

## PREPARACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A BASE DE DESECHOS DE MADERA Y POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO

**R.H. Cruz Estrada<sup>1\*</sup>, P. Fuentes Carrillo<sup>1</sup>, O. Martínez Domínguez<sup>1</sup>, G. Canché Escamilla<sup>1</sup>,  
P.I. González Chí<sup>1</sup>, C. Martín Barrera<sup>1</sup>, S. Duarte Aranda<sup>1</sup>, C. García Gómez<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C., Unidad de Materiales, Calle 43 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97200, Mérida, Yuc., México, \* e-mail: [rhcruze@cicy.mx](mailto:rhcruze@cicy.mx)*

<sup>2</sup>*Ayuntamiento de Mérida, Dirección de Desarrollo Urbano, Av. Mérida 2000, No. 128-A x 67, Fracc. del Bosque del Poniente, Mérida, Yuc., México*

**Abstract-** La ciudad de Mérida, al igual que otras ciudades de México, es generadora de desechos de madera que provienen principalmente de la poda de árboles de sus parques y jardines. Además, se producen grandes cantidades de desechos plásticos, entre los que destacan envases fabricados con polietileno de alta densidad (HDPE). El presente trabajo reporta sobre la preparación de materiales compuestos a base de desechos de madera y HDPE reciclado provenientes de los residuos sólidos municipales. Estos materiales fueron utilizados dándoles un tratamiento previo mínimo con la finalidad de desarrollar a futuro un proceso de producción de bajo costo que permita la fabricación de productos a nivel industrial. Se obtuvieron materiales compuestos con contenidos de desechos de madera desde 5 hasta 70 % en peso. La caracterización de las propiedades mecánicas a flexión y tensión indican un incremento en el módulo elástico conforme se aumenta el contenido de relleno vegetal en los materiales. Tanto para la resistencia a la flexión como para la resistencia a la tensión se observó una caída gradual conforme aumentó el contenido de relleno vegetal.

### Introducción

La ciudad de Mérida, Yucatán, al igual que otras ciudades de México y el mundo, es generadora de desechos de madera 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 (Figura 1) sin llevar un control en cuanto al tiempo de permanencia y la cantidad de éstos en los centros de acopio destinados para tal fin [1].

Por otra parte, también se generan una gran cantidad de desechos plásticos que en algunos casos son separados de otros materiales inorgánicos. Así, la Planta de Separación del H. Ayuntamiento de Mérida tiene actualmente implementado un proceso con el cual separan, entre otros materiales, grandes cantidades de objetos hechos de polietileno de alta densidad, los cuales corresponden principalmente a envases de productos tales como cloro, ácido muriático, aceite automotriz, leche, etc. (Figura 2).

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 a rigidez, resistencia mecánica y bajo peso [2,3], 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. De entre todas las poliolefinas usadas en la fabricación de este tipo de materiales, es el polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en

inglés) el principal termoplástico utilizado en los últimos años, debido principalmente a su fácil disponibilidad como material de reciclaje [4].



**Figura 1.** Desechos de madera en el Centro de Acopio de Mérida.



**Figura 2.** Envases de polietileno de alta densidad.

### Sección Experimental

Los desechos de madera en forma de residuos leñosos fueron proporcionados por el Centro de Acopio Poniente de la ciudad de Mérida. Los residuos leñosos fueron inicialmente secados en una estufa de convección para eliminarles el exceso de humedad. Posteriormente, el material fue triturado en un molino de cuchillas marca Pagani (modelo 1520) utilizando una criba metálica con agujeros de 2 mm de diámetro para reducir el tamaño de partícula. El material matriz utilizado consistió en botellas y otros envases de HDPE grado soplado proporcionados por la Planta de Separación del H. Ayuntamiento de Mérida. Estos objetos fueron previamente lavados, cortados y secados para posteriormente pasar al proceso de triturado utilizando el molino y la criba descritos líneas arriba para lograr homogenizar el tamaño de partícula. Para fines comparativos, también se prepararon materiales compuestos utilizando como matriz HDPE virgen (6035 de PEMEX), al cual también se le redujo el tamaño de partícula utilizando el mismo molino y criba descritos anteriormente.

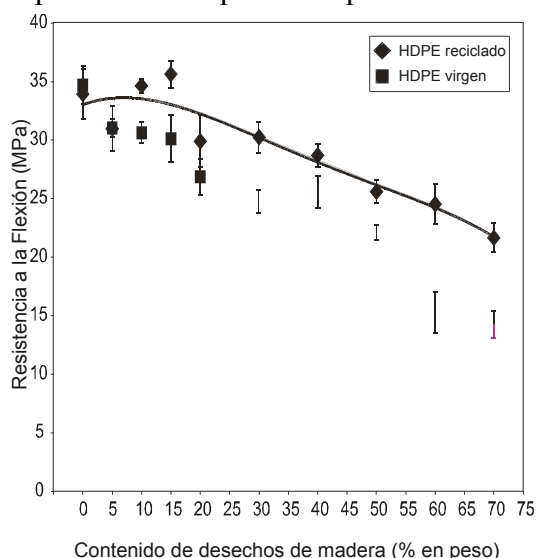
Las partículas de los desechos de madera y HDPE fueron mezcladas mecánicamente utilizando una mezcladora de cinta de la compañía Intertécnica (modelo ML-5) en composiciones que variaron desde 5 hasta 70 % en peso de desechos de madera. Las mezclas fueron posteriormente procesadas en un extrusor Brabender de doble husillo (modelo CTSE-V/MARK II) con cuatro zonas de calentamiento para obtener los materiales compuestos en forma de varilla con un diámetro aproximado de 10 mm. La temperatura de procesamiento fue de 185°C, mientras que la velocidad de rotación del husillo fue de 50 rpm. Los materiales compuestos resultantes fueron posteriormente molidos en el molino ya descrito utilizando una criba con agujeros de 6 mm de diámetro.

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos obtenidos fueron caracterizadas utilizando una máquina de pruebas universales INSTRON (modelo 5500R) de acuerdo a las normas estándares ASTM D-790 para flexión (velocidad de cabezal = 13.65 mm/min y desplazamiento máximo = 15 mm) y ASTM D-638 para tensión (velocidad de cabezal = 2 mm/min con probetas tipo IV). Para esto se prepararon probetas de los materiales compuestos con las dimensiones especificadas en las respectivas normas estándares. Las probetas fueron cortadas de laminados de los materiales compuestos, los cuales fueron obtenidos mediante

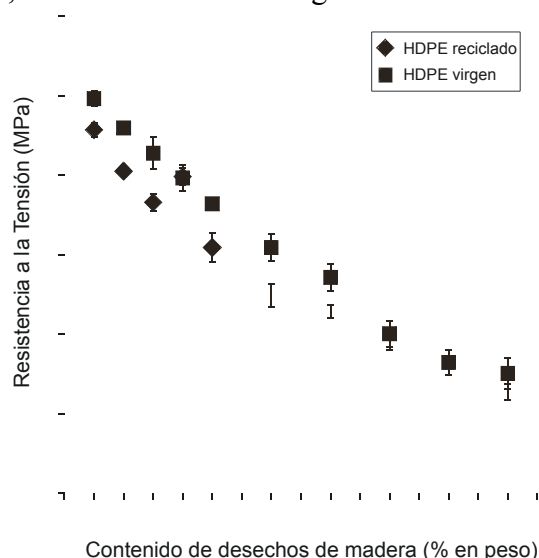
moldeo por compresión en una prensa CARVER modelo 3891. Las condiciones de moldeo fueron 185°C, 500 psi y 12.5 minutos de compresión. Los laminados para las probetas de flexión fueron cortados en una sierra cinta y rectificados en una pulidora circular hasta proporcionar a las probetas las dimensiones requeridas por la norma. Para tensión, las probetas se obtuvieron de laminados con un espesor de 2 mm, utilizando una cortadora neumática CEAST.

## Resultados y Discusión

Los resultados de la evaluación mecánica se presentan en las Figuras 3 a la 8. Se observa que a medida que aumenta el contenido de residuos leñosos en el material compuesto, tiende a disminuir tanto la resistencia a la flexión (Figura 3), como la resistencia a la tensión (Figura 4) tanto para los materiales a base de HDPE reciclado, como para aquellos en los que la matriz fue HDPE virgen. Aunque las Figuras anteriores sugieren que existe una diferencia en la magnitud de esta propiedad con respecto al tipo de matriz utilizada, ésta realmente no es significativa.



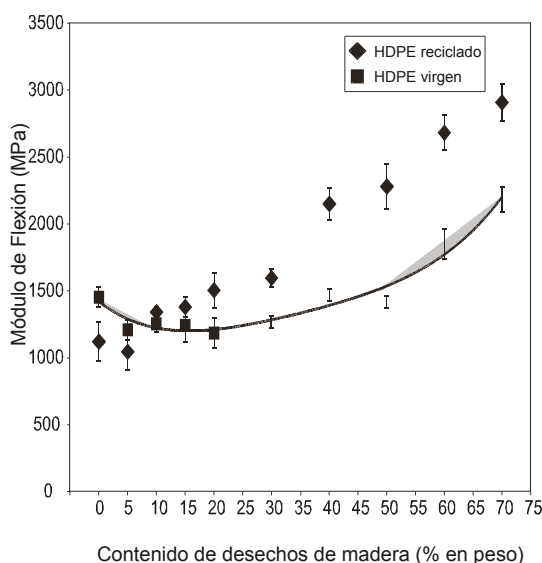
**Figura 3.** Variación de la resistencia a la flexión con respecto al contenido de desechos de madera.



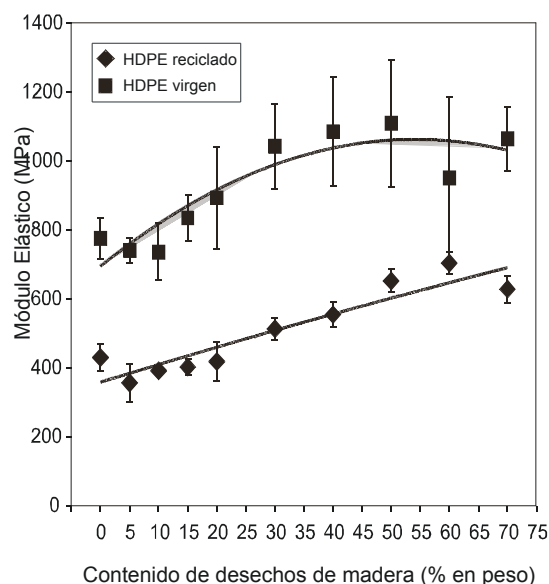
**Figura 4.** Variación de la resistencia a la tensión con respecto al contenido de desechos de madera.

Respecto al módulo en flexión y en tensión, se nota una tendencia a aumentar conforme se incrementa el contenido de desechos de madera. Esto se muestra en las Figuras 5 y 6 respectivamente. Para el módulo de flexión (Figura 5), se observa que para contenidos de desechos de madera de hasta 50 % (HDPE virgen) y de hasta 30 % (HDPE reciclado) la magnitud de esta propiedad está concentrada en la región entre 1000 y 1500 MPa. Para el material en el que se usó HDPE reciclado, a partir de un 40 % se observa un aumento claro en el módulo, mientras que para el material a base de HDPE virgen éste aumento se observa solo a partir de un 60 % de desechos de madera. En el caso del módulo a tensión (Figura 6) se nota inicialmente una diferencia en las magnitudes, la cual se puede deber a que la matriz polimérica utilizada para la preparación de ambos tipos de materiales compuestos es diferente. Es decir el HDPE reciclado utilizado consiste en una mezcla de distintos tipos de envases recolectados en la planta de separación, los cuales son básicamente inyectados y sopladados; mientras que el HDPE virgen es una resina pura de grado comercial. Para el material a base de HDPE reciclado se observa que para contenidos de hasta un 20 % de desechos de madera, los valores del módulo se agrupan en una región que se encuentra entre aproximadamente 375 y 425 MPa. Posteriormente, aunque se

nota un incremento en estos valores, se observa que esto ocurre realmente hasta contenidos de residuos de madera de 60 % para luego decrecer. Para el caso del material a base de HDPE virgen se observa que hasta un contenido de 15 % de desechos de madera, los valores del módulo se mantienen en el intervalo de 775 a 825 MPa, aproximadamente. Posteriormente, el módulo tiende a aumentar hasta contenidos de residuos leñosos de 50 %, para posteriormente disminuir ligeramente.

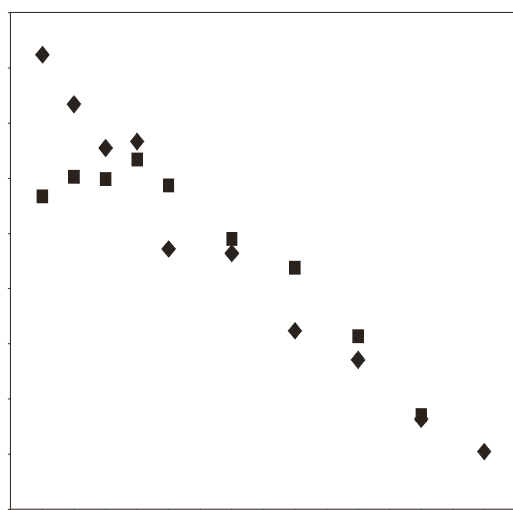


**Figura 5.** Variación del módulo de flexión con respecto al contenido de desechos de madera.

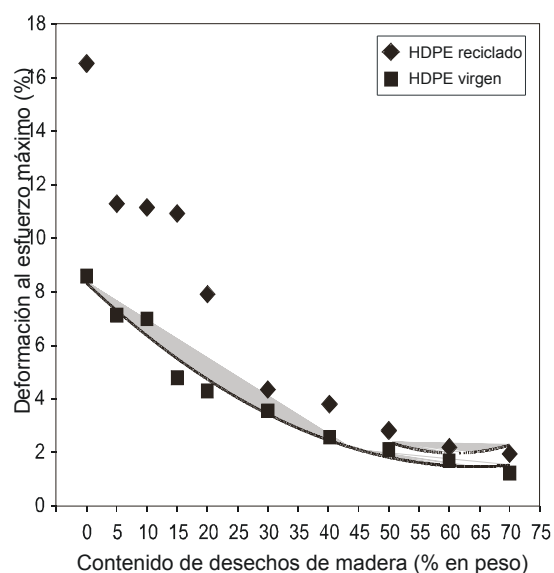


**Figura 6.** Variación del módulo elástico con respecto al contenido de desechos de madera.

En lo que respecta a la deformación al esfuerzo máximo a flexión (Figura 7), se observa que para el material a base de HDPE reciclado, ésta tiende a disminuir conforme se incrementa el contenido de desechos de madera. Para el material a base de HDPE virgen ocurre que para formulaciones de hasta 20 % de desechos de madera, la deformación oscila alrededor del 6 %. Posteriormente la tendencia es a disminuir en forma similar a lo ocurrido en el caso anterior.



**Figura 7.** Variación de la deformación al esfuerzo máximo a flexión con respecto al contenido de desechos de madera.



**Figura 8.** Variación de la deformación al esfuerzo máximo a tensión con respecto al contenido de desechos de madera.

En tensión (Figura 8), se observa que para el material a base de HDPE virgen, los valores de la deformación se agrupan en tres regiones. La primera de éstas (aproximadamente desde 7 hasta 9 % de deformación) corresponde a contenidos de desechos de madera de hasta 10 %, mientras que la segunda (aproximadamente desde 3 hasta 5 % de deformación) corresponde a contenidos de desechos de hasta 30 %. Finalmente, la tercera de estas regiones corresponde a las formulaciones restantes, para las cuales la deformación fluctúa entre 1 y 3 %, disminuyendo menos abruptamente con respecto a lo observado en las otras regiones. Para el material a base de HDPE reciclado se nota inicialmente una mayor deformación en la matriz polimérica con respecto a la resina virgen, lo cual se atribuye nuevamente al origen de la matriz reciclada. Para contenidos de desechos de madera de hasta 15 % la deformación disminuye hasta un valor aproximado de 11 %. A partir del 20 % de desechos de madera la deformación disminuye drásticamente. Esto ocurre hasta contenidos de desechos de 40 %. Para contenidos superiores la tendencia es a estabilizarse, alcanzando valores de deformación que fluctúan entre 1 y 3 % aproximadamente.

La caída en los valores de la deformación al esfuerzo máximo implica un aumento en la fragilidad de los materiales compuestos. Esta tendencia es congruente con los resultados observados para la resistencia a la flexión y a la tensión respectivamente, en donde se observó el decaimiento de estas propiedades conforme se aumenta el contenido de desechos de madera. De igual forma, la tendencia antes descrita es congruente con aquella observada para el módulo elástico, la cual es la de aumentar con el incremento del % de residuos de madera.

### Conclusiones

Se lograron obtener materiales compuestos a base de desechos de madera y HDPE tanto virgen como reciclado. Los resultados de la caracterización de sus propiedades mecánicas a flexión y a tensión indican la disminución de éstas conforme se incrementó el contenido de desechos de madera en los materiales compuestos. Se deben realizar estudios posteriores en los cuales se evalúe la influencia del tamaño de partícula del relleno de madera y la incorporación de aditivos compatibilizantes.

### Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero a CONACyT para la realización de este estudio a través del proyecto YUC-2003-C02-021. De igual forma se agradece al Ayuntamiento de Mérida por las facilidades brindadas.

### Referencias

- 1 R.H. Cruz Estrada, G. Canché Escamilla, C. García Gómez, P.I. González Chi, P. Fuentes Carrillo, C. Martín Barrera, S. Duarte Aranda, *“Utilización de Desechos Vegetales en la Obtención de Materiales Compuestos Termoplásticos”*, 1er Reporte Técnico a CONACyT, Proyecto YUC-2003-C02-021, Mérida, Yuc., México, 2005.
- 2 W.W. Jacobsen, Patente Mexicana, MX 217871, 2003.
- 3 K.V. Seethamraju, M.J. Deaner, Patente Mexicana, MX 203754, 2001.
- 4 I. Jiménez *Tecnología del Plástico* 2005, 20, 24.