave:* material compuesto, fibra de henequén, propiedades mecánicas.

#### Abstract

In this work, the fibers from the henequen “pineapple”, byproduct of processes to obtain henequen liquor, were used to obtain composites with polypropylene matrix. The milled and sieved fibers (30 and 100 mesh) from the bottom leaf and the trunk were used as filler. An increasing in the modulus and a diminished of the tensile resistance were observed with the increasing of fiber content. The better mechanical properties were obtained with the lower size fiber, independently of kind fiber, which is attributed to a better dispersion of the fiber in the matrix.

*Keywords:* composites, henequen fiber, mechanical properties.

#### 1. Introducción

La industria agrícola es una gran fuente de generación de materiales fibrosos (raíces, tallos, hojas u otras partes de las plantas), que por general son un subproducto de los procesos agrícolas y representan una fuente de contaminación en los campos (Gañán y col., 2004). Debido a que estos materiales vegetales están constituidos por fibras lignocelulósicas, podrían ser una fuente importante para la obtención de celulosa (Cordeiro y col., 2004) o para la obtención de materiales compuestos (Mohanty y col., 2004; Eboatu y col., 2003). Las mayores fuentes de obtención de fibras lignocelulósicas son los subproductos del cultivo de caña de azúcar, bambú, maíz, coco, arroz y otros cultivos intensivos (Reddy y Yang, 2005).

En nuestro país existen otras fuentes de obtención de fibras lignocelulósicas, además de las antes mencionadas, como son los agaves (henequén, tequilana, lechuguilla, etc.). En la Tabla 1 se muestra la composición química de las fibras obtenidas de diferentes agaves. En el caso particular del henequén,

que es una planta de gran importancia para la economía del estado de Yucatán, su cultivo ha decaído en los últimos años al ser sustituida en sus aplicaciones tradicionales (fibras duras) por materiales sintéticos. Debido a lo anterior, se han buscado nuevas formas de aprovechamiento del henequén, a través de alternativas tecnológicamente viables que reditúen beneficios económicos. Así, además de la obtención de fibras a partir de la hoja también se obtiene alcohol a partir de la “piña”, en un proceso similar a la obtención de Tequila (Larqué y col., 2004). Como subproducto de ambos procesos, se obtienen fibras lignocelulósicas las que podrían ser, al igual que las fibras obtenidas de las hojas, una fuente importante para la obtención de fibras de celulosa (Andrade, 1998) o para la obtención de materiales compuestos (Canché, 1996).

Por otro lado, hoy en día existe una tendencia a reciclar los materiales sintéticos y obtener materiales compuestos de plásticos y fibras naturales, los cuales presentan ventajas en su biodegradabilidad, módulos relativos altos, etc. (Coutinho y col., 1997; Tzankova y La Mantia, 1999;

\*Autor para la correspondencia: E-mail: gcanche@cicy.mx  
Fax: 01 (999) 813900

Zhou y col., 2003); por lo que el uso de las fibras recuperadas de la “piña” de henequén en estas aplicaciones, podría servir para tener un aprovechamiento integral de la planta de henequén y una mejora en la economía de la región.

En este trabajo, se utilizaron las fibras provenientes de la “piña” del henequén, subproducto del proceso de obtención de licor de henequén, para la obtención de materiales compuestos termoplásticos con una matriz de Polipropileno virgen y reciclado. Se estudió el efecto del tamaño de partícula sobre las propiedades mecánicas de los materiales compuestos.

## 2. Materiales y métodos

Las fibras se obtuvieron a partir de los residuos de las “piñas” después de su cocción para la obtención de licor. Se obtuvieron dos tipos de fibras: las provenientes de las bases de las hojas (FBH) y las fibras del tronco (FT). Las fibras se secaron, se molieron en un molino de cuchillas marca BRABENDER y se tamizaron en un equipo ROTAP para obtener dos tamaños de fibras (malla 30 y malla 100). Como matriz se utilizó polipropileno virgen de PEMEX y polipropileno reciclado. El polipropileno reciclado se obtuvo a partir de diversos productos (aspas de ventilador, cajas de toallitas húmedas, etc.), los que se recuperaron antes de incorporarse a la corriente de desechos municipales. Los productos se molieron en un triturador de plásticos marca PAGANI y el material molido se utilizó como matriz en la obtención de materiales compuestos.

## 3. Caracterización de las fibras

Las fibras se caracterizaron mediante la determinación de su temperatura de descomposición con un Analizador Termogravimétrico TGA-7 de PERKIN-ELMER, en el rango de 30° C a 600°C, bajo atmósfera de nitrógeno y una velocidad de calentamiento de 10°C/min. Las dimensiones (longitud y diámetro) de las fibras en el material compuesto, se midieron a partir de fotografías de las placas de los materiales compuestos usando una regla micrométrica. Se midieron al menos 30 fibras.

## 4. Obtención y caracterización de los materiales compuestos

Los materiales compuestos con diferentes porcentajes de fibra (5, 10, 15 y 20 %) se obtuvieron mezclando el PP y las fibras molidas en una cámara de mezclado marca BRABENDER a 50 rpm y 190 °C durante 5 minutos. Las probetas para las pruebas de tensión se cortaron de placas de 1 mm de espesor (obtenidas mediante compresión de los materiales en una prensa hidráulica con calentamiento marca CARVER) con una cortadora neumática marca CEAST de acuerdo a la norma ASTM D638. Las pruebas de tensión se llevaron a cabo en una máquina de pruebas universales marca SHIMADZU con una celda de 5 kN y una velocidad de mordaza de 5 mm/min. La superficie de ruptura de las probetas se observaron en un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo LSV3360, la superficie se recubrió con una capa de oro para mejorar el contraste.

## 5. Resultados y discusión

Se puede observar en la Fig. 1 que la “piña” de henequén esta formada por la base de las hojas (parte de las hojas que queda junto al tronco al ser cortadas las primeras, para su posterior uso en la extracción de fibras de henequén) y el tronco que constituye la parte central de la “piña”, por lo que las fibras se recuperaron de estas dos partes.

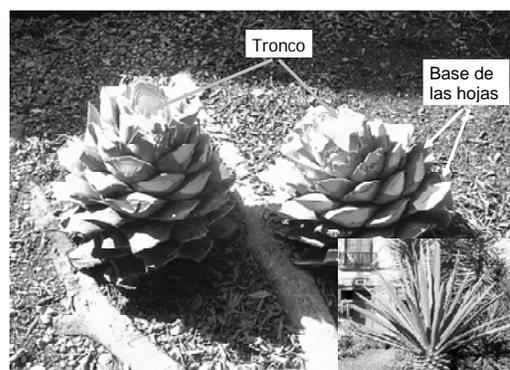


Fig. 1. Planta de henequén y la “piña” obtenida al cortar las hojas.

Tabla 1. Composición química de las fibras obtenidas de agaves.

Fuente de fibras	Celulosa	Hemicelulosa	Lignina	Extraíbles	Referencia
<i>Agave tequilana</i> (hojas)	64.8	5.1	15.9	14.0	G. Iñiguez Covarrubias y col., 2001
<i>Agave tequilana</i> (tronco)	64.9	5.5	16.8	12.5	
<i>Agave Fourcroydes</i> (henequén)	77.6	5.7	13.1	3.6	R. Aantonio Cruz y col., 2002
<i>Agave lechuguilla</i>	79.8	3-6	15.3	2-4	
<i>Agave sisalana</i>	73.1	13.3	11.0	2.6	A.K. Bledzki y J. Gassan, 1999

Se ha reportado en la literatura, que las propiedades mecánicas de las fibras lignocelulósicas y su composición química, son inherentes a las necesidades de las plantas y a su función en las mismas (Redi y Yang, 2005; Canché y col., 2005), por lo que el comportamiento mecánico de las fibras de las bases de hoja y las del tronco deben ser diferentes ya que cada una cumple una función diferente en la planta de henequén. Debido a lo anterior, las fibras se usaron en forma separada.

En la Fig. 2 se muestran los termogramas de TGA y DTGA de las fibras de base de hoja (FBH) y fibras del tronco (FT) de la "piña" de henequén. Ambos tipos de fibras muestran una descomposición principal en el rango de 250-410 °C, con una pérdida de masa del 50%, debido a la degradación térmica de la celulosa, principal componente de las fibras lignocelulósicas (Tabla 1). La degradación térmica de la celulosa ocurre en dos etapas: en la primera se observa una reducción del tamaño de cadena debido a ruptura de enlaces con la generación de radicales libres, grupos carboxilos y carbonilos así como la formación de carbón mientras que en la segunda incluye la depolimerización de la celulosa por ruptura de las unidades glucosídicas y la formación de levoglucosano (Madorsky, 1975). La descomposición a temperaturas mayores de 410°C se atribuye a la segunda etapa de degradación de la celulosa y a la degradación de la lignina. Debido a que estas descomposiciones térmicas se sobreponen, en las curvas de DTGA de las fibras FBH solamente se aprecia un pico ancho con una DTmax a 370°C. En las curvas de DTGA de las fibras FT se aprecian dos DTmax: una en el máximo del pico a 410°C y otra como un hombro a 370°C, indicando una mayor estabilidad de las fibras FT en comparación con las fibras FBH. Este comportamiento se podría deber a la diferencias en la composición química de las fibras, principalmente por la mayor cantidad de lignina presente en las fibras FT en comparación con las fibras FBH.

En la Fig. 3 se muestran las distribuciones de longitud y diámetro aparente de las fibras en el material compuesto. Se obtuvo una distribución amplia de longitudes y diámetros de las fibras para ambos tipos de fibras. Las fibras FBH de malla 30 tuvieron una longitud y diámetro promedio de 1.70 y 0.51 mm, respectivamente. Las dimensiones para las fibras FT de malla 30 fueron más pequeñas que las de hoja, obteniéndose una longitud y diámetro promedio de 1.37 y 0.35 mm, respectivamente. Las fibras de malla 100 estaban mejor distribuidas en la matriz y se notaban en diferentes planos, lo que dificultó la medición de sus dimensiones. Los bajos valores de la relación longitud-diámetro (L/D), menores de 4 para ambos tipos de fibra, nos indican que las fibras actúan como cargas en la matriz.

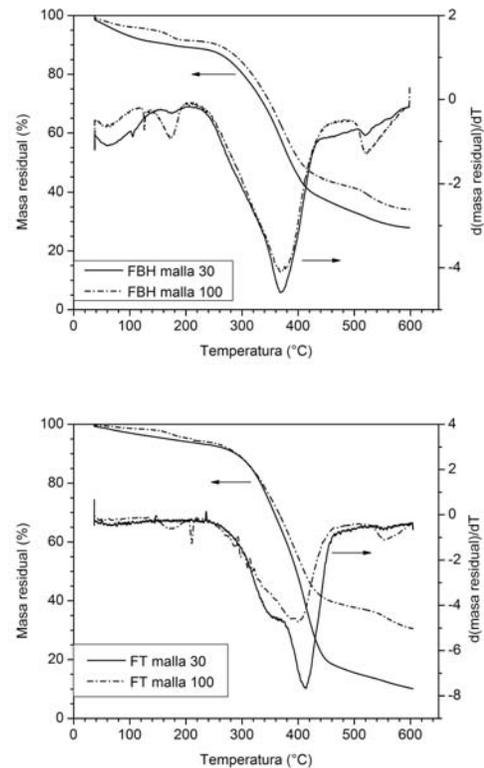


Fig. 2. TGA y DTGA de las fibras recuperadas de la "piña" de henequén. a) Fibra de base hoja (FBH) y b) fibra de tronco (FT).

En la Fig. 4 se muestran el efecto del tipo y tamaño de fibra sobre las propiedades mecánicas de los materiales compuestos. Se observa que la incorporación de las fibras en la matriz de PP resulta en un incremento del módulo del material compuesto, siendo más notorio este incremento para las fibras de malla 100 a contenidos menores del 10% de fibra, pero a contenidos de 20% de fibra en la matriz los módulos de los materiales son muy similares independientemente del tipo y tamaño de la fibra. Los materiales compuestos con fibras FT presentaron módulos más altos que los obtenidos con fibras FBH, debido a la mayor rigidez de las primeras. Por otro lado, se observa una disminución de la resistencia a tensión del material compuesto al aumentar el contenido de fibra en la matriz. Esta disminución es más notoria para las fibras de hoja y tronco de malla 30 a bajos contenidos de fibras mientras que a porcentajes mayores la resistencia la disminución es más pequeña. Así, se tiene una pérdida del 34 y 44 %, con respecto a la resistencia de la matriz, para los materiales compuestos con contenidos de fibra del 10 y 20%, respectivamente. Este comportamiento es característico de materiales termoplásticos con fibras naturales como cargas cuando no se utilizan agentes compatibilizantes, ya que no hay una buena adhesión entre las fibras y la

matriz. Por otro lado, los materiales compuestos con fibras de hoja y tronco de malla 100 presentan una disminución casi lineal de la resistencia al aumentar el contenido de fibras en la matriz, obteniéndose una disminución del 20% de la resistencia de la matriz para un contenido de fibra del 20%. Los mejores resultados obtenidos cuando se usaron fibras más pequeñas (malla 100) en comparación con fibras más grandes (malla 30), se puede deber a que en las últimas la matriz no cubre completamente a las fibras grandes y éstas se aglomeran, induciendo zonas de falla en la matriz, lo cual es más notorio a altas concentraciones de fibra como se puede apreciar de las microfotografías de SEM de la zona de ruptura de las probetas (Fig. 5). En la Figs. 5a y 5b se aprecian zonas con fibras muy grandes y que están en contacto entre sí, lo que puede inducir zonas de falla del material. En las Figs. 5c y 5d (materiales compuestos con fibras malla 100), se aprecia una mejor distribución de las fibras en la matriz. También se observa un cambio en la forma de fractura de la matriz, ya que los materiales compuestos con fibras FBH presentan una falla tipo dúctil de la matriz mientras que los materiales compuestos con fibras FT muestran una fractura

quebradiza, lo que explica los valores más altos de módulo obtenidos para los materiales compuestos con fibras FT en comparación con los obtenidos usando fibras FBH.

En la Tabla 2 se comparan los resultados de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos cuando se usó 20% de fibra de hoja malla 100 y polipropileno virgen ó reciclado como matriz. Se observa que independientemente del tipo de polipropileno (virgen o reciclado) los materiales presentaron un comportamiento similar al anteriormente mencionado: un incremento del módulo y una disminución de la resistencia al aumentar el contenido de fibra. Así, se observó un aumento en el módulo del 21% y una disminución de la resistencia en un 22% cuando se usó el polipropileno de reciclo. Las propiedades mecánicas los materiales compuestos con PP reciclado fueron menores que las de lo materiales compuestos con PP virgen, lo cual se atribuye a las menores propiedades del PP reciclado en comparación con el PP virgen (como se puede observar en la Tabla 1) debido a la degradación que sufre el primero durante la obtención de los productos y durante su tiempo de uso.

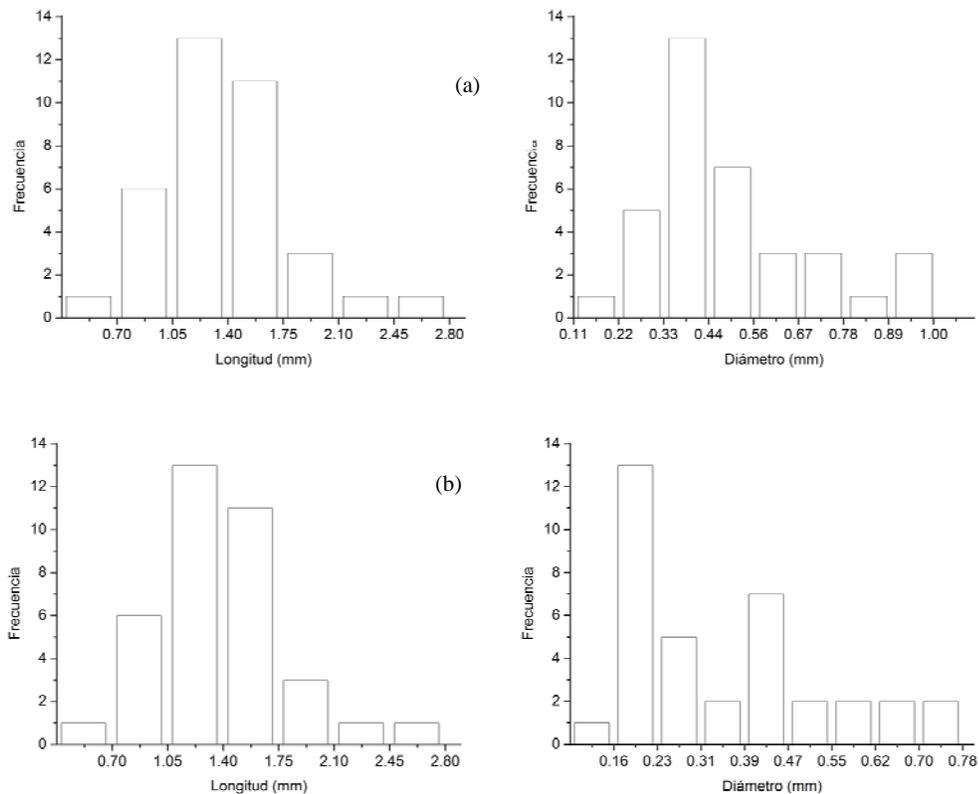


Fig. 3. Diámetros y longitudes de las fibras en los materiales compuestos. a) fibra de base de hoja (FBH) y b) Fibra de tronco (FT).

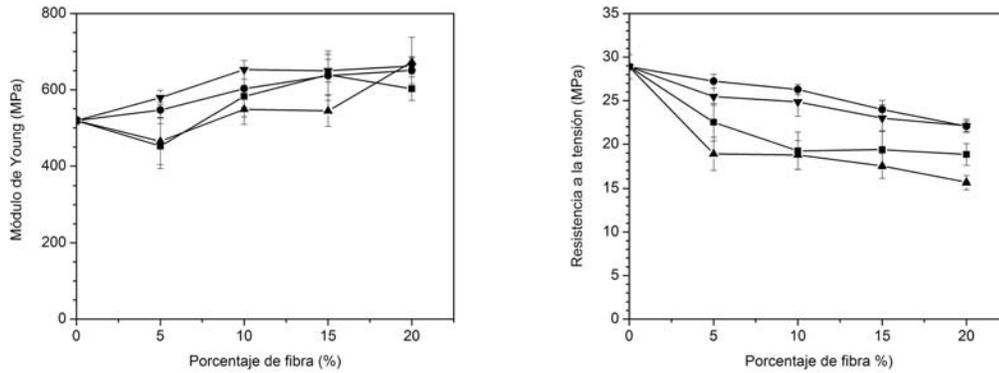


Fig. 4. Efecto del contenido de fibras en las propiedades mecánicas a tensión de los materiales compuestos con matriz de polipropileno. (■) FBH malla 30, (●) FH malla 100, (▲) FT malla 30 y (▼) FT malla 100.

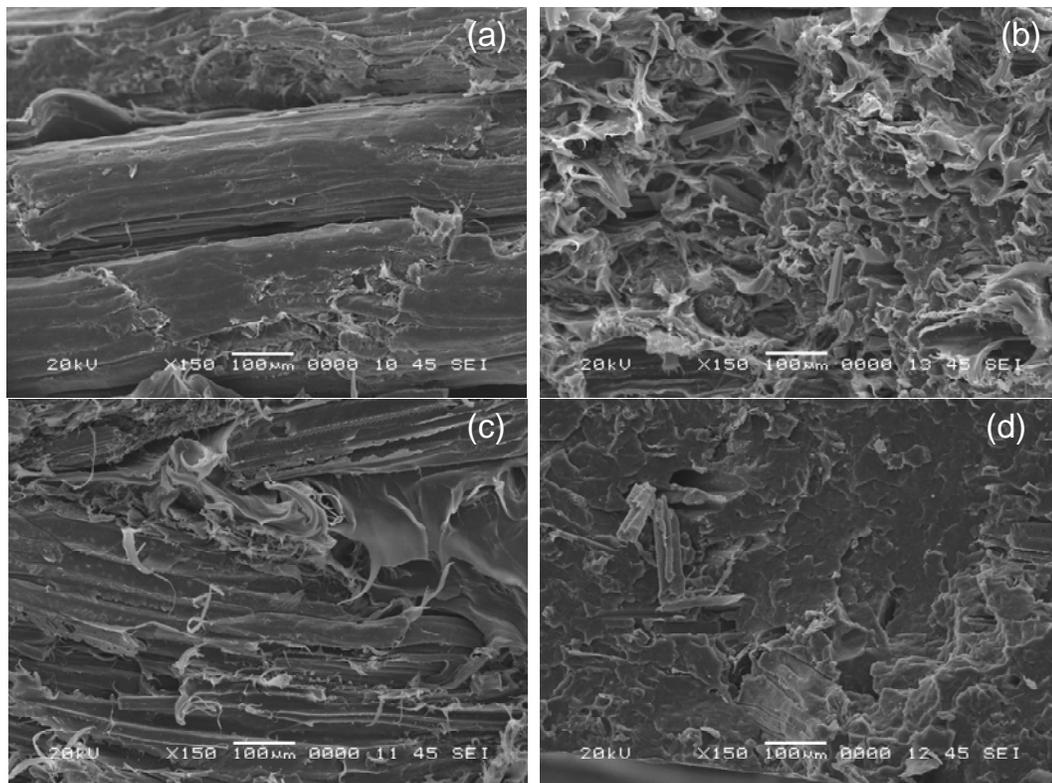


Fig. 5. Microfotografías de SEM de la superficie de ruptura de las probetas de tensión de los materiales compuestos con fibra de henequén. 20% de fibras FBH: a) malla 30 y b) malla 100; 10% de fibras FT: c) malla 30 y d) malla 100.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de materiales compuestos de fibras FHB de y polipropileno reciclado.

Fibra	Módulo (MPa)		Resistencia a la tensión (MPa)	
	PP virgen	PP reciclado	PP virgen	PP reciclado
0	519 ± 10	494 ± 30	28.8 ± 1.4	23.2 ± 0.7
10 % FHB	604 ± 20	563 ± 32	26.3 ± 0.7	21.5 ± 0.6
20% FHB	651 ± 36	600 ± 49	22.0 ± 0.6	18.0 ± 1.0

## Conclusiones

Se obtuvieron materiales compuestos usando las fibras recuperadas de las "piñas" del henequén. Las fibras presentaron diferente comportamiento térmico, siendo más estables las fibras FT debido a su mayor contenido de lignina. El contenido y tamaño de fibra afecta las propiedades mecánicas de los materiales compuestos, obteniéndose los mejores resultados cuando se usaron fibras más pequeñas (malla 100), debido a una mejor dispersión de las mismas en la matriz.

## Agradecimiento

A la Q.F.B. Marbella Cáceres Farfán, por habernos proporcionado las fibras usadas en este trabajo.

## Referencias

- Andrade-Canto, S.B. (1998). Efecto de las condiciones de proceso en la obtención de celulosa de henequén sobre sus propiedades fisicoquímicas, Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Antonio-Cruz, R. y Mendoza-Martinez, A.M. (2002) Synthesis and Characterization of graft copolymers from natural fibers. *International Journal of Polymeric Materials* 51, 661-674.
- Bledzki, A.K. y Gastan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science* 24, 221-274.
- Canché-Escamilla, G. (1996). Materiales compuestos con fibras de celulosa injertada con poliacrilatos. Tesis de Doctorado, Universidad de Guadalajara, México.
- Canché-Escamilla, G., De los Santos Hernández J.M., Andrade-Canto, S. y Gómez-Cruz, R. (2005). Obtención y caracterización de celulosa de los desechos agrícolas del banano. *Información Tecnológica* 16, 83-88.
- Cordeiro, N., Belgacem, M.N., Torres, I.C. y Moura, J.C.V.P. (2004). Chemical composition and pulping of banana pseudostems. *Industrial Crops Products* 19, 147-154.
- Coutinho, F.M.B., Costa, T.H.S. y Carvalho, D.L. (1997). Polypropylene-wood fiber composites: Effect of treatment and mixing conditions on mechanical properties. *Journal of Applied Polymer Science* 65, 1227-1235.
- Eboatu, A.N., Akpuaka, M.U., Ezenweke, L.O. y Afiukwa, J.N. (2003). Use of some plant waste as fillers for polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science* 90, 1447-1452.
- Gañán, P., Cruz, J., Garbizu, S., Arbelaz, A. y Mondragón, I. (2004). Stem and bunch banana fibers from cultivation wastes. Effect of treatments on physico-chemical behavior. *Journal of Applied Polymer Science* 94, 1489-1495.
- Iñiguez-Covarrubias, G., Díaz-Teres, R., Sanjuán-Dueñas, R., Anzaldo-Hernández y Rowell, R.M. (2001). Utilization of by-products from tequila industry. Part 2: potencial value of *Agave tequilana* Weber azul leaves. *Bioresource Technology* 77, 101-108.
- Larqué-Saavedra, A., Magdub-Mendez, A. y Cáceres-Farfán, M. (2004). Patente Mexicana No. 219235.
- Madorsky, S.L. (1975) Thermal degradation of Organic Polymers., Pp. 238-261.R.E. Krieger Pub. Co. Melbourne, USA.
- Reddy, N. y Yang, Y. (2005). Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *TRENDS in Biotechnology* 23, 22-27.
- Tzankova-Dintcheva, N. y La Mantia, F.P. (1999). Recycling of the "light fraction" from municipal post-consumer plastic: effect of adding wood fibers. *Polymers for Advanced Technologies* 10, 607-614.
- Zhou, X.P., Li, R.K.Y., Xie, X.L. y Tjong, S.C. (2003). Reinforcement of polypropylene using sisal fibers grafted with poly(methyl methacrylate). *Journal of Applied Polymer Science* 88, 1055-1064.