

## Preparación y caracterización de compuestos de Capirona-Polipropileno y Capirona-Polietileno de alta densidad

Javier Gago<sup>1,\*</sup>, Víctor Ramos<sup>1</sup>, Kety León<sup>1</sup>, José Solís<sup>2</sup>, Moisés Acevedo<sup>3</sup>, Alcides López<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Peruano de Energía Nuclear. Dirección de Investigación y Desarrollo. División de Materiales. Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ciencias, Av Tupac Amaru 210

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional Agraria La Molina

### Resumen

Se presentan los resultados de la caracterización de compuestos madera-polímero, obtenidos a partir de residuos particulados de Capirona de 710  $\mu\text{m}$  con polipropileno y polietileno de alta densidad. Estos han sido mezclados con anhídrido maléico y extruidos a una temperatura entre 150 y 180 °C, obteniéndose pellets pequeños de forma cilíndrica. Posteriormente, los pellets han sido prensados en forma de probetas y tratados térmicamente a 170 °C. Algunas probetas han sido gamma-irradiadas con fuente de cobalto-60. Las muestras fueron sometidas a pruebas de ensayos mecánicos y de biodegradación con el hongo *Polyporus sanguineus* y *Schizophyllum commune*. Se han observado cambios en las propiedades mecánicas, especialmente cuando se tiene como insumo el polipropileno, mejorando la flexión del compuesto, con el polietileno también se ha notado una mejora en la resistencia a la degradación y disminución de la absorción de agua.

Palabras claves: Compuesto Polímero-madera, *Polyporus sanguineus*, *Schizophyllum commune*

### Abstract

In this work we show the characterization results of the wood-polymer composite, obtained by Capirona particulate at 710 microns with high density polyethylene and polypropylene. These have been mixed with maleic anhydride and extruded at a temperature between 150 and 180 °C, yielding small cylindrical pellets. Subsequently, the pellets were pressed into test pieces and heat treated at 170 °C. Some of those pieces have been gamma-irradiated with a cobalt-60 source. The samples were subjected to mechanical tests and biodegradation tests with the *Polyporus sanguineus* and *Schizophyllum commune* fungus, changes were observed in mechanical properties, especially when it has as input polypropylene, improving bending the compound, also polyethylene have noticed an improvement in resistance to degradation and reduced water absorption.

Keywords: Polymer-Wood Composite, *Polyporus sanguineus*, *Schizophyllum commune*

### 1. Introducción

La sostenibilidad del mundo actual requiere cada vez más del uso y reúso eficiente de los materiales. El buen aprovechamiento de los desechos y residuos producidos en diversos centros industriales disminuirá no solo los costos de producción, sino también la contaminación del medio ambiente [1]. En este marco, el objetivo del presente trabajo es desarrollar materiales compuestos, elaborados utilizando residuos de maderas nativas y polímeros de alta densidad, dándose énfasis al análisis de las propiedades y características del producto.

La industria maderera produce grandes cantidades de residuos por procesamiento de

los mismos (retazos, aserrín y otros), paralelamente la utilización masiva del plástico también produce un grave problema ambiental debido a los desechos no procesados, como se sabe estos polímeros son difícilmente asimilables a los ciclos biológicos de la naturaleza y tardan aproximadamente unos 180 años en degradarse. En este sentido, el uso de los residuos del procesamiento de la madera y los plásticos reciclados en los procesos industriales para fabricar nuevos materiales, contribuirá a la atenuación y un mejor manejo de la contaminación ambiental,

\* Correspondencia autor: [jgago@ipen.gob.pe](mailto:jgago@ipen.gob.pe)

disminuyendo además la depredación irresponsable de nuestros bosques.

## 2. Procedimiento experimental

El material compuesto se obtiene por métodos físicos-químicos entre las fibras de la madera y los polímeros de alta densidad, para tal proceso se diseñó una extrusora donde se mezclan ambos materiales y se someten a un tratamiento térmico a diferentes temperaturas. La extrusora construida para el desarrollo de la presente investigación se puede apreciar en la Figura 1.



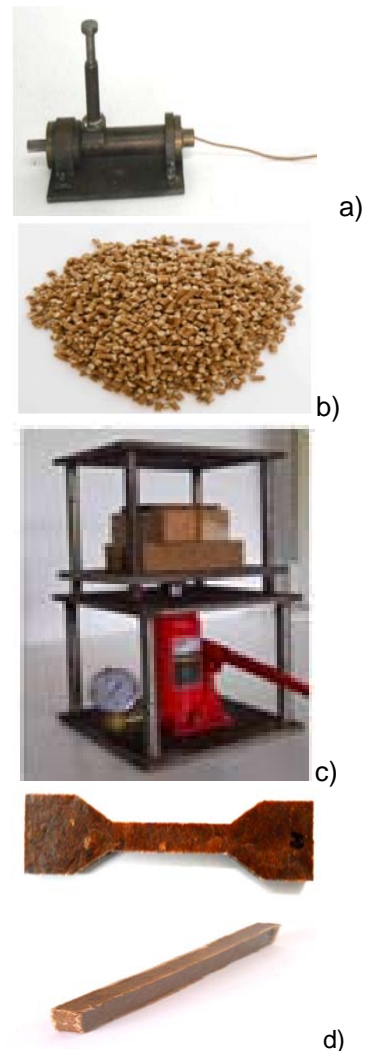
**Figura 1.** Extrusora construida para la obtención del compuesto polímero-madera.

El procedimiento consiste inicialmente en la limpieza de ambos insumos, seguido de procesos mecánicos de trituración, molienda y tamizado a 710  $\mu\text{m}$ . A estos materiales procesados se les adicionaron un 5 % en peso de anhídrido maléico con el fin de incrementar la cohesión molecular para luego ser introducidos en la extrusora.

La extrusión se logra aplicando un torque al tornillo sin fin de la extrusora, con la finalidad de mezclar los agregados y someterlos luego a inyección bajo presión, a una temperatura de 160  $^{\circ}\text{C}$ , empleando los parámetros establecidos en las normas técnicas [2], obteniéndose como resultado varillas extruidas de sección circular de 4 mm de diámetro, las que se cortan en forma de pellets de 6 mm de longitud. Estos pellets son introducidos en una matriz y se someten a presión en una prensa termo-hidráulica, obteniendo así las probetas finales.

Las probetas han sido irradiadas con rayos gamma en un irradiador Gammacell con fuente de cobalto-60, a diferentes dosis entre 10 y 100 kGy, con la finalidad de producir un reticulado de la matriz polimérica y las

cadena lignocelulósicas, mejorando de este modo el entrecruzamiento molecular y mejorando las propiedades físicas del producto.



**Figura 2.** Secuencia grafica de la obtención de probetas.

En la Figura 2 se presenta gráficamente el proceso de preparación de las muestras: a) se aprecia la extrusora en pleno proceso de extrusión de varillas de sección circular [3], b) muestra los pellets del compuesto polímero madera que son colocados en la extrusora para su calentamiento e inyección, c) muestra la prensa termo-hidráulica y en d) se observan las muestras finales preparadas en forma de probetas para ensayos de tracción y flexión.

Para los ensayos de flexión y tracción se utilizó el equipo Universal Olsen Tinuis de la Facultad de Ciencias Forestales de la

Universidad Nacional Agraria La Molina, las probetas ensayadas se muestran en la Figura 3.



**Figura 3.** Vista de las probetas después de los ensayos de tracción y flexión.

En la Tabla 1 se aprecian los parámetros y especificaciones con que han sido preparadas las muestras [4].

**Tabla 1.** Parámetros empleados para la preparación de las muestras.

Muestras	Porcentaje de matriz y carga		
	Polímero	Fibra	Aditivo
PE1 y PP1	55%	40%	5%
PE2 y PP2	58%	37%	5%
PE3 y PP3	62%	33%	5%
PE4 y PP4	65%	30%	5%

Datos geométricos de las muestras:

Para flexión: longitud 0.096m; ancho 0.0127 m; altura 0.0064 m.

Para tracción: longitud 0.115 m; sección de prueba 0.0064x0.0064 m<sup>2</sup>.

Los cálculos del MOE y MOR han sido obtenidas partir de las ecuaciones (1) y (2) [5], las cuales se muestran a continuación.

$$MOE = \frac{l_1^3 * (F_2 - F_1)}{4 * b * e^3 * (a_2 - a_1)} \quad (1)$$

Donde:

MOE = módulo de elasticidad (MPa)

a<sub>1</sub> y a<sub>2</sub> = deflexión en la mitad del vano (m)

l<sub>1</sub> = distancia entre los soportes (0.06m)

b = ancho de la probeta (0.0127m)

e = espesor de la probeta (0.064 m)

F<sub>1</sub>- F<sub>2</sub> = incremento de fuerza (N)

$$MOR = \frac{3 * F_{MAX} * l_1}{2 * b * t^2} \quad (2)$$

Donde:

MOR = módulo de ruptura (MPa)

l<sub>1</sub> = distancia entre los soportes (0.06m)

b = ancho de la probeta (0.0127m)

t = espesor de la probeta (0.064m)

F<sub>MAX</sub> = fuerza de ruptura (N)

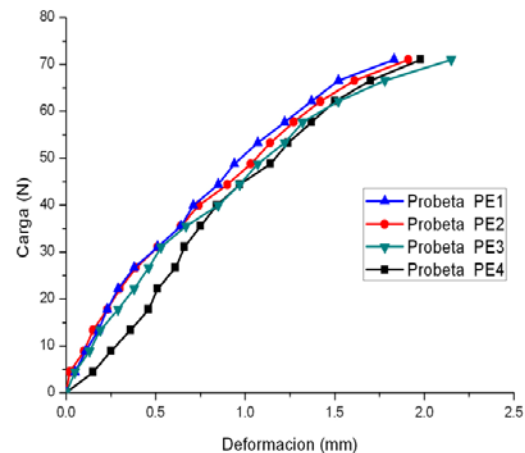
Los resultados de los ensayos se expresan en la Tabla 2.

### 3. Resultados y Discusión

De los ensayos mecánicos se ha obtenido los siguientes resultados:

#### 3.1. Compuesto madera -polietileno

El módulo de elasticidad (MOE) y el módulo de rotura (MOR) de los compuestos de madera polietileno han sido calculados tomando en cuenta la variación de la deformación de acuerdo a la carga aplicada, tal como se muestra en la Figura 4 y las ecuaciones (1) y (2) [5], que nos dieron valores para el MOE entre 533.8 y 663.41 MPa y el MOS entre 10.0 y 12.9 MPa. Los valores MOE y MOS para todas las muestras se aprecian en las Tablas 2 y 3.



**Figura 4.** Ensayos de Flexión CMP-PE.

**Tabla 2.** Módulo de elasticidad para compuestos Madera-PE.

Parámetro	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Probeta 4
	PE MPa	PE MPa	PE MPa	PE MPa
MOE	663.4	636.1	533.8	627.5
MOR	11	12.48	12.9	10

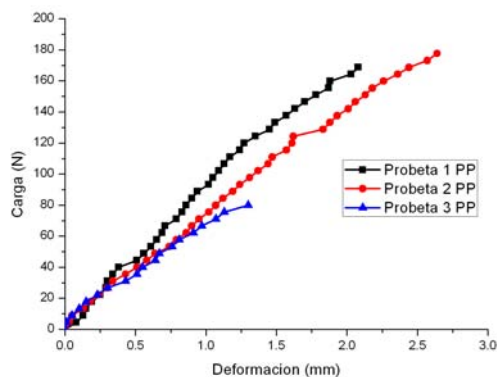
**Tabla 3.** Ensayos de tracción para compuestos Madera-PE.

Probeta	Carga de rotura		Esfuerzo
	(lb)	(N)	(MPa)
Prueba	51.1	226.9	5.6
A1	31	137.6	3.4
B1	67	297.4	7.4
C1	69.5	308.5	7.6

El esfuerzo de rotura, en la tracción del compuesto de polietileno, se encuentra entre 3.41 y 7.65 MPa.

### 3.2. Compuesto madera- polipropileno

Por otra parte, el MOE y el MOR del compuesto de madera-polipropileno han sido calculados a partir de las ecuaciones 1 y 2 y de los datos mostrados en la Figura 5, obteniéndose resultados superiores a 1024.4 y 15.6 MPa, respectivamente. Los valores MOE y MOS para todas las muestras se muestran en las tablas 4 y 5.

**Figura 5.** Ensayos de Flexión CMP-PE.**Tabla 4.** Módulo de elasticidad para compuestos Madera-PP.

Parámetro	PP1	PP2	PP3
MOE(MPa)	1398,2	1057,9	1024,4
MOR(MPa)	32,1	36,3	15,6

**Tabla 5.** Ensayos de tracción para compuestos Madera-PP.

Muestra	Carga de rotura		Esfuerzo
	(lb)	(N)	(MPa)
PP1	152,5	677,0	16,8
PP2	156,5	694,8	17,2
PP3	109,5	486,1	12,1
PP4	121,5	539,4	13,4

Como se puede observar, al compararse la resistencia a la flexión y a la tracción entre compuestos a base de polipropileno y a base de polietileno, los de propileno resultan ser 141 % más resistentes a la flexión y 136 % más resistentes a la tracción, comportamiento muy similar al reportado por Raouf [6].

En la Tabla 6 podemos apreciar que la dureza de un compuesto con polipropileno, irradiado a 40 kGy es 11.54 HV, mientras que la de una madera sin irradiar es 11.21 HV, mostrando un incremento de la dureza en un 3 % más que este último.

**Tabla 6.** Mediciones de dureza para compuestos Madera PE y PP.

Ítem	Muestra	HV
1	Compuesto PE SI	4,35
2	Compuesto PE D1	4,16
3	Compuesto PP 10 kGy	11,47
4	Compuesto PP 40 kGy	11,54
5	Madera Capirona	11,21

### 3.3 Ensayos de biodegradación.

Con la finalidad de estudiar el comportamiento de los compuestos madera-polímero ante la humedad y la pudrición, se han hecho pruebas de biodegradación con cultivos de hongos estándares (*Polyporus sanguineus* y *Schizophyllum commune*) que nos han permitido evaluar su resistencia a estos microorganismos.

En las pruebas de biodegradación se ha usado la metodología IRAM N° 9518, aplicada en trabajos anteriores [7,8] para muestras irradiadas y sin irradiar.

#### 3.3.1 Ensayos CMP-Polietileno PE

La prueba de biodegradación se ha llevado a cabo en el laboratorio de microbiología del IPEN y se han usado hongos *Polyporus Sanguineus*, el proceso ha tenido una duración de 12 semanas.



**Figura 6.** Tiempo de crecimiento del hongo sobre las muestras a) a 2 semanas y b) al final del proceso (12 semanas).

**Tabla 7.** Variación del peso del compuesto madera-PE en ensayos de biodegradación.

Muestra	Descripción	Peso (g)		% Peso Perdido
		inicial	Final	
1	Madera	1,59	0,81	49,06
2	Madera	1,57	0,84	46,50
3	CMP irradiado	1,52	1,47	3,29
4	CMP irradiado	1,42	1,36	4,23
5	CMP	1,23	1,17	4,88
6	CMP	1,18	1,12	5,08



**Figura 7.** Imagen de la Capirona por microscopio óptico a 50X.



**Figura 8.** Imágenes de CMP(PE) por microscopio óptico a 50X.

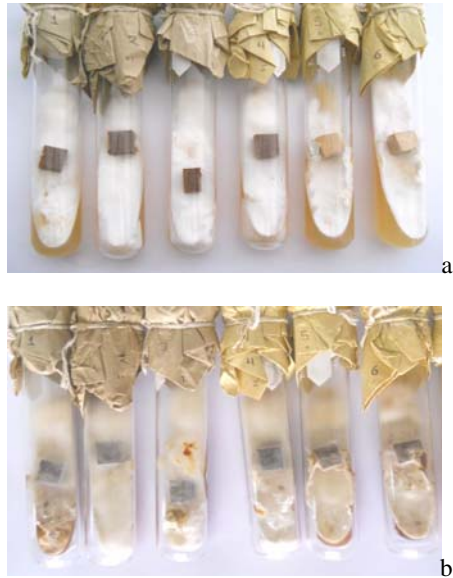
### 3.4.2 Ensayos CMP (con polipropileno)

Para esta prueba de biodegradación se han empleado hongos *schizophyllum commune*, el proceso ha tenido una duración de 16 semanas.

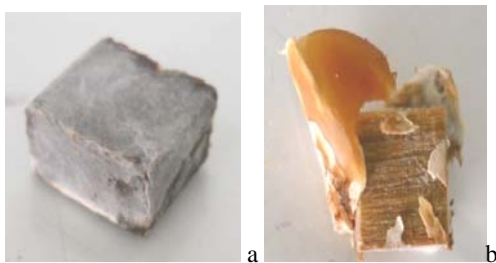
**Tabla 8.** Variación del peso del compuesto madera-PE en ensayos de biodegradación.

Muestra	Descripción	Peso (g)		% Peso Perdido
		inicial	Final	
1	CMP irradiado	1,038	1,031	0,69
2	CMP irradiado	1,152	1,148	0,44
3	CMP	0,870	0,865	0,53
4	CMP	1,279	1,278	0,16
5	Madera1	0,97	0,972	0,62
6	Madera1	0,988	0,986	0,19





**Figura 9.** Efecto del hongo sobre los compuestos CMP a) al inicio y b) al final (16 semanas).



**Figura 10.** Efecto del hongo sobre los compuestos CMP a) Cubierto de hifas y b) Hongos en la parte inferior.

En la parte inferior de la madera, que estuvo en contacto directo con el caldo se nota un gran desprendimiento de las capas externas por acción del agar; sin embargo, el ataque del hongo en esta zona (cara lateral de la madera) no presenta dificultad de desprendimiento.

Para muestras irradiadas y sin irradiar se ha determinado que la biodegradación no afecta al compuesto madera-polímero, mientras que en la madera sola, si se produce una pérdida de peso apreciable.

#### 4. Conclusiones

Al compararse la resistencia a la flexión y tracción entre los compuestos a base de polipropileno y a base de polietileno, los compuestos de propileno resultan ser un 141 % más resistentes a la flexión y un 136 % más resistentes a la tracción que los

compuestos basados en polietileno. Estos resultados son similares a los obtenidos en otros reportes.

La dureza de un compuesto con polipropileno irradiado a 40 kGy es 11.54 HV, mientras que el de una madera sin irradiar es 11.21 HV, mostrando que la irradiación produce un incremento de la dureza en un 3 %.

Con relación a los ensayos de biodegradación, se observa una mejora con respecto a la Capirona en un 22 % contra un 0,5 % de pérdida de peso en los compuestos madera-polímero.

#### 5. Agradecimientos

Al técnico Yuri Hernández de la Dirección de Investigación y Desarrollo del IPEN. Al Lic. Johnny Vargas y a la Lic. Mónica Vivanco por los servicios de irradiación gamma de las muestras.

#### 6. Bibliografía

- [1]. Ochoa Mendoza, Almudena. Reciclado mecánico de materiales compuestos con fibras de celulosa. [Tesis Ph.D.]. Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid; 2005.
- [2]. American Society for Testing and Materials (ASTM). ASTM-D638-10. Standard test method for tensile properties of plastics. New York; 2011.
- [3]. Gómez Gómez Jimmy J, Gutiérrez Bedoya Jorge. Diseño de una extrusora para plástico. Escuela de Tecnología Mecánica. Facultad de Tecnologías. Universidad Tecnológica de Pereira. Risaralda - Colombia. 2007.
- [4]. Pontón P, Guerrero VH. Obtención de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de Abacá mediante estratificación manual. Revista Tecnológica ESPOL. 2010 dic; 23(3):47-54.
- [5] De Campos CI, Rocco LahR F. Caracterización del MDF producido a partir de eucalipto y adhesivo poliuretano natural. Maderas. Ciencia y Tecnología. 2004; 6(1): 73-84. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-221X2004000100006&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2004000100006&lng=es&nrm=iso). [Consulta: marzo 2013].

- [6]. Raouf OA. Influence of gamma irradiation on mechanical and thermal properties of waste polyethylene/nitrile butadiene rubber blend. *Arabian Journal of Chemistry*. April 2012. [In press].
- [7]. Gago J, León K, *et al.* Desarrollo de un material compuesto a base de residuos de madera Capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y polietileno. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico IPEN 2010. Lima: IPEN; 2011. p. 43-48.
- [8]. Gago J, León K, *et al.* Incremento de la durabilidad de compuestos madera-polímero procesadas por radiación gamma frente al hongo *Polyporus sanguineus*. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2008. Lima: IPEN; 2009. p. 108-113.