

Elaboración de Madera Plástica a base de Polipropileno Reciclado y Lirio Acuático (*Eichhornia Crassipes*) con Modificador Interfacial.

Alan Roberto Sánchez Cárdenas^a, Tomas Lozano Ramirez^{a*}, Luisiana Morales Zamudio^a, María Idalia del Consuelo Gómez de la Fuente^b y Oxana Kharissova^b.

^aInstituto Nacional de México Campus Ciudad Madero, Av.1^o. de Mayo esq. Sor Juana Inés de la Cruz s/n Col. Los Mangos, Ciudad Madero, México.

^bUniversidad Autónoma de Nuevo León, Pedro de Alba S/N, Niños Héroes, Ciudad Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, México.

*tomaslozano@hotmail.com.

Recibido 05 Noviembre 2023, Aceptado 15 de Noviembre 2023

Resumen

El uso de polipropileno reciclado y lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*) como materias primas busca promover la reutilización de residuos para elaborar madera plástica y reducir la demanda de madera natural, contribuyendo así a la conservación del medio ambiente. Además, se propone el uso de un modificador interfacial como lo es el ácido esteárico para mejorar las interacciones en la interfase y la adhesión entre las fibras de lirio acuático y la matriz de polipropileno (polímero no polar), lo que permitirá obtener un material con mejores propiedades mecánicas, además en apariencia similar a la madera natural, haciéndolo atractivo para diversas aplicaciones en las que la madera es el único material empleado. Esta propuesta comenzó con el diseño de un proceso para la recopilación, procesamiento y tratamiento del lirio acuático y del polipropileno reciclado. Se diseñó el dado para la elaboración de tablas de madera plástica, se prepararon compuestos a concentraciones de 5, 10 y 25 w% de lirio, con y sin modificador interfacial, se determinó su resistencia a la flexión siendo el compuesto con 10 w% con modificador interfacial el que mostró una resistencia mayor a la flexión.

Palabras clave: Reciclaje polímeros, biopolímeros, lirio acuático, propiedades mecánicas, modificador interfacial.

1. INTRODUCCIÓN

La zona metropolitana de Tampico, al igual que muchas otras regiones del mundo, se enfrenta a una problemática ambiental de gran magnitud: la proliferación descontrolada del lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*) y los efectos perjudiciales de los plásticos en nuestro planeta. Ambos fenómenos representan una amenaza significativa para los ecosistemas acuáticos y la salud del medio ambiente en general. El lirio acuático, una planta invasora originaria de América del Sur, ha encontrado en los cuerpos de agua de la zona metropolitana de Tampico un hábitat propicio para su propagación desmedida. Su rápido crecimiento y capacidad de reproducción han llevado a la obstrucción de ríos, lagunas y canales, generando una serie de problemas ecológicos y socioeconómicos. Nuestro punto de recolección fue la Laguna Nuevo Amanecer ubicada en Ciudad Madero, Tamaulipas. (22.270261, -97.832875).

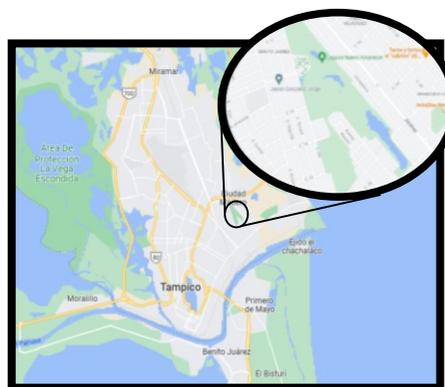


Fig. 1 Sitio de muestreo de Lirio Acuático en Laguna Nuevo Amanecer.

Esta planta de apariencia atractiva ha pasado de ser una especie ornamental a convertirse en una verdadera plaga, afectando la biodiversidad acuática y alterando los equilibrios naturales de los ecosistemas. [1] Todas las plantas están compuestas en su estructura por dos principales componentes como la lignina y celulosa, capaces de aportar propiedades físico-mecánicas si se usan como refuerzo en matrices poliméricas.[2] En este sentido, las microfibras de lirio acuático tienen propiedades físicas, mecánicas y químicas que hacen

atractivo el uso de estas para la producción de materiales compuestos.

Las microfibras de materiales lignocelulósicos tienen una alta resistencia mecánica, rigidez y baja densidad, lo que las convierte en un refuerzo ideal para mejorar las propiedades termomecánicas de los polímeros [3].

Por otro lado, el problema de los plásticos ha adquirido una relevancia global en los últimos años. La producción masiva y el consumo desmedido de plásticos han generado una crisis ambiental de proporciones alarmantes. Los plásticos de un solo uso, en particular, tienen un impacto significativo en la contaminación de los océanos, ríos y tierras, representando una amenaza para la fauna marina, la salud humana y los ecosistemas en general. Estos productos se limpian, triturados y funden para formar gránulos (pellets) de polipropileno reciclado que pueden ser utilizados nuevamente en la fabricación de productos plásticos.[4]

La madera plástica es un sustituto ecológico de la madera natural, nuevo material único, innovador, vanguardista, estéticamente muy parecido a la madera, se ha utilizado durante muchos años elaborado con plástico reciclado, pero nunca con una mezcla Polipropileno/Lirio Acuático y un modificador interfacial.

En este contexto, la elaboración de madera plástica a base de polipropileno reciclado y lirio acuático (*Eichhornia Crassipes*) con modificador interfacial surge como una propuesta innovadora y sostenible para abordar estas problemáticas de manera integral. Esta investigación combina la reutilización de materiales plásticos, específicamente el polipropileno reciclado y el aprovechamiento del lirio acuático como materias primas para la obtención de un material compuesto similar a la madera natural en apariencia. Buscando desarrollar un proceso eficiente y viable para la producción de madera plástica, que mejoren las propiedades mecánicas del material. Al lograrlo, se pretende reducir la demanda de madera natural, disminuir la proliferación del lirio acuático y mitigar los efectos negativos de los plásticos en el medio ambiente (ya que se estaría empleando polímero reciclado).

2. PARTE EXPERIMENTAL.

2.1. PREPARACIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS (POLIPROPILENO RECICLADO Y LIRIO ACUÁTICO).

La recolección del lirio acuático se llevó a cabo en la laguna nuevo amanecer, como se detalló anteriormente. Una vez recolectado, este se lavó y secó, posteriormente

se trituró y tamizó en malla 50 para obtener partículas más pequeñas y uniformes.

También se llevó a cabo una caracterización del Lirio Acuático el cual consistió en una serie de pasos los cuales son:

1. Lavar la materia prima para evitar arena o cualquier residuo.
2. Cortar en trozos pequeños y dejar secar en un lugar libre de humedad.
3. Tomar una pequeña parte de la materia prima y comenzar el proceso de triturado.
4. Tamizar el material triturado hasta que las partículas logren pasar el tamiz malla 50 (repetir pasos 3 y 4 hasta terminar con toda la materia prima).
5. Guardar en bolsas, sellar y etiquetar.

Después se realizó el cálculo de porcentaje de humedad de acuerdo a la norma TAPPI 412 CM-06 este método gravimétrico para la determinación del contenido de humedad en muestras sólidas se basa en la medición o determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra sólida. La determinación de la masa del agua se realiza por la diferencia en peso entre la masa de la muestra sólida húmeda y la masa de la muestra sólida seca. Se considera como muestra sólida seca aquella que ha sido colocada en la estufa a 105 °C hasta obtener peso constante. [5]

Consecuentemente se utilizó como referencia la norma TAPPI 428 OM-08 en la que se detalla la realización para determinar el pH mediante el potenciómetro y/o indicadores y papel universal. Y comprobar experimentalmente el pH del lirio acuático.[6]

Para concluir la caracterización se determinó la densidad siguiendo la norma TAPPI 258 WD-77 la cual nos dice que la densidad es la relación que existe entre la masa de una sustancia (o de un cuerpo) y su volumen, una propiedad intrínseca, que no depende de la cantidad de sustancia que se considere. [7]

Por otra parte, el polipropileno se recolectó de hogares ubicados en Ciudad, Madero, Tamaulipas, que decidieron participar en la investigación. El polipropileno reciclado recolectado paso por etapas de lavado, secado, triturado y extrusión para obtener gránulos de polipropileno reciclado de calidad en un extrusor monousillo [8].

2.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN PARA OBTENER LAS MUESTRAS DE MADERA PLÁSTICA.

Todos los materiales fueron secados previos a su

alimentación al sistema de extrusión para eliminar la humedad. Para la elaboración de los compuestos se prepararon mezclas de diferentes proporciones de lirio acuático, polipropileno reciclado, con y sin modificador interfacial. Para los compuestos que se utilizó modificador interfacial se empleó 1.5% de ácido esteárico para mejorar la adhesión entre las fibras de lirio acuático y el polipropileno reciclado. Los compuestos se prepararon como se detalla en la Tabla 2. Estos se realizaron en un extrusor monousillo a 30 rpm y un perfil de temperaturas plano de 170 °C.

Para realizar el prototipo de madera plástica se elaboró una especie de adaptador para poder conectar los moldes al dado del extrusor, este adaptador consiste en una placa metálica de 10x10x2cm con un orificio de salida en el centro que tiene un diámetro de 1 pulgada, esta salida cuenta con rosca para que se ensamble al cople que tienen los moldes, la manera de conectar el molde es girándolo para que se enrosque hasta quedar fijo. Este molde cuenta con 4 orificios de media pulgada de diámetro para poder conectarla al dado con 4 tornillos.

Se realizaron pruebas mecánicas de Flexión a la madera plástica obtenida mediante la norma ASTM D790 [9]. Para la determinación del Índice de Fluidez se empleó la norma ASTM D1238 [10].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA LIRIO ACUÁTICO.

Para la determinación de %de humedad se realizó la prueba empleándose la siguiente fórmula:

$$\%H = [Prmh - Prms / Prmh - Prs] (100) \quad (1)$$

Donde:

- Prs: Peso recipiente seco (P1)
- Prmh: Peso recipiente + muestra húmeda (P2)
- Prms: Peso recipiente + muestra seca (P3)

El resultado de la determinación del porcentaje de humedad (%H) se muestran en la tabla 1.

Para el cálculo de la Densidad se llevó a cabo con las siguientes formulas:

➤ Calcular Peso muestra húmeda (Pmh):

$$Pmh = Prmh - Prs. \quad (2)$$

$$\rho = M / V \quad (3)$$

Donde:

- Prs: Peso recipiente seco.
- Prmh: Peso recipiente + muestra húmeda.

En la Tabla 1 se muestra el resultado para esta determinación.

En el caso de la determinación del pH se realizaron las mediciones utilizando el pH-metro y las tiras de pH. El resultado se muestra en la tabla 1.

Estas determinaciones son importantes previo a la elaboración de los compuestos.

Tabla 1. Resultados de las pruebas por normas TAPPI

Prueba.	Resultado.
% Humedad	6.3819
pH	5.43
Densidad	0.22769 g/ml

3.2 CARACTERIZACIÓN POR MÓDULO DE FLEXIÓN .

Se realizaron pruebas mecánicas a la madera como se muestra en las Figuras 2 y 3.

Tabla 2. Resultados de las pruebas de flexión.

Muestra (%)	Resistencia (Psi)	
	Sin A.E.	Con 1.5% de A.E.
PP (100%)	600 psi	600 psi
PP (95%) + Lirio (5%)	600 psi	600 psi
PP (90%) + Lirio (10%)	800 psi	850 psi
PP (75%) + Lirio (25%)	400 psi	500 psi

La madera natural presentó una resistencia de 800 psi en la prueba de flexión.



Figura 2 Muestra de PP (95%) + Lirio (5%) siendo sometida a la prueba de Flexión.



Figura 3 Muestra de PP (75%) + Lirio (25%) siendo sometida a la prueba de Flexión.

De la tabla 3 se puede observar que una mayor resistencia a la flexión en la muestra con concentraciones de 10% de Lirio + 90% de Polipropileno + 1.5% de Ácido Esteárico, este resultado demuestra que la incorporación de un modificador interfacial favorece la transferencia de propiedades entre la matriz y el refuerzo, reflejándose en un incremento en la resistencia a la flexión para dicho compuesto. Para un contenido de 25% de lirio con y sin modificador interfacial esta resistencia a la flexión se vio afectada. Los compuestos a esta concentración se más frágiles. Los compuestos al 10% de lirio tuvieron una resistencia a la flexión muy similar a la madera natural, Este resultado es muy importante ya que la madera plástica obtenida en este trabajo de investigación tendría un comportamiento mecánico muy similar al de la madera convencional natural.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE ÍNDICE DE FLUIDEZ.

Se realizaron caracterizaciones para medir el Índice de Fluidéz de los compuestos, de acuerdo con la norma ASTM D1238, para medir el índice de fluidez se utiliza una temperatura de 230 °C y un peso de 2.16 Kg para Polipropileno. [10] Estas condiciones fueron las que se emplearon al realizar las pruebas. Se realizaron 5 pruebas de cada muestra y se realizó un análisis estadístico dando como resultado su índice de fluidez [11] (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de las pruebas del Índice de Fluidéz.

Mezcla	MFI	
	Sin A.E.	Con A.E.
PP (100%)	5	5.75
PP (95%) + Lirio (5%)	4	3
PP (90%) + Lirio (10%)	3	3
PP (80%) + Lirio (20%)	2	1.75

De la tabla 3 se puede observar que al adicionar el modificador interfacial al polipropileno sin refuerzo el valor del índice de fluidez aumenta, esto es debido a que el modificador interfacial le disminuye la viscosidad a la matriz polimérica. Para las concentraciones de 5%, 10% y 25% de lirio acuático, el índice de fluidez disminuye con la incorporación de ácido esteárico, excepto para la concentración de 10% de lirio. Esta disminución del

índice de fluidez se debe a reacciones químicas o interacciones entre los componentes. Gu y colaboradores [12] reportaron que interacciones fuertes entre el polímero y refuerzos puede llevar a más grandes energías de activación para hacer fluir la mezcla plastificada. El ácido esteárico reduce el índice de fluidez debido a las interacciones entre el polipropileno a todo lo largo de las fibras de lirio, lo cual hace más difícil de fluir a los compuestos plastificados.

4. CONCLUSIONES.

La madera plástica obtenida de los compuestos con contenidos de 10% de lirio acuático con y sin ácido esteárico tienen propiedades mecánicas muy similares a la madera natural convencional. Las interacciones entre el polipropileno y el lirio acuático fueron detectadas con las mediciones de índice de fluidez. Los valores más bajos de esta propiedad fueron obtenidos en el compuesto con ácido esteárico. El empleo de polipropileno reciclado y lirio acuático como plaga en cuerpos de agua asisten la economía circular, además de favorecer al cambio climático al evitar la tala de árboles para la producción de artículos de madera plástica en vez de emplear madera natural.

5. AGRADECIMIENTOS.

A la Asociación Nutrias con Causa de Tampico por su apoyo durante la recolección del lirio. Al Instituto Tecnológico de ciudad Madero, a la Universidad autónoma de Nuevo León y al Técnico Alfonso Vázquez Sánchez por su apoyo en la elaboración de los compuestos y las caracterizaciones.

6. REFERENCIAS.

- [1] Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A., Aguirre-Mancilla, C. L., & Andrión-Enríquez, E. (2022). Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*): una revisión. *Agronomía Mesoamericana*, 33(1).
- [2] Layth Mohammed, M. N. M. Ansari, Grace Pua, Mohammad Jawaid, M. Saiful Islam, "A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications", *International Journal of Polymer Science*, vol. 2015, Article ID 243947, 15 pages, 2015.
- [3] Morales-Zamudio Luisiana, López-Marure Arturo, García-Hernández Margarita, Rodríguez-González, Francisco, Flores-Gallardo Sergio and López-Martínez Erika 2019. Isolation, characterization and incorporation of microfibrils and microcrystals from *Typha domingensis* Pers as impact strength reinforcer of Polipropilene. matrix composite using stearic acid as interfacial modifier. *BioResources* 14(2) 2513-2535.

[4] Galvis Gutiérrez, N. (2014). Caracterización del Polipropileno reciclado disponible a partir de tapas, para reincorporarlo en procesos productivos, mezclado con Polipropileno virgen (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).

[5] Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 2011b. T 412 om-11, Moisture in pulp, paper and paperboard. In: TAPPI (ed.). TAPPI Test Methods. Technical Association of the Pulp & Paper Industry. Atlanta, GA, USA. n/p.

[6] Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 2011b. T 428 OM-02, Hot Water Extractable Acidity or Alkalinity of Paper. In: TAPPI (ed.). TAPPI Test Methods (2004). Atlanta, Georgia: Tappi Press.

[7] Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 2011b. T 258 wd-77, Basic Density and Moisture Content of Pulpwood. In: TAPPI (ed.). TAPPI Test Methods. Technical Association of the Pulp & Paper Industry. Atlanta, GA, USA. n/p.

[8] Solís, M. E., & Lisperguer, J. H. (2005). Resistencia al Impacto y a la Tracción de Materiales Compuestos Plástico-Madera. *Información tecnológica*, 16(6), 21-25. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642005000600004>

[9] ASTM D 790-17 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.

[10] ASTM D1238-13(2013), standard test method for melt flow rates of thermoplastics by extrusion plastometer, 2013

[11] Tanahashi, M.; Watanabe, Y.; Lee, J.-C.; Takeda, K.; Fujisawa, T. Melt flow and mechanical properties of silica/perfluoropolymer nanocomposites Fabricated by direct melt-compounding without surface modification on nano-silica. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2009, 9, 539–549

[12] S.Y Gu, J. Ren, Q.F. Wang, *J Appl Polym Sci.*, 2004;91:2427e34