

OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A BASE DE DESECHOS VEGETALES Y POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD**PREPARATION OF COMPOSITE MATERIALS FROM VEGETAL WASTES AND HIGH DENSITY POLYETHYLENE**

R.H. Cruz-Estrada^{1*}, P. Fuentes-Carrillo¹, O. Martínez-Domínguez¹,
G. Canché-Escamilla¹ y C. García-Gómez²

¹ Centro de Investigación Científica de Yucatán, Unidad de Materiales, Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yucatán, México.

² Ayuntamiento de Mérida, Dirección de Desarrollo Urbano, Av. Mérida 2000, No. 128-A x 67, Fracc. del Bosque del Poniente, Mérida, Yucatán, México.

Recibido 23 de Junio 2005; Aceptado 4 de Diciembre 2005

Resumen

El presente trabajo reporta acerca de un estudio preliminar sobre el uso de desechos vegetales generados en la ciudad de Mérida, Yucatán, México para su aplicación potencial en el desarrollo de productos a nivel industrial. Se emplearon desechos vegetales almacenados en uno de los centros de acopio de la ciudad, dándoles un tratamiento previo mínimo con la finalidad de tratar de implementar a futuro un proceso lo más simple posible y de bajo costo, el cual permita obtener materiales compuestos poliméricos con las máximas propiedades y potenciar el diseño de productos a partir de ellos. Se determinó el rango de temperaturas de procesamiento adecuadas para el material de desecho, así como un procedimiento básico inicial para formular. Se utilizó polietileno de alta densidad como matriz polimérica, y se obtuvieron materiales compuestos con formulaciones desde 5 hasta 50 % en peso de desechos vegetales. En general, los resultados de la caracterización de las propiedades mecánicas a flexión indican que éstas se incrementaron con el aumento del contenido de relleno vegetal en los materiales.

Palabras clave: materiales compuestos poliméricos, reciclaje de desechos vegetales, procesamiento, propiedades mecánicas.

Abstract

The present work reports on a preliminary study on the use of vegetal wastes generated in the City of Merida, Yucatan, Mexico in order to asses their potential for the development of products at industrial-level. Vegetal wastes accumulated in one of the City's dumps were used giving them a minimum previous treatment in order to try to implement in future a simple and low-cost process, which allows obtaining polymer composites designed into different items with the maximum achievable properties. The range of processing temperatures suitable for the vegetal wastes, and an initial basic procedure to compound were determined, respectively. High density polyethylene was used as polymer matrix, and composites with contents of vegetal wastes ranging from 5 to 50 weight % were obtained. In general, the results of the flexural mechanical properties characterization indicate that they increased as the content of vegetal wastes in the materials did.

Keywords: polymer composites, vegetal wastes recycling, processing, mechanical properties.

1. Introducción

La ciudad de Mérida, Yucatán, al igual que otras ciudades de México y el mundo, es generadora de residuos vegetales en gran cantidad, los cuales provienen principalmente de sus parques y jardines. Entre los residuos de este tipo se tienen ramas generadas por la poda periódica, y troncos derivados del corte de distintas variedades de árboles debido a enfermedades o por dificultar el desarrollo urbano. Estos residuos son almacenados al azar en forma de astillas, sin llevar un control en cuanto al tiempo de

permanencia y la cantidad de éstos en los centros de acopio destinados para tal fin (Cruz y col., 2005). Lo anterior supone que es primordial encontrar un uso adecuado para este tipo de residuos en la creación de nuevos materiales con aplicaciones prácticas, lo cual contribuiría también a solucionar el problema de la acumulación desmedida de desechos vegetales en los centros de acopio de la ciudad.

En los últimos años se ha incrementado la tendencia del uso de materiales plásticos cargados con rellenos lignocelulósicos debido a los beneficios que este tipo de relleno aporta al material en cuando

*Autor para la correspondencia: E-mail: rhcruze@cicy.mx
Fax: +52 (999) 981 39 00

a rigidez, resistencia mecánica y bajo peso (Seethamraju y col., 2001; Jacobsen, 2003; Stokke y col., 2003; Rangaprasad y col., 2003), entre otros. De igual forma, otra ventaja del uso de rellenos vegetales es su bajo costo en comparación al de otros tipos de rellenos. Además, es bien sabido que los materiales a base de poliolefinas y rellenos vegetales poseen múltiples aplicaciones en la fabricación de muelles, perfiles para ventanas y puertas, paneles para la industria automotriz, cercas, barandas, etc. (Rangaprasad y col., 2003; Correa y col., 2003; Pritchard, 2004). De entre todas las poliolefinas usadas en la fabricación de este tipo de materiales, el polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés) es uno de los principales termoplásticos utilizados en los últimos años, debido principalmente a su fácil disponibilidad como material de recicló.

2. Materiales

Se utilizó material vegetal en forma de residuos leñosos triturados (MAT VEG), proporcionados por el Centro de Acopio Poniente de la ciudad de Mérida, Yucatán, México. En este lugar, el material se expone al ambiente y se almacena en grandes pilas en forma de pequeños montículos elaborados y distribuidos al azar. Para este estudio, se recolectaron aproximadamente 5 kg de material de un montículo con un tiempo estimado de almacenamiento de dos meses. El tratamiento previo proporcionado al material antes de usarlo como relleno en la obtención de los materiales compuestos se describe en las siguientes Secciones.

La matriz polimérica utilizada fue polietileno de alta densidad (HDPE) 6003 de PEMEX con una temperatura de fusión de 132°C, y con un índice de fluidez y una densidad de 0.3 g/10 min y 960 kg/m³, respectivamente.

3. Metodología

3.1 Determinación del contenido inicial de humedad

Se realizaron experimentos para determinar el contenido de humedad presente en los desechos vegetales recolectados en el Centro de Acopio. Este análisis se llevó a cabo por triplicado siguiendo el procedimiento indicado en la norma ASTM D-4442. Así, para los experimentos se utilizó una estufa de convección forzada marca Blue M (modelo OV-490A-2) a 100°C para secar las muestras por un tiempo total de 48 horas, las cuales se pesaron en varias ocasiones para verificar que llegaran a tener peso constante final. Para pesar las muestras se utilizó una balanza analítica marca Bosh con una precisión de 0.0001g. El porcentaje de humedad se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\%HUM = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100 \quad (1)$$

donde:

$\%HUM$ = Porcentaje de humedad de la muestra,

W_f = Peso final de la muestra,

W_i = Peso inicial de la muestra.

3.2 Análisis de la distribución inicial del tamaño de partícula

Para llevar a cabo este análisis fue necesario secar primero el material vegetal de desecho para retirarle el exceso de humedad con el que venía originalmente del Centro de Acopio. El secado se realizó en un horno de convección forzada de fabricación casera a una temperatura de 70°C durante 24 horas. Posteriormente, se tomaron tres muestras las cuales fueron pesadas antes de efectuar el análisis. Las muestras se pesaron en una balanza granataria marca Ohaus con una precisión de 0.1 g. Cada muestra fue tamizada por 5 minutos en un tamizador ROTAP (W.S. TYLER, INCORPORATED), modelo RX-29, utilizando una serie de tamices con mallas No. 6, 8, 10, 20, 30, y 40. Una vez terminado el tamizado, las muestras se clasificaron de acuerdo al tamiz en donde quedaron retenidas las partículas. Para calcular la fracción de material retenida en cada tamiz se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%EF = \frac{WRm}{W} \times 100 \quad (2)$$

donde:

$\%EF$ = Porcentaje en peso de material retenido en el tamiz,

WRm = Peso del material retenido en el tamiz,

W = Peso total inicial de la muestra.

3.3 Reducción del tamaño de partícula

El material vegetal de desecho previamente secado a 70°C por 24 hrs fue molido dos veces utilizando un molino marca Pagani (modelo 1520) con mallas metálicas de 2 mm diámetro. Después de la molienda, se tomó una muestra del material la cual fue tamizada empleando el mismo procedimiento y equipo descritos anteriormente. La fracción de material retenida en cada tamiz fue pesada, y se utilizó la Ec. (2) para determinar el rendimiento de la molienda.

3.4 Análisis Termogravimétrico

El intervalo de temperaturas a la cual el material vegetal comienza a degradarse se determinó mediante análisis termogravimétrico (TGA). Este análisis se practicó al material para establecer la temperatura máxima de procesamiento. Los experimentos se realizaron por duplicado en atmósfera de nitrógeno en una balanza termogravimétrica PERKIN-ELMER TGA7 a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, y en un intervalo de temperaturas de 30 a 700°C. El material

que se utilizó para el análisis es el retenido en el plato colector durante las operaciones de tamizado.

3.5 Preparación de mezclas MAT VEG-HDPE

Se elaboraron varias mezclas MAT VEG-HDPE con distintos porcentajes en peso de material vegetal con respecto al polietileno de alta densidad. Así, se prepararon las siguientes composiciones: 5, 10, 15, 20, 30, 40 y 50 % en peso de desechos vegetales en la matriz polimérica. Se utilizó polietileno de alta densidad molido con la finalidad de que las mezclas fueran lo más homogéneas posible. El HDPE se molió con un molino de cuchillas marca Brabender, tipo 880804, utilizando mallas de 2 mm de diámetro. Los desechos vegetales utilizados fueron los que se molieron dos veces, tal como ya se ha descrito. Se prepararon 500 g de cada formulación. La forma de mezclado fue manual en un recipiente de plástico. La longitud máxima aproximada de las fibras del material leñoso de desecho utilizado fue de 2 mm.

3.6 Procesamiento por extrusión de mezclas MAT VEG-HDPE

Antes de la extrusión, cada una de las mezclas con las distintas formulaciones fue secada a 100°C durante 24 horas en la misma estufa señalada en la Sección 3.1. Se utilizó un extrusor cónico de doble husillo con 3 zonas de calentamiento, marca Brabender modelo CTSE-V/MARK II, y un dado de extrusión con salida de 3 mm de diámetro para obtener varillas. Las temperaturas de procesamiento fueron 170°C en la zona de alimentación del extrusor, 180 y 185°C en las siguientes dos zonas, y 185°C en el dado de extrusión. La velocidad de rotación del tornillo de extrusión fue de 35 rpm. Después de salir del dado los materiales compuestos fueron enfriados en una tina de enfriamiento con agua a 23°C. Se obtuvieron varillas de aproximadamente 3.5 mm de diámetro. Posteriormente, los extruidos obtenidos fueron secados con un ventilador para luego hacerlos pasar por un "peletizador" de laboratorio marca Brabender, modelo 12-72-000.

3.7 Preparación de laminados

Con la finalidad de obtener probetas de los materiales compuestos obtenidos para la determinación de sus propiedades mecánicas a flexión, se prepararon laminados mediante moldeo por compresión. El material utilizado para la preparación de los laminados es el que se obtuvo en forma de "pellets" mediante el proceso de extrusión. Se utilizó un molde de aluminio de 15 x 15 cm y 3 mm de espesor y una prensa CARVER modelo 3891.4DI1A00, a una temperatura de 180°C y utilizando una fuerza de compresión de 66,723 N (15,000 lb_f). El tiempo de compresión fue de 12.5 min. La cantidad de material utilizada fue de 65 a 70g dependiendo de la formulación.

3.8 Determinación de propiedades mecánicas a flexión

Las propiedades mecánicas a flexión fueron caracterizadas utilizando una máquina de pruebas universales SHIMADZU modelo AG-I 100 KN, de acuerdo a la norma estándar ASTM D-790. Los experimentos se llevaron a cabo utilizando una velocidad de cabezal de 5.3 mm/min y hasta un desplazamiento máximo de cabezal de 22 mm. Para la evaluación mecánica se utilizaron 7 probetas de cada una de las diferentes composiciones, las cuales fueron obtenidas de los laminados de los materiales compuestos. Para esto, los laminados fueron cortados en una sierra cinta y rectificadas en una pulidora circular hasta proporcionar a las probetas las dimensiones requeridas por la norma. Las probetas se ambientaron por un día antes de llevar a cabo las pruebas mecánicas. Para cada material se determinó el módulo de flexión ("flexural modulus"), la resistencia a la flexión ("flexural strength") y la deformación al esfuerzo máximo bajo flexión.

4. Resultados y discusión

4.1 Determinación del contenido inicial de humedad

Los resultados de la determinación del contenido inicial de humedad (%HUM) se presentan en la Tabla 1. Como se puede observar, el contenido de humedad promedio inicial del material de desecho es muy elevado, lo cual dificultaría trabajar con él en esas condiciones.

Tabla 1. Resultados de la determinación del contenido inicial de humedad en el material vegetal de desecho.

Muestra	Pesos (g)					%HUM
	Inicial	Después de 4 hrs	Después de 10 hrs	Después de 30 hrs	Después de 48 hrs	
1	4.2620	1.7082	1.7080	1.7027	1.7027	60
2	3.503	2.0116	2.0091	1.9996	1.9996	43
3	3.4065	2.0847	2.0844	2.0843	2.0843	39
Promedio						47

Nota: %HUM fue calculado utilizando Ec. 1 (Norma ASTM D-4442).

En especial, esto ocurriría durante las operaciones de reducción de tamaño de partícula y durante el mezclado con el polietileno de alta densidad, ya que este material por lo general presenta un comportamiento hidrofóbico, lo que dificultaría obtener mezclas homogéneas. Para evitar todo lo anterior, fue conveniente secar el material con el fin de reducir el exceso de humedad, tal y como ya se ha mencionado.

4.2 Análisis de la distribución del tamaño de partícula

Los resultados del análisis de la distribución inicial del tamaño de partícula se presentan en la Tabla 2, mientras que el rendimiento de la molienda se presenta en la Tabla 3.

Para los fines del presente estudio se decidió experimentar con rellenos leñosos cuyas fibras fueran relativamente cortas de manera que no se presentaran problemas de aglomeración, lo cual pudiera dificultar el procesamiento por extrusión de las mezclas debido a la generación de niveles muy elevados de presión y del par de torsión en el sistema, lo cual pudiera poner en riesgo el buen funcionamiento de los equipos de procesamiento. Es por esto que se decidió moler dos veces los desechos de madera con la finalidad de obtener la mayor cantidad posible de material, cuyas fibras fueran lo más cortas posibles. Como se puede observar en los resultados que se presentan en la Tabla 3, hubo un incremento considerable en la cantidad de material más fino como resultado de haber molido el material dos veces. Al respecto, nótese que la suma total de las cantidades del material retenido en las mallas No. 20, 30, y 40; y en plato colector representan el 100 % del material molido. Esto contrasta con el 9.4 % obtenido para los mismos tamices, después de tamizar el material sin moler (Tabla 2). Observando con más detalle los resultados que se presentan en la Tabla 3, es evidente que hubo un incremento de material más fino retenido en cada uno de los tamices. Por ejemplo, note el aumento en el porcentaje de material retenido en el tamiz malla No. 20 ($2\text{ mm} > \phi > 0.85\text{ mm}$) de 4.5 % (Tabla 2) a 28.0 % (Tabla 3). De una manera similar, el % de material retenido en los tamices mallas No. 30 ($0.85\text{ mm} > \phi$

$> 0.6\text{ mm}$) y 40 ($0.6\text{ mm} > \phi > 0.43\text{ mm}$), y el colector ($\phi < 0.43\text{ mm}$) presentaron un incremento considerable. De tal manera, para la preparación de los materiales compuestos se utilizó todo el material vegetal de desecho retenido en los tamices con mallas No. 20 a la 40 y en el plato colector, lo cual proporcionó fibras cuyas longitudes máximas no excedieron los 2 mm.

4.3 Análisis Termogravimétrico

El resultado del análisis termogravimétrico se presenta en Fig. 1. Como se puede observar, el % en peso de la muestra disminuye gradualmente conforme se incrementa la temperatura hasta alrededor de los 250°C, lo cual corresponde a la pérdida de humedad absorbida por la muestra y a la degradación de componentes de bajo peso molecular. A partir de temperaturas cercanas a los 250°C se nota una caída brusca en el peso de la muestra hasta aproximadamente los 400°C. A partir de esta temperatura, se observa que la disminución en el peso de la muestra vuelve a ser de manera gradual, presentando cierta tendencia a estabilizarse. La pérdida en peso observada en la región de los 250°C a los 400°C corresponde principalmente a la descomposición de la celulosa con la generación de residuos carbonosos. A temperaturas mayores de 400°C, ocurre la descomposición de la lignina de la muestra y de los residuos carbonosos (Fisher y col., 2002).

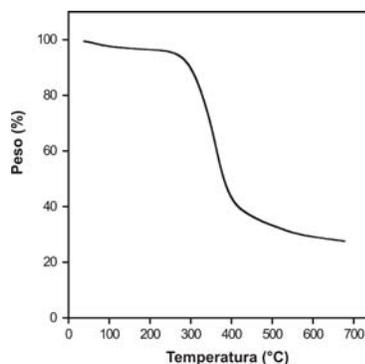


Fig. 1. Termograma TGA del material vegetal de desecho.

Tabla 2. Resultados del análisis de la distribución inicial del tamaño de partícula en el material vegetal de desecho. Resultados para cada una de las muestras analizadas

No. de malla del tamiz	Muestra 1, Peso inicial = 170.4 g		Muestra 2, Peso inicial = 164.3 g		Muestra 3, Peso inicial = 177.0 g		%EF promedio
	Peso (g)	%EF	Peso (g)	%EF	Peso (g)	%EF	
6	145.5	85.4	139.6	85.0	136.1	76.9	82.4
8	9.9	5.8	12.1	7.4	12.3	7.0	6.7
10	1.9	1.1	2.4	1.5	3.1	1.7	1.5
20	6.9	4.0	4.5	2.7	12.4	7.0	4.5
30	1.3	0.8	1.7	1.0	4.0	2.3	1.4
40	1.0	0.6	0.5	0.3	2.8	1.5	0.8
Colector	3.9	2.3	3.5	2.1	6.3	3.6	2.7

Estos resultados indican que la temperatura máxima de procesamiento de las mezclas para obtener los materiales compuestos no debe sobrepasar los 250°C.

Tabla 3. Resultados del análisis del rendimiento (%EF) de la molienda de material vegetal de desecho.

No. de malla del tamiz	Peso inicial de muestra = 430 g	
	Peso (g)	%EF
6	-----	-----
8	-----	-----
10	-----	-----
20	120	28.0
30	126	29.3
40	72	16.7
Colector	112	26.0

4.4 Determinación de propiedades mecánicas a flexión

Con respecto a la caracterización de las propiedades mecánicas, los resultados se presentan en Figs. 2 a la 4. En las figuras anteriores se observa que a medida que aumenta el contenido de residuos leñosos en el material compuesto, éste incrementa su resistencia a la flexión, lo cual se ve claramente reflejado en la tendencia a incrementarse tanto esta propiedad (Fig. 2), como el módulo de flexión (Fig. 3). Si bien es cierto que la línea de tendencia indica que lo anterior ocurriría hasta un contenido máximo de 35 % en peso de material vegetal, los valores máximos obtenidos para la resistencia a la flexión y para el módulo fueron, respectivamente, para contenidos de material leñoso de 40 y 30 %. Arriba de estos porcentajes se nota claramente que tanto la resistencia a la flexión como el módulo tienden a disminuir.

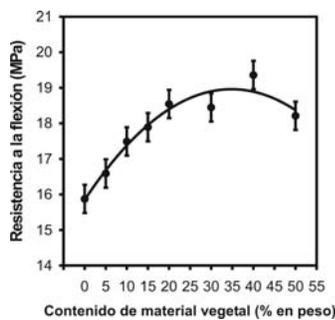


Fig. 2. Variación de la resistencia a la flexión con respecto al contenido de material vegetal de desecho.

En lo que respecta a la deformación al esfuerzo máximo bajo flexión, ésta presenta una tendencia inicial a aumentar ligeramente con respecto al contenido de desechos leñosos (Fig. 4). Esto ocurre hasta alcanzar un contenido de 10 % de material vegetal. A partir de este punto, la tendencia general es a disminuir conforme aumenta la cantidad

de desechos de madera en los materiales compuestos. Se puede observar también, que la disminución ocurre de manera muy gradual hasta alcanzar el 20 % de desechos de madera. Para contenidos superiores de material vegetal el decremento en la deformación tiende a incrementarse, lo cual es congruente con las tendencias observadas para el módulo y la resistencia a la flexión.

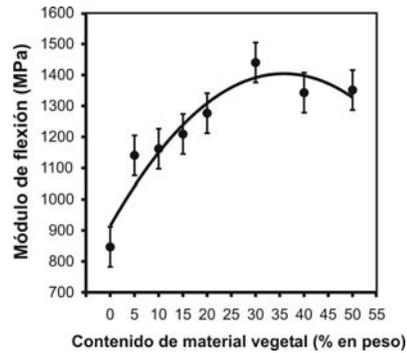


Fig. 3. Variación del módulo de flexión con respecto al contenido de material vegetal de desecho.

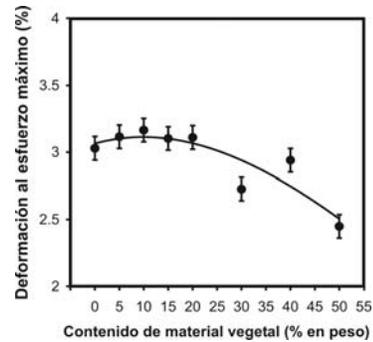


Fig. 4. Variación de la deformación al esfuerzo máximo bajo flexión con respecto al contenido de material vegetal de desecho.

Los resultados anteriores hacen suponer que los materiales compuestos obtenidos como resultado de esta experimentación preliminar, alcanzan su máximo en cuanto a propiedades mecánicas a flexión se refiere cuando el contenido de material vegetal es alrededor de 30 o 40 % en peso. Para contenidos superiores, se nota una clara disminución de las propiedades mecánicas. Experimentación adicional se ha planeado para optimizar el proceso de preparación, y para evaluar las propiedades mecánicas a tensión, impacto y compresión.

En los resultados que se presentan, es interesante notar el hecho de que tanto la resistencia a la flexión como el módulo aumenten conforme se incrementa el contenido de desechos de madera, aún sin haber sometido a las fibras a un tratamiento previo de limpieza o químico con la finalidad de mejorar la adherencia entre éstas y la matriz polimérica. De igual forma, tampoco se hizo uso de

algún agente compatibilizante para mejorar la resistencia interfacial fibra-matriz y con ello obtener mejores propiedades mecánicas, lo cual es una práctica común en la preparación de materiales compuestos poliméricos a base de desechos de madera (Bledzki y col., 2004; Nitz y col., 2000). El incremento observado en las propiedades mecánicas con respecto a las del HDPE puro se cree que se debió a que los desechos de madera actuaron como relleno haciendo a los materiales más rígidos y más resistentes hasta alcanzar un nivel máximo. Para concentraciones mayores de material vegetal, éste hizo a los materiales compuestos más quebradizos. Resultados similares han sido reportados por otros autores (Douglas y col., 2004).

Es importante enfatizar que este estudio preliminar solo comprendió la experimentación con fibras de material vegetal leñoso cuyas longitudes estimadas no excedieron los 2 mm. Al respecto, se sabe que se usan fibras con relación de aspecto relativamente largas para obtener mejores propiedades mecánicas, de manera que las fibras actúen como refuerzo en el material compuesto. Sin embargo, el método de procesamiento para la obtención de los materiales compuestos reportados en este trabajo (extrusión) no permite el uso de fibras largas o continuas, ya que se presentan los problemas de aglomeración señalados con anterioridad. Experimentación posterior se ha planeado en la que se evalúe el efecto del tamaño de partícula en las propiedades mecánicas del material compuesto resultante. De igual forma, también se planea experimentar con HDPE de reciclado como matriz polimérica.

Conclusiones

Como resultado de esta experimentación preliminar, se lograron obtener materiales compuestos a base de material leñoso de reciclado y HDPE, los cuales presentan una tendencia a mejorar sus propiedades mecánicas a flexión conforme se incrementa el contenido del relleno vegetal de reciclado. Lo anterior ocurrió hasta alcanzar un contenido máximo de desechos de madera en los materiales compuestos. Los valores máximos para la resistencia a la flexión se obtuvieron para el material compuesto con 40 % en peso de desechos vegetales; mientras que para el módulo, los valores máximos obtenidos fueron para el material compuesto con 30 % de residuos leñosos. Para porcentajes mayores se notó una clara disminución de las propiedades mecánicas antes señaladas.

Agradecimiento

Los autores agradecen al Fondo Mixto CONACyT-Gobierno del Estado de Yucatán por el apoyo financiero otorgado para llevar a cabo este estudio a través del proyecto YUC-2003-C02-021. De igual

forma, se agradece al Ayuntamiento de Mérida por todas las facilidades brindadas.

Referencias

- ASTM D-4442-92 (2003). *Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials*. ASTM Int., Phil., Pa, USA.
- ASTM D-790-03 (2003). *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*. ASTM Int., Phil., Pa, USA.
- Bledzki, A.K. y Faruk, O. (2004). Word fiber reinforced polypropylene composites: Compression and injection molding process. *Polymer-Plastics Technology and Engineering* 43, 871-888.
- Correa, C.A., Fonseca, C.N.P., y Neves, S. (2003). Wood-plastic composites. *Polimeros: Ciencia y Tecnologia* 13, 154-165.
- Cruz Estrada, R.H., Canché Escamilla, G., García Gómez, C., González Chi, P.I., Fuentes Carrillo, P., Martín Barrera, C. y Duarte Aranda, S. (2005). Utilización de Desechos Vegetales en la Obtención de Materiales Compuestos Termoplásticos, 1er. Reporte Técnico a CONACyT, Proyecto YUC-2003-C02-021, Mérida, Yuc., México.
- Douglas, P., Murphy, W.R. y McNally, G.M. (2004). The effect of surface active agent on the mechanical properties of wood-polymer composites. *Proceedings of the Society of Plastics Engineers Annual Technical Conf. & Exh.-ANTEC 2004*, 1632-1635.
- Fisher, T., Hajaligol, M., Waymack, B. y Kellogg, D. (2002). Pyrolysis behavior and kinetics of biomass derived materials. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 62, 331-349.
- Jacobsen, W.W. (2003). Patente Mexicana, MX 217871.
- Nitz, H., Reichert, P., Romling, H. y Mulhaupt, R. (2000). Influence of compatibilisers on the surface hardness, water up-take and the mechanical properties of polypropylene wood flour composites prepared by reactive extrusion. *Macromolecular Materials and Engineering* 276-277, 51-58.
- Pritchard, G. (2004). Two technologies merge: Wood plastic composites. *Plastics, Additives and Compounding* 6, 18-21.
- Rangaprasad, R. y Vasudeo, Y.B. (2003). Wood plastic composites. *Popular Plastics and Packing* 48, 93-100.
- Seethamraju, K.V. y Deaner, M.J. (2001). Patente Mexicana, MX 203754.
- Stokke, D.D. y Gardner, D.J. (2003). Fundamental aspects of wood as a component of thermoplastic composites. *Journal of Vinyl & Additive Technology* 9, 96-104.