

## FORMULACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE COMPUESTOS POLÍMERO/FIBRA DE MADERA. EVALUACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE MADERAS INMERSAS EN UNA MATRIZ POLÍMERICA.

**K. Arias-Reyes<sup>1</sup>, S. Flores-Gallardo<sup>2</sup>, M. Mendoza-Duarte\*<sup>2</sup>**  
\*monica.mendoza@cimav.edu.mx

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chihuahua Facultad de Ciencias Químicas (UACH) –

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV)

### ABSTRACT

Se estudiaron las propiedades mecánicas de compuestos polímero/madera (CPM) formulados con fibras de madera de diferentes tipos (pino, nogal, encino, cerezo). En los cuales se consideraron dos tamaños de partícula diferentes: 710  $\mu\text{m}$ , y 300  $\mu\text{m}$ . Como matriz polimérica se empleó polietileno de alta densidad. En todos los compuestos se manejó relación en peso fibra/madera de 40/60. Debido a la naturaleza hidrofóbica del polímero e hidrofílica de la madera, se consideró la adición de un agente compatibilizante para promover la adherencia polímero/partícula. Dos diferentes concentraciones fueron empleadas, 2 y 8 phr (partes por cien de resina). Se cree que se puede existir una influencia directa del tamaño de partícula empleado así como de la concentración de compatibilizante en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del compuesto. Se encontró que al utilizar un tamaño de partícula de 710  $\mu\text{m}$  y 2phr de agente de acoplamiento las propiedades mecánicas evaluadas en tensión se ven notablemente incrementadas en comparación con la matriz pura, mientras que los compuestos elaborados con tamaños de partícula de 300  $\mu\text{m}$  mostraron mejores resultados en las propiedades mecánicas en la modalidad de flexión.

### INTRODUCCIÓN

La producción forestal maderable ha presentado cambios a lo largo de la década de 2001-2010 según el anuario estadístico de la producción forestal 2010 SEMARNAT, donde los estados de Durango chihuahua y Jalisco contribuyeron con la mayoría de la producción maderable, dentro del género o tipo de materia forestal aprovechados se encuentra el pino y el encino.<sup>1</sup>

Los compuestos de polímero y madera (CPM), durante la última década han surgido con gran importancia dentro de los materiales de ingeniería, dichos materiales son fabricados mediante la mezcla de fibras de madera y una matriz polimérica.<sup>2</sup> La madera es un componente renovable que proviene de una corriente de desecho y todo el material de este tipo puede ser reciclable.<sup>3</sup> La sostenibilidad de esta tecnología se hace más atractiva cuando el bajo costo y la alta disponibilidad de partículas finas de residuos de madera se consideran<sup>4</sup>, por consiguiente hay una alta generación de este subproducto que se desperdicia. Sin embargo este material actualmente se dispone sin darle ningún uso alternativo. El darle un valor añadido a los (CPM) a partir de residuos forestales puede considerarse como una solución alternativa a este problema. La madera de pino y encino podrían desempeñar un importante papel en la fabricación de (CPM).

El Polietileno de alta densidad (HDPE) es un termoplástico barato, fácil de obtener, procesar y con muy buenas propiedades físicas, químicas y mecánicas eléctricas, térmicas y ópticas lo que lo hace un material denominado comoditie, ampliamente utilizado en la formulación de (CMP).<sup>5</sup>

Estos materiales compuestos se utilizan principalmente en aplicaciones de tramos pequeños y en construcciones no principales como pilares o cimientos, ya que no poseen la resistencia a la flexión y modulo requerido para estas aplicaciones.<sup>2</sup> Sus principales ventajas son resistencia a la intemperie, resistencia a la humedad, el rendimiento térmico, resistencia al ataque de hongos, etc.

Estos materiales compuestos se transforman mediante procesos de extrusión e inyección. Al mejorar las propiedades mecánicas (modulo de flexión y tensión), se podría ampliar las aplicaciones de construcciones estructurales para estos compuestos; hay varias opciones para lograrlo como: utilizar tamaño correcto de la carga o relleno, mezcla y preparación óptima de los elementos en el producto, y la adición de pequeñas cantidades de aditivos.<sup>4</sup> Los aditivos son productos que se mezclan con el Polietileno de alta densidad con el objeto de mejorar las propiedades del polímero, como facilitar su procesado o dar un determinado color o textura.<sup>5</sup> Los aditivos o agentes de acoplamiento utilizados en esta tecnología son llamados copolímeros, estos son polímeros constituidos por más de un tipo de unidad repetitiva. En un copolímero al azar, monómeros diferentes están enlazados en un orden no definido.<sup>6</sup>

Estos agentes de acoplamiento, ayudan a la compatibilidad de la fibra de madera y la matriz polimérica ya que por sí solos no se pueden unir, debido a que la madera es de naturaleza hidrofílica y el polímero es hidrofóbico, por lo tanto la presencia de un aditivo permitirá la creación y la formación de un material compuesto en una sola fase.<sup>4</sup> La fabricación de (CPM) comúnmente incluye dos pasos: formulación y moldeo. En la formulación, la madera y otros aditivos se incorporan en un termoplástico fundido para producir un material compuesto homogéneo. Con respecto al moldeo existen varios métodos los cuales incluyen la extrusión (extrusión de material compuesto fundido a través un troquel), moldeo por inyección (inyección de material compuesto fundido en un molde tridimensional), y moldeo por compresión (compresión de un compuesto fundido entre dos mitades de molde).El método de fabricación utilizado influye directamente en las características superficiales y mecánicas de cada compuesto.<sup>3</sup> Este estudio tiene como objetivo obtener materiales compuestos polímero/madera a partir de cuatro diferentes tipos de madera así como la evaluación de sus propiedades mecánicas, dichos compuestos fueron caracterizados apegándose a la cantidad de agente compatibilizante y al tamaño de partícula utilizado en las formulaciones. Los compuestos polímero/madera fueron hechos bajo las mezclas del 60% polímero (HDPE), 40% de aserrín de madera (pino, nogal, encino, cerezo) y 2 u 8 phr (partes por cien de resina). Siguiendo una metodología de formulación, Extrusión, e Inyección.

### SECCION EXPERIMENTAL

#### **Estudio de distribución de partícula.**

La distribución de partícula, se determino realizando un estudio de distribución de partícula, aplicando la técnica de tamizado, esta misma consta de hacer pasar un material por medio de diferentes tamaños de malla los cuales están clasificados por números. Los tamaños de partícula utilizados en esta investigación fueron 710  $\mu\text{m}$  y 300  $\mu\text{m}$ .

#### **Secado.**

El aserrín se sometió a un proceso de secado en una estufa a 90°C por 24 horas, para eliminar la humedad presente en el aserrín.

#### **Formulación.**

Se formularon compuestos de cada tipo de madera en una relación en peso de 60% HDPE, 40% aserrín con 2phr y 8phr de agente de acoplamiento.

#### **Extrusión.**

Utilizando una extrusora marca Beutelspacher las partículas de madera (aserrín) y el agente de acoplamiento son mezclados junto al polietileno en fundido, El perfil de temperaturas fue de 150°C en la zona de alimentación, 160°C en zona de dosificación y 170°C a la salida del extrusor. La velocidad de mezclado fue de 14 RPM

#### **Molienda.**

Una vez obtenido el compuesto mediante extrusión, este fue molido en un molino de cuchillas marca Fritsch, en esta etapa el compuesto es transformado a pellets para posteriormente ser inyectado.

#### **Inyección.**

Se inyectaron probetas según se indica en la norma ASTM D638 “Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics” para su posterior evaluación mecánica. Para este fin se utilizó una inyectora marca NEGRI BOSSI V55-200. El perfil de inyección fue de 160°C en zona de alimentación, 170°C en zona de dosificación y compresión y 180°C en la boquilla, la temperatura del molde fue de 60°C.

#### **Caracterización.**

Para determinar el efecto del agente de acoplamiento y el tamaño de partícula del aserrín empleados en los compuestos estos fueron evaluados mecánicamente en las modalidades de tensión y flexión, La morfología de los compuestos y el estado de la interfase polímero/fibra fueron analizados mediante microscopia electrónica de barrido.

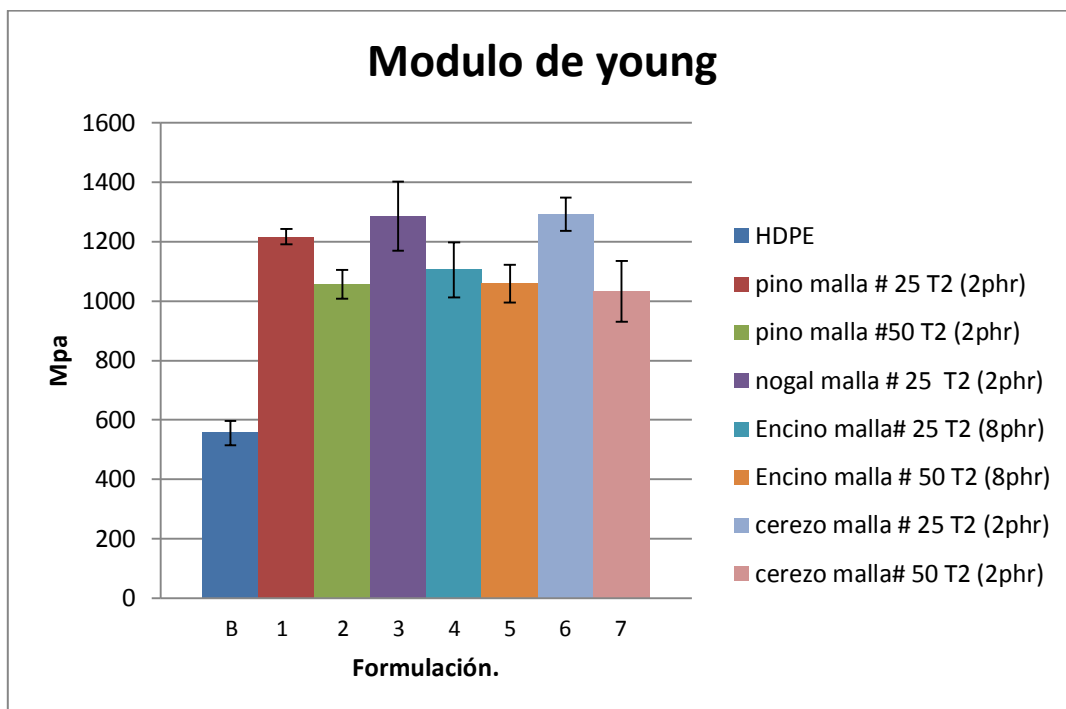
### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación del modulo de Young en la modalidad de tensión (Figura 1) se encontró que los compuestos elaborados con las fibras de pino, nogal y cerezo con tamaño de partícula de 710  $\mu\text{m}$  tienen los mejores resultados en cuanto al módulo.

En la modalidad de flexión (Figura 2) para la comparación de tamaños de partícula de las maderas utilizadas se distingue que los compuestos elaborados con partículas con tamaño de 300  $\mu\text{m}$  provenientes de madera de cerezo y de encino reportan los valores de módulo más altos en comparación con el resto de los compuestos.

En cuanto a los tamaños de partícula manejados en las pruebas, se encontró que los compuestos elaborados con tamaño de partícula de 710  $\mu\text{m}$  reportan valores más altos en tiene una mejor compatibilidad con el esfuerzo de tensión, en cambio el tamaño de partícula 300  $\mu\text{m}$  es más afín a los requerimientos de deformaciones en flexión.

Con respecto al efecto en las propiedades mecánicas de la cantidad de agente de acoplamiento utilizado se encontró que los compuestos formulados con 8 phr de agente de compatibilizante reportan mejores resultados que las formulaciones que contienen 2 phr.



**Figura 1.** Módulo de Young en propiedades mecánicas en la modalidad de tensión para la comparación del tamaño de partícula.

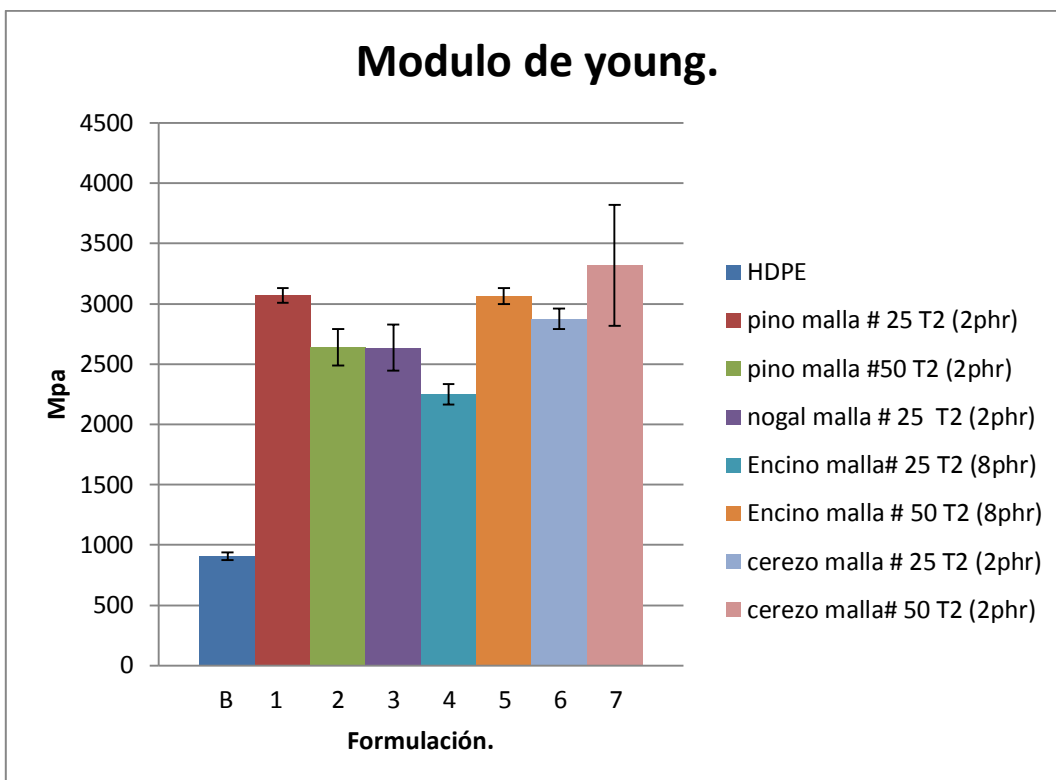


Figura 2. Módulo de Young en propiedades mecánicas en la modalidad de flexión para la comparación del tamaño de partícula.

En la siguiente tabla se muestran los valores de las propiedades mecánicas en la modalidad de tensión, en la cual se observa que en las formulaciones de pino 300  $\mu\text{m}$  8phr de agente de acoplamiento tuvo mejor resultado en el modulo de Young, en comparación con las formulaciones, que contienen nogal 300  $\mu\text{m}$  8phr, encino 300  $\mu\text{m}$  8phr, y cerezo en las cuales el agregarles 8 phr de Agente de acoplamiento arrojó mejores resultados en cuanto a las propiedades mecánicas.

Tabla 1. Resultados de Módulo de Young en Tensión para la selección de agente de acoplamiento.

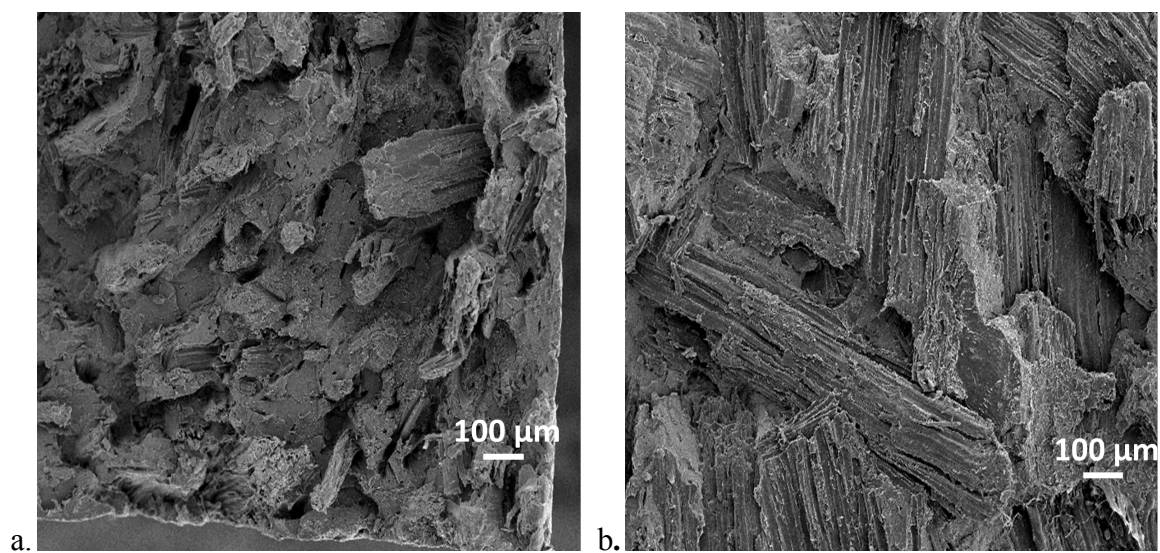
FORMULACIÓN	Módulo Young Tensión (MPa)	
		Agente compatibilizante

	2phr.	8phr.
HDPE	555.8	-
HDPE + PINO 710 $\mu\text{m}$	1216.2	1126.7
HDPE + PINO 300 $\mu\text{m}$	1056.2	1177.8
HDPE + NOGAL 710 $\mu\text{m}$	1285.14	1334.12
HDPE +NOGAL 300 $\mu\text{m}$	-	-
HDPE + ENCINO 710 $\mu\text{m}$		1105.51
HDPE + ENCINO 300 $\mu\text{m}$	933.41	1058.89
HDPE + CEREZO 710 $\mu\text{m}$	1292.2	1559.05
HDPE + CEREZO 300 $\mu\text{m}$	1032.86	1059.3

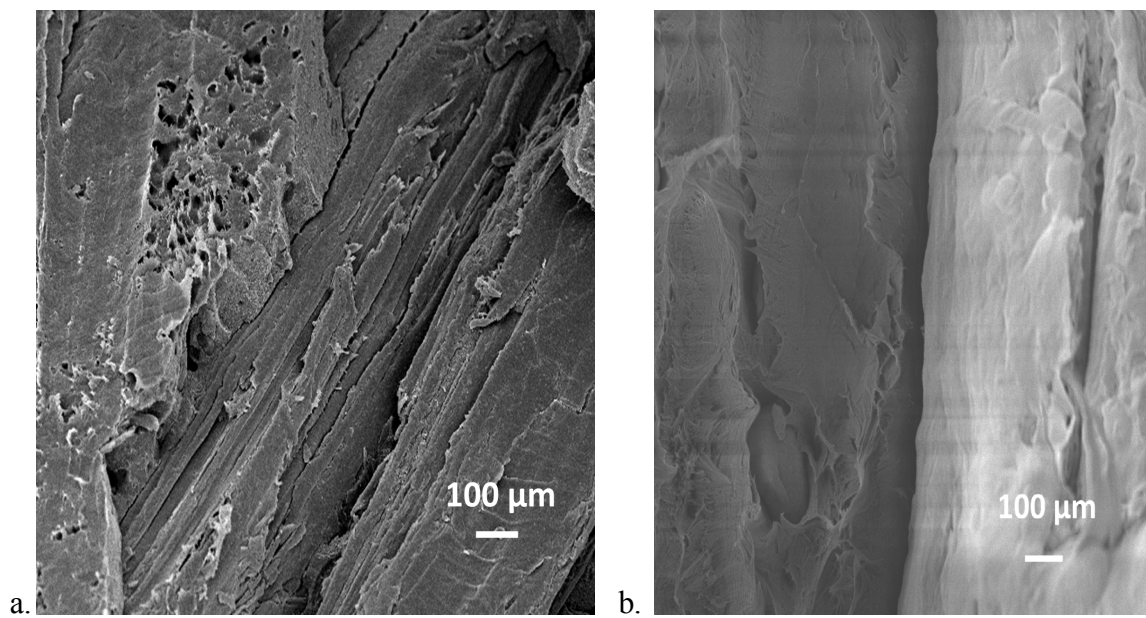
En la tabla a continuación mostrada, se aprecia que las formulaciones que contienen cerezo 710  $\mu\text{m}$  y pino 710  $\mu\text{m}$  tuvieron mejores resultados en propiedades mecánicas utilizando 2 phr de agente de acoplamiento, en cuanto a las formulaciones con pino 710  $\mu\text{m}$ , nogal 710  $\mu\text{m}$ , encino 300  $\mu\text{m}$  que contienen 8 phr muestran valores mayores en propiedades mecánicas.

Tabla 2. Resultados de Módulo de Young en Flexión para la selección de agente de acoplamiento.

FORMULACIÓN	Módulo Young Tensión (MPa)	
	Agente compatibilizante 2phr.	Agente compatibilizante 8phr.
HDPE	907.5	-
HDPE + PINO 710 $\mu\text{m}$	3069.3	2821.4
HDPE + PINO 300 $\mu\text{m}$	2639.1	2667.8
HDPE + NOGAL 710 $\mu\text{m}$	2635.7	2805.9
HDPE +NOGAL 300 $\mu\text{m}$	-	-
HDPE + ENCINO 710 $\mu\text{m}$		2248.5
HDPE + ENCINO 300 $\mu\text{m}$	2504.7	3064.8
HDPE + CEREZO 710 $\mu\text{m}$	2875.3	2566.6
HDPE + CEREZO 300 $\mu\text{m}$	3317.9	2864.6



**Figura 3.** Morfología de compuestos polímero/madera (a) formulación Pino malla 710  $\mu\text{m}$  2phr T2, (b) Encino 300 $\mu\text{m}$  2phr T2.



**Figura 4.** Morfología de compuestos polímero/madera (a) Cerezo malla 710 $\mu\text{m}$  2phr T2, (b) Cerezo malla 710  $\mu\text{m}$  8phr T2.



### Conclusiones.

Se encontró que las partículas de madera de 710  $\mu\text{m}$ , presentan una mejoría en las propiedades mecánicas en la modalidad de tensión, en cuanto a las partículas de madera de 300  $\mu\text{m}$  mostraron una mejora en propiedades mecánicas en la modalidad de flexión, así también al observar la interface y morfología de los compuestos polímero/madera se determino que el agregar cantidades pequeñas (2phr) del agente de acoplamiento tiene una importante repercusión en la interacción de los compuestos.

### Agradecimientos.

Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV); M.C Daniel Lardizábal Gutiérrez; Ing. Arturo Hernández; M.C. Karla Campos.

### Referencias

1. Productos forestales SEMARNAT  
<http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/17/1361Reporte%20de%20precios%20de%20productos%20forestales.pdf> 09 septiembre 2013. ,Anuario estadístico de la producción forestal 2010 SEMARNAT  
[http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios/ANUARIO\\_2010.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Anuarios/ANUARIO_2010.pdf) 21 de octubre 2013,
2. O. Faro; L.M. Mauna. Compuste Sáciense and Technology. 2008, 68, 2073–2077
3. N.M. Stark N. M.; L.M. Matuana L.M. Polymer Degradation and Stability. 2007, 92 1883-1890
4. A. Wechslera; S. Hiziroglub. Building and Environment. 2007, 42, 2637–2644
5. I.E. Roca Girón, IQ tesis, universidad de san Carlos de Guatemala, 2005
6. P.W. Atkins; L. Jones, Principios de química los caminos del descubrimiento, panamericana, buenos aires, 2007.