

## Desarrollo de un material compuesto a base de residuos de madera Capirona (*Calycophyllum spruceanum*) y polietileno

Javier Gago<sup>1,\*</sup>, Kety León<sup>1</sup>, Víctor Ramos<sup>1</sup>, Julio Santiago<sup>1</sup>, Alcides López<sup>1</sup>, Moisés Acevedo<sup>2</sup>,  
José Solís<sup>1</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 Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Lima Perú

### Resumen

Se han preparado materiales compuestos a base de residuos de madera Capirona en forma de polvo y polietileno de baja densidad, las muestras han sido prensadas en proporciones iguales y tratados térmicamente en un horno a 170 °C. Posteriormente, fueron sometidas a pruebas de biodegradación con el hongo *Polyporus sanguineus* (por 10 semanas), absorción de agua, resistencia al fuego e inflamabilidad. El compuesto obtenido a base de polvo de madera con polímero ha mostrado una mayor durabilidad, mejor resistencia a la degradación, menor absorción de agua y menor inflamabilidad que la madera sin tratar, dando así mayor valor agregado a esta madera nativa.

### Abstract

We have been prepared composite materials based on powder of Capirona wood waste and low density polyethylene, the samples have been pressed in equal proportions and heat treated in an oven at 170 °C. Later, they were tested for biodegradation using *Polyporus sanguineus* fungus (for 10 weeks), water absorption, fire resistance and flammability. The obtained composite based on polymer-wood dust has shown durability, better resistance to degradation, lower water absorption and lower flammability than the untreated wood, increasing the economic value of this native wood.

### 1. Introducción

La generación de residuos es una consecuencia de la transformación de la madera. Entre estos residuos, el aserrín merece una atención especial, como materiales de baja densidad requieren un mayor espacio de almacenamiento y causan graves problemas de contaminación si no son desechados apropiadamente. Teniendo en cuenta el creciente interés en el uso de fibras naturales para la producción de materiales compuestos con diferentes matrices de polímeros, los residuos de madera son una fuente alternativa de fibras, reduciendo el impacto ambiental por las grandes cantidades de residuos producidos por la industria maderera [1]. El uso de materiales reciclados, así como de materias primas renovables que no dependen del petróleo, le augura a este tipo de compuesto un importante potencial de crecimiento, tiene además las ventajas de mayor durabilidad, menores costos de mantenimiento, reciclabilidad y resistencia a la intemperie, estos factores les darán a las maderas mejores propiedades que podrán ser

aplicadas en la construcción, por ejemplo, dándoles adicionalmente un importante valor agregado al producto final.

En la actualidad, se usan compuestos tradicionales en base a úrea-formaldehído que presentan cierta toxicidad [2] si no se encuentran en ambientes ventilados y son fáciles de degradarse en ambientes con alta humedad. Uno de los objetivos de esta investigación es la de reciclar el aserrín que se producen en los aserraderos y carpinterías, aprovechando de esta manera los residuos antes de que sean quemados o desechados y usar polietileno reciclado.

El compuesto que estamos desarrollando no ha sido implementado en nuestro medio; por eso, nos proponemos obtener un producto que tenga las características de un material sólido, resistente y de buen acabado, para ser utilizado en diferentes aplicaciones industriales, acabados exteriores, etc.

La combinación de estos materiales disímiles

---

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

químicamente (las fibras de madera son hidrofílica-polar y la matriz polimérica es hidrofóbica-apolar), exige investigar técnicas de compatibilización tendientes a vincular ambas estructuras, para que actúen como una unidad. La situación ideal sería la existencia de uniones químicas a través de la interfase, de esta forma cuando el material sea sometido a un esfuerzo, este será transmitido desde las cadenas de la matriz polimérica hasta las fibras naturales. De ahí la aplicación de la radiación gamma al compuesto, para lograr un mayor entrecruzamiento molecular; es decir, las moléculas del residuo de madera con las moléculas del polímero deben lograr una mejor reticulación de las cadenas poliméricas a fin de mejorar las propiedades físicas del producto final [3].

Se reporta la preparación de un material compuesto de residuos en forma de polvo de madera Capirona y polietileno de baja densidad.

## 2. Experimental

Los insumos utilizados para la preparación del compuesto polímero-madera fueron: Residuos de madera Capirona proveniente de aserraderos de la zona industrial de Campoy, distrito de San Juan de Lurigancho, Lima y Polietileno de baja densidad (PEBD) en forma de pellets a granel, para disminuir la inflamabilidad se usó ácido bórico de J.T. Baker, y para el cultivo de los hongos se usó Agar Extracto de Malta (Merck).

El prototipo de prensa fue fabricado en los talleres del IPEN, que consta de un contenedor cilíndrico de acero con un émbolo de aluminio, cuyo esquema se aprecia en la Figura 1.

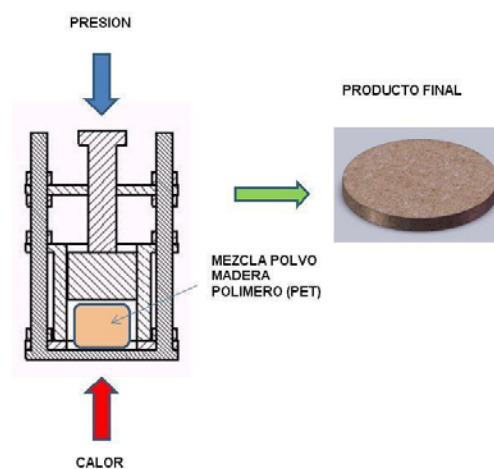
Las muestras fueron incubadas en una estufa Fischer Scientific y los tubos fueron pesados en una balanza de precisión marca Stanton.

### 2.1 Preparación del compuesto de residuos de madera y-polietileno

Se han seguido dos procesos simultáneos: a) acopio y preparación de residuos de madera; y b) preparación de polietileno de baja densidad. En cada proceso se realiza la selección, lavado, trituración, molienda y secado con el objetivo que ambos insumos ingresen a formar el compuesto sin impurezas ni humedad. En uno de los procesos se

agregó partículas de ácido bórico al polvo de madera para retardar la combustión.

Se continúa con los procesos de articulación y cohesión de las partículas de la madera con partículas de los polímeros, para lo cual se procede a mezclarlas en la cámara cilíndrica de la prensa mecánica (Figura 1). Esta prensa mecánica se coloca sobre una hornilla eléctrica controlada a 170 °C.



**Figura 1.** Esquema prensado madera- polímero y una muestra del producto en forma de disco.

Se ha realizado el mismo procedimiento con una muestra de polvo de madera previamente irradiada en un equipo Gammacell 220 Excel con una fuente de cobalto 60 a 25 kGy.

### 2.2 Ensayo de biodegradabilidad

Se siguió la metodología de la Norma IRAM N° 9518. Se cultivó la cepa de hongo *Polyporus sanguineus* en el medio de cultivo Agar extracto de malta. Se incubó a 28 °C por un lapso de 14 días; luego, se colocó sobre el mismo las probetas previamente secadas a 80 °C por 24 h e incubadas por un lapso de 10 semanas [4]. Las muestras trabajadas corresponden a chips de madera capirona y madera-polímero.

Culminadas las 10 semanas se procedió a retirar las probetas, limpiarlas del hongo y secarlas.

Se registraron los pesos iniciales antes y después de añadir las probetas y se continuó registrando los pesos durante todo el proceso.

Para la evaluación de la durabilidad de la madera se sigue el criterio de Findlay [4,5], basado en las pérdidas de peso producido por los hongos durante un determinado lapso de

tiempo, estos cambios de peso de las muestras estas relacionadas con su grado de resistencia a la pudrición.

### 2.3 Ensayo de absorción de agua

En estos ensayos se buscó diferenciar la absorción de agua de la madera en estado natural sin tratamiento y el compuesto polvo de madera-polímero, metodología desarrollada en trabajos previos [6]. Con la variante de sumergir las muestras en agua a temperatura ambiente por el tiempo de 24 horas y evaluar sus pesos antes y después del ensayo.

### 2.4 Ensayo de combustión

Se ha preparado el compuesto en la siguiente proporción: 3 g de PEBD, 3g de polvo de madera y 0.5 g de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ).

Las muestras se expusieron a fuego lento, usando un mechero de Bunsen. El tiempo de exposición al fuego ha sido 20 segundos aproximadamente, luego se apagó la llama y enseguida se acercó el papel pH hacia el desprendimiento de humo producto de la combustión. Para esta evaluación se embebieron tiras de papel pH con agua destilada, el valor de pH inicial fue de 5.

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1 Obtención del compuesto

El compuesto obtenido es de color marrón oscuro, liso y con pequeñas rugosidades.



Figura 2. Compuesto terminado.

### 3.2 Ensayo de biodegradación

Se ensayaron con 4 muestras por 10 semanas como se muestra en la Figura 3, cuyos resultados se muestran en la Tabla 1.



Figura 3. 1, 2 y 3 corresponden a muestras de compuesto madera-polímero y 4 es madera Capirona.

Tabla 1. Control de pesos.

Muestra	Descripción	Peso (g)	
		inicial	final
1	Compuesto 1 (residuos de madera + polímero)	0.7	0.62
2	Compuesto 2 (residuos de madera + polímero)	0.7	0.55
3	Compuesto 3 (residuos de madera + polímero)	0.7	0.68
4	Madera	0.45	0.25

Como se observa, el valor promedio de pérdida de peso de las tres probetas (compuesto madera-polímero) esta por debajo del 21 % con respecto a su peso inicial, mientras que en la probeta correspondiente a la madera Capirona la pérdida de peso se encuentra alrededor del 50 %. Esto se puede visualizar en la Figura 4.

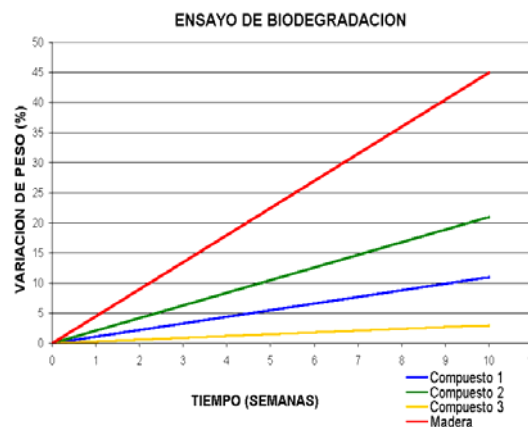
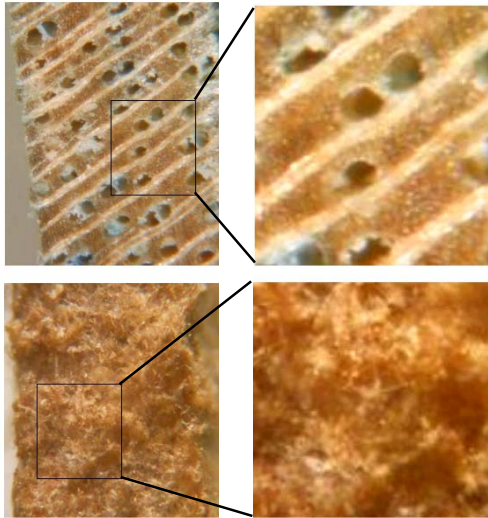
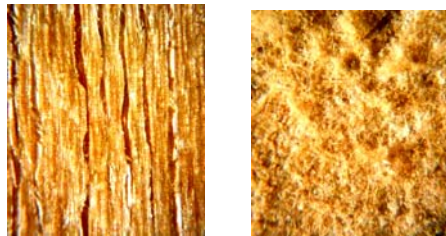


Figura 4. Evaluación de pérdida de peso de la muestra en función del tiempo.

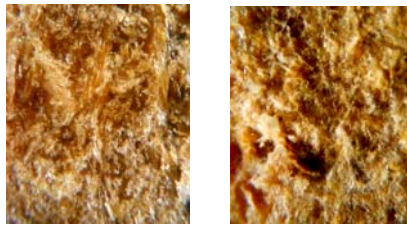
A continuación se analiza efectos producidos en los ensayos de biodegradación en las diferentes muestras antes y después de la proliferación de los hongos, tal como se observan en las Figuras 5, 6, 7 y 8.



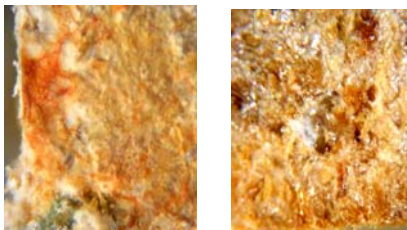
**Figura 5.** Foto superior Sección transversal de Capirona sin presencia de hongos. Foto inferior madera deteriorada por el hongo *Polyporus sanguineus*.



**Figura 6.** Sección tangencial de la Capirona sin hongo (lado izquierdo). Madera deteriorada por los hongos (lado derecho)



**Figura 7.** Compuesto sin hongo (lado izquierdo). Compuesto sometido al ataque por hongos (lado derecho)



**Figura 8.** Compuesto cubierto por el hongo (lado izquierdo). La misma muestra seccionada superficialmente a 0.5 mm (lado derecho).

El hongo *Polyporus sanguineus* origina una degradación gradual de la madera que va desde el lumen hacia la lámina media, produciendo una disminución en el espesor de las paredes como resultado del ataque simultáneo sobre los componentes principales de la pared celular: celulosa, hemicelulosa y lignina [10].

El hongo degrada fuertemente la madera ocasionando una erosión de la pared celular y la destrucción casi total del parénquima radial y axial como se observa en la Figura 5 y 6.

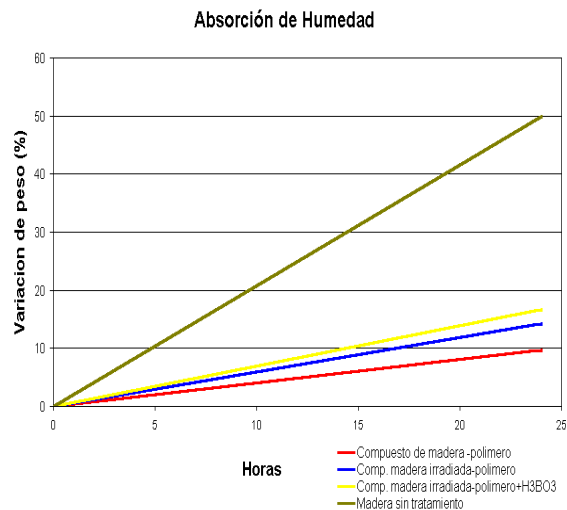
En el caso del compuesto madera-polímero se observó abundante colonización superficial pero no se observaron indicios de erosión ni degradación (Figura 7 y 8).

### 3.3 Ensayo de absorción de agua

La madera sin tratamiento absorbe mayor cantidad de agua, aumentado su peso inicial en un 50%, mientras que el compuesto polvo de madera-polietileno, la absorción de agua es mucho menor.

**Tabla 2.** Control de absorción de agua.

Muestra	Descripción	Peso (g)	
		Seco	Húmedo
1	Compuesto residuo de madera + polímero	0.35	0.38
2	Compuesto residuo madera irradiada 15 kGy+ polímero	0.14	0.16
3	Compuesto residuo madera irradiada 15 kGy+ polímero + H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.18	0.21
4	Madera sin tratamiento	0.6	0.9



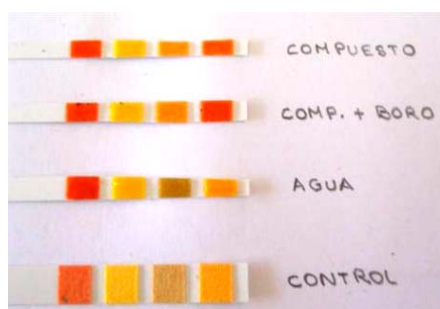
**Figura 9.** Variación de la absorción de agua.



En el compuesto sin irradiar, se incrementa un 10 %, el compuesto irradiado se incrementa un 14 % y en el compuesto con ácido bórico e irradiado se incrementa en un 17 %, tal como se muestra en la Tabla 2 y en la Figura 9.

### 3.4 Evaluación del ensayo de combustión

Se añadió el ácido bórico para que el medio sea más ácido y haya mayor cantidad de oxígeno para su combustión [7]. Este incremento de la acidez implica el incremento de iones libres de hidrógeno que viene a ser un factor importante en el retardo en la combustión [8,9], el valor de pH inicial es 5. La muestra madera-polímero obtiene un valor de pH igual a 4,5. Con el humo de la muestra madera-polímero más Boro se obtiene un valor de pH 3,5, según los indicadores tal como se muestra en la Figura 10.



**Figura 10.** Evaluación del pH de las emisiones de gases.

Como se puede observar en la figura 10, la muestra de compuesto con Boro presenta mayor acidez, el cual guarda relación con el retardo de la combustión estudiado por Pasek y LeVan [8,9].

## 5. Conclusiones

Se obtuvo un producto compuesto por residuos de madera y polímero, que inhibió el crecimiento y proliferación de hongos comparado con la madera natural sin tratamiento. El hongo xilófago *Polyporus sanguineus* si bien colonizó el compuesto madera-polímero no lo degradó en forma extrema, caso contrario se evidenció en la madera Capirona sometida al ataque de este hongo.

Otros ensayos muestran reducción de la absorción de agua que varían desde un 50%

en estado natural a un 14 % aproximadamente en el compuesto.

El uso de aditivos como ácido bórico en el compuesto, al ser quemados emiten gases con un pH de 3,5 aproximadamente, valor más bajo respecto a la muestra control (pH igual a 5), no hay mucha variación en la emisión de gases tanto en la madera en estado natural como en el compuesto. Adicionalmente el pH de 3.5 indica mayor acidez y a la vez ha resultado ser una buena referencia en el retardo de la combustión.

Los resultados obtenidos muestran que los compuestos polímero-madera preparados en este proyecto han mejorado las propiedades de una madera nativa de poca aceptación con cuyos desperdicios se puede fabricar un material con ventajosas características que le da un mayor valor agregado y prometen dar un importante impacto comercial a este recurso de nuestra amazonía.

## 6. Bibliografía

- [1]. Fornasieri M, Alves JW, Muniz EC, Ruvolo-Filho A, Otaguro H, Rubira AF, Carvalho de GM. Synthesis and characterization of polyurethane composites of wood waste and polyols from chemically recycled pet. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2011; 42(2): 189-195.
- [2]. Quea Z, Furunoa T, Katoha S, Nishino Y. Evaluation of three test methods in determination of formaldehyde emission from particleboard bonded with different mole ratio in the urea-formaldehyde resin. Building and Environment. 2007; 42:1242-1249.
- [3]. Romero González ME. Gonzales, Tecnología de irradiación gamma en la obtención de materiales compuestos. Revista de la Comisión de Energía Atómica. 2003; 3(11-12):15-23.
- [4]. Bobadilla EA. Durabilidad Natural de la madera de cinco especies aptas para la industria de la construcción. [Tesis de Maestría]. Misiones, Argentina: Universidad Nacional de Misiones; 2004.
- [5]. Gago J, León K, López A, Munive M, Rodríguez J. 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.
- [6]. Gago J, López A, Acevedo M, Rodríguez J. Radiación gamma en el mejoramiento de las propiedades físicas de compuestos polímero-madera. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2005. Lima: IPEN; 2006. p. 62-67.
- [7]. Atar M, Keskin H, Korkut S, Sevim Korkut D. Impact of impregnation with boron compounds on combustion properties of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and varnishes. African Journal of Biotechnology. 2011; 10(15):2867-2874.
- [8]. LeVan SL, Ross RJ, Winandy JE. Effects of fire retardant chemicals on bending properties of wood at elevated temperatures. Res. Pap. FPL-RP-498. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 1990.
- [9]. Eugen A. Pasek, Craig R Maintyre. Heat effects on fire retardant treated wood. The fire retardant Chemicals Association FRCA, Fall Conference, Ponte Vedra Beach, Florida, October 21-24, 1990.
- [10]. Encinas O, Mora N. Patrones de degradación de las maderas de Pino caribe, Curarire y Drago por *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* y *Pycnoporus sanguineus*. Revista Forestal Venezolana. 2003; 47(1):57-65.